

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка
Фізико-математичний факультет

ISSN 2413-1571 (print)
ISSN 2413-158X (online)

ФІЗИКО- МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА

Науковий журнал

Том 41, № 3

Суми – 2026

**Рекомендовано до видання вченою радою
Сумського державного педагогічного університету імені А.С. Макаренка
(протокол № 11 від 22.06.2026 р.)**

Редакційна колегія

Олена Семеніхіна (головний редактор)	доктор педагогічних наук, професор, Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка, Україна
Марина Друшляк (заступник головного редактора)	доктор педагогічних наук, професор, Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка, Україна
Francis Kwadwo Awuah	доктор філософії з математичної освіти, викладач кафедри педагогічної освіти, Науково-технологічний університет імені Кваме Нкруми, Гана
Jacob Owusu Sarfo	доктор філософії з промощі здоров'я (охорона здоров'я, фізичне виховання та рекреація), старший викладач, Університет Кейп-Кост, Гана
Igor Subbotin	доктор фізико-математичних наук, професор, Кафедра математики і природничих наук, Національний університет, США
Олена Гречановська	доктор педагогічних наук, професор, Вінницький Національний Технічний Університет, Україна
Тетяна Лукашова	доктор фізико-математичних наук, професор, Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка, Україна
Василь Швець	кандидат педагогічних наук, професор, Український державний університет імені Михайла Драгоманова, Україна
Олександр Школьний	доктор педагогічних наук, професор, Український державний університет імені Михайла Драгоманова, Україна
Артем Юрченко	кандидат педагогічних наук, доцент, Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка, Україна

Ф45 Фізико-математична освіта : науковий журнал. Том 41, № 3. Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка, Фізико-математичний факультет ; редкол.: О.В. Семеніхіна (гол.ред.) [та ін.]. Суми : [СумДПУ ім. А.С. Макаренка], 2026. 65 с.

*Наказом МОН України №928 від 11.06.2026 р. журнал «Фізико-математична освіта» затверджено як **ФАХОВЕ НАУКОВЕ ВИДАННЯ** категорії «Б» за спеціальностями А1 Освітні науки, А4 Середня освіта, А5 Професійна освіта (кластер: «Розвиток людського капіталу, соціальні науки та журналістика»).*

Журнал індексуються наукометричною базою **Index Copernicus Journals Master List**

Автори статей несуть відповідальність за достовірність наведеної інформації (точність наведених у статті даних, цитат, статистичних матеріалів тощо) та за порушення прав інтелектуальної власності інших осіб.

Висловлені авторами думки можуть не співпадати з точкою зору редакції.

**УДК 53+51]:37(051)
DOI: 10.31110/2413-1571**

© СумДПУ імені А.С. Макаренка, 2026

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
Makarenko Sumy State Pedagogical University
Physics and Mathematics Faculty**

**ISSN 2413-1571 (print)
ISSN 2413-158X (online)**

PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION

Scientific Journal

Vol. 41, No. 3

Sumy – 2026

**Recommended for publication by the Academic Council
of Makarenko Sumy State Pedagogical University
(Protocol No 11 from 22.06.2026)**

Editorial Board

Olena Semenikhina (editor-in-chief)	Dr. of Pedagogical Sciences, Professor, Sumy State Pedagogical University named after A.S.Makarenko, Ukraine
Maryna Drushlyak (co-editor-in-chief)	Dr. of Pedagogical Sciences, Professor, Sumy State Pedagogical University named after A.S.Makarenko, Ukraine
Francis Kwadwo Awuah	PhD in Mathematics Education, Lecturer at the Department of teacher education, Kwame Nkrumah University of Science & Technology, Ghana
Jacob Owusu Sarfo	PhD Health Promotion (Health, Physical Education and Recreation), Senior Lecturer, University of Cape Coast, Ghana
Igor Subbotin	Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Mathematics and Natural Sciences, National University, Los Angeles, USA
Olena Hrechanovska	Dr. of Pedagogical Sciences, Professor, Vinnytsia National Technical University, Ukraine
Tetyana Lukashova	Dr. of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Sumy State Pedagogical University named after A.S.Makarenko, Ukraine
Vasyl Shvets	PhD (pedagogical sciences), Professor, Dragomanov Ukrainian State University, Ukraine
Oleksandr Shkolnyi	Dr. of Pedagogical Sciences, Professor, Dragomanov Ukrainian State University, Ukraine
Artem Yurchenko	PhD (pedagogical sciences), Associate Professor, Sumy State Pedagogical University named after A.S.Makarenko, Ukraine

- F 45 Physical and Mathematical Education : Scientific Journal. Vol. 41, No. 3. Makarenko Sumy State Pedagogical University, Physics and Mathematics Faculty ; O.V. Semenikhina (chief editor). Sumy : [Makarenko Sumy State Pedagogical University], 2026. 65 p.

The authors of the articles are responsible for the authenticity of the information (the accuracy of the presented information in the article, quotations, statistical materials, etc.) and for the violation of the intellectual property rights of others.

Opinions expressed by the authors may not reflect the views of the editors.

*The Ministry of Education and Science of Ukraine has conferred a **category "B"** to the professional edition "Physical and Mathematical Education" in the specialties – A1 Educational Sciences, A4 Secondary Education, A5 Vocational Education (cluster: "Human Capital Development, Social Sciences, and Journalism") – Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine №928, June 11, 2026.*

**UDC 53+51]:37(051)
DOI: 10.31110/2413-1571**

© Makarenko Sumy State Pedagogical University, 2026

ЗМІСТ	CONTENTS
Каплієнко М. 6 НАВИЧКИ ГРАНТРАЙТИНГУ У СТРУКТУРІ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ STEM-ОСВІТИ 6	Kapliienko M.6 GRANT WRITING SKILLS IN THE STRUCTURE OF PROFESSIONAL COMPETENCE OF FUTURE STEM EDUCATION SPECIALISTS6
Лінчевський І. Пеклун В. 14 STEM-ЕКСПЕРИМЕНТ З МАГНІТНОЇ ЛЕВІТАЦІЇ 14	Linchevskiy I.,Peklun V.14 STEM-MAGNETIC LEVITATION EXPERIMENT 14
Смужаниця Д. 20 ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ У МУЛЬТИЛІНГВАЛЬНОМУ ОСВІТНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПІДГОТОВКИ СУЧАСНОГО ФАХІВЦЯ 20	Smuzhanytsia D.20 DIGITAL TOOLS IN A MULTILINGUAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT IN THE TRAINING OF A MODERN PROFESSIONAL 20
Тінькова Д., Луценко Г. 29 РОЗВИТОК ПРОГНОСТИЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ІНФОРМАТИКИ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ ПЕДАГОГІЧНОЇ ПРАКТИКИ ТА ЗАВДАНЬ З МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ 29	Tinkova D., Lutsenko G.29 DEVELOPING PREDICTIVE COMPETENCE IN FUTURE COMPUTER SCIENCE TEACHERS THROUGH THE INTEGRATION OF TEACHING PRACTICE AND MATHEMATICAL STATISTICS..... 29
Чкана Я. 37 ВІД САМОПЕРЕВІРКИ ДО ВЗАЄМНОГО РЕЦЕНЗУВАННЯ: РОЗВИТОК КОГНІТИВНО- ВЕРИФІКАЦІЙНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНЮВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ ЗАВДАНЬ В УМОВАХ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ 37	Chkana Ya.37 FROM SELF-ASSESSMENT TO PEER REVIEW: THE DEVELOPMENT OF A COGNITIVE- VERIFICATION APPROACH TO THE EVALUATION OF MATHEMATICAL PROBLEMS IN THE CONTEXT OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE 37
Швець В., Прус А. 45 КАСКАДНІ ПРИКЛАДНІ ЗАДАЧІ З МАТЕМАТИКИ ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ КЛЮЧОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ УЧНІВ 45	Shvets V., Prus A.45 CASCADE APPLIED PROBLEMS IN MATHEMATICS AS A MEANS OF DEVELOPING KEY COMPETENCIES OF STUDENTS45
Яковлева О., Папач О., Дроць А., Парлікова М. 55 КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ СИТУАЦІЙ У ФАХОВІЙ ПІДГОТОВЦІ ВЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ 55	Yakovlieva O., Papach O., Drots A., Parlikova M.55 CONCEPTUAL FOUNDATIONS OF USING PROBLEM-ORIENTED SITUATIONS IN THE PROFESSIONAL TRAINING OF MATHEMATICS TEACHERS 55
АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК 64	



ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА (PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION)

p-ISSN: 2413-1571, e-ISSN: 2413-158X

2026, 41(3), <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-01>

НАВИЧКИ ГРАНТРАЙТИНГУ У СТРУКТУРІ ПРОФЕСІЙНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ ФАХІВЦІВ STEM-ОСВІТИ

Микола КАПЛІЄНКО ✉

Придунайська філія Приватного акціонерного товариства
«Вищий навчальний заклад «Міжрегіональна Академія
Управління Персоналом», Україна
nickapliy@ua.fm
<https://orcid.org/0000-0003-0471-5516>

GRANT WRITING SKILLS IN THE STRUCTURE OF PROFESSIONAL COMPETENCE OF FUTURE STEM EDUCATION SPECIALISTS

Mykola KAPLIENKO ✉

The Pre-Danube branch of the Private Joint Stock Company
«Higher education institution «The Interregional Academy of
Personnel Management», Ukraine
nickapliy@ua.fm
<https://orcid.org/0000-0003-0471-5516>

АНОТАЦІЯ

Постановка проблеми. Розвиток STEM-освіти потребує фахівців, здатних не лише організувати навчання на міждисциплінарних засадах, а й ініціювати освітні та дослідницькі проекти, обґрунтовувати їхню актуальність, залучати ресурси й відповідально представляти очікувані результати. У підготовці магістрів і аспірантів у галузі освіти ці вміння часто розглядаються як додаткові, хоча фактично вони визначають спроможність майбутнього фахівця діяти в умовах проектної, конкурсної та міжнародної академічної діяльності. Тому постає потреба теоретично обґрунтувати грантрайтинг як складник професійної компетентності майбутніх фахівців STEM-освіти.

Матеріали і методи. Дослідження має теоретико-аналітичний характер. Матеріалами стали наукові праці з проблем професійної компетентності STEM-педагогів, технологічного педагогічного знання змісту, педагогічного знання змісту, професійного розвитку, академічного письма, дослідницької самоефективності, наставництва, коучингу й підготовки грантових заявок. Використано методи аналізу, синтезу, порівняння, змістового групування джерел, узагальнення та концептуального моделювання.

Результати. У статті показано, що грантрайтинг не може бути зведений до техніки написання заявки або до засобу отримання фінансування. Він інтегрує дослідницьке мислення, проектування освітньої інновації, роботу з доказами, комунікацію з різними зацікавленими сторонами, планування ресурсів, оцінювання ризиків, цифрову грамотність та етичну відповідальність. Обґрунтовано доцільність розгляду грантрайтингової компетентності як спеціальної професійної компетентності майбутнього фахівця STEM-освіти. Запропоновано її структуру, що охоплює аналітико-дослідницький, проектувальний, комунікативно-аргументаційний, фінансово-організаційний, цифровий та етико-рефлексивний компоненти.

Висновки. Грантрайтингова компетентність є затребуваною для магістрів і аспірантів у галузі освіти, оскільки забезпечує перехід від освітньої або дослідницької ідеї до її проектного оформлення, ресурсного забезпечення й практичного впровадження. Її розвиток доцільно включати до професійної підготовки фахівців STEM-освіти через спеціальні навчальні модулі, наставництво, аналіз реальних заявок, поетапне проектування та рефлексивне оцінювання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: грантрайтинг; STEM-освіта; професійна компетентність; магістр; аспірант; академічне письмо; проектна діяльність; цифрова компетентність.

ДЛЯ ЦИТУВАННЯ: Каплієнко М. Навички грантрайтингу у структурі професійної компетентності майбутніх фахівців STEM-освіти. *Фізико-математична освіта*, 2026. Том 41. № 3. С. 6-13. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-01>.

ABSTRACT

Problem statement. The development of STEM education requires specialists who cannot only organize learning in line with interdisciplinary principles but also initiate educational and research projects, substantiate their relevance, attract resources, and responsibly present expected outcomes. In the training of master's and doctoral students in the field of education, these skills are often regarded as additional, although they actually determine the future specialist's ability to act in the conditions of project-based, competitive, and international academic activity. Therefore, there is a need to provide a theoretical justification for grant writing as a component of the professional competence of future STEM education specialists.

Materials and methods. The study is theoretical and analytical. The materials included scholarly works on the professional competence of STEM educators, technological pedagogical content knowledge, pedagogical content knowledge, professional development, academic writing, research self-efficacy, mentoring, coaching, and grant proposal preparation. The methods of analysis, synthesis, comparison, source content grouping, generalization, and conceptual modeling were used.

Results. The article shows that grant writing cannot be reduced to either the technique of writing a proposal or a means of obtaining funding. It integrates research thinking, the design of educational innovation, evidence-based work, communication with diverse stakeholders, resource planning, risk assessment, digital literacy, and ethical responsibility. The expediency of considering grant writing competence as a special professional competence of a future STEM education specialist is substantiated. Its structure is proposed and includes analytical and research, project-design, communicative and argumentative, financial and organizational, digital, and ethical-reflective components.

Conclusions. Grant writing competence is in demand among master's and doctoral students in the field of education because it ensures the transition from an educational or research idea to its project-based formulation, resource support, and practical implementation. Its development should be incorporated into the professional training of STEM education specialists through specialized modules, mentoring, analysis of real grant proposals, step-by-step project design, and reflective assessment.

KEYWORDS: grant writing; STEM education; professional competence; master's student; doctoral student; academic writing; project activity; digital competence.

FOR CITATION: Kaplienko, M. (2026). Grant writing skills in the structure of professional competence of future STEM education specialists. *Physical and Mathematical Education*, 41(3), 6-13. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-01>.

ВСТУП

Постановка проблеми. STEM-освіта дедалі частіше розглядається не як механічне поєднання природничих наук, технологій, інженерії та математики, а як спосіб організації навчання, орієнтований на дослідження, проектування, роботу з даними, створення рішень і перевірку їхньої життєздатності. Такий підхід змінює уявлення про професійну компетентність фахівця STEM-освіти. Йому недостатньо володіти змістом навчальної дисципліни, методикою викладання та цифровими інструментами. Він має бути здатним ініціювати освітні зміни, працювати з міждисциплінарними командами, обґрунтовувати практичну корисність запропонованих рішень і знаходити ресурси для їх реалізації (Gavrilas, & Kotsis, 2025).

У цій площині навички грантрайтингу набувають нового значення. Їх часто сприймають вузько: як уміння підготувати текст заявки, правильно заповнити форму конкурсу або описати бюджет. Такий підхід є спрощенням. У реальній академічній і професійній практиці грантрайтинг є складною діяльністю, що поєднує дослідницьке мислення, проектне планування, аргументацію новизни, стратегічну комунікацію, прогнозування результатів, роботу з партнерами, фінансову грамотність і дотримання етичних норм (Baker, 2025). Для майбутнього фахівця STEM-освіти ця діяльність пов'язана не лише з отриманням фінансування. Вона дає змогу перевести методичну або дослідницьку ідею у формат реалізованого освітнього проекту.

Актуальність проблеми посилюється тим, що другий і третій рівні вищої освіти передбачають не лише поглиблення фахових знань, а й формування здатності діяти автономно, ініціювати дослідження, презентувати результати, брати участь у наукових і професійних мережах. Магістр і аспірант у галузі освіти поступово входять у простір, де оцінюється не лише здатність відтворювати знання, а й спроможність проектувати нові освітні рішення, доводити їхню доцільність та забезпечувати умови для їх упровадження. Саме тому грантрайтинг може бути розглянутий як спеціальна професійна компетентність, затребувана часом.

У наявних дослідженнях достатньо глибоко висвітлено професійну компетентність педагогів, технологічне педагогічне знання змісту, педагогічне знання змісту, професійний розвиток STEM-педагогів, академічне письмо та дослідницьку самоефективність. Водночас грантрайтинг у підготовці фахівців STEM-освіти частіше залишається на периферії аналізу. Він розглядається або як частина академічного письма, або як елемент професійного розвитку дослідника. Такий стан дає підстави для окремого теоретичного узагальнення: які саме дії, знання і ставлення утворюють грантрайтингову компетентність і чому вона має бути представлена у підготовці майбутніх фахівців STEM-освіти.

Мета статті полягає в теоретичному обґрунтуванні навичок грантрайтингу як спеціальної професійної компетентності майбутніх фахівців STEM-освіти та визначенні її змістових компонентів. Для досягнення мети використано теоретичний аналіз наукових джерел, зіставлення компетентнісних моделей, узагальнення підходів до професійного розвитку педагогів і концептуальне моделювання структури грантрайтингової компетентності.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ*Професійна компетентність фахівця STEM-освіти як багатовимірний конструкт*

Професійна компетентність у галузі освіти не може бути зведена до суми знань. Вона охоплює здатність діяти в конкретній педагогічній ситуації, добирати засоби навчання, оцінювати результати, коригувати власні рішення та брати відповідальність за їхні наслідки. У класичній праці Л. Шульмана обґрунтовано значення педагогічного знання змісту, тобто здатності вчителя перетворювати предметний матеріал на доступні для навчання форми (Shulman, 1986). Для STEM-освіти ця ідея особливо продуктивна, оскільки фахівець має не просто знати математичний, природничий або технологічний матеріал, а будувати навчальні ситуації, де знання застосовується для пояснення явищ, створення моделей, розв'язання задач і проектування продуктів.

Подальший розвиток цієї логіки пов'язаний із моделлю технологічного педагогічного знання змісту. У ній професійна компетентність педагога описується через взаємодію змістового, педагогічного й технологічного знання (Mishra & Koehler, 2006). Для STEM-освіти ця модель стала однією з найуживаніших, оскільки вона дає змогу пояснити, чому цифрові інструменти не можуть бути механічно додані до навчання. Їх потрібно інтегрувати відповідно до змісту дисципліни, цілей навчання, рівня підготовки здобувачів освіти й очікуваних результатів. У сучасних оглядах професійного розвитку STEM-педагогів ТРАСК використовується як рамка для оцінювання здатності педагогів упроваджувати цифрові технології в навчання, підтримувати дослідницьку активність і створювати міждисциплінарні освітні ситуації (Meletioui-Mavrotheris et al., 2024; Chang, Annisa, & Chen, 2024).

Разом із тим, STEM-освіта висуває до педагога ширші вимоги, ніж ті, що охоплені ТРАСК або РСК. Він має бути фасилітатором дослідження, організатором командної роботи, розробником навчальних завдань, модератором дискусії, критичним користувачем цифрових даних і учасником професійних мереж. У дослідженнях професійного розвитку підкреслюється значення тривалості навчання, практичної спрямованості, співпраці, рефлексії та інституційної підтримки (Joseph & Uzundu, 2024; Stavermann, 2024). Ці ознаки важливі й для розвитку грантрайтингу, адже заявка не виникає як індивідуальний текстовий продукт. Вона формується через аналіз потреб, обговорення ідей, перевірку доказів, узгодження ролей і критичне редагування.

Професійна компетентність майбутнього фахівця STEM-освіти доцільно розглядати як відкриту структуру. Вона має ядро, пов'язане з предметними, педагогічними та технологічними знаннями, але також включає здатність до дослідження, комунікації, управління проектами, професійного саморозвитку й етичного використання знань. Грантрайтинг розташований саме на перетині цих здатностей. Він не замінює базові компетентності, але активізує їх у ситуації, коли фахівець має сформулювати ідею, обґрунтувати її новизну, показати очікуваний вплив, довести спроможність команди та продемонструвати реалістичність плану.

Тому грантрайтинг не варто відносити лише до сфери адміністративної роботи. У підготовці магістрів і аспірантів він може виконувати дидактичну функцію. Через роботу над заявкою здобувач освіти вчиться бачити проблему не як

абстрактну тему, а як ситуацію, що потребує доказового опису, чіткої логіки втручання, перевірюваних результатів і визначених ресурсів. Такий тип мислення близький до STEM-логіки: проблема, гіпотеза або ідея, обґрунтування, дизайн дій, ресурси, дані, результат, оцінювання. Саме тут грантрайтинг органічно входить до професійної компетентності фахівця STEM-освіти.

Грантрайтинг між академічним письмом, дослідницькою культурою та проектною діяльністю

Грантрайтинг має спільні ознаки з академічним письмом, але не збігається з ним. Академічне письмо спрямоване на аргументований виклад матеріалу, результатів дослідження або теоретичних положень. Грантова заявка також потребує чіткої аргументації, логічної структури й коректного використання джерел. Проте її комунікативна мета інша: переконати експертів у тому, що певна проблема є значущою, запропоноване рішення є доцільним, команда спроможна його реалізувати, а очікувані результати мають наукову, освітню або суспільну користь. Отже, грантрайтинг є різновидом цільового академічно-проектного письма.

У літературі з розвитку грантових умінь наголошується, що успішне написання заявки потребує вміння перетворити дослідницьку ідею на проєкт, зрозуміти вимоги донора, вибудувати переконливий наратив, відредагувати текст і показати відповідність між проблемою, метою, методами, результатами та бюджетом (Cunningham, 2020). Такі дії потребують не лише мовної вправності. Вони вимагають структурного мислення, здатності до самообмеження, уміння відрізняти головне від другорядного, а також готовності працювати з критичним зворотним зв'язком.

Для майбутнього фахівця STEM-освіти грантова заявка є формою професійного мислення, у якій наукова або методична ідея проходить перевірку на чіткість, доказовість і реалізованість. Наприклад, ідея створити курс із робототехніки, розробити цифровий симулятор, провести дослідження навчальних втрат або впровадити STEAM-лабораторію не стає проєктом автоматично. Для цього потрібно описати проблему, визначити цільову групу, обґрунтувати новизну, спланувати дії, оцінити ресурси, передбачити ризики, визначити індикатори результативності та пояснити, що зміниться після завершення проєкту. Усі ці дії мають педагогічний, дослідницький і управлінський зміст.

Грантрайтинг також пов'язаний із дослідницькою самоефективністю. Під дослідницькою самоефективністю розуміють упевненість особи у власній здатності здійснювати дослідження, презентувати його результати й досягати продуктивності в науковій роботі. Дослідження засвідчують зв'язок між дослідницькою самоефективністю та науковою продуктивністю викладачів, а також указують на перешкоди: нестачу дослідницького досвіду, часу, інституційної підтримки й ресурсів (Pentang & Domingo, 2024). Для магістрів і аспірантів ці перешкоди мають ще гостріший характер, бо вони лише формують власну дослідницьку ідентичність і часто не мають достатнього досвіду участі в конкурсних процедурах.

Тому підготовка до грантрайтингу повинна бути пов'язана не лише з інструкцією щодо заповнення заявки. Вона має допомагати здобувачеві освіти бачити себе суб'єктом дослідницької та інноваційної діяльності. У цьому сенсі грантрайтинг розширює професійну перспективу: майбутній фахівець STEM-освіти вчиться не чекати зовнішніх умов, а формулювати пропозиції, шукати партнерів, аргументувати потреби й залучати ресурси. Для системи освіти це означає перехід від пасивного прийняття змін до активного проєктування освітнього розвитку.

Окремий вимір становить конкурсний характер грантової діяльності. Заявка оцінюється експертами за критеріями, які можуть охоплювати актуальність, новизну, методологічну якість, командну спроможність, бюджетну доцільність, сталість результатів і очікуваний вплив. Отже, здобувач освіти має навчитися писати не для себе й не лише для наукового керівника, а для зовнішнього експертного читача. Це змінює характер письма: текст має бути точним, переконливим, лаконічним, доказовим і доступним для оцінювання. Така практика розвиває професійну відповідальність і дисципліну мислення.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження має теоретико-аналітичний характер і спрямоване на обґрунтування місця навичок грантрайтингу у структурі професійної компетентності майбутніх фахівців STEM-освіти. Відповідно до мети статті було використано комплекс загальнонаукових методів: аналіз наукових джерел, синтез теоретичних положень, порівняння підходів до тлумачення професійної компетентності, узагальнення й концептуальне моделювання.

На першому етапі було здійснено аналітичний огляд праць, у яких розглядаються професійна компетентність педагогів STEM-освіти, технологічне педагогічне знання змісту, педагогічне знання змісту, професійний розвиток педагогів, академічне письмо, дослідницька самоефективність, наставництво й коучинг у підготовці грантових заявок. До аналізу було залучено джерела, що висвітлюють як загальні підходи до формування професійної компетентності, так і суміжні аспекти, необхідні для розуміння грантрайтингу як інтегрованого професійного вміння.

На другому етапі було проведено змістове групування опрацьованих джерел за кількома смисловими напрямками: професійна компетентність фахівця STEM-освіти; дослідницька й проєктна складові підготовки магістрів та аспірантів; академічне й проєктне письмо; інституційна підтримка грантової діяльності; роль цифрових інструментів і генеративного штучного інтелекту в підготовці текстів заявок. Таке групування дало змогу виявити, що грантрайтинг не зводиться до техніки написання тексту, а охоплює аналітичні, дослідницькі, комунікативні, організаційні, цифрові та етичні дії.

На третьому етапі було використано метод теоретичного синтезу. Його застосування дало змогу зіставити компетентнісну логіку STEM-освіти з вимогами грантової діяльності. У межах цього зіставлення грантрайтинг розглядався як діяльність, що потребує постановки проблеми, обґрунтування актуальності, формулювання мети й очікуваних результатів, побудови логіки впливу, планування ресурсів, аналізу ризиків, визначення індикаторів ефективності та відповідальної комунікації з потенційними партнерами й донорами.

На четвертому етапі було застосовано концептуальне моделювання. На основі узагальнення теоретичних положень запропоновано структуру грантрайтингової компетентності майбутнього фахівця STEM-освіти. До її складу віднесено аналітико-дослідницький, проєктувальний, комунікативно-аргументаційний, фінансово-організаційний, цифровий та етико-рефлексивний компоненти. Така модель не претендує на завершену діагностичну систему, але може

бути використана як підґрунтя для подальшого розроблення навчального модуля, критеріїв оцінювання й емпіричної перевірки сформованості відповідної компетентності.

Методологічним обмеженням дослідження є його теоретико-аналітичний характер. У статті не здійснюється емпірична апробація запропонованої моделі та не перевіряється динаміка розвитку грантрайтингової компетентності здобувачів освіти. Водночас такий підхід є доцільним для початкового обґрунтування проблеми, оскільки дає змогу визначити зміст компетентності, її зв'язок із професійною підготовкою фахівців STEM-освіти та можливі напрями подальших досліджень.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Питання про статус грантрайтингу у структурі професійної компетентності є принциповим. Якщо трактувати його як допоміжну навичку, то його розвиток можна залишити на рівні факультативного тренінгу або короткої консультації. Якщо ж розглядати його як спеціальну компетентність, то він має бути інтегрований у підготовку магістрів і аспірантів через навчальні завдання, практику розроблення заявок, наставництво, експертне оцінювання та рефлексію. Другий підхід видається продуктивнішим, оскільки відповідає реальним вимогам академічної та професійної діяльності.

Магістерська підготовка в галузі освіти зазвичай орієнтована на поглиблене опанування теорії навчання, методики, освітніх технологій, дослідницьких методів і практики викладання. Аспірантська підготовка додає здатність продукувати нове знання, здійснювати самостійне дослідження, публікувати результати й долучатися до академічної спільноти. Однак і магістр, і аспірант дедалі частіше працюють у просторі проєктів: освітніх, дослідницьких, міжнародних, громадських, інституційних. У цьому просторі якість ідеї оцінюється разом із якістю її проєктного опису.

Для STEM-освіти це особливо відчутно. Багато освітніх змін потребують обладнання, цифрових платформ, програмного забезпечення, лабораторних матеріалів, підготовки педагогів, партнерства зі школами, університетами, громадами або бізнесом. Без умінь підготувати конкурентну заявку такі ідеї часто залишаються на рівні намірів. Отже, грантрайтинг стає механізмом професійної дії, який з'єднує освітню потребу, дослідницьке обґрунтування, ресурсне забезпечення та впровадження.

Спеціальний характер цієї компетентності полягає в тому, що вона має власний предмет, власні операції й власні критерії якості. Її предметом є проєктна пропозиція, що претендує на зовнішню підтримку. Її операціями є аналіз конкурсу, виявлення проблеми, формулювання цілей, добір методів, планування результатів, бюджетування, побудова партнерства, написання тексту, редагування та підготовка супровідних документів. Її критеріями якості є відповідність умовам конкурсу, внутрішня логіка заявки, доказовість, реалістичність, переконливість і прозорість ресурсного планування.

Ця компетентність не є суто технічною. Вона має ціннісний вимір. Грантова діяльність пов'язана з чесністю опису проблеми, добросовістю у використанні джерел, реалістичністю обіцянок, відповідальністю перед партнерами та цільовими групами, коректним використанням даних і прозорим плануванням бюджету. Для майбутнього фахівця STEM-освіти це означає, що грантрайтинг має формувати не тільки навички подання заявки, а й культуру відповідального проєктування освітніх змін.

Важливо також відрізнити грантрайтингову компетентність від загальної проєктної компетентності. Проєктна компетентність охоплює здатність планувати, реалізовувати й оцінювати діяльність. Грантрайтингова компетентність є вужчою і водночас складнішою в окремих аспектах, бо вона пов'язана з конкурсною експертизою, вимогами донора, текстовою аргументацією, фінансовим обґрунтуванням і необхідністю довести зовнішньому оцінювачу, що саме ця пропозиція заслуговує на підтримку. Тому її доцільно подавати як спеціальну компетентність у межах професійної підготовки фахівців STEM-освіти (табл 1.).

Таблиця 1. Місце грантрайтингової компетентності у структурі професійної компетентності фахівця STEM-освіти

Складник	Зміст у STEM-освіті	Зв'язок із грантрайтингом
Предметно-методичний	Знання змісту STEM-дисциплін і способів його дидактичного перетворення.	Дає підстави для формулювання освітньої проблеми, змісту проєкту й очікуваних навчальних результатів.
Технологічний	Добір цифрових інструментів, платформ, симуляторів, засобів збору й аналізу даних.	Потрібний для опису цифрової інфраструктури проєкту, технічних рішень і способів їх використання.
Дослідницький	Постановка проблеми, добір методів, аналіз даних, інтерпретація результатів.	Забезпечує доказове обґрунтування актуальності, новизни, методів і результатів заявки.
Комунікативний	Співпраця з учасниками освітнього процесу, партнерами, експертами, професійними спільнотами.	Виявляється у побудові партнерства, переконливому тексті заявки та презентації ідеї.
Проєктно-управлінський	Планування дій, розподіл ролей, управління ресурсами, моніторинг результатів.	Є основою для робочого плану, бюджету, календаря, індикаторів і ризиків.
Етичний	Відповідальне використання даних, чесність у дослідженні, прозорість освітніх рішень.	Потрібний для коректного опису очікуваного впливу, добросовісності тексту, реалістичності обіцянок.

Джерело: авторська розробка

Узагальнення літератури й логіки грантової діяльності дає підстави виокремити кілька компонентів грантрайтингової компетентності. Їх не слід розуміти як ізольовані блоки. У реальному процесі підготовки заявки вони

взаємодіють. Наприклад, формулювання мети потребує аналітичної роботи з проблемою, знання вимог конкурсу, розуміння цільової групи й уміння висловити ідею мовою, зрозумілою експертам. Бюджетування залежить від змісту проекту, плану діяльності, партнерської структури й очікуваних результатів. Етичний компонент проходить крізь усі етапи роботи.

Перший компонент – аналітико-дослідницький. Він охоплює здатність виявити проблему, перевірити її актуальність за даними, зіставити її з наявними дослідженнями, визначити прогалину й сформулювати обґрунтовану проектну ідею. Для STEM-освіти це означає, що майбутній фахівець має оперувати не загальними твердженнями про потребу в інноваціях, а конкретними доказами: результатами діагностики, освітньою статистикою, аналізом навчальних втрат, потребами шкіл або університетів, даними про цифровий доступ, рівень сформованості компетентностей, проблеми інклюзивності чи безпеки.

Другий компонент – проектувальний. Він пов'язаний із перетворенням ідеї на логіку дій. Здобувач освіти має навчитися формулювати мету, завдання, робочі пакети, етапи, результати, індикатори, способи оцінювання та умови сталості. У STEM-освіті проектувальний компонент є особливо важливим, бо освітні рішення часто мають складну структуру: навчальні модулі, лабораторії, цифрові інструменти, підготовка педагогів, апробація, аналіз результатів, поширення досвіду. Непродуманий дизайн робить заявку слабкою навіть тоді, коли ідея цікава.

Третій компонент – комунікативно-аргументаційний. Він передбачає здатність писати переконливо, але без перебільшень; чітко пояснювати проблему, логіку рішення й очікувані результати; узгоджувати текст із вимогами конкурсу; добирати стиль відповідно до адресата. У грантовій заявці недостатньо лише повідомити, що проект потрібен. Потрібно показати, чому проблему не можна залишати без розв'язання, чому запропонований підхід є доречним, чому команда має відповідну спроможність і як результати будуть використані після завершення фінансування.

Четвертий компонент – фінансово-організаційний. Він охоплює розуміння бюджету, видів витрат, співвідношення між запланованими діями та ресурсами, календаря реалізації, ролей учасників і механізмів звітності. Для майбутніх фахівців освіти цей компонент часто є найменш сформованим, бо педагогічна підготовка традиційно приділяє більше уваги змісту навчання, ніж ресурсному плануванню. Однак грантова заявка перевіряє реалістичність ідеї саме через узгодженість мети, дій, ресурсів і часу.

П'ятий компонент – цифровий. Він включає роботу з базами даних, пошук конкурсів, аналіз вимог, підготовку електронних форм, спільне редагування документів, візуалізацію логіки проекту, використання систем управління завданнями, а також критичне застосування інструментів генеративного штучного інтелекту. Систематичні огляди показують, що цифрові інструменти й ШІ можуть підтримувати розвиток академічних умінь, зокрема письма, аналізу та зворотного зв'язку (Daniel et al., 2025; Fathi & Rahimi, 2024). Проте в грантрайтингу їх використання має бути обережним: ШІ може допомогти структурувати текст, виявити логічні розриви або запропонувати варіанти формулювань, але не може замінити авторську відповідальність за зміст, дані, бюджет і реалістичність обіцянок.

Шостий компонент – етико-рефлексивний. Він стосується академічної доброчесності, прозорості джерел, відповідального використання даних, коректного опису ризиків, правдивого представлення можливостей команди та реалістичного прогнозування результатів. У грантовій діяльності етичні помилки можуть виникати не лише як плагіат. Вони можуть бути пов'язані з перебільшенням впливу, приховуванням слабких місць, формальним партнерством, невиправданими бюджетними позиціями або використанням даних без належного захисту. Тому грантрайтингова компетентність має містити здатність до самоперевірки й готовність переглядати заявку з позиції відповідальності перед учасниками, інституцією та донором.

Узагальнення компонентів грантрайтингової компетентності подано у табл. 2.

Таблиця 2. Компоненти грантрайтингової компетентності та можливі результати навчання

Компонент	Зміст компонента	Можливий результат навчання	Приклад навчального завдання
Аналітико-дослідницький	Аналіз проблеми, джерел, даних і потреб цільової групи.	Обґрунтовує проблему STEM-освіти на основі доказів і релевантних джерел.	Підготувати problem statement для реального або модельного конкурсу.
Проектувальний	Формулювання мети, завдань, етапів, результатів та індикаторів.	Розробляє логіку проекту з узгодженими діями й результатами.	Створити логічну матрицю освітнього STEM-проекту.
Комунікативно-аргументаційний	Побудова переконливого тексту заявки, редагування, адаптація до адресата.	Пише фрагмент заявки відповідно до критеріїв експертного оцінювання.	Написати розділ “Новизна та очікуваний вплив” і пройти взаємооцінювання.
Фінансово-організаційний	Бюджет, календар, ролі, ресурси, ризики, звітність.	Узгоджує бюджет із планом дій і результатами проекту.	Скласти бюджет і коротке бюджетне обґрунтування.
Цифровий	Пошук конкурсів, електронні платформи, спільне редагування, етичне використання ШІ.	Використовує цифрові інструменти для підготовки заявки з критичною перевіркою результатів.	Провести аудит тексту заявки за допомогою ШІ та описати межі його використання.
Етико-рефлексивний	Доброчесність, прозорість, відповідальність, оцінювання ризиків і впливу.	Виявляє етичні ризики заявки й пропонує способи їх зменшення.	Підготувати рефлексивну записку щодо етичних аспектів проекту.

Джерело: авторська розробка

Дані таблиці 2 узагальнюють грантрайтингову компетентність як інтегрований результат підготовки, що не зводиться до написання тексту заявки. Вона охоплює повний цикл роботи з освітньою чи дослідницькою ідеєю: виявлення проблеми, аналіз доказів, проектування дій, бюджетне обґрунтування, цифровий супровід і етичну самооцінку. Для майбутнього фахівця STEM-освіти така структура є принциповою, оскільки поєднує дослідницьке мислення, проектну логіку, комунікацію з експертами й партнерами, ресурсне планування та відповідальне використання цифрових інструментів. Отже, таблиця 2 фіксує не перелік ізольованих умінь, а модель спеціальної компетентності, яку можна покласти в основу навчального модуля для магістрів і аспірантів у галузі освіти.

ОБГОВОРЕННЯ

Педагогічні умови формування грантрайтингової компетентності

Якщо грантрайтинг розглядати як спеціальну компетентність, його формування потребує відповідних педагогічних умов. Перша умова – робота з реальними або максимально наближеними до реальних конкурсними матеріалами. Здобувачі освіти мають бачити структуру заявок, критерії оцінювання, вимоги до бюджету, логіку очікуваних результатів, а також обмеження щодо обсягу й формату. Абстрактне завдання “написати проект” не формує повної компетентності, бо не відтворює конкурсної ситуації.

Друга умова – поєднання індивідуальної та командної роботи. Грантова заявка часто створюється командою, де учасники відповідають за різні частини: теоретичне обґрунтування, методи, цифрові рішення, бюджет, комунікацію з партнерами, оцінювання результатів. У навчанні це можна моделювати через групові проекти, але з обов’язковою індивідуальною відповідальністю за окремі фрагменти. Такий підхід допомагає розвивати не лише письмо, а й переговори, розподіл ролей, взаємне редагування та спільне ухвалення рішень.

Третя умова – експертний і взаємний зворотний зв’язок. Дослідження професійного розвитку педагогів показують, що співпраця, підтримка й рефлексія підсилюють навчальні результати (Stavermann, 2024; Wong et al., 2022). Для грантрайтингу це означає потребу в багатоетапному редагуванні: спочатку ідеї, потім логіки проекту, далі тексту, бюджету й фінальної цілісності заявки. Особливо корисним є моделювання експертної панелі, коли здобувачі освіти оцінюють заявки за конкурсними критеріями.

Четверта умова – наставництво або коучинг. Емпіричні дослідження тренінгів із підготовки грантових заявок для молодих дослідників показують, що груповий коучинг і залучення наукових радників можуть підтримувати розвиток заявок і дослідницьких навичок (Weber-Main et al., 2022). У підготовці фахівців STEM-освіти наставник може виконувати роль не автора тексту, а критичного читача, який допомагає уточнити проблему, перевірити відповідність конкурсу, виявити слабкі місця аргументації та уникнути завищених обіцянок.

П’ята умова – інтеграція грантрайтингу з дослідницькою підготовкою. Заявка має виростати з дослідницької або освітньої проблеми, а не з формальної потреби виконати завдання. Наприклад, магістрант може розробляти заявку на основі теми кваліфікаційної роботи, а аспірант – на основі фрагмента дисертаційного дослідження або плану апробації результатів. Це дає змогу поєднати наукову роботу, професійний розвиток і проектне мислення.

Шоста умова – контроль за етичним використанням цифрових інструментів. Генеративний ШІ може бути корисним у навчанні грантрайтингу, але без чітких правил він створює ризики поверховості, шаблонності, вигаданих джерел, некритичного копіювання і втрати авторської позиції. Тому доцільно вимагати від здобувачів освіти коротку декларацію щодо використання ШІ: які інструменти застосовано, для яких завдань, які результати перевірено, які фрагменти написані автором самостійно. Це сприяє формуванню відповідальної цифрової компетентності.

Сьома умова – оцінювання не тільки готового тексту, а й процесу роботи над заявкою. Якісний грантрайтинг передбачає послідовні етапи: аналіз конкурсу, формулювання ідеї, пошук доказів, планування дій, підготовку бюджету, редагування, перевірку відповідності критеріям. Якщо оцінювати лише фінальний текст, значна частина компетентності залишається невидимою. Тому варто використовувати портфоліо, де зберігаються чернетки, коментарі, версії логічної матриці, бюджетні розрахунки, результати взаємооцінювання й рефлексивна записка.

Освітній потенціал грантрайтингу для STEM-підготовки

Освітній потенціал грантрайтингу полягає в тому, що він змушує здобувача освіти мислити системно. STEM-освіта часто апелює до міждисциплінарності, але на практиці міждисциплінарні ідеї можуть залишатися декларативними. Грантова заявка потребує конкретизації: які саме дисципліни інтегруються, для розв’язання якої проблеми, через які дії, з якими учасниками й за якими показниками буде оцінено результат. Таке завдання дисциплінує міждисциплінарне мислення.

Грантрайтинг також допомагає розвивати вміння бачити освітню проблему з позиції різних зацікавлених сторін. Заявка має враховувати потреби здобувачів освіти, педагогів, закладів освіти, громад, партнерів, інколи роботодавців або донорських організацій. Для STEM-освіти така багатосторонність є важливою, бо освітні інновації часто впливають на матеріальну базу, цифровий доступ, професійний розвиток педагогів, зміст навчання та зв’язок освіти з реальними проблемами громади чи галузі.

Ще один аспект – розвиток доказового мислення. У грантовій заявці слабкими є загальні фрази про необхідність модернізації, підвищення якості або впровадження інновацій. Сильна заявка спирається на дані, результати попередніх досліджень, аналіз потреб, чіткі показники й реалістичну логіку впливу. Через це навчання грантрайтингу може посилити дослідницьку культуру майбутніх фахівців STEM-освіти. Воно привчає не просто стверджувати, а доводити.

Грантрайтинг має й управлінський потенціал. Майбутній фахівець STEM-освіти, який уміє підготувати заявку, краще розуміє, як функціонує освітня інновація: які ресурси потрібні, хто відповідає за дії, які ризики можуть зруйнувати план, як оцінити результат, що потрібно для сталості. Це особливо важливо для магістрів, які можуть працювати методистами, керівниками освітніх проектів, координаторами STEM-центрів, викладачами або розробниками програм професійного розвитку.

Для аспірантів грантрайтинг має ще один вимір – входження в академічну спільноту. Участь у конкурсах, підготовка заявок, робота з партнерами й експертними вимогами сприяють формуванню дослідницької автономії. Грантова діяльність вчить аспіранта бачити власне дослідження не лише як дисертаційний текст, а як частину ширшого поля проблем, ресурсів, партнерств і можливого впливу. Це важливо для підготовки дослідника, здатного працювати в умовах міжнародної наукової конкуренції.

Окремо слід зазначити значення грантрайтингу для української освіти. Дослідження грантової діяльності українських університетів підкреслюють роль грантрайтингу в розвитку дослідницької спроможності, співпраці та

конкурентоспроможності заявок (Shykhnenko, 2024). Для STEM-освіти, що часто потребує обладнання, цифрових засобів і партнерської підтримки, ця теза має практичне значення. Уміння залучати ресурси стає не додатком до професійної діяльності, а умовою реалізації багатьох освітніх задумів.

Водночас необхідно уникати утилітарного трактування грантрайтингу. Його не можна зводити до “отримання грошей”. У професійній підготовці він має значення ширше: це навчання бачити проблему, пов'язувати її з доказами, планувати зміни, комунікувати з різними аудиторіями, оцінювати ризики й відповідально заявляти про очікувані результати. Саме тому грантрайтинг є близьким до компетентнісної логіки STEM-освіти, де знання оцінюються через здатність діяти в складних ситуаціях.

Ризики формального впровадження та межі запропонованого підходу

Інтеграція грантрайтингу в підготовку майбутніх фахівців STEM-освіти має ризики. Перший ризик – формалізація. Якщо навчання зводиться до заповнення шаблону без аналізу проблеми, джерел, критеріїв і логіки впливу, здобувач освіти засвоює лише зовнішню форму заявки. У такому разі грантрайтинг не розвиває професійну компетентність, а перетворюється на бюрократичну вправу.

Другий ризик - підміна змісту риторикою. Заявка може бути написана ефектно, але не містити реалістичного плану, належних доказів або чітких результатів. Це особливо небезпечно в умовах активного використання генеративного ШІ, який здатний швидко створювати гладкий текст. Тому навчання грантрайтингу має приділяти увагу не лише стилю, а й перевірці змісту: чи відповідає текст даним, чи узгоджені мета й бюджет, чи не завищено очікуваний вплив, чи є команда спроможною виконати заявлене.

Третій ризик - надмірне орієнтування на конкурси як на зовнішню мету. Якщо здобувачі освіти сприймають грантрайтинг лише як техніку перемоги в конкурсі, може втрачатися освітній сенс цієї діяльності. У підготовці магістрів і аспірантів важливо підкреслювати, що заявка є способом дисциплінованого мислення про проблему, а не лише засобом отримання фінансування. Навіть якщо модельна заявка не подається на реальний конкурс, робота над нею може мати високий навчальний ефект.

Четвертий ризик пов'язаний із нерівністю доступу до досвіду. Частина здобувачів освіти може мати підтримку наукових керівників, брати участь у проєктах, мати добрі мовні навички й мати доступ до міжнародних мереж. Інші можуть не мати такого досвіду. Тому курс або модуль із грантрайтингу має компенсувати ці відмінності через наставництво, приклади, поетапні завдання, взаємодопомогу й прозорі критерії оцінювання.

Межа запропонованого підходу полягає в тому, що стаття має теоретико-аналітичний характер. Вона не містить емпіричної перевірки моделі грантрайтингової компетентності. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розроблення діагностичного інструментарію, апробацію навчального модуля, оцінювання динаміки сформованості компонентів компетентності, порівняння ефективності індивідуального наставництва й групового коучингу, а також аналіз ролі генеративного ШІ у підготовці грантових заявок.

Попри ці обмеження, запропонований підхід дає підстави для зміни акцентів у професійній підготовці. Якщо майбутній фахівець STEM-освіти має бути не тільки виконавцем освітніх програм, а й розробником, дослідником і координатором змін, то грантрайтингова компетентність стає логічним складником його підготовки. Вона поєднує знання, дію, письмо, планування, комунікацію й відповідальність.

ВИСНОВКИ

Навички грантрайтингу доцільно розглядати як спеціальну професійну компетентність майбутніх фахівців STEM-освіти. Такий підхід впливає з характеру сучасної STEM-освіти, яка потребує міждисциплінарних рішень, цифрової інфраструктури, дослідницької культури, командної роботи й ресурсної підтримки. Грантрайтинг у цьому разі виступає не допоміжною технікою оформлення заявки, а способом перетворення освітньої або дослідницької ідеї на аргументований, ресурсно забезпечений і придатний до реалізації проєкт.

У структурі професійної компетентності фахівця STEM-освіти грантрайтинг поєднує предметно-методичний, технологічний, дослідницький, комунікативний, проєктно-управлінський та етичний складники. Його спеціальний статус зумовлений тим, що він має власний предмет діяльності - грантову пропозицію, власні операції - від аналізу конкурсу до бюджетного обґрунтування, і власні критерії якості - відповідність вимогам, доказовість, внутрішню логіку, реалістичність та експертну переконливість.

Запропонована компонентна модель охоплює аналітико-дослідницький, проєктувальний, комунікативно-аргументаційний, фінансово-організаційний, цифровий та етико-рефлексивний компоненти. Така структура може бути використана для розроблення навчальних модулів, критеріїв оцінювання, портфоліо завдань і програм професійного розвитку. Особливу увагу варто приділяти практичній роботі з конкурсними матеріалами, наставництву, взаємооцінюванню, роботі з даними, бюджетуванню та етичному використанню інструментів штучного інтелекту.

Для магістра грантрайтингова компетентність є засобом професійної готовності до розроблення та реалізації освітніх STEM-проєктів. Для аспіранта вона є складником дослідницької автономії, входження в академічну спільноту та здатності представляти власне дослідження у форматі конкурентної проєктної пропозиції. Отже, грантрайтинг має бути представлений у змісті підготовки майбутніх фахівців STEM-освіти не як факультативне вміння, а як спеціальна компетентність, що відповідає вимогам сучасної освіти, науки й професійної практики.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ

Це дослідження не передбачало використання окремих наборів даних.

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Інструменти штучного інтелекту (Perplexity, ChatGPT-5.0) використовувалися під час аналізу наукових джерел та задля граматичної корекції тексту роботи. Усі результати критично переглянуті, перевірені та відредаговані авторами. Автори несуть повну відповідальність за зміст публікації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Baker, V. L. (2025). Academic and grant-writing skill development on the path to professoriate: Recommendations for doctoral students and early-career academics. *Journal of Research in Higher Education*, 4(1), 14. <https://doi.org/10.3390/higheredu4010014>
2. Chang, C.-F., Annisa, N., & Chen, K.-Z. (2024). Pre-service teacher professional education program (PPG) and Indonesian science teachers' TPACK development: A career-path comparative study. *Education and Information Technologies*, 30, 8689–8711. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13160-6>
3. Cunningham, K. (2020). Beyond boundaries: Developing grant writing skills across higher education institutions. *Journal of Research Administration*, 51(2), 70-93. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1293015.pdf>
4. Daniel, K., Msambwa, M. M., & Wen, Z. (2025). Can generative AI revolutionise academic skills development in higher education? A systematic literature review. *European Journal of Education*, 60, e70036. <https://doi.org/10.1111/ejed.70036>
5. Fathi, J., & Rahimi, M. (2024). Utilising artificial intelligence-enhanced writing mediation to develop academic writing skills in EFL learners: A qualitative study. *Computer Assisted Language Learning*, 39(1–2), 263–302. <https://doi.org/10.1080/09588221.2024.2374772>
6. Gavrilas, L., & Kotsis, K. (2025). Integrating learning theories and innovative pedagogies in STEM education: A comprehensive review. *Eurasian Journal of Science and Environmental Education*, 5(1), 11-17. <https://doi.org/10.30935/ejsee/16538>
7. Joseph, O. B., & Uzundu, N. C. (2024). Professional development for STEM educators: Enhancing teaching effectiveness through continuous learning. *International Journal of Applied Research in Social Sciences*, 6(8), 1370. <https://doi.org/10.51594/ijarss.v6i8.1370>
8. Meletiou-Mavrotheris, M., Katzis, K., & Paparistodemou, E. (2024). Sustaining teacher professional learning in STEM. *Education Sciences*, 14(4), 402. <https://doi.org/10.3390/educsci14040402>
9. Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, 108(6), 1017-1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684.x>
10. Pentang, J., & Domingo, J. G. (2024). Research self-efficacy and productivity of select faculty members: Inferences for faculty development plan. *European Journal of Educational Research*, 13(4), 1693-1706. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.13.4.1693>
11. Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>
12. Shykhnenko, K. (2024). Building research capacity and promoting collaboration through grant writing: Lessons from Ukrainian universities. *European Journal of Educational Research*, 13(3), 1261-1274. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.13.3.1261>
13. Stavermann, K. (2024). Online teacher professional development: A research synthesis on effectiveness and evaluation. *Technology, Knowledge and Learning*, 30, 203–240. <https://doi.org/10.1007/s10758-024-09792-9>
14. Weber-Main, A. M., McGee, R., Eide Boman, K., Hemming, J., Hall, M., Unold, T., & others. (2022). Variations of a group coaching intervention to support early-career biomedical researchers in grant proposal development: A pragmatic, four-arm, group-randomized trial. *BMC Medical Education*, 22, 25. <https://doi.org/10.1186/s12909-021-03093-w>
15. Wong, J. T., Bui, N. N., Fields, D. T., & Hughes, B. S. (2022). A learning experience design approach to online professional development for teaching science through the arts: Evaluation of teacher content knowledge, self-efficacy and STEAM perceptions. *Journal of Science Teacher Education*, 33(6), 609-633. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2022.2112552>

| Матеріал надійшов до редакції: 23.02.2026 р. | Прийнято до друку: 11.04.2026 р. | Опубліковано: 30.06.2026 р. |





ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСБИТА (PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION)

p-ISSN: 2413-1571, e-ISSN: 2413-158X

2026, 41(3), <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-02>

STEM-ЕКСПЕРИМЕНТ З МАГНІТНОЇ ЛЕВІТАЦІЇ

Igor LINCHEVSKYI ✉

Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна
igorvl2009@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2896-9580>

Віталій ПЕКЛУН

Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна
vfplvpv@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-5880-8381>

STEM-MAGNETIC LEVITATION EXPERIMENT

Igor LINCHEVSKYI ✉

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
igorvl2009@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2896-9580>

Vitalii PEKLUN

National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
vfplvpv@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-5880-8381>

АНОТАЦІЯ

Формування проблеми. Явище магнітної левітації з використанням високотемпературних надпровідників (ВТНП), дозволяє інтегрувати знання з електродинаміки, фізики твердого тіла й криогенної техніки. Проте його педагогічний потенціал як засобу формування експериментальних компетентностей студентів фізико-математичних спеціальностей залишається недостатньо реалізованим.

Метою статті є розроблення та апробація STEM-орієнтованої лабораторної роботи з фізики на основі явища магнітної левітації з об'ємними ВТНП та емпірична перевірка її впливу на формування компетентностей здобувачів освіти.

Матеріали і методи. Навчальний експеримент реалізовано у формі лабораторної роботи з дослідження магнітної левітації між постійним магнітом і ВТНП за температури рідкого азоту. У дослідженні використано теоретичні та емпіричні методи: аналіз науково-методичної літератури, узагальнення педагогічного досвіду, навчальний фізичний експеримент, спостереження за діяльністю студентів, аналіз результатів експериментальних вимірювань.

Операціоналізація експериментальних компетентностей здійснювалася за чотирма показниками: планувальна; операційно-вимірвальна; аналітична та інтерпретаційно-рефлексивна компетентність. Кожен компонент було операціоналізовано через систему індикаторів та кількісних оцінок. Дослідження виконано у форматі квазіекспериментального педагогічного дослідження з дизайном «до/після» без контрольної групи. Педагогічним впливом виступала STEM-орієнтована лабораторна робота з магнітної левітації. Структура дослідження включала етапи: вхідна діагностика рівня сформованості експериментальних компетентностей; педагогічний вплив — виконання лабораторної роботи з магнітної левітації; підсумкова діагностика за тими самими показниками.

Результати. Порівняльний аналіз результатів до і після виконання лабораторної роботи показав позитивну динаміку за всіма показниками. Частка студентів із високим та достатнім рівнем планування експерименту зростає з 35% до 68%. Рівень сформованості навичок обробки експериментальних даних підвищився з 29% до 71%. Кількість помилок під час інтерпретації результатів зменшилася на 53%.

Висновки. STEM-орієнтована лабораторна робота з магнітної левітації забезпечує статистично значуще покращення результатів навчання та розвиток усіх компонентів експериментальної діяльності.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: магнітна левітація; надпровідність; ефект Мейснера; високотемпературний надпровідник; фізичний експеримент, експериментальні компетентності.

ABSTRACT

Problem formulation. The phenomenon of magnetic levitation using high-temperature superconductors (HTSCs) allows integrating knowledge of electrodynamics, solid-state physics, and cryogenic engineering. However, its pedagogical potential as a means of forming experimental competencies of students of physics and mathematics specialties remains insufficiently realized.

The purpose of the article is to develop and test STEM-oriented laboratory work in physics based on the phenomenon of magnetic levitation with volumetric HTSCs and empirically verify its impact on the formation of competencies of students.

Materials and methods. The educational experiment was implemented in the form of laboratory work on the study of magnetic levitation between a permanent magnet and HTSCs at liquid nitrogen temperatures. The study used theoretical and empirical methods: analysis of scientific and methodological literature, generalization of pedagogical experience, educational physical experiment, observation of students' activities, and analysis of experimental measurement results.

The operationalization of experimental competencies was carried out according to four indicators: planning, operational-measuring, analytical, and interpretative-reflective competence. Each component was operationalized through a system of indicators and quantitative assessments. The study was conducted in the format of a quasi-experimental pedagogical study with a "before/after" design without a control group. The pedagogical influence was STEM-oriented laboratory work on magnetic levitation. The structure of the study included the following stages: initial diagnostics of the level of formation of experimental competencies; pedagogical influence - performance of laboratory work on magnetic levitation; final diagnostics according to the same indicators.

Results. A comparative analysis of the results before and after the laboratory work showed positive dynamics according to all indicators. The share of students with a high and sufficient level of experiment planning increased from 35% to 68%. The level of formation of experimental data processing skills increased from 29% to 71%. The number of errors in interpreting the results decreased by 53%.

Conclusions. STEM-oriented magnetic levitation laboratory work provides a statistically significant improvement in learning outcomes and the development of all components of experimental activity.

KEYWORDS: magnetic levitation; superconductivity; Meissner effect; high-temperature superconductor; physical experiment; experimental competencies.

ДЛЯ ЦИТУВАННЯ: Лінчевський І. Пеклун В. STEM-експеримент з магнітної левітації. *Фізико-математична освіта*, 2026. Том 41. № 3. С. 14-19. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-02>.

FOR CITATION: Linchevskiy, I., & Peklun, V. (2026). STEM-magnetic levitation experiment. *Physical and Mathematical Education*, 41(3), 14-19. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-02>.

ВСТУП

Постановка проблеми. Компетентнісна парадигма сучасної фізико-математичної освіти передбачає орієнтацію освітнього процесу не лише на засвоєння теоретичних знань, а й на формування здатності здобувачів освіти застосовувати їх у практичній та дослідницькій діяльності.

Особливу дидактичну цінність мають експерименти, що демонструють сучасні досягнення фізичної науки та водночас є наочними й методично доступними. Одним із таких прикладів є явище магнітної левітації з використанням високотемпературних надпровідників, яке ґрунтується на квантових властивостях речовини та дозволяє інтегрувати знання з електродинаміки, фізики твердого тіла й криогенної техніки (Локтєв, 2011).

Аналіз актуальних досліджень. Формування експериментальних компетентностей здобувачів фізико-математичної освіти є одним із ключових напрямів модернізації вищої педагогічної школи. У сучасних науково-методичних дослідженнях наголошується, що саме експериментальна діяльність забезпечує інтеграцію теоретичних знань і практичних умінь, сприяє розвитку дослідницького мислення, здатності до аналізу результатів і формування наукового світогляду майбутніх учителів фізики (Локтєв, 2008). У роботах, присвячених надпровідній магнітній левітації, показано, що стабільність положення магніта та величина підйомної сили визначаються не лише мейсснерівським відштовхуванням, а й процесами захоплення та пінінгу магнітного потоку (Hull & Mulcahy, 2020; Zhao et al., 2021). Експериментальні дослідження підтверджують нелінійний і гістерезисний характер силової взаємодії між постійним магнітом (ПМ) і високотемпературним надпровідником, що принципово відрізняє такі системи від класичної магнітної взаємодії. У фундаментальних працях з фізики надпровідності детально розкрито фізичні механізми ефекту Мейсснера, проникнення магнітного поля у надпровідники другого роду та роль пінінгу вихорів Абрикосова у формуванні сил левітації (Kogan, 2020; Prozorov & Kogan, 2021). Зазначені дослідження створюють теоретичне підґрунтя для використання явища магнітної левітації в навчальному експерименті, однак переважно орієнтовані на фізичний аналіз і лише побічно торкаються педагогічних аспектів.

Суттєвий внесок у розвиток експериментальних методів дослідження левітаційних систем зроблено у працях, присвячених чисельному моделюванню та тривимірному аналізу магнітної взаємодії в системах «постійний магніт – надпровідник» (Zhang & Coombs, 2022). Отримані результати відкривають можливості для поєднання реального експерименту з елементами комп'ютерного моделювання у навчальному процесі.

Особливу увагу в сучасних дослідженнях приділено впливу режимів охолодження надпровідника на силові характеристики левітації. Показано, що охолодження за відсутності магнітного поля (Zero Field Cooling) забезпечує максимальні значення підйомної сили, тоді як охолодження в магнітному полі (Field Cooling) сприяє формуванню стабільного положення магніта внаслідок захоплення магнітного потоку (Blatter & Geshkenbein, 2021; Campbell & Evetts, 2020). Такі відмінності мають важливе дидактичне значення, оскільки дозволяють студентам аналізувати вплив передісторії експерименту на його результати. Окремі дослідження зосереджують увагу на формуванні навичок аналізу та інтерпретації експериментальних даних у студентів технічного спрямування. Так, в роботі (Sadovskyy, et al., 2020) розглядають критичні струми в надпровідниках та їх застосування. У низці робіт розглянуто прикладні аспекти використання надпровідної левітації в технічних системах, зокрема в надпровідних магнітних підшипниках і роторних установках (Geng et al., 2022; Kalsi, 2020). Аналіз цих досліджень дає змогу розширити навчальний експеримент шляхом обговорення реальних інженерних застосувань фізичних явищ, що вивчаються. Отже, аналіз наукових публікацій свідчить, що явище магнітної левітації на основі високотемпературних надпровідників є добре дослідженим з фізичної точки зору, проте його педагогічний потенціал як засобу формування експериментальних компетентностей студентів фізико-математичних спеціальностей залишається недостатньо реалізованим. Це зумовлює актуальність цієї роботи та визначає її науково-методичну спрямованість.

Метою статті є розроблення та апробація STEM-орієнтованої лабораторної роботи з фізики на основі явища магнітної левітації з об'ємними ВТНП та емпірична перевірка її впливу на формування експериментальних компетентностей здобувачів освіти.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Дослідження виконано у форматі квазіекспериментального педагогічного дослідження з дизайном «до/після» без контрольної групи. Педагогічним впливом виступала STEM-орієнтована лабораторна робота з магнітної левітації, що передбачала активну експериментальну діяльність здобувачів освіти.

Структура дослідження включала три етапи: вхідна діагностика рівня сформованості експериментальних компетентностей; педагогічний вплив – виконання лабораторної роботи з магнітної левітації; підсумкова діагностика за тими самими показниками.

У дослідженні взяли участь 18 студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальностей фізико-математичного профілю в рамках вибіркової дисципліни «Фізика і техніка низьких температур».

Педагогічний вплив реалізовано через виконання студентами лабораторної роботи, яка мала STEM-орієнтований характер та включала: самостійне формулювання мети експерименту; визначення незалежних і залежних змінних; планування експериментальної процедури; проведення вимірювань в умовах криогенних температур;

обробку експериментальних даних (побудова графіків, оцінка похибок); інтерпретацію результатів з урахуванням фізичних механізмів (ефект Мейсснера, пінінг магнітного потоку).

У дослідженні під експериментальною компетентністю розуміється інтегрована здатність здобувача освіти здійснювати повний цикл фізичного експерименту: від його планування до інтерпретації результатів.

З урахуванням структурного підходу виділено чотири компоненти (експериментальні компетентності): планувальна компетентність; операційно-вимірвальна компетентність; аналітична компетентність; інтерпретаційно-рефлексивна компетентність.

Кожен компонент було операціоналізовано через систему індикаторів та кількісних оцінок (табл. 1).

Оцінювання здійснювалося за бальною шкалою (0-3 бали за кожен індикатор): 0 – відсутність прояву; 1 – низький рівень; 2 – часткове виконання; 3 – повне та коректне виконання.

Інтегральний рівень сформованості визначався у відсотках від максимально можливого балу та інтерпретувався таким чином: 0-25% – низький рівень; 26-49% – середній рівень; 50-74% – достатній рівень; 75-100% – високий рівень.

Для збору емпіричних даних використовувалися: спостереження за діяльністю студентів (за стандартизованою картою); аналіз письмових звітів; результати вхідного та підсумкового діагностичних завдань.

Кількісний аналіз передбачав: розрахунок індивідуальних і групових балів; визначення частки студентів за рівнями сформованості; порівняння результатів до і після педагогічного впливу.

Таблиця 1. Критерії оцінювання експериментальних компетентностей студентів

Компонент компетентності	Індикатори	Критерії оцінювання (0-3 бали)
Планувальна	Формулювання мети; визначення змінних; побудова алгоритму	0 – відсутні; 1 – частково некоректні; 2 – загалом правильні; 3 – повністю коректні
Операційно-вимірвальна	Дотримання техніки безпеки; точність вимірювань; відтворюваність	0 – значні порушення; 1 – помилки; 2 – незначні неточності; 3 – повна коректність
Аналітична	Побудова графіків; обробка даних; оцінка похибок	0 – відсутня; 1 – некоректна; 2 – частково правильна; 3 – повністю правильна
Інтерпретаційно-рефлексивна	Пояснення результатів; зв'язок з теорією; рефлексія	0 – відсутня; 1 – поверхнева; 2 – частково обґрунтована; 3 – повністю аргументована

Джерело: авторська розробка

Для підвищення об'єктивності результатів було застосовано міжекспертну перевірку. Експертами виступили три викладачі фізики, які мають досвід проведення лабораторних занять та оцінювання теоретичної підготовки та експериментальної діяльності студентів (в тому числі один кандидат та один доктор фізико-математичних наук). Оцінювання здійснювалося незалежно кожним експертом на основі єдиної рубрики. Узгодженість експертних оцінок визначалась за допомогою коефіцієнта Cohen's kappa, який склав $k = 0,82$, що відповідає високому рівню узгодженості. Дослідження має обмеження, пов'язані з відсутністю контрольної групи та невеликим обсягом вибірки, що визначає перспективи подальших досліджень із застосуванням розширеного експериментального дизайну.

Методика організації лабораторного експерименту. Навчальний експеримент реалізовано у формі лабораторної роботи з дослідження магнітної левітації між постійним магнітом і високотемпературним надпровідником на основі ітрієвої купратної кераміки $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ (YBCO) за температури рідкого азоту. YBCO є надпровідником з критичною температурою близько 92 К. У роботі може бути застосовано два режими формування надпровідного стану: охолодження за відсутності магнітного поля (ZFC) та охолодження в магнітному полі (FC), що дозволяє порівняти результати та проаналізувати вплив передісторії експерименту на характер силової взаємодії. Також, для порівняння, було представлено можливість дослідити магнітну левітацію між двома однаковими постійними магнітами ($NdFe_{14}B$).

Лабораторна робота з вивчення магнітної левітації виконується з використанням експериментальної установки (Рис.1), яка дозволяє досліджувати силову взаємодію між постійним магнітом і високотемпературним надпровідним зразком за температури рідкого азоту. Конструкція установки забезпечує можливість вимірювання величини левітаційної сили та зазору між об'єктами.

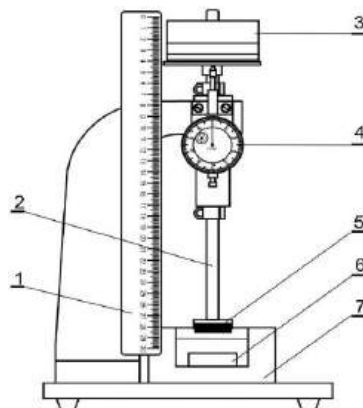


Рис. 1. Установка для вимірювання сили магнітної левітації

1 – лінійка; 2 – шток; 3 – платформа; 4 – мікрометричний індикатор;
5 – постійний магніт; 6 – ВТНП-зразок; 7 – кювета з рідким азотом

Джерело: авторська розробка

Основні елементи установки для вивчення магнітної левітації взаємодіють так. На нижньому кінці штока розташований перший (верхній) постійний магніт. Цей магніт (NdFe_{14}B) є джерелом постійного магнітного поля. Змінні тримачі дозволяють використовувати магніти різних розмірів. У кюветі знаходиться досліджуваний ВТНП-зразок або другий (нижній) постійний магніт (залежно від завдання). На верхньому кінці штока платформа слугує для встановлення вантажів. Відстань ПМ-ПМ або ПМ-ВТНП вимірюється за допомогою лінійки та мікрометричного індикатора.

У процесі експерименту реалізуються два основні режими охолодження надпровідника: охолодження за відсутності магнітного поля та охолодження в магнітному полі. Для реалізації режиму ZFC магніт перебуває віддалено від ВТНП під час охолодження ВТНП. Режим FC створюють при охолодженні ВТНП коли ПМ розташовано на мінімально можливій відстані від ВТНП.

Другий (нижній) магніт може бути як постійним магнітом (NdFe_{14}B), так і магнітом захопленого потоку, на основі ВТНП. В досліді верхній постійний магніт мав форму циліндра висотою 10 мм діаметром 10 мм (ПМ10*10), або діаметром 30мм (ПМ30*10). Як досліджуваний матеріал в роботі використовувався високотемпературний надпровідник II роду на основі ітрієвої купратної кераміки. Експерименти проводилися з об'ємними надпровідними зразками, розміром $40 \times 40 \times 18$ мм. Зразки охолоджувалися до температури рідкого азоту (≈ 77 K), що забезпечує їх перехід у надпровідний стан. Обраний матеріал характеризується високою критичною температурою, значною щільністю пінінгових центрів і вираженим ефектом захоплення магнітного потоку, що дозволяє досліджувати як мейсснерівське відштовхування, так і стабільну левітацію в режимах охолодження ZFC та FC.

Важливим етапом роботи є обробка експериментальних даних, що включає визначення сили взаємодії зразків, побудову графічних залежностей і їх фізичну інтерпретацію. Особлива увага приділяється аналізу відмінностей між ходом кривих сили відштовхування ПМ-ПМ та ПМ-ВТНП.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На рис. 2 та рис.3 представлено залежність сили магнітної левітації від величини зазору Z постійного магніту та ВТНП (крива 1) та взаємодії двох постійних магнітів (крива 2). Результати наведені для режиму охолодження ZFC. Аналогічні результати отримували студенти і для режиму FC.

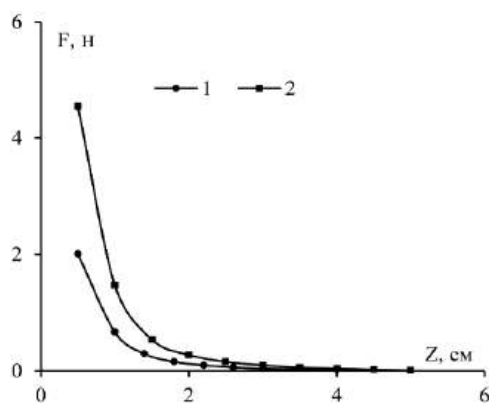


Рис. 2. Залежність сили магнітної взаємодії постійного магніту ПМ10*10 та ВТНП (крива 1) (режим охолодження ZFC) та взаємодії двох постійних магнітів ПМ10*10 (крива 2) від зазору Z

Джерело: авторська розробка

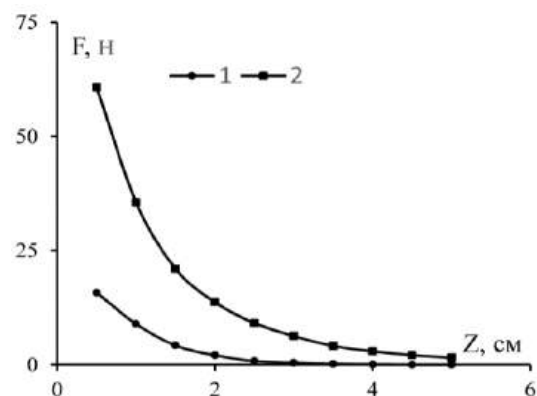


Рис. 3. Залежність сили магнітної взаємодії постійного магніту ПМ30*10 та ВТНП (крива 1) (режим охолодження ZFC) та взаємодії двох постійних магнітів ПМ30*10 (крива 2) від зазору Z

Джерело: авторська розробка

Порівняльний аналіз результатів вхідної та підсумкової діагностики засвідчив позитивну динаміку за всіма компонентами експериментальних компетентностей здобувачів освіти.

Зокрема, частка студентів із достатнім і високим рівнем сформованості планувальної компетентності зростає з 35% до 68%, що свідчить про покращення здатності до постановки мети, визначення змінних та планування експериментальної діяльності.

Рівень сформованості аналітичної компетентності (обробка експериментальних даних) зріс з 29% до 71%, що відображає підвищення якості побудови графіків, аналізу результатів і оцінювання похибок.

Кількість помилок під час інтерпретації результатів зменшилася на 53%, що вказує на розвиток здатності студентів до науково обгрунтованого пояснення отриманих залежностей.

Для перевірки статистичної значущості змін застосовано непараметричний критерій Вілкоксона для зв'язаних вибірок (Wilcoxon signed-rank test), що є адекватним для аналізу даних малої вибірки ($n = 18$) та порядкової шкали оцінювання (Cohen, 2013).

Результати статистичного аналізу показали, що зміни між показниками до та після виконання лабораторної роботи є статистично значущими ($p < 0,05$) за всіма компонентами експериментальних компетентностей.

Для оцінки практичної значущості змін було обчислено розмір ефекту (r). Отримані значення ($r = 0,58-0,67$) відповідають середньому та великому ефекту, що свідчить про суттєвий вплив запропонованого педагогічного підходу.

Найбільші значення ефекту зафіксовано для аналітичної та інтерпретаційної компетентностей, що узгоджується зі змістом лабораторної роботи, орієнтованої на обробку та осмислення експериментальних даних.

У таблиці 2 наведено середні значення та стандартні відхилення показників до і після педагогічного впливу.

Таблиця 2. Динаміка показників експериментальних компетентностей (Mean \pm SD)

Компонент	До експерименту	Після експерименту	p	r
Планувальна	1,4 \pm 0,6	2,3 \pm 0,5	<0,05	0,62
Операційно-вимірювальна	1,6 \pm 0,5	2,4 \pm 0,4	<0,05	0,58
Аналітична	1,3 \pm 0,7	2,5 \pm 0,5	<0,05	0,67
Інтерпретаційна	1,2 \pm 0,6	2,4 \pm 0,5	<0,05	0,64

Джерело: авторська розробка

Аналіз діяльності студентів та їхніх письмових звітів показав, що після виконання лабораторної роботи: підвищився рівень самостійності у плануванні експерименту; покращилась точність і усвідомленість вимірювань; сформувалися навички коректної обробки експериментальних даних; зросла здатність до фізично обґрунтованої інтерпретації результатів. Студенти продемонстрували розуміння впливу режимів охолодження (ZFC/FC) та здатність пояснювати результати через механізми ефекту Мейснера та пінінгу магнітного потоку.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

STEM-орієнтована лабораторна робота з магнітної левітації є ефективним засобом формування експериментальних компетентностей здобувачів фізико-математичної освіти. Її впровадження забезпечує статистично значуще покращення результатів навчання та розвиток усіх компонентів експериментальної діяльності.

Найбільша позитивна динаміка спостерігається для аналітичної та інтерпретаційної компетентностей аналізу та інтерпретації експериментальних даних. Інтеграція фізичного експерименту та безпечних протоколів роботи з криогенними речовинами забезпечує комплексне формування компетентностей здобувачів освіти.

Аналіз режимів охолодження ZFC та FC сприяє глибшому розумінню фізичних механізмів левітації та ролі пінінгу магнітних вихорів. Порівняння результатів дозволяє продемонструвати студентам принципову відмінність між класичною магнітною взаємодією та квантовими механізмами, що лежать в основі магнітної левітації надпровідників.

Аналіз отриманих результатів взаємодії ПМ-ВТНП та ПМ-ПМ сприяє формуванню вмінь інтерпретації експериментальних даних, розвитку дослідницького мислення. Методика має міждисциплінарний характер, забезпечує інтеграцію знань з електродинаміки, квантової фізики та фізики твердого тіла, що відповідає сучасним вимогам до професійної підготовки майбутніх учителів фізики в закладах вищої освіти.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на: розширення вибірки та використання контрольних груп; впровадження змішаних методів дослідження; інтеграцію комп'ютерного моделювання у лабораторний експеримент; дослідження довготривалого впливу STEM-підходів на професійну підготовку майбутніх учителів фізики.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють про відсутність фінансових, особистих чи інших інтересів, що можуть розглядатися як потенційний конфлікт інтересів щодо публікації цієї статті.

ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Робота виконана за відсутності фінансової підтримки з боку будь-яких організацій

ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ

Це дослідження не передбачало використання окремих наборів даних.

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Використовувався ChatGPT для поліпшення якості мови. Автори критично перевірили та відредагували отриманий контент і несуть повну відповідальність за його зміст.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Локтев, В. М. (2011). *Лекції з фізики надпровідності*. Київ. https://bitp.kiev.ua/files/doc/lectures/lecture_01.pdf
2. Portillo-Blanco, A., Deprez, H., De Cock, M., Guisasaola, J., & Zuza, K. (2024). A systematic literature review of integrated STEM education: Uncovering consensus and diversity in principles and characteristics. *Education Sciences*, 14(9), 1028. <https://doi.org/10.3390/educsci14091028>
3. Ješková, Z., Lukáč, S., Šnajder, L., Guniš, J., Klein, D., & Kireš, M. (2022). Active learning in STEM education with regard to the development of inquiry skills. *Education Sciences*, 12(10), 686. <https://doi.org/10.3390/educsci12100686>
4. Pujol-Vázquez, G., Vargas, A. N., Mobayen, S., & Acho, L. (2021). Semi-active magnetic levitation system for education. *Applied Sciences*, 11(12), 5330. <https://doi.org/10.3390/app11125330>
5. Xu, Q., Lin, Y., Tan, Y., & Geng, J. (2025). Tunable superconducting magnetic levitation with self-stability. *Superconductor Science and Technology*, 38(12). <https://doi.org/10.1088/1361-6668/ae2390>
6. Strehlow, C. P., & Sullivan, M. C. (2009). A classroom demonstration of levitation and suspension of a superconductor over a magnetic track. *American Journal of Physics*, 77(9), 847–851. <https://doi.org/10.1119/1.3095809>
7. Flux pinning and quantum levitation demonstration. (n.d.). YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=xWyNPPHkBJE>
8. Osorio, M. R., Lahera, D. E., & Suderow, H. (2012). Magnetic levitation on a type-I superconductor as a practical demonstration experiment for students. *European Journal of Physics*, 33(5). <https://doi.org/10.1088/0143-0807/33/5/1383>
9. Kim, C.-J. (2019). *Superconductor levitation: Concepts and experiments*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-6768-7>

10. Ramli, M., Novalya, A. D., Indriyanti, N. Y., & Wichaidit, S. (2024). *The validity and practical test of STEM@Home learning design to empower student's science literacy*. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 10(1), 86–97. <https://scholarhub.uny.ac.id/cgi/viewcontent.cgi?article=1234&context=iipi>
11. Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>

REFERENCES

1. Loktiev, V. M. (2011). *Leksii z fizyky nadprovidnosti [Lectures on superconductivity physics]*. Kyiv. URL: https://bitp.kiev.ua/files/doc/lectures/lecture_01.pdf (in Ukrainian)
2. Portillo-Blanco, A., Deprez, H., De Cock, M., Guisasola, J., & Zuza, K. (2024). *A systematic literature review of integrated STEM education: Uncovering consensus and diversity in principles and characteristics*. *Education Sciences*, 14(9), 1028. <https://doi.org/10.3390/educsci14091028>
3. Ješková, Z., Lukáč, S., Šnajder, Ľ., Guniš, J., Klein, D., & Kireš, M. (2022). *Active learning in STEM education with regard to the development of inquiry skills*. *Education Sciences*, 12(10), 686. <https://doi.org/10.3390/educsci12100686>
4. Pujol-Vázquez, G., Vargas, A. N., Mobayen, S., & Acho, L. (2021). *Semi-active magnetic levitation system for education*. *Applied Sciences*, 11(12), 5330. <https://doi.org/10.3390/app11125330>
5. Xu, Q., Lin, Y., Tan, Y., & Geng, J. (2025). *Tunable superconducting magnetic levitation with self-stability*. *Superconductor Science and Technology*, 38(12). <https://doi.org/10.1088/1361-6668/ae2390>
6. Strehlow, C. P., & Sullivan, M. C. (2009). *A classroom demonstration of levitation and suspension of a superconductor over a magnetic track*. *American Journal of Physics*, 77(9), 847–851. <https://doi.org/10.1119/1.3095809>
7. *Flux pinning and quantum levitation demonstration*. (n.d.). YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=xWYnPPHkBJE>
8. Osorio, M. R., Lahera, D. E., & Suderow, H. (2012). *Magnetic levitation on a type-I superconductor as a practical demonstration experiment for students*. *European Journal of Physics*, 33(5). <https://doi.org/10.1088/0143-0807/33/5/1383>
9. Kim, C.-J. (2019). *Superconductor levitation: Concepts and experiments*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-6768-7>
10. Ramli, M., Novalya, A. D., Indriyanti, N. Y., & Wichaidit, S. (2024). *The validity and practical test of STEM@Home learning design to empower student's science literacy*. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 10(1), 86–97. <https://scholarhub.uny.ac.id/cgi/viewcontent.cgi?article=1234&context=iipi>
11. Cohen, J. (2013). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>

| Матеріал надійшов до редакції: 18.01.2026 р. | Прийнято до друку: 15.04.2026 р. | Опубліковано: 30.06.2026 р. |



ЦИФРОВІ ІНСТРУМЕНТИ У МУЛЬТИЛІНГВАЛЬНОМУ ОСВІТНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ ПІДГОТОВКИ СУЧАСНОГО ФАХІВЦЯ

Діана СМУЖАНИЦЯ

ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна
diana.smujanytsya@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-3342-6927>

DIGITAL TOOLS IN A MULTILINGUAL EDUCATIONAL ENVIRONMENT IN THE TRAINING OF A MODERN PROFESSIONAL

Diana SMUZHANYTSIA

State University "Uzhhorod National University", Ukraine
diana.smujanytsya@uzhnu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-3342-6927>

АНОТАЦІЯ

Постановка проблеми. Професійна підготовка сучасного фахівця дедалі частіше відбувається в умовах цифрово опосередкованої, багатомовної та міжкультурної взаємодії. Фахівець працює з цифровими джерелами, хмарними сервісами, платформами для співпраці, системами машинного перекладу, генеративним штучним інтелектом і мультимодальним контентом. Водночас цифровізація і мультилінгвалізм у вищій освіті нерідко розвиваються паралельно: цифрові дисципліни зосереджуються на технологічних операціях, а мовна підготовка часто відокремлена від професійних завдань. Це створює потребу в обґрунтуванні інтегрованого підходу, у якому цифрові інструменти й мультилінгвальні практики розглядаються як взаємозалежні засади професійної підготовки.

Матеріали і методи. Дослідження має теоретико-аналітичний характер. Використано методи аналізу наукових і нормативно-методичних джерел, порівняння підходів до цифрової та плурилінгвальної компетентностей, категоризації цифрових інструментів, концептуального синтезу та педагогічного моделювання.

Результати. Уточнено сутність мультилінгвального освітнього середовища як системи ресурсів, взаємодій і діяльностей, у якій кілька мов функціонально використовуються для пізнання, професійної комунікації, медіації, співпраці та створення цифрового продукту. Систематизовано інформаційно-пошукову, комунікаційно-коллаборативну, перекладацько-медіаційну, продуктивно-творчу, адаптивно-підтримувальну, аналітико-оцінювальну та рефлексивно-етичну функції цифрових інструментів. Запропоновано матрицю їх використання, у якій групи засобів співвіднесено з мультилінгвальними практиками, професійними завданнями та результатами навчання. Обґрунтовано дуальність цифровізації та мультилінгвалізму як функціональну взаємозалежність цифрового інструменту, багатомовної діяльності, професійного завдання й рефлексивної перевірки результату. Визначено педагогічні умови реалізації підходу: професійну спрямованість мультилінгвальних завдань, функціональне використання мовного репертуару здобувачів освіти, узгодження цифрових інструментів із результатами навчання, критичне застосування машинного перекладу й генеративного ШІ, міжкультурну взаємодію, мультимодальність, доступність, рефлексивне оцінювання, готовність викладачів та інституційну підтримку.

Висновки. Доведено, що інтегрований цифрово-мультилінгвальний підхід формує не суму окремих умінь, а здатність відповідально діяти в складному професійному середовищі, мовно гнучко й технологічно обґрунтовано. Окреслено ризики, пов'язані з цифровою та мовною нерівністю, автоматизацією, авторством, конфіденційністю, валідністю оцінювання та інституційною сталістю.

ABSTRACT

Problem statement. The professional training of modern specialists increasingly takes place in digitally mediated, multilingual, and intercultural environments. Specialists work with digital sources, cloud services, collaborative platforms, machine translation systems, generative artificial intelligence, and multimodal content. At the same time, digitalization and multilingualism in higher education often develop in parallel rather than in an integrated way: digital courses tend to focus on technological operations, whereas language training is frequently separated from professional tasks. This creates a need to justify an integrated approach in which digital tools and multilingual practices are considered interdependent foundations of professional training.

Materials and methods. The study is theoretical and analytical. It employs the analysis of scholarly and policy-related sources, comparison of approaches to digital and plurilingual competences, categorization of digital tools, conceptual synthesis, and pedagogical modeling.

Results. The article clarifies the concept of a multilingual educational environment as a system of resources, interactions, and activities in which several languages are functionally used for cognition, professional communication, mediation, collaboration, and the creation of a digital product. The functions of digital tools in such an environment are systematized as information-search, communication-collaboration, translation-mediation, productive-creative, adaptive-support, analytical-assessment, and reflective-ethical functions. The study proposes a matrix for the use of digital tools, linking groups of tools with multilingual practices, professional tasks, and learning outcomes. The duality of digitalization and multilingualism is substantiated as a functional interdependence of a digital tool, multilingual activity, a professional task, and reflective verification of the result. The article also identifies pedagogical conditions for implementing the integrated approach: professionally oriented multilingual tasks, functional use of learners' linguistic repertoires, alignment of digital tools with learning outcomes, critical use of machine translation and generative AI, intercultural interaction, multimodality, accessibility, reflective assessment, teacher readiness, and institutional support.

Conclusions. The integrated digital-multilingual approach is shown to develop not a set of isolated skills, but the ability to act in a complex professional environment in a responsible, linguistically flexible, and technologically grounded way. The study also outlines risks related to digital and linguistic inequality, automation, authorship, confidentiality, assessment validity, and institutional sustainability.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: цифрові інструменти; мультилінгвальне освітнє середовище; мультилінгвальний підхід; цифрова компетентність; плурлінгвальна компетентність; професійна підготовка; генеративний штучний інтелект; міжкультурна комунікація.

KEYWORDS: digital tools; multilingual educational environment; multilingual approach; digital competence; plurilingual competence; professional training; generative artificial intelligence; intercultural communication.

ДЛЯ ЦИТУВАННЯ: Смузжаниця Д. Цифрові інструменти у мультилінгвальному освітньому середовищі підготовки сучасного фахівця. *Фізико-математична освіта*, 2026. Том 41. № 3. С. 20-28. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-03>.

FOR CITATION: Smuzhanytsia, D. (2026). Digital tools in a multilingual educational environment in the training of a modern professional. *Physical and Mathematical Education*, 41(3), 20-28. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-03>.

ВСТУП

Постановка проблеми. Цифрова трансформація економіки, науки, управління й соціальної комунікації змінює не лише набір інструментів професійної діяльності, а й сам спосіб виробництва, перевірки та поширення знань. Фахівець працює з цифровими даними, платформами спільної діяльності, автоматизованими системами перекладу, генеративним штучним інтелектом і мультимодальним контентом. Водночас професійні команди стають територіально розподіленими, культурно різноманітними й багатомовними. За цих умов здатність діяти лише в межах однієї мови або лише технічно користуватися цифровими засобами вже не забезпечує повноцінної професійної участі.

Зміни охоплюють не лише технічне оснащення освіти, а й способи організації навчання, професійної взаємодії та відповідальності її учасників. Розвиток хмарних технологій розширює можливості віртуалізації освітнього процесу, спільної роботи, використання штучного інтелекту та візуалізації навчального матеріалу (Yurchenko et al., 2023b). Інтерактивні цифрові засоби змінюють характер подання змісту й взаємодії учасників освітнього процесу, посилюючи вимоги до методично обґрунтованого вибору технології, а не лише до її технічного використання (Rudenko et al., 2024). Водночас цифрове середовище створює передумови для побудови індивідуальних освітніх траєкторій, що потребує від фахівця здатності самостійно визначати цілі, добирати ресурси, планувати діяльність і коригувати її результати (Yurchenko et al., 2023a). Ці можливості супроводжуються моральними, етичними та академічними викликами, оскільки робота з цифровим контентом, даними й алгоритмічними системами передбачає відповідальність за достовірність інформації, авторство, академічну доброчесність і наслідки технологічно опосередкованих рішень (Semenikhina, 2025). Отже, цифрова трансформація підготовки фахівця не може бути зведена до засвоєння окремих інструментів: вона потребує поєднання технологічної готовності з комунікативною, рефлексивною та етичною зрілістю.

Європейська рамка цифрової компетентності DigComp 2.2 пов'язує цифрову компетентність із упевненим, критичним, безпечним і відповідальним використанням технологій, охоплюючи роботу з інформацією і даними, комунікацію та співпрацю, створення цифрового контенту, безпеку і розв'язування проблем (Vuorikari et al., 2022). У новітній версії DigComp 3.0 посилено увагу до систем штучного інтелекту, дезінформації, цифрових прав і спроможності діяти в алгоритмічно керованому середовищі (European Commission, Joint Research Centre, 2025). Мовний вимір у цих процесах не є зовнішнім доповненням: пошук інформації, комунікація, створення змісту й співпраця завжди здійснюються певною мовою або кількома мовами.

Паралельно змінюється розуміння багатомовності в освіті. У Companion Volume до Загальноєвропейських рекомендацій з мовної освіти здобувач освіти розглядається як соціальний агент, який використовує цілісний мовний і культурний репертуар, здійснює медіацію, взаємодіє з різними аудиторіями та добирає ресурси відповідно до завдання (Council of Europe, 2020). Таке розуміння виходить за межі послідовного вивчення окремих мов. Воно передбачає функціональне використання доступних мовних ресурсів для розв'язання навчальної або професійної проблеми.

У практиці вищої освіти цифровізація і мультилінгвалізм нерідко розвиваються паралельно, але не інтегровано. Цифрові дисципліни зосереджуються на технологічних операціях, а мовна підготовка часто відокремлена від реальних професійних процесів. Унаслідок цього здобувач освіти може володіти платформою, але не вміти адаптувати повідомлення до іншомовної аудиторії; користуватися машинним перекладом, але не перевіряти термінологічну й смислову точність; генерувати текст за допомогою ШІ, але не оцінювати мовні упередження, культурну доречність і достовірність результату. Проблема полягає не в нестачі окремих умінь, а в недостатній узгодженості двох складників професійної підготовки. Тому потребує обґрунтування інтегрований підхід, за якого цифрові інструменти використовуються для організації багатомовної роботи з інформацією, професійної комунікації, медіації, спільного створення продуктів і рефлексії. Мультилінгвальний підхід, зі свого боку, надає цифровій діяльності мовної, культурної та етичної визначеності. Саме така взаємозалежність становить зміст дуальності «цифровізація + мультилінгвалізм».

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження, дотичні до проблеми, розвиваються у кількох напрямках, які тривалий час існували майже автономно: дослідження цифрової компетентності, плурлінгвальної освіти, технологічно опосередкованої міжкультурної взаємодії, мультилінгвального оцінювання та педагогічного використання штучного інтелекту. Їхнє зіставлення показує поступовий перехід від інструментального розуміння цифровізації й адитивного трактування багатомовності до діяльнісних моделей, у яких цифрові, мовні, когнітивні та етичні дії утворюють єдиний професійний процес.

У працях із цифрової компетентності вже усталилося положення про її багатовимірність. Рамка DigComp 2.2 охоплює інформаційну грамотність, комунікацію і співпрацю, створення цифрового контенту, безпеку та розв'язування проблем (Vuorikari et al., 2022). Систематичний огляд Zhao et al. (2021) також засвідчив, що у вищій освіті цифрову компетентність не можна надійно вимірювати через технічну вправність або частоту використання застосунків. До її структури входять критичне оцінювання інформації, комунікаційна відповідальність, творчість і здатність переносити цифрові дії між ситуаціями. Це має пряме значення для мультилінгвального середовища: вибір мови запиту, інтерпретація іншомовного джерела, переклад і адаптація цифрового продукту є не зовнішніми мовними операціями, а складниками

інформаційної та комунікаційної діяльності.

Плурилінгвальна парадигма, представлена в документах Ради Європи, зміщує увагу з окремого володіння кількома мовами на здатність особи мобілізувати цілісний мовний і культурний репертуар відповідно до мети взаємодії. CEFR Companion Volume вводить дескриптори медіації, онлайн-взаємодії та плурилінгвальної/плюрикультурної компетентності, що дозволяє описувати перехід між мовами, пояснення понять, переформулювання інформації та створення умов для взаєморозуміння як самостійні результати навчання (Council of Europe, 2020). Li Wei (2018) розвиває цю логіку через поняття *translanguaging*, наголошуючи, що в реальній комунікації людина використовує не ізольовані мовні системи, а весь доступний мовно-семіотичний репертуар. Для професійної підготовки це означає, що багатомовність має проявлятися не лише у вивченні термінів, а у виконанні складних дій: пошуку, зіставленні, поясненні, переговорах, локалізації та спільному створенні змісту.

Водночас між декларованим плурилінгвальним поворотом і реальною освітньою практикою зберігається суперечність. Melo-Pfeifer і Ollivier (2025) показують, що викладання поступово визнає цілісний мовний репертуар здобувача освіти, тоді як оцінювання часто залишається монолінгвальним і перевіряє мови окремо. Автори розрізняють оцінювання плурилінгвальної особи та оцінювання власне плурилінгвальної компетентності й доводять потребу в інтегрованих завданнях із міжмовної медіації. Це положення є суттєвим для нефілологічної освіти: коли фахове знання перевіряється лише мовою, якою здобувач володіє слабше, результат може відображати мовний бар'єр, а не рівень професійного мислення. Отже, інтеграція мультілінгвалізму потребує перегляду не тільки змісту навчання, а й критеріїв оцінювання.

Дослідження віртуального обміну та Collaborative Online International Learning розкривають діяльнісний механізм поєднання цифрової і міжкультурно-мовної підготовки. O'Dowd (2018, 2021, 2023) показує, що міжнародна онлайн-взаємодія розвиває комунікативну, цифрову й міжкультурну компетентності за умови тривалої співпраці, взаємозалежного завдання, педагогічної фасилітації та рефлексії. Сам факт підключення до відеоконференції не дає відповідних результатів. Освітній ефект виникає тоді, коли учасники мають узгоджувати значення, пояснювати локальні практики, адаптувати спосіб аргументації та спільно відповідати за результат. У цьому аспекті цифровий інструмент є інфраструктурою, а мультілінгвальна медіація — механізмом професійної взаємодії.

Окремий масив праць стосується генеративного ШІ та великих мовних моделей. UNESCO розглядає їх як потенційний засіб персоналізації, мовної підтримки й створення контенту, але пов'язує доцільність їх використання з людиноцентричністю, захистом даних, прозорістю та збереженням людської відповідальності (Miao & Holmes, 2023). Огляд Lee et al. (2024) деталізує джерела упереджень упродовж усього життєвого циклу мовної моделі: від складу навчальних даних до налаштувань, інтерфейсу й конкретного освітнього застосування. Для мультілінгвальної освіти ця проблема загострюється через нерівне представлення мов у корпусах і відмінну якість генерації, перекладу та зворотного зв'язку.

Емпіричні дані підтверджують, що позначення моделі як мультілінгвальної не гарантує однакової педагогічної надійності для різних мов. Gupta et al. (2025) порівняли мовні моделі під час виявлення помилкових уявлень, надання цільового зворотного зв'язку, інтерактивного тьюторингу та оцінювання перекладу кількома мовами, зокрема українською. Результати вказують на зв'язок між якістю виконання освітніх завдань і представленістю мови в тренувальних даних; автори рекомендують перевіряти конкретну модель для визначеної мови й педагогічної функції перед її впровадженням. Це спростовує поширене припущення про універсальність генеративного ШІ та обґрунтовує введення мовно специфічної валідації як умови його використання.

Отже, наукові праці окреслюють три взаємопов'язані зміни. По-перше, цифрова компетентність розглядається як критична й соціально відповідальна діяльність, а не як володіння сервісами. По-друге, мультілінгвалізм трактується як динамічне використання мовного репертуару та міжмовна медіація, а не як сума автономних мовних компетентностей. По-третє, цифрові технології, особливо генеративний ШІ, одночасно розширюють можливості багатомовної взаємодії й відтворюють мовну нерівність. Однак у більшості досліджень ці процеси аналізуються або в межах мовної освіти, або як загальні проблеми цифрової трансформації. Недостатньо розробленою залишається модель, що пояснює їх інтеграцію у професійній підготовці фахівців нефілологічних спеціальностей, пов'язує тип цифрового інструменту з мультілінгвальною практикою, професійним завданням, оцінюванням і очікуваним результатом. На заповнення цієї прогалини спрямоване пропонуване дослідження.

Мета статті полягає в теоретичному обґрунтуванні взаємозалежності цифровізації та мультілінгвалізму в професійній підготовці фахівця, систематизації функцій цифрових інструментів у мультілінгвальному освітньому середовищі та визначенні педагогічних умов їх інтегрованого використання.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досягнення мети застосовано комплекс взаємопов'язаних методів: теоретичний аналіз наукових і нормативно-методичних джерел; порівняння підходів до цифрової та плурилінгвальної компетентностей; категоризацію цифрових інструментів за їх педагогічними функціями; концептуальний синтез для встановлення зв'язків між цифровою діяльністю, мовною медіацією та професійними результатами; педагогічне моделювання для побудови матриці інтегрованого використання інструментів.

Дослідження має теоретико-аналітичний характер. Його результатом є модель організації навчальної діяльності, придатна для адаптації до різних спеціальностей. У межах статті поняття «сучасний фахівець» використовується узагальнено і стосується випускника вищої освіти, професійна діяльність якого передбачає цифрово опосередковану роботу з інформацією, взаємодію з різними аудиторіями та участь у багатомовних або міжнародних професійних процесах.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мультилінгвальне освітнє середовище доцільно визначати як організовану сукупність умов, ресурсів, взаємодій і практик, у межах яких кілька мов функціонально залучаються до пізнання, комунікації, медіації та створення професійного продукту. Його ознакою є не сама присутність іншомовних матеріалів, а систематичне використання мовного репертуару для розв'язання змістових завдань. Таке середовище має щонайменше чотири виміри. Перший, ресурсний, охоплює джерела, термінологічні бази, цифрові корпуси, мультимедійні матеріали й відкриті курси різними мовами. Другий, комунікаційний, передбачає взаємодію з носіями різних мов, міжнародними партнерами, експертами й професійними спільнотами. Третій, діяльнісний, пов'язаний зі створенням продуктів: аналітичних записок, презентацій, проєктів, інструкцій, цифрових історій, звітів або прототипів для різних мовних аудиторій. Четвертий, рефлексивно-етичний, охоплює оцінювання точності, культурної доречності, авторства, мовної рівності та алгоритмічних обмежень.

Мультилінгвальний підхід у такому середовищі не вимагає однаково високого рівня володіння всіма мовами. Він передбачає диференційоване й доцільне використання мовних ресурсів: одна мова може бути потрібна для пошуку джерел, інша для командної взаємодії, третя для представлення результату локальній аудиторії. Професійна компетентність виявляється у здатності переміщувати зміст між мовами, жанрами, модальностями й групами адресатів без втрати змісту.

Цифрові інструменти розширюють це середовище, оскільки зменшують просторові й часові бар'єри, забезпечують доступ до іншомовних джерел, підтримують переклад, дають змогу створювати мультимодальні продукти та організовувати міжнародну співпрацю. Проте технологія не гарантує мультилінгвальності автоматично. Платформа може бути використана монолінгвально, а машинний переклад може підмінити осмислення. Тому вирішальним є педагогічний дизайн завдання.

Систематизація цифрових інструментів лише за технічними типами швидко застаріває. Педагогічно продуктивніше класифікувати їх за функціями, які вони виконують у мультилінгвальній професійній підготовці (рис. 1).

Інформаційно-пошукова функція	<ul style="list-style-type: none"> • полягає в доступі до джерел різними мовами, порівнянні національних і міжнародних підходів, роботі з цифровими бібліотеками, науковими базами, корпусами, професійними порталами та відкритими даними. Здобувач освіти має не лише знаходити інформацію, а й визначити мову ефективного пошуку, добирати синонімічні терміни, зіставляти результати й оцінювати надійність джерела.
Комунікаційно-колаборативна функція	<ul style="list-style-type: none"> • реалізується через системи відеозв'язку, хмарні документи, дошки спільної роботи, форуми, чати та платформи керування проєктами. У мультилінгвальному середовищі ці засоби використовуються для розподілу ролей, узгодження понять, ведення переговорів, спільного письма й презентації результатів міжнародній аудиторії.
Перекладацько-медіаційна функція	<ul style="list-style-type: none"> • охоплює машинний переклад, електронні словники, термінологічні бази, субтитрування, розпізнавання й синтез мовлення. Їх використання має бути спрямоване не на механічну заміну людського рішення, а на порівняння варіантів, перевірку термінології, пояснення складного змісту й адаптацію повідомлення до адресата.
Продуктивно-творча функція	<ul style="list-style-type: none"> • пов'язана зі створенням багатомовного текстового, візуального, аудіо- та відеоконтенту. Інструменти дизайну, презентації, монтажу, подкастингу й генеративного ШІ дають змогу перетворювати професійне знання на різні жанри: від інфографіки й пітч до інструкції, аналітичного звіту або публічного пояснення.
Адаптивно-підтримувальна функція	<ul style="list-style-type: none"> • полягає в наданні мовних підказок, прикладів, пояснень, автоматизованого зворотного зв'язку, персоналізованих вправ і альтернативних форматів представлення інформації. Вона підвищує доступність навчання, але потребує контролю, щоб допомога не усувала інтелектуальне зусилля.
Аналітико-оцінювальна функція	<ul style="list-style-type: none"> • охоплює відстеження участі, аналіз версій спільного документа, мовну аналітику, взаємооцінювання, електронні рубрики й портфоліо. Для мультилінгвальних завдань важливо оцінювати не лише мовну правильність, а й точність передачі змісту, відповідність жанру, доречність стратегії медіації та якість цифрового продукту.
Рефлексивно-етична функція	<ul style="list-style-type: none"> • передбачає фіксацію рішень щодо використання перекладу й ШІ, пояснення внеску кожного учасника, аналіз помилок, перевірку упереджень і дотримання академічної доброчесності. Саме ця функція перетворює технологічну вправність на відповідальну професійну дію.

Рис. 1. Функції цифрових інструментів у мультилінгвальній професійній підготовці фахівця

Джерело: авторська розробка

Виокремлені функції не існують ізольовано. У реальній освітній діяльності один цифровий інструмент може одночасно забезпечувати пошук інформації, комунікацію, переклад, створення змісту й оцінювання, а та сама функція може реалізовуватися за допомогою різних технологічних засобів. Тому педагогічна доцільність цифрового інструменту визначається не його технічними характеристиками самі по собі, а тим, наскільки він відповідає професійному завданню, підтримує роботу з кількома мовами та сприяє досягненню запланованого освітнього результату.

У мультилінгвальному освітньому середовищі цифровий інструмент доцільно розглядати як складник цілісної діяльнісної конструкції, що охоплює чотири взаємопов'язані елементи: технологічний засіб, мультилінгвальну практику, професійно орієнтоване завдання та очікуваний результат підготовки. Такий підхід дає змогу уникнути фрагментарного використання технологій, коли опанування окремого сервісу підмінює формування компетентності, а мовна діяльність зводиться до перекладу або відтворення готового тексту.

Для узагальнення встановлених взаємозв'язків розроблено матрицю використання цифрових інструментів у мультилінгвальній професійній підготовці. У ній групи цифрових засобів співвіднесено з типовими мультилінгвальними практиками, професійними завданнями та результатами навчання. Представлена систематизація не передбачає жорсткого закріплення певної функції за одним інструментом. Вона відображає переважний спосіб його педагогічного застосування і може конкретизуватися відповідно до спеціальності, змісту освітнього компонента, мовного репертуару здобувачів освіти та доступної цифрової інфраструктури (табл. 1).

Таблиця 1. Матриця використання цифрових інструментів у мультилінгвальній професійній підготовці

<i>Група інструментів</i>	<i>Мультилінгвальна практика</i>	<i>Професійне завдання</i>	<i>Очікуваний результат</i>
Пошукові системи, наукові бази, цифрові бібліотеки, корпуси	Пошук і зіставлення джерел різними мовами; термінологічне картування	Підготувати огляд підходів або рішень у кількох країнах	Інформаційна грамотність; робота з іншомовними джерелами; критична перевірка
Хмарні документи, платформи спільної роботи, системи керування проєктами	Спільне письмо, переговори, узгодження термінів і ролей	Розробити командний проєкт із міжнародними партнерами	Цифрова співпраця; міжкультурна комунікація; відповідальність за спільний продукт
Машинний переклад, електронні словники, термінологічні бази	Переклад, постредагування, порівняння варіантів, медіація	Адаптувати професійний документ для іншої мовної аудиторії	Термінологічна точність; медіаційна компетентність; критичне ставлення до автоматизованого результату
Генеративний ШІ та мовні моделі	Створення чернеток, переформулювання, мовна адаптація, моделювання діалогу	Підготувати кілька версій повідомлення для різних аудиторій і перевірити їх	ШІ-грамотність; редакторська компетентність; фактчекінг; усвідомлення мовних упереджень
Відеоконференції, платформи віртуального обміну, COIL	Синхронна й асинхронна міжкультурна взаємодія	Спільно розв'язати професійний кейс із партнерами з іншої країни	Міжкультурна компетентність; усна медіація; цифровий етикет
Інструменти дизайну, презентації, відео- й аудіомонтажу	Мультиmodalьне представлення змісту кількома мовами	Створити інфографіку, відеопояснення або пітч для різних груп адресатів	Мультиmodalьна грамотність; жанрова адаптація; публічна професійна комунікація
Електронні портфоліо, рубрики, аналітика навчання	Самооцінювання й взаємооцінювання багатомовної цифрової діяльності	Обґрунтувати вибір мови, інструменту та стратегії виконання	Рефлексія; академічна доброчесність; здатність аргументувати професійне рішення

Джерело: авторська розробка

Поняття дуальності в цій статті означає взаємну необхідність і функціональне переплетення двох засад, а не їх формальне сусідство в освітній програмі. Цифровізація без мультилінгвального складника може обмежитися технічною вправністю: здобувач освіти опановує програму, але не розуміє, як мова інтерфейсу, даних або запиту впливає на результат. Мультилінгвалізм без цифрового складника, своєю чергою, не відтворює реальних умов професійної діяльності, де комунікація відбувається через платформи, автоматизовані перекладачі, інформаційні системи та ШІ. Перший зв'язок між компонентами є інформаційним. Професійно значущі знання розподілені між мовами нерівномірно. Здатність сформулювати пошуковий запит різними мовами, зіставити терміни й перевірити переклад безпосередньо впливає на повноту інформаційної бази для ухвалення рішення. Другий зв'язок є комунікаційним. Цифрові платформи забезпечують канал взаємодії, але ефективність співпраці залежить від мовного вибору, чіткості повідомлення, дотримання комунікативних норм і здатності врегулювати непорозуміння. Мультилінгвальна компетентність надає цифровій комунікації соціальної точності. Третій зв'язок є продуктивним. Створення цифрового продукту для глобальної аудиторії потребує локалізації, а не лише буквального перекладу. Треба врахувати жанр, систему термінів, культурні асоціації, візуальні коди, рівень спеціалізованості й доступність. Четвертий зв'язок є когнітивним. Перехід між мовами змушує уточнювати поняття, виявляти відмінності в категоризації та розмежовувати зміст і спосіб його мовного вираження. Цифрові інструменти прискорюють зіставлення, але педагогічна цінність виникає лише тоді, коли здобувач освіти пояснює розбіжності й аргументує свій вибір. П'ятий зв'язок є етичним. Алгоритмічні системи працюють нерівномірно для різних мов, можуть привілейовувати англійські джерела, спрощувати локальні поняття або відтворювати стереотипи. Тому критична ШІ-грамотність має включати мовну чутливість, перевірку культурної доречності та усвідомлення цифрової нерівності.

Отже, інтегрований підхід можна описати формулою: цифровий інструмент + багатомовна діяльність + професійне завдання + рефлексивна перевірка. Вилучення будь-якого елемента послаблює результат. Інструмент без завдання перетворюється на тренування функцій; багатомовність без змісту стає мовною вправою; професійне завдання без рефлексії не формує відповідального рішення.

Інтегроване використання цифрових інструментів у мультилінгвальному освітньому середовищі потребує не лише добору відповідних технологій, а й цілеспрямованого педагогічного проектування. Ефективність такого підходу залежить від того, наскільки цифрові засоби, мовні практики, професійно орієнтовані завдання та очікувані результати

навчання узгоджені між собою. Тому наступним етапом обґрунтування є визначення педагогічних умов, за яких дуальність «цифровізація + мультилінгвалізм» набуває системного характеру і реалізується не епізодично, а як наскрізний принцип професійної підготовки. До таких умов віднесено професійну спрямованість мультилінгвальних завдань, функціональне використання мовного репертуару здобувачів освіти, відповідність цифрового інструменту запланованому результату навчання, критичне застосування машинного перекладу й генеративного штучного інтелекту, організацію міжкультурної взаємодії, забезпечення мультимодальності та доступності, рефлексивне оцінювання, а також готовність викладачів та інституційну підтримку (рис. 2).

Професійна спрямованість мультилінгвальних завдань

- Мови мають використовуватися для виконання змістової дії: аналізу даних, розроблення проєкту, підготовки рекомендацій, переговорів або презентації. Це зменшує розрив між мовною підготовкою та фаховими дисциплінами.

Функціональне використання мовного репертуару

- Здобувачеві освіти слід дозволяти залучати різні мови на проміжних етапах роботи, якщо це допомагає зрозуміти проблему, знайти джерело або узгодити поняття. Водночас кінцевий продукт має відповідати нормам обраної професійної мови й жанру.

Узгодження цифрового інструменту з результатом навчання

- Вибір платформи має визначитися педагогічною функцією. Наприклад, спільний документ доречний для аналізу внеску учасників, а відеоконференція — для переговорів і усної медіації. Використання модного сервісу без зв'язку з результатом навчання не є цифровою трансформацією.

Критичне використання машинного перекладу й генеративного ШІ

- Необхідні завдання на порівняння перекладів, виявлення термінологічних помилок, перевірку фактів, редагування стилю та документування участі ШІ. UNESCO підкреслює, що людина має зберігати контроль над освітнім рішенням і нести відповідальність за результат (Miao & Holmes, 2023).

Організація реальної міжкультурної взаємодії

- Віртуальний обмін, COIL і міжнародні проєкти створюють ситуації, у яких мовна й цифрова компетентності використовуються одночасно. Важливо, щоб взаємодія була тривалою, змістовою та пов'язаною зі спільною відповідальністю за продукт.

Мультимодальність і доступність

- Професійна інформація має подаватися в текстовій, візуальній, аудіальній або інтерактивній формах. Субтитри, альтернативний текст, зрозуміла структура й кілька мовних версій підтримують інклюзивність і водночас формують уміння адаптувати зміст.

Рефлексивне й багатокритеріальне оцінювання

- Оцінювання має охоплювати професійну точність, якість джерел, мовну й культурну доречність, доцільність цифрового інструменту, внесок у командну роботу, академічну добросовісність і здатність пояснити прийняте рішення.

Готовність викладача та інституційна підтримка

- Інтегрований підхід потребує співпраці викладачів фахових, мовних і цифрових дисциплін, доступу до ліцензійних або відкритих ресурсів, правил використання ШІ, захисту даних і технічної підтримки. Без цього окремі практики залишатимуться епізодичними.

Рис.2. Педагогічні умови реалізації дуальності пари «цифровізація і мультилінгвалізм» у наскрізній професійній підготовці

Джерело: авторська розробка

Представлені педагогічні умови утворюють взаємопов'язану систему. Професійна спрямованість завдань визначає зміст діяльності, функціональне використання мовного репертуару забезпечує її мультилінгвальний характер, а доцільний добір цифрових засобів створює технологічні умови для їх виконання. Критична робота з машинним перекладом і генеративним ШІ, міжкультурна взаємодія, мультимодальність та рефлексивне оцінювання підтримують якість і відповідальність отриманого результату. Інституційна підтримка об'єднує ці складники й забезпечує сталість їх реалізації в освітньому процесі. Жодна з визначених умов окремо не гарантує формування цифрово-мультилінгвальної готовності фахівця. Педагогічний ефект виникає за їх узгодженого поєднання, коли цифрова діяльність одночасно стає професійно змістовою, мовно гнучкою, міжкультурно чутливою та етично відповідальною.

ОБГОВОРЕННЯ

Отримані результати уточнюють наукове розуміння зв'язку між цифровізацією та мультилінгвалізмом. У попередніх дослідженнях цифрові технології здебільшого описуються як засоби доступу, комунікації, персоналізації або створення контенту, тоді як плурилінгвальні студії зосереджені на мовному репертуарі, транслінгвальності та медіації. Запропонована модель поєднує ці площини на рівні професійної діяльності. Її одиницею є не цифровий сервіс і не окреме мовне вміння, а завдання, у якому фаховий зміст опрацьовується, передається або створюється за допомогою кількох мов і цифрових засобів.

Таке трактування узгоджується з DigComp 2.2, але водночас конкретизує його комунікаційний та інформаційний компоненти. У DigComp комунікація, співпраця і створення контенту подані як загальні сфери цифрової діяльності (Vuorikari et al., 2022). Результати цього дослідження показують, що в міжнародній або багатомовній професійній діяльності кожна з них має мовний вимір. Інформаційна грамотність передбачає здатність виконувати пошук різними

мовами й розпізнавати термінологічні невідповідності; цифрова співпраця – узгоджувати значення і норми взаємодії; створення контенту – локалізувати повідомлення для певної аудиторії. Тому цифрова компетентність фахівця не є мовно нейтральною.

Запропонований підхід також розширює сферу застосування плурилінгвальної парадигми. У CEFR Companion Volume медіація та онлайн-взаємодія описані передусім як компоненти мовної освіти (Council of Europe, 2020). У професійній підготовці вони можуть бути перенесені до фахових дисциплін, де мова виступає засобом здійснення предметної діяльності. Наприклад, передавання змісту іншомовного нормативного документа, підготовка двомовної інструкції або пояснення аналітичного результату міжнародній команді є одночасно фаховим, цифровим і медіаційним завданням. Це дозволяє уникнути ситуації, коли мовна підготовка залишається відокремленою від професійних сценаріїв.

Важливим результатом є обґрунтування рефлексивно-етичної функції цифрових інструментів як окремої, а не похідної. У наявних класифікаціях цифрових засобів переважає опис їх операційних можливостей. Однак використання машинного перекладу та генеративного ШІ в мультилінгвальному середовищі створює ризики, що не зводяться до технічних помилок: приховане привілейовування домінантної мови, спрощення локальних понять, культурно недоречні формулювання та нерівна якість зворотного зв'язку. Висновки Lee et al. (2024) і Gupta et al. (2025) підтверджують, що упередження можуть виникати на різних етапах роботи мовної моделі та проявлятися неоднаково залежно від мови й завдання. Отже, перевірка результатів має включати не лише фактчекінг, а й міжмове зіставлення, термінологічну експертизу та оцінювання культурної доречності.

Результати оцінювання узгоджуються з висновками Melo-Pfeifer і Ollivier (2025) про суперечність між плурилінгвальним навчанням і монолінгвальними способами перевірки. Запропонована матриця передбачає оцінювання професійної точності, якості медіації, доцільності цифрового інструменту, внеску в командну роботу та аргументованості мовного вибору. Такий підхід не знижує вимог до нормативності кінцевого продукту, але розрізняє проміжну багатомовну діяльність і підсумкову професійну комунікацію. Це важливо для валідності оцінювання: мовна форма не повинна приховувати фактичний рівень предметного розуміння, якщо вона не є основним об'єктом перевірки.

Порівняння з дослідженнями віртуального обміну дає змогу уточнити організаційні умови інтеграції. O'Dowd (2018, 2021) доводить, що міжкультурні результати не виникають автоматично внаслідок онлайн-контакту. Аналогічно цифрово-мультилінгвальна підготовка не може бути забезпечена простим додаванням іншомовного джерела або перекладача до традиційного завдання. Потрібні взаємозалежність учасників, необхідність узгодження смислів, реальний адресат, спільна відповідальність за продукт і структурована рефлексія. Саме ці ознаки відрізняють інтегровану діяльність від паралельного використання мови й технології.

Теоретичний внесок дослідження полягає у трактуванні дуальності «цифровізація + мультилінгвалізм» як функціональної взаємозалежності. Цифровізація створює інфраструктуру доступу, взаємодії, перекладу, аналітики та продукування змісту; мультилінгвальний підхід визначає способи добору мовних ресурсів, переходу між мовами, медіації та культурної адаптації. У цій моделі жоден компонент не є достатнім сам по собі. Технічно якісний цифровий продукт може бути комунікативно невдалим або культурно неприйнятним, тоді як сформоване мовне вміння без цифрової практики не відтворює умов сучасної професійної діяльності.

Практичне значення моделі полягає в можливості її використання для проектування фахових дисциплін, міждисциплінарних модулів, COIL-проектів і системи оцінювання. Вона дає викладачеві послідовність рішень: визначити професійне завдання, встановити необхідну мультилінгвальну дію, обрати цифровий інструмент, передбачити процедури перевірки та сформулювати критерії результату. Така логіка зменшує ризик технологічного формалізму, коли застосунок використовується лише через його доступність або популярність.

Разом із тим, запропоновані положення мають обмеження. Стаття є теоретико-аналітичною, а матриця не перевірялася в межах експериментального навчання. Узагальнений образ сучасного фахівця потребує галузевої конкретизації, оскільки мовні режими, жанри й допустимі цифрові інструменти суттєво різняться у менеджменті, інженерії, охороні здоров'я, освіті та публічному управлінні. Подальші дослідження мають бути спрямовані на операціоналізацію цифрово-мультилінгвальної готовності, розроблення валідних критеріїв і показників, порівняння результатів у різних спеціальностях та емпіричну перевірку мовно-специфічної надійності генеративного ШІ.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

У статті теоретично обґрунтовано потребу в інтегрованому цифрово-мультилінгвальному підході до підготовки сучасного фахівця. Уточнено сутність мультилінгвального освітнього середовища як організованої системи ресурсів, взаємодій і діяльностей, у якій кілька мов функціонально використовуються для пізнання, професійної комунікації, медіації, співпраці та створення цифрового продукту. Показано, що ознакою такого середовища є не формальна наявність іншомовних джерел або цифрових сервісів, а їх змістове включення в розв'язання професійно орієнтованих завдань. Мультилінгвальний підхід у цьому випадку не зводиться до вивчення кількох мов, а передбачає гнучке використання мовного репертуару здобувача освіти для пошуку, пояснення, перекладу, адаптації, аргументації та представлення фахового змісту.

Систематизовано функції цифрових інструментів у мультилінгвальній професійній підготовці. До них віднесено інформаційно-пошукову, комунікаційно-коллаборативну, перекладацько-медіаційну, продуктивно-творчу, адаптивно-підтримувальну, аналітико-оцінювальну та рефлексивно-етичну функції. Визначено педагогічні умови реалізації інтегрованого підходу: професійна спрямованість мультилінгвальних завдань; функціональне використання мовного репертуару здобувачів освіти; відповідність цифрового інструменту запланованому результату навчання; критичне застосування машинного перекладу й генеративного штучного інтелекту; організація міжкультурної взаємодії; забезпечення мультимодальності та доступності; рефлексивне й багатокритеріальне оцінювання; готовність викладачів та інституційна підтримка.

Наукова новизна дослідження полягає в обґрунтуванні дуальності цифровізації та мультилінгвалізму як функціональної взаємозалежності, а не як механічного поєднання цифрових і мовних компонентів освіти. Запропоновано розглядати цю дуальність через чотири взаємопов'язані елементи: цифровий інструмент, багатомовну діяльність, професійне завдання та рефлексивну перевірку результату. Такий підхід дає змогу змістити акцент із засвоєння окремих сервісів або мовних умінь на формування здатності діяти в професійній ситуації, де технологія, мова, культура, зміст і відповідальність взаємно визначають якість ухвалення рішень.

Практичне значення дослідження полягає в тому, що запропонована модель може бути використана для проектування освітніх компонентів, міждисциплінарних модулів, міжнародних онлайн-проектів, завдань із використанням машинного перекладу та генеративного ШІ, а також для розроблення критеріїв оцінювання цифрово-мультилінгвальної діяльності здобувачів освіти. Вона придатна для адаптації до різних спеціальностей, оскільки не прив'язана до конкретної професійної галузі, але потребує уточнення змісту завдань, жанрів комунікації, мовного режиму та допустимих цифрових інструментів відповідно до профілю підготовки.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з емпіричною перевіркою запропонованої моделі в освітніх програмах різних галузей знань; розробленням критеріїв, показників і рівнів сформованості цифрово-мультилінгвальної готовності фахівця; створенням валідних інструментів оцінювання міжмовної медіації, цифрової співпраці та рефлексивно-етичної компетентності; аналізом мовно специфічної надійності генеративного ШІ в професійних навчальних завданнях; порівнянням ефективності різних форматів інтеграції цифрових і мультилінгвальних практик у фахову підготовку. Окремим напрямом є вивчення того, як цифрово-мультилінгвальний підхід може підтримувати академічну доброчесність, інклюзивність і збереження локальних мовно-культурних ресурсів в умовах глобалізованої цифрової освіти.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Авторка заявляє про відсутність конфлікту інтересів.

ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ

Це дослідження не передбачало використання окремих наборів даних.

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Інструменти штучного інтелекту використовувалися для пошуку наукових джерел (Perplexity) та корекції тексту (Grammarly). Усі результати були перевірені автором. Автор несе відповідальність за зміст статті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Council of Europe. (2020). *Common European framework of reference for languages: Learning, teaching, assessment—Companion volume*. Council of Europe Publishing. <https://rm.coe.int/common-european-framework-of-reference-for-languages-learning-teaching/16809ea0d4>
2. European Commission, Joint Research Centre. (2025). *DigComp 3.0: The digital competence framework for citizens*. https://joint-research-centre.ec.europa.eu/projects-and-activities/education-and-training/digital-transformation-education/digital-competence-framework-digcomp/digcomp-30_en
3. European Commission. (2020). *Digital education action plan 2021–2027: Resetting education and training for the digital age*. Publications Office of the European Union. <https://education.ec.europa.eu/focus-topics/digital-education/action-plan>
4. Gupta, V., Pal Chowdhury, S., Zouhar, V., Rooein, D., & Sachan, M. (2025). Are large language models for education reliable for all languages? *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2504.17720>
5. Hauck, M. (2023). From virtual exchange to critical virtual exchange: Promoting inclusion and social justice. *Global Impact Exchange*, Spring 2023, 9–12. <https://oro.open.ac.uk/95015/>
6. Lee, J., Hicke, Y., Yu, R., Brooks, C., & Kizilcec, R. F. (2024). The life cycle of large language models in education: A framework for understanding sources of bias. *British Journal of Educational Technology*, 55, 1982–2002. <https://doi.org/10.1111/bjet.13505>
7. Li, W. (2018). Translanguaging as a practical theory of language. *Applied Linguistics*, 39(1), 9–30. <https://doi.org/10.1093/applin/amx039>
8. Melo-Pfeifer, S., & Ollivier, C. (2025). Assessing the plurilingual competence and plurilingual individuals' skills and knowledge: Similarities and divergences. *Frontiers in Communication*, 10, 1498940. <https://doi.org/10.3389/fcomm.2025.1498940>
9. Miao, F., & Holmes, W. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693>
10. O'Dowd, R. (2018). From telecollaboration to virtual exchange: State-of-the-art and the role of UNICollaboration in moving forward. *Journal of Virtual Exchange*, 1, 1–23. <https://doi.org/10.14705/rpnet.2018.ive.1>
11. O'Dowd, R. (2021). Virtual exchange: Moving forward into the next decade. *Computer Assisted Language Learning*, 34(3), 209–224. <https://doi.org/10.1080/09588221.2021.1902201>
12. O'Dowd, R. (2023). *Internationalising higher education and the role of virtual exchange*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315393704>
13. Piccardo, E. (2017). Plurilingualism as a catalyst for creativity in superdiverse societies: A systemic analysis. *Frontiers in Psychology*, 8, 2169. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.02169>
14. Piccardo, E., & North, B. (2019). *The action-oriented approach: A dynamic vision of language education*. Multilingual Matters.
15. Vuorikari, R., Kluzer, S., & Punie, Y. (2022). *DigComp 2.2: The digital competence framework for citizens—With new examples of knowledge, skills and attitudes*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/115376>
16. Zhao, Y., Pinto Llorente, A. M., & Sánchez Gómez, M. C. (2021). Digital competence in higher education research: A systematic literature review. *Computers & Education*, 168, 104212. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104212>

17. Rudenko, Y., Ahadzhanov-Honsales, K., Ahadzhanova, S., Batalova, A., Diemientiev, Y., & Semenikhina, O. (2024). Interactive boards as digital tools in the modern educational process. In *2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)* (pp. 329–333). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MIPRO60963.2024.10569393>
18. Semenikhina, O. (2025). Moral, ethical, and academic culture of future teachers under the war in Ukraine and digital transformation: An analytical review through the lens of citizenship education. In O. Semenikhina (Ed.), *Education at the edge: Resilience, recovery, and innovation in wartime Ukraine* (pp. 75–114). Open Science Initiative. <https://doi.org/10.31110/EduEdge-1.4>
19. Yurchenko, A., Rozumenko, A., Rozumenko, A., Momot, R., & Semenikhina, O. (2023a). Cloud technologies in education: The bibliographic review. *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska*, 13(4), 79–84. <https://doi.org/10.35784/iapgos.4421>
20. Yurchenko, A., Mulesa, P., & Semenikhina, O. (2023b). Individual educational trajectory building as a successful teacher skill in the digital age. *Pedagogy and Education Management Review*, 2, 64–72. <https://doi.org/10.36690/2733-2039-2023-2-64-72>

| Матеріал надійшов до редакції: 29.03.2026 р. | Прийнято до друку: 09.05.2026 р. | Опубліковано: 30.06.2026 р. |





ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА (PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION)

p-ISSN: 2413-1571, e-ISSN: 2413-158X

2026, 41(3), <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-04>

РОЗВИТОК ПРОГНОСТИЧНОЇ КОМПЕТЕНТНОСТІ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ІНФОРМАТИКИ ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ ПЕДАГОГІЧНОЇ ПРАКТИКИ ТА ЗАВДАНЬ З МАТЕМАТИЧНОЇ СТАТИСТИКИ

Дар'я ТІНЬКОВА ✉

Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького, Україна
tinkovads@vu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-4771-6124>

Галина ЛУЦЕНКО

Черкаський національний університет
імені Богдана Хмельницького, Україна
lutsenkog@vu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-9727-7836>

DEVELOPING PREDICTIVE COMPETENCE IN FUTURE COMPUTER SCIENCE TEACHERS THROUGH THE INTEGRATION OF TEACHING PRACTICE AND MATHEMATICAL STATISTICS

Daria TINKOVA ✉

Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Ukraine
tinkovads@vu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-4771-6124>

Galyna LUTSENKO

Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy, Ukraine
lutsenkog@vu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0002-9727-7836>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. У статті порушено проблему формування прогностичної компетентності майбутніх учителів інформатики під час вивчення курсу «Теорія ймовірності та математична статистика». Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розвитку здатності майбутніх педагогів прогнозувати результати освітнього процесу в умовах цифровізації та невизначеності сучасного освітнього середовища. У статті представлено досвід запровадження проектно орієнтованого навчання, що передбачає збір і обробку дослідницьких даних студентами під час проходження педагогічної практики. Проаналізовано вплив практикоорієнтованих проектів на рівень сформованості прогностичної компетентності.

Матеріали і методи. У дослідженні використано аналіз і узагальнення науково-педагогічної літератури, моделювання методичного підходу до навчання, а також педагогічний експеримент у форматі методу кейсів, який проводився зі студентами 2 курсу спеціальності 014.04 Середня освіта (Інформатика). Для вивчення рівня сформованості прогностичної компетентності застосовували опитувальник «Здатність до прогнозування». Для обробки результатів використано критерій Стьюдента.

Результати. Аналіз наукових джерел дозволив уточнити сутність прогностичної компетентності та окреслити її основні структурні компоненти. Результати експериментальної роботи засвідчили, що запровадження розробленого методичного підходу сприяє розвитку когнітивно-інформаційного, інтелектуально-ментального, інструментально-технологічного та світоглядно-професійного компонентів прогностичної компетентності. За результатами опитування студентів до та після виконання практикоорієнтованих проектів зафіксовано зростання рівня сформованості прогностичної компетентності, що підтверджує ефективність запропонованого методичного підходу.

Висновки. Зроблено висновок про ефективність наскрізної інтеграції курсу «Теорія ймовірності та математична статистика» з педагогічною практикою для цілеспрямованого розвитку прогностичного мислення майбутніх учителів інформатики.

ABSTRACT

Formulation of the problem. The article addresses the development of preservice computer science teachers' prognostic competence in the course Probability Theory and Mathematical Statistics. The relevance of the study is determined by the need to foster future educators' ability to predict educational outcomes in the modern, digitalized, and uncertain educational environment. The article presents the experience of implementing project-oriented learning, which involves students' collection and processing of research data during pedagogical practice. The impact of practice-oriented projects on the level of prognostic competence formation is analyzed.

Materials and methods. The study employed analysis and synthesis of scientific and pedagogical literature, modeling of a methodological approach to teaching, and a pedagogical experiment in the format of the case method, conducted with second-year students majoring in 014.04 Secondary Education (Computer Science). The level of predictive competence development was assessed using the "Forecasting Ability" questionnaire. Statistical analysis of the obtained data was conducted using Student's t-test.

Results. The analysis of scientific sources clarified the essence of prognostic competence and identified its main structural components. The results of the experimental work demonstrated that implementing the developed methodological approach contributes to the development of the cognitive-informational, intellectual-mental, instrumental-technological, and worldview-professional components of prognostic competence. Based on survey results conducted before and after the implementation of practice-oriented projects, an increase in the level of prognostic competence was observed, confirming the effectiveness of the proposed methodological approach.

Conclusions. The effectiveness of integrating the course Probability Theory and Mathematical Statistics with pedagogical practice for the purposeful development of prognostic thinking of preservice computer science teachers was substantiated.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: прогностична компетентність; майбутні учителі інформатики; математична статистика; проектно орієнтоване навчання.

KEYWORDS: prognostic competence; preservice computer science teachers; mathematical statistics; project-oriented learning.

ДЛЯ ЦИТУВАННЯ: Тінкова Д., Луценко Г. Розвиток прогностичної компетентності майбутніх учителів інформатики шляхом інтеграції педагогічної практики та завдань з математичної статистики. *Фізико-математична освіта*, 2026. Том 41. № 3. С. 29-36. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-04>.

FOR CITATION: Tinkova, D., & Lutsenko, G. (2026). Developing predictive competence in future computer science teachers through the integration of teaching practice and mathematical statistics assignments. *Physical and Mathematical Education*, 41(3), 29-36. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-04>.

ВСТУП

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку освіти характеризується активною цифровізацією, зростанням ролі інформаційних технологій та необхідністю ухвалення педагогічних рішень в умовах невизначеності й швидкої зміни освітнього середовища. За таких умов особливої актуальності набуває підготовка вчителя інформатики як фахівця, здатного не лише забезпечувати формування цифрової компетентності учнів, а й здійснювати аналітичну та прогностичну діяльність, пов'язану з передбаченням результатів освітнього процесу, моделюванням можливих сценаріїв його розвитку та оцінюванням наслідків педагогічних рішень. Відповідно до Професійного стандарту вчителя закладу загальної середньої освіти, однією з ключових трудових функцій педагога є провадження освітнього процесу, що передбачає здатність аналізувати освітні ситуації, прогнозувати результати навчальної діяльності учнів, своєчасно виявляти ризики та коригувати педагогічні впливи. У цьому контексті прогностична компетентність учителя постає як інтегрована професійна якість, що забезпечує ефективність реалізації освітнього процесу в умовах сучасної школи.

Інформатика як освітня галузь створює сприятливі умови для розвитку прогностичного мислення, системного аналізу, вміння бачити тенденції та закономірності, а також передбачати результати дій у цифровому та освітньому просторі, адже професійна діяльність майбутніх учителів інформатики безпосередньо пов'язана з роботою з інформацією, даними, алгоритмами, цифровими середовищами та технологіями моделювання. Водночас аналіз практики фахової підготовки учителів інформатики засвідчує, що розвиток прогностичної компетентності здебільшого має несистемний характер і не завжди розглядається як самостійний результат професійної підготовки. Освітній процес часто орієнтований на формування окремих знань, умінь і навичок без належної інтеграції їх у цілісну систему прогностичної діяльності, що знижує готовність випускників до виконання професійних функцій, визначених Професійним стандартом.

Суперечність між зростаючими вимогами до прогностичної діяльності вчителя інформатики та недостатньою методичною розробленістю підходів до цілеспрямованого розвитку прогностичної компетентності в процесі професійної підготовки зумовлює актуальність цього дослідження. Подолання цієї суперечності потребує теоретичного осмислення сутності прогностичної компетентності майбутнього вчителя інформатики, визначення її структурних компонентів, а також обґрунтування педагогічних умов і методичних засобів формування цієї компетентності в освітньому процесі.

Аналіз актуальних досліджень. Проблематика формування прогностичної компетентності педагогічних працівників привертає дедалі більшу увагу науковців, що зумовлено зростанням вимог до якості професійної підготовки фахівців в умовах динамічних змін освітнього середовища. Аналіз наукових публікацій засвідчує багатовимірність цієї проблеми та її значущість для різних спеціальностей.

Питання педагогічних умов формування прогностичної компетентності для різних освітніх рівнів розглядається у працях Т. Постоян та А. Кінешевої (Кінешева, 2015; Постоян & Кінешева, 2015). Досліджуючи підготовку майбутніх магістрів початкової освіти, авторки визначили комплекс педагогічних умов, що сприяють ефективному розвитку прогностичної компетентності. До них належать формування мотиваційно-ціннісного ставлення до майбутньої прогностичної діяльності, усвідомлення взаємозалежності між рівнем прогностичної та загальної професійної компетентності, створення інноваційного інформаційно-комунікаційного освітнього середовища, а також інтеграція спеціального курсу з виробничою практикою. У свою чергу, Д. Пузіков (2018) уточнив зміст поняття «прогностична компетентність учителя», визначивши її як складну, полідетерміновану та динамічну здатність особистості, що інтегрує систему цінностей, мотивів, цілей, знань, прогностичних умінь і навичок, а також практичний досвід. Також, дослідник виокремив три структурні компоненти цієї компетентності – ціннісно-мотиваційний, когнітивний та операційно-діяльнісний.

Істотний внесок у вивчення прогностичної компетентності зробили Є. Спіцин та В. Лещенко, проаналізувавши зміст цього поняття і здійснивши порівняльний аналіз її структури у професійних стандартах України, Японії та Естонії (Спіцин & Лещенко, 2024а, 2024б). Як показують дослідники, у вітчизняному контексті прогностична компетентність розглядається як здатність прогнозувати розвиток освітніх процесів та ухвалювати обґрунтовані педагогічні рішення, тоді як в естонській системі акцент робиться на передбаченні потреб учнів і створенні відповідного навчального досвіду. Автори також окреслили можливі напрями удосконалення прогностичної компетентності через орієнтацію на технологічний розвиток та формування адаптивного й перспективного мислення.

Окремим напрямом досліджень є вивчення практик формування прогностичної компетентності майбутніх фахівців різних спеціальностей. Зокрема, В. Шарвара (2020) запропонував систему критеріїв оцінювання прогностичної компетентності майбутніх бакалаврів комп'ютерних наук, до яких віднесено мотиваційний, когнітивний, операційний, рефлексивний та особистісно-креативний. На основі проведеного SWOT-аналізу дослідник встановив, що більшість студентів демонструють середній або низький рівні її сформованості.

К. Халецька, що досліджує проблему формування прогностичної компетентності майбутніх учителів математики, запропонувала структурно-змістову модель формування цієї компетентності, яка передбачає реалізацію чотирьох послідовних етапів: змістовно-накопичувального, гносеологічно-відображального, конструктивно-моделювального та професійно-ідентифікаційного (Халецька, 2023). Особливістю запропонованої моделі є її інтеграція у процес вивчення дисциплін природничо-математичного циклу, зокрема через використання елементів теорії ймовірностей, математичної статистики та аналізу часових рядів.

Г. Ткачук та І. Войтович детально проаналізували потенціал проектного навчання та міждисциплінарної інтеграції для формування професійних компетентностей. Особливу увагу приділено ролі STEM-підходів у розвитку прогностичної компетентності, оскільки орієнтація на інновації та критичне мислення сприяє здатності майбутніх учителів передбачати освітні тенденції, аналізувати інформацію, формувати прогнози та здійснювати планування на основі отриманих даних (Ткачук & Войтович, 2025).

Дослідження щодо розвитку навичок провадження досліджень майбутніх учителів як підґрунтя прогностичної діяльності активно розвивається у педагогічній науці (Flores, 2018; Nokor, 2020; Gussen et al., 2023). Зокрема, Е. Хокор розробив спеціальні завдання, які відтворювали реальні навчальні ситуації та були спрямовані на подолання типових хибних уявлень, зокрема, недостатньої репрезентативності та упередженості переконань. Результати дослідження засвідчили, що конструктивістський підхід у поєднанні з критичними запитаннями викладача є ефективним інструментом для формування прогностичних навичок. Продовженням цих ідей стала робота Е. Хокора та Дж. Седофія (2021), у якій автори продемонстрували ефективність студентоцентрованого підходу, що підкреслює важливість активної пізнавальної діяльності здобувачів освіти під час вивчення теорії ймовірності і математичної статистики. Принципово важливим є висновок авторів про те, що імовірнісне мислення є необхідною умовою прийняття обґрунтованих рішень в умовах невизначеності, а саме ця здатність становить когнітивне ядро прогностичної компетентності фахівця будь-якого профілю. Водночас, низка дослідників виявили, що проведення досліджень студентами під час проходження практики, поступово допомагає майбутнім педагогам розвивати дослідницькі знання, сприяє формуванню рефлексивного та студентоцентрованого викладання (Yuan et al., 2022; Contreras et al., 2025). Таким чином, якість засвоєння курсу теорії ймовірностей та математичної статистики безпосередньо пов'язується з рівнем сформованості у майбутніх учителів здатності до прогностичного мислення та науково обґрунтованого передбачення результатів педагогічної діяльності.

Мета статті. Висвітлення результатів інтеграції завдань курсу «Теорія ймовірності та математична статистика» з педагогічною практикою майбутніх учителів інформатики на засадах проектно-орієнтованого навчання як інструменту цілеспрямованого формування прогностичної компетентності здобувачів освіти.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У дослідженні використано аналіз і узагальнення науково-педагогічної літератури, розробку методичного підходу до навчання, а також педагогічний експеримент у форматі методу кейсів. Метод кейсів в освітніх дослідженнях розглядається як специфічна дослідницька стратегія, що застосовується для ілюстрації загальних закономірностей через аналіз конкретних ситуацій, відображаючи прояви явища в реальному контексті та створюючи засади для поширення висновків на ширший спектр аналогічних ситуацій. (Dresch, 2015). Методу кейсів зарекомендував себе як ефективний інструмент дослідження в умовах невеликої кількості студентів у групах.

Дослідження здійснювалося в рамках курсу «Теорія ймовірності та математична статистика», що є обов'язковим освітнім компонентом програми підготовки здобувачів освіти за спеціальністю А4.09 Середня освіта (Інформатика) в Черкаському національному університеті імені Богдана Хмельницького. Вивчення дисципліни, обсягом 4 кредити ЕКТС, відбувається на другому курсі. У цьому ж семестрі передбачена навчальна педагогічна практика (3 ЕКТС), спрямована на вдосконалення знань студентів щодо організаційних, методичних і психологічних засад навчальної і виховної діяльності. Ключовою ідеєю, запропонованою в дослідженні підходу, є наскрізна інтеграція діяльності з розвитку прогностичної компетентності, що поєднує опанування теоретичного матеріалу у рамках курсу «Теорія ймовірності і математична статистика» та прикладну діяльність зі збору та обробки даних – під час проходження студентами навчальної педагогічної практики в закладах загальної середньої освіти.

У дослідженні взяло участь 12 студентів (11 чоловіків та 1 жінка). Вік учасників складав: 9 осіб – 19 років, 1 особа – 20 років, 1 особа – 22 роки та 1 особа – 24 роки. Інструментарієм дослідження було опитування для визначення рівня сформованості прогностичної компетентності «Здатність до прогнозування» Л. Регуш, модифіковане та апробоване К. Халецькою для майбутніх учителів математики (Халецька, 2024, с. 250). Обробка результатів здійснювалася шляхом підрахунку сумарного балу за 20 альтернативними твердженнями, де вибір варіанта, що відображає орієнтацію на системний аналіз, варіативність мислення та урахування віддалених наслідків, оцінювався в один бал. Студенти були поінформовані про участь в педагогічному дослідженні. Особисті дані респондентів не збиралися, проходження опитування, поширеного у Google Формах, було добровільним та анонімним.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

На першому етапі дослідження шляхом анкетування було здійснено визначення початкового рівня сформованості прогностичної компетентності студентів 2 курсу спеціальності А4.09 Середня освіта (Інформатика), що також спрямоване на виявлення їхніх індивідуальних особливостей у контексті прогнозувального мислення.

За результатами анкетування було встановлено, що більшість студентів (66,7%) продемонстрували середній рівень сформованості здібності до прогнозування, що свідчить про наявність окремих умінь передбачення наслідків і здатність до аналізу ситуацій за умови чітко заданих умов, проте з обмеженою варіативністю прогнозів і ситуативною гнучкістю мислення. Разом з тим значна частина респондентів показала низький рівень здібності до прогнозування (33,3%), для якого характерними є фрагментарний аналіз умов діяльності, орієнтація переважно на поточну ситуацію, недостатнє врахування віддалених наслідків та схильність до шаблонних способів мислення. Високого рівня сформованості здібності до прогнозування на початковому етапі дослідження виявлено не було, що є закономірним для студентів другого курсу та підтверджує необхідність цілеспрямованого педагогічного впливу. Отримані результати засвідчують, що прогностичні здібності майбутніх учителів інформатики на даному етапі професійної підготовки перебувають переважно на початковому та середньому рівнях сформованості.

У рамках дослідження, реалізованого в рамках навчального модуля «Основи математичної статистики» освітнього компонента «Теорія ймовірності і математична статистика», з метою розвитку прогностичної компетентності майбутніх учителів інформатики було розроблено та впроваджено два взаємодоповнювальні види навчально-дослідницьких завдань: індивідуальний та груповий проєкти. Методичною особливістю обох завдань є їх орієнтація на роботу з реальними даними, самостійний вибір параметрів дослідження та обґрунтування можливостей подальшого прогнозування на основі отриманих статистичних характеристик.

Перше завдання реалізовувалося у формі індивідуального проєкту та було спрямоване на формування в студентів умінь планувати статистичне дослідження, обробляти дані та інтерпретувати результати з позицій прогнозування. На початковому етапі виконання завдання студенти обирали тему дослідження, пов'язану з їхньою повсякденною діяльністю або особистими звичками, що забезпечувало мотиваційну залученість і усвідомлення практичної значущості статистичного аналізу. Далі студенти формували мету збору даних, обґрунтовували обсяг вибірки та обирали метод отримання інформації (самоспостереження, опитування, аналіз відкритих джерел або інтернет-ресурсів). Наступним кроком було безпосереднє формування вибірки впродовж визначеного проміжку часу, що сприяло розвитку навичок систематичності та відповідальності за достовірність даних. Після завершення збору інформації студенти здійснювали її обробку з використанням програмних засобів, зокрема табличних процесорів, обчислювали основні числові характеристики вибірки, аналізували відмінності між ними та оцінювали, яку інформацію про досліджуваний процес надає кожен статистичний показник.

Важливим етапом була побудова графічних представлень даних, що сприяла розвитку вмінь візуалізації та узагальнення інформації. Завершальним елементом проєкту стало формулювання аналітичних висновків, у яких студенти обґрунтовували можливості використання отриманих вибірових характеристик для прогнозування тенденцій або оптимізації реальних процесів, що безпосередньо сприяло розвитку прогностичного мислення. На рис. 1 наведено приклад реалізації індивідуального проєктного завдання.

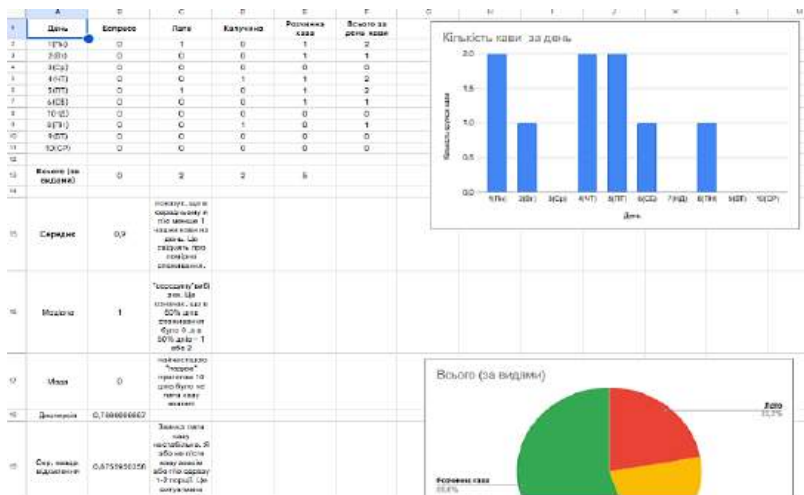


Рис. 1. Приклад реалізації завдання індивідуального проєкту

Джерело: авторська розробка

В індивідуальному форматі реалізації студентського проєкту акцент припадає на самостійність студента та персональну відповідальність за результати дослідження. Когнітивно-інформаційний компонент прогностичної компетентності реалізується через самостійний вибір теми проєкту та параметрів вибірки, що формує індивідуальну траєкторію застосування статистичних знань. Інтелектуально-ментальний компонент проявляється у процесі особистої рефлексії, коли студент формулює гіпотези, співставляє очікувані та фактичні результати, аналізує причини відмінностей. Інструментально-технологічний компонент забезпечує формування індивідуальних навичок роботи з Google Таблицями, включаючи введення даних, використання функцій та побудову графіків. Світоглядно-професійний компонент сприяє усвідомленню значення статистичного аналізу для особистої професійної самореалізації та розвитку відповідальності за якість даних.

Друге завдання мало груповий характер і поєднувало навчальну практику у закладі загальної середньої освіти з навчальним модулем з математичної статистики, що забезпечувало інтеграцію теоретичної підготовки з елементами професійної діяльності майбутнього вчителя. Студенти об'єднувалися в малі групи та обирали одну з тематик для проведення опитування серед учнів школи. Запропонований тип проєкту відтворює повний цикл аналітико-прогностичної діяльності майбутнього вчителя – від постановки гіпотез до інтерпретації результатів і формулювання обґрунтованих припущень.

На підготовчому етапі команди аналізували зміст обраного опитувальника, визначали типи запитань і можливі варіанти відповідей, а також прогнозували характер майбутніх результатів. Така діяльність формує вміння висувати гіпотези та працювати з невизначеністю. Під час практичного етапу студенти здійснювали збір емпіричних даних, дотримуючись етичних норм та організаційних вимог навчальної практики. Зазначимо, що у ході збору емпіричних даних відбувається зіставлення очікувань із реальними результатами, що сприяє розвитку здатності коригувати власні прогностичні судження на основі фактичної інформації. Після завершення опитування отримані відповіді впорядковувалися у вигляді вибірок за кожним питанням, що дозволяло перейти до статистичної обробки даних. Команди обчислювали основні числові характеристики для кожної вибірки (моду, медіану, середнє, дисперсію), аналізували

отримані результати. Обчислення числових показників і виявлення тенденцій дозволяє студентам переходити від опису даних до їх пояснення та передбачення можливих змін.

Особлива увага приділялася інтерпретації результатів з позицій можливих тенденцій і припущень щодо подальшого розвитку досліджуваних явищ. Саме тут реалізується прогностична функція – здатність бачити за наявними даними потенційні освітні наслідки та тенденції. На завершальному етапі студенти представляли результати групового проекту, аргументували свої висновки та обговорювали обмеження отриманих даних, що сприяло розвитку критичного мислення та рефлексії.

Таким чином, інтеграція емпіричного дослідження, статистичного аналізу та педагогічного контексту створює умови для комплексного формування прогностичної компетентності як здатності до науково обґрунтованого передбачення результатів освітнього процесу. На рис. 2 наведено результати виконання командного проекту, що включав опитування учнів під час проходження навчальної практики.



Рис. 2. Приклад реалізації завдань командного проекту
Джерело: авторська розробка

Груповий формат реалізації проекту передбачає колективну взаємодію та соціально-педагогічний контекст. Когнітивно-інформаційний компонент прогностичної компетентності формується через узгодження критеріїв вибірки, створення інструментарію опитування та аналіз соціально-педагогічних даних. Інтелектуально-ментальний компонент реалізується у процесі колективної інтерпретації результатів, коли студенти дискутують, порівнюють показники між групами респондентів, формують спільні прогнози припущення. Інструментально-технологічний компонент полягає у спільній роботі з Google Таблицями, що включає координацію обчислень, узгодження методів та редагування файлів у режимі реального часу. Світоглядно-професійний компонент, у свою чергу, забезпечує усвідомлення значення статистичного аналізу для освітнього процесу та прогнозування результатів навчання, формуючи бачення прогностичної компетентності як колективної професійної практики.

Таким чином, основна відмінність між індивідуальним та груповим форматами полягає у способі організації діяльності та характері відповідальності. Індивідуальний проект орієнтований на самостійність, персональну рефлексію та індивідуальну відповідальність. Груповий проект акцентує на взаємодії, дискусії, колективній відповідальності та соціально-педагогічному вимірі. Водночас, індивідуальні та групові проекти доповнюють один одного у процесі формування прогностичної компетентності. Індивідуальний формат розвиває здатність до самостійного аналізу та прогнозування, тоді як груповий – формує навички колективної інтерпретації даних та командної цифрової взаємодії.

Повторне опитування студентів (11 респондентів), що було проведене після впровадження індивідуальних і групових проектів, засвідчило позитивну динаміку у формуванні їхньої прогностичної компетентності, що проявляється у здатності передбачати результати діяльності, оцінювати ризики та приймати обґрунтовані рішення в умовах невизначеності (рис. 3).

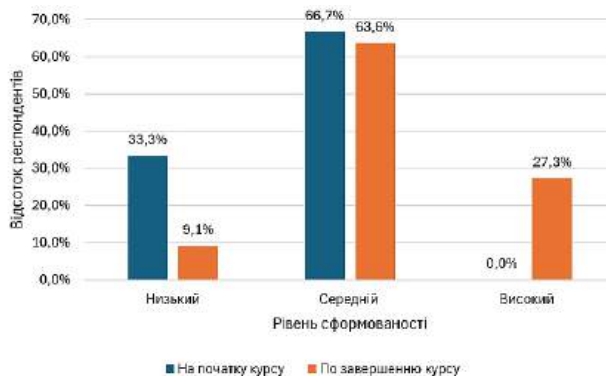


Рис. 3. Динаміка сформованості прогностичної компетентності студентів
Джерело: авторська розробка

Аналіз отриманих відповідей дозволив визначити три рівні її сформованості. Зокрема, високий рівень виявлено у 27,3% студентів (3 респонденти), які демонструють сформовану здатність до прогнозування, готовність працювати з альтернативами, оцінювати можливі наслідки власних дій та приймати рішення навіть за умов неповної інформації, що свідчить про розвиток аналітичного і рефлексивного мислення. Переважна більшість здобувачів, а саме 63,6% (7 респондентів), перебуває на середньому рівні, що відображає процес становлення прогностичної компетентності: такі студенти загалом здатні аналізувати ситуації та частково передбачати їх розвиток, однак не завжди впевнено застосовують прогностичні стратегії на практиці, часто діючи ситуативно або потребуючи додаткової підтримки. Низький рівень виявлено лише у 9,1% (1 респондент) і характеризується схильністю до уникнення ризику, орієнтацією на шаблонні рішення та недостатньою здатністю прогнозувати наслідки власних дій.

З метою перевірки ефективності застосованих педагогічних засобів було проведено діагностику рівня сформованості прогностичної компетентності студентів за допомогою t-критерію Стьюдента для залежних вибірок. Отримане значення емпіричного критерію становить $t_{\text{емп}} = 3,317$ при кількості ступенів свободи $df = 11$, що перевищує критичне значення на рівні значущості $p < 0,01$ ($3,317 > 3,106$). Зазначимо, що істотним обмеженням дослідження є лімітована кількість респондентів, відповідно, потребуються подальші дослідження, що дозволять підтвердити не випадкову природу отриманих результатів для більших вибірок.

Таким чином, отримані результати дають підстави стверджувати, що впроваджені освітні активності, зокрема практико-орієнтовані індивідуальні та групові проекти, сприяли розвитку здатності студентів прогнозувати результати діяльності, оцінювати ризики, обирати оптимальні стратегії дій, а також підвищенню рівня їхньої самостійності, відповідальності та рефлексії.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Розвиток прогностичної компетентності майбутніх учителів інформатики у процесі вивчення курсу «Теорія ймовірності та математична статистика» є важливим чинником підвищення їхньої професійної готовності до роботи в умовах цифрового освітнього середовища. Запропонований методичний підхід, що інтегрує теоретичне навчання та практичну діяльність студентів, довів свою ефективність у формуванні когнітивно-інформаційного, інтелектуально-ментального, інструментально-технологічного та світоглядно-професійного компонентів прогностичної компетентності. Виконання індивідуальних і групових навчально-дослідницьких завдань сприяло розвитку навичок аналізу даних, формуванню ймовірного мислення, здатності працювати з невизначеністю та обґрунтовувати прогностичні висновки. Таким чином, результати дослідження підтверджують, що цілеспрямоване використання статистичних методів у поєднанні з цифровими інструментами створює сприятливі умови для формування прогностичної компетентності майбутніх учителів інформатики, забезпечуючи їхню готовність до аналітичної та прогностичної діяльності у професійній практиці.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні методичних підходів до формування прогностичної компетентності через міждисциплінарну інтеграцію, зокрема у рамках STEM-освіти, а також у дослідженні динаміки розвитку прогностичного мислення студентів на різних етапах професійної підготовки. Подальші дослідження мають також враховувати порівняльний аналіз ефективності індивідуальних та групових форматів роботи у різних освітніх контекстах, що дозволить поглибити розуміння механізмів розвитку прогностичної компетентності та забезпечити її системний характер у процесі професійної підготовки майбутніх учителів.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ

Дані можуть бути надані за обґрунтованим запитом відповідному автору.

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Під час підготовки цієї роботи автори не використовували інструменти штучного інтелекту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Contreras, N., Liesa, E., Mayoral, P., & Alguacil, M. (2025). Examining the difficulties and support during an inquiry-based practicum: pre-service teachers and school mentors' experiences. *European Journal of Teacher Education*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/02619768.2025.2514638>.
- Dresch, A., Lacerda, D. P., & Miguel, P. A. (2015). A Distinctive Analysis of Case Study, Action Research and Design Science Research. *Review of Business Management*, 17(56), 1116-1133. <https://doi.org/10.7819/rbgn.v17i56.2069>.
- Flores, M. A. (2018). Linking teaching and research in initial teacher education: knowledge mobilisation and research-informed practice. *Journal of Education for Teaching*, 44(5), 621-636. <https://doi.org/10.1080/02607476.2018.1516351>.
- Gussen, L., Schumacher, F., Großmann, N., Ferreira González, L., Schlüter, K., & Großschedl, J. (2023). Supporting pre-service teachers in developing research competence. *Front. Educ.* 8, 1197938. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1197938>.

5. Hokor, E. K. (2020). Pre-service teachers' probabilistic reasoning in constructivist classroom. *Pedagogical Research*, 5(2), em0053. <https://doi.org/10.29333/pr/7838>.
6. Hokor, E. K., & Sedofia, J. (2021). Developing probabilistic reasoning in preservice teachers: Comparing the learner-centered and teacher-centered approaches of teaching. *International Journal of Studies in Education and Science*, 2(2), 120-145.
7. Mak, P., Yang, M., & Yuan, R. (2023). Fostering teacher competence through classroom-based research during field experiences. *Journal of Education for Teaching*, 49(5), 841–856. <https://doi.org/10.1080/02607476.2022.2150963>
8. Кінешева, А. Ю. (2015). Інформаційні технології як складова функціонально-змістовної моделі формування прогностичної компетентності майбутніх магістрів початкової освіти. *Інформаційні технології в освіті*, (25), 115-125.
9. Постоян, Т. Г., & Кінешева, А. Ю. (2015). Педагогічні умови формування прогностичної компетентності майбутніх магістрів початкової освіти. *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*, (7), 124-130.
10. Пузіков Д. (2018). Навчально-методична література як засіб формування прогностичної компетентності сучасного вчителя. *Проблеми сучасного підручника*, (21), 358-371. <https://doi.org/10.32405/2411-1309-2018-21-358-371>.
11. Спіцин, Є., & Лещенко, В. (2024a). Прогностична компетентність учителя: порівняльний аналіз професійних стандартів в Естонії та Україні. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Педагогіка»*, 2(18). <https://doi.org/10.17721/2415-3699.2023.18.12>.
12. Спіцин, Є., & Лещенко, В. (2024b). Прогностична компетентність учителя: суть і місце у професійному стандарті. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія «Педагогіка»*, 1(17). <https://doi.org/10.17721/2415-3699.2023.17.11>.
13. Ткачук, Г.В., & Войтович, І.С. (2025). Розвиток професійних компетентностей майбутніх учителів інформатики у процесі впровадження STEM-підходів. *Information Technologies in Education*, 2(58), 134-145. <https://doi.org/10.14308/ite000805>.
14. Халецька, К. (2023). Модель формування прогностичної компетентності майбутніх учителів математики. *Актуальні питання гуманітарних наук*, 67(2), 351-356. <https://doi.org/10.24919/2308-4863/67-2-52>.
15. Халецька, К. (2024). *Формування прогностичної компетентності майбутніх учителів математики у закладах вищої освіти: дис. ...доктора філософії*. Одеса: Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського».
16. Шаравара, В.В. (2020). Аналіз реальної практики формування прогностичної компетентності майбутніх бакалаврів комп'ютерних наук. *Фізико-математична освіта*, 1(23), 2, 89-94. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2020-023-1-2-014>.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Contreras, N., Liesa, E., Mayoral, P., & Alguacil, M. (2025). Examining the difficulties and support during an inquiry-based practicum: pre-service teachers and school mentors' experiences. *European Journal of Teacher Education*, 1-18. <https://doi.org/10.1080/02619768.2025.2514638>.
2. Dresch, A., Lacerda, D. P., & Miguel, P. A. (2015). A Distinctive Analysis of Case Study, Action Research and Design Science Research. *Review of Business Management*, 17(56), 1116-1133. <https://doi.org/10.7819/rbgn.v17i56.2069>.
3. Flores, M. A. (2018). Linking teaching and research in initial teacher education: knowledge mobilisation and research-informed practice. *Journal of Education for Teaching*, 44(5), 621-636. <https://doi.org/10.1080/02607476.2018.1516351>.
4. Gussen, L., Schumacher, F., Großmann, N., Ferreira González, L., Schlüter, K., & Großschedl, J. (2023). Supporting pre-service teachers in developing research competence. *Front. Educ.* 8, 1197938. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1197938>.
5. Hokor, E. K. (2020). Pre-service teachers' probabilistic reasoning in constructivist classroom. *Pedagogical Research*, 5(2), em0053. <https://doi.org/10.29333/pr/7838>.
6. Hokor, E. K., & Sedofia, J. (2021). Developing probabilistic reasoning in preservice teachers: Comparing the learner-centered and teacher-centered approaches of teaching. *International Journal of Studies in Education and Science*, 2(2), 120-145.
7. Mak, P., Yang, M., & Yuan, R. (2023). Fostering teacher competence through classroom-based research during field experiences. *Journal of Education for Teaching*, 49(5), 841–856. <https://doi.org/10.1080/02607476.2022.2150963>
8. Kinesheva, A. Yu. (2015). Informatsiini tekhnolohii yak skladova funktsionalno-zmistovnoi modeli formuvannia prohnostychnoi kompetentnosti maibutnix mahistriv pochatkovoї osvity [Information technologies as a component of the functional-content model of the formation of predictive competence of future masters of primary education]. *Informatsiini tekhnolohii v osviti – Information technologies in education*, (25), 115–125. (in Ukrainian)
9. Postoian, T. H., & Kinesheva, A. Yu. (2015). Pedahohichni umovy formuvannia prohnostychnoi kompetentnosti maibutnix mahistriv pochatkovoї osvity [Pedagogical conditions for the formation of predictive competence of future masters of primary education]. *Pedahohichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnolohii – Pedagogical sciences: theory, history, innovative technologies*, (7), 124–130. (in Ukrainian)
10. Puzikov, D. (2018). Navchalno-metodychna literatura yak zasib formuvannia prohnostychnoi kompetentnosti suchasnoho vchytelia [Educational and methodological literature as a means of forming the predictive competence of a modern teacher]. *Problemy suchasnoho pidruchnyka – Problems of a modern textbook*, (21), 358–371. <https://doi.org/10.32405/2411-1309-2018-21-358-371>. (in Ukrainian)
11. Spitsyn, Ye., & Leshchenko, V. (2024a). Prohnostychna kompetentnist uchytelia: porivnialnyi analiz profesiinykh standartiv v Estonii ta Ukraini [Teacher's predictive competence: a comparative analysis of professional standards in Estonia and Ukraine]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Seriiia "Pedahohika" – Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series "Pedagogy"*, 2(18). <https://doi.org/10.17721/2415-3699.2023.18.12>. (in Ukrainian)
12. Spitsyn, Ye., & Leshchenko, V. (2024b). Prohnostychna kompetentnist uchytelia: sut i mistse u profesiinomu standarti [Teacher's predictive competence: the essence and place in the professional standard]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Seriiia "Pedahohika" – Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series "Pedagogy"*, 1(17). <https://doi.org/10.17721/2415-3699.2023.17.11>. (in Ukrainian)
13. Tkachuk, H. V., & Voitovych, I. S. (2025). Rozvytok profesiinykh kompetentnostei maibutnix uchyteliv informatyky u protsesi vprovadzhenia STEM-pidkhodiv [Development of professional competencies of future teachers of computer science in the process of implementing STEM approaches]. *Information Technologies in Education*, 2(58), 134–145. <https://doi.org/10.14308/ite000805>. (in Ukrainian)
14. Khaletska, K. (2023). Model formuvannia prohnostychnoi kompetentnosti maibutnix uchyteliv matematyky [Model of formation of predictive competence of future teachers of mathematics]. *Aktualni pyttannia humanitarnykh nauk – Current issues of the humanities*, 67(2), 351–356. <https://doi.org/10.24919/2308-4863/67-2-52>. (in Ukrainian)
15. Khaletska, K. (2024). *Formuvannia prohnostychnoi kompetentnosti maibutnix uchyteliv matematyky u zakladakh vshchoї osvity [Formation of predictive competence of future teachers of mathematics in higher education institutions]*. Doctoral dissertation. State Institution South Ukrainian National Pedagogical University named after K. D. Ushynsky, Odessa, Ukraine. (in Ukrainian)

16. Sharavara, V. V. (2020). Analiz realnoi praktyky formuvannia prohnostychnoi kompetentnosti maibutnikh bakalavriv kompiuternykh nauk [Analysis of the real practice of forming predictive competence of future bachelors of computer science]. *Fyzyko-matematychna osvita – Physical and mathematical education*, 1 (23), 2, 89–94. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2020-023-1-2-014>. (in Ukrainian)

| Матеріал надійшов до редакції: 08.04.2026 р. | Прийнято до друку: 29.05.2026 р. | Опубліковано: 30.06.2026 р. |





ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА (PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION)

p-ISSN: 2413-1571, e-ISSN: 2413-158X

2026, 41(3), <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-05>

ВІД САМОПЕРЕВІРКИ ДО ВЗАЄМНОГО РЕЦЕНЗУВАННЯ: РОЗВИТОК КОГНІТИВНО- ВЕРИФІКАЦІЙНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНЮВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ ЗАВДАНЬ В УМОВАХ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Ярослав ЧКАНА ✉

Сумський державний педагогічний університет
імені А.С.Макаренка, Україна
ya.chkana_76@sspu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-3667-3584>

FROM SELF-ASSESSMENT TO PEER REVIEW: THE DEVELOPMENT OF A COGNITIVE-VERIFICATION APPROACH TO THE EVALUATION OF MATHEMATICAL PROBLEMS IN THE CONTEXT OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Yaroslav CHKANA ✉

Sumy State Pedagogical University
named after A. S. Makarenko, Ukraine
ya.chkana_76@sspu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-3667-3584>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. Генеративний штучний інтелект підриває діагностичну надійність домашніх завдань у дистанційній математичній освіті: зовнішньо правильний результат більше не є достатнім доказом самостійного досягнення результатів навчання. Ключовим ризиком є метакогнітивна пасивність студента — делегування технології аналізу умови, вибору методу та перевірки результату. Стаття розвиває когнітивно-верифікаційний підхід автора, переносючи верифікаційну діяльність з індивідуальної самоперевірки на аналіз чужого математичного міркування через взаємне рецензування.

Матеріали і методи. Дослідження є теоретичним із пілотною апробацією. Теоретичну основу становлять концепція валідності оцінювання Мезіка, поняття метакогнітивної пасивності та концепція «assessment twins». На цій базі сконструйовано п'ятикомпонентну ризик-орієнтовану модель оцінювання. Пілот передбачав одну академічну групу (10 студентів), одне завдання з математичного аналізу та якісний описовий аналіз результатів.

Результати. Розроблено п'ятикомпонентну модель: когнітивно-верифікаційне розв'язання з контрольними точками; структуроване рецензування аналогічної роботи за критеріями; обов'язкова відповідь здобувача на рецензію; коротка саморефлексія; вибірковий аудит викладача (20–30 % робіт). Для курсу математичного аналізу розроблено приклади реалізації моделі (границя функції двох змінних, екстремум, подвійний інтеграл) та три варіанти підсумкового оцінювання.

Висновки. Модель переміщує проблему з площини виявлення використання штучного інтелекту в площину валідності оцінювання, формуючи кілька взаємодоповнювальних джерел доказів компетентності. Вибірковий аудит є масштабованішою альтернативою суцільному індивідуальному захисту робіт. Модель особливо перспективна для підготовки вчителів математики. Подальші дослідження мають емпірично перевірити вплив на метакогнітивну активність та оцінити співвідношення між валідністю й ресурсними витратами.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: генеративний штучний інтелект; взаємне рецензування; валідність оцінювання; метакогнітивна пасивність; когнітивно-верифікаційний підхід; математичний аналіз; дистанційне навчання; ризик-орієнтований аудит.

ABSTRACT

Problem statement. Generative artificial intelligence undermines the diagnostic reliability of homework assignments in distance mathematics education: an externally correct result is no longer sufficient evidence of a student's independent achievement of learning outcomes. The key risk is students' metacognitive passivity, understood as delegating to technology the analysis of the problem conditions, the choice of method, and the verification of the result. This article extends the author's cognitive-verification approach by shifting verification activity from individual self-checking to the analysis of another student's mathematical reasoning through peer review.

Materials and methods. The study is theoretical, with a pilot trial. The theoretical framework is based on Messick's concept of assessment validity, the notion of metacognitive passivity, and the concept of assessment twins. On this basis, a five-component risk-oriented assessment model was constructed. The pilot involved one academic group of 10 students, one mathematical analysis task, and a qualitative descriptive analysis of the results.

Results. A five-component model was developed: a cognitive-verification solution with checkpoints; structured review of an analogous work according to a rubric; a mandatory author's response to the review; brief self-reflection; and selective instructor audit of 20–30% of the submitted works. Examples of model implementation for a mathematical analysis course were designed, including the limit of a function of two variables, extrema, and a double integral, as well as three variants of final assessment.

Conclusions. The model shifts the problem from detecting the use of artificial intelligence to ensuring assessment validity by generating several complementary sources of evidence of competence. Selective audit is a more scalable alternative to the comprehensive individual defence of all submitted works. The model is particularly promising for the training of mathematics teachers. Further research should empirically test its impact on metacognitive activity and evaluate the balance between validity gains and resource costs.

KEYWORDS: generative artificial intelligence; peer review; assessment validity; metacognitive passivity; cognitive-verification approach; mathematical analysis; distance learning; risk-oriented audit.

ДЛЯ ЦИТУВАННЯ: Чкана Я. Від самоперевірки до взаємного рецензування: розвиток когнітивно-верифікаційного підходу до оцінювання математичних завдань в умовах генеративного штучного інтелекту. *Фізико-математична освіта*, 2026. Том 41. № 3. С. 37-44. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-05>.

FOR CITATION: Chkana, Ya. (2026). From self-assessment to peer review: the development of a cognitive-verification approach to the evaluation of mathematical problems in the context of generative artificial intelligence. *Physical and Mathematical Education*, 41(3), 37-44. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-05>.

ВСТУП

Поява загальнодоступних систем генеративного штучного інтелекту стала одним із тих технологічних зрушень, які змушують переглядати усталені педагогічні практики. Сьогодні викладач дедалі частіше отримує від студента не стільки свідчення його власної навчальної діяльності, скільки готовий цифровий артефакт — текст, розв'язання, пояснення, — чие походження й когнітивна історія залишаються невідомими. Особливо гостро ця проблема виявляється в дистанційному навчанні, де викладач позбавлений можливості безпосередньо спостерігати за процесом роботи здобувача, а отже, не може з певністю розрізнити самостійне міркування й відповідь, отриману за допомогою цифрового інструменту.

Для математичної освіти ця ситуація є принциповою, оскільки навчальний результат тут не зводиться до правильної числової або символічної відповіді. Справжнє оволодіння математичним аналізом передбачає вміння аналізувати умову задачі, обирати адекватний метод, перевіряти умови застосування теорем, будувати логічний ланцюг міркувань, інтерпретувати отриманий результат і, що особливо важливо, помічати й виправляти помилки — як власні, так і чужі. Генеративний штучний інтелект здатен швидко створити зовнішньо переконливе розв'язання, однак наявність такого розв'язання аж ніяк не гарантує, що студент справді опанував відповідні компетентності.

У попередньому дослідженні автора було запропоновано когнітивно-верифікаційний підхід до трансформації домашніх завдань із математичного аналізу (Chkana, 2026). Його основна ідея полягала в тому, що завдання має містити не лише обчислювальний, а й обов'язкові пояснювальні та перевірочні елементи — вибір методу, обґрунтування ключових переходів, перевірку результату, аналіз можливих помилок, змістову інтерпретацію відповіді. Така структура, як було показано, підвищує когнітивну складність діяльності та зменшує можливість формальні подання готової відповіді без її осмислення. Проте включення цих компонентів не усуває повністю проблеми оцінювання, адже генеративний штучний інтелект здатен створити не лише обчислення, а й пояснення вибору методу, перевірку результату й навіть рефлексивний коментар.

Звідси виникає подвійна суперечність. З одного боку, для підвищення надійності оцінювання потрібно отримувати додаткові докази розуміння студента — наприклад, через індивідуальну усну співбесіду щодо кожної зданої роботи. З іншого боку, в умовах великої кількості студентів і жорстких часових обмежень така процедура стає організаційно нереалістичною, а додаткове навантаження на викладача здебільшого не передбачене в індивідуальному плані роботи. Отже, потрібна модель, яка зберігає діагностичну цінність оцінювання, але не перекладає весь тягар додаткового контролю на викладача.

Саме тому ми пропонуємо розвинути когнітивно-верифікаційний підхід у напрямі від індивідуальної самоперевірки до комплементарного взаємного рецензування. Ідея полягає в тому, щоб зробити аналіз і оцінювання математичного міркування не лише прерогативою викладача, а й повноцінною навчальною діяльністю самих здобувачів. Рецензуючи роботу іншого, здобувач змушений застосовувати ті самі критерії правильності, що й викладач, але в іншій когнітивній ситуації — коли йому невідома логіка автора, коли він має реконструювати чуже міркування, виявити слабкі місця й аргументовано сформулювати свої зауваження. Взаємне рецензування, таким чином, стає не просто засобом розвантаження викладача, а самостійним механізмом розвитку критичного мислення, рефлексії й метакогнітивної активності.

Метою цієї статті є теоретичне обґрунтування ризик-орієнтованої моделі оцінювання математичних завдань, яка поєднує власне когнітивно-верифікаційне виконання, структуроване взаємне рецензування, відповідь здобувача на рецензію та вибірковий аудит викладача. Така модель, на нашу думку, здатна підвищити валідність оцінювання в умовах генеративного штучного інтелекту, розвивати в здобувачів професійно важливі вміння аналізувати математичні міркування й водночас зберігати реалістичне навантаження на викладача.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сучасний міжнародний дискурс дедалі виразніше зміщує акцент із питання «Чи використовував студент штучний інтелект?» на питання «Чи дозволяє процедура оцінювання зробити обґрунтований висновок про досягнення результатів навчання?» Цей перехід є надзвичайно важливим, оскільки він переносить проблему з площини виключно академічної доброчесності у площину валідності оцінювальних процедур. Як слушно зауважують Dawson та його колеги (Dawson et al., 2024), навіть якщо неможливо остаточно встановити, чи користувався здобувач генеративним штучним інтелектом, викладач і заклад освіти повинні мати достатні підстави стверджувати, що здобувач досяг відповідних результатів навчання. Автоматичні детектори текстів, створених штучним інтелектом, як свідчать емпіричні дослідження (Weber-Wulff et al., 2023; Perkins et al., 2024; Sun et al., 2026), не забезпечують необхідної надійності й можуть бути легко обійдені редагуванням або перефразуванням; до того ж вони створюють ризик хибних звинувачень. Тому покладатися на них як на основний інструмент контролю було б помилкою.

Натомість перспективнішим видається підхід, який спирається на концепцію валідності, розроблену в класичних працях Messick (Messick, 1989, 1993). Ця концепція передбачає, що валідність оцінювання — це не властивість окремого тесту чи завдання, а ступінь, до якого наявні докази й теоретичні міркування підтримують інтерпретацію результатів оцінювання як показників певного конструкту. У нашому випадку конструктом є математична компетентність здобувача,

а доказом — виконане домашнє завдання. Однак в умовах генеративного штучного інтелекту цей доказ стає неповним або й сумнівним, якщо ми не маємо додаткових джерел інформації про те, як саме здобувач дійшов до свого розв'язання.

Важливим теоретичним поняттям для опису цієї ситуації є метакогнітивна пасивність, яку дослідники (Fan et al., 2025) визначають як схильність здобувача делегувати зовнішньому інструментові (зокрема генеративному штучному інтелекту) не лише технічне виконання, а й планування, моніторинг, оцінювання й корекцію власної роботи. У математичному навчанні це означає, що здобувач може отримати правильний кінцевий результат, але при цьому не виконати тих когнітивних дій, які власне й формують математичне мислення: не проаналізувати умову, не обрати метод самостійно, не перевірити умови застосування теореми, не оцінити правдоподібність відповіді. Таким чином, метакогнітивна пасивність є не просто проблемою академічної доброчесності, а фундаментальним ризиком для самого навчання, адже здобувач позбавляється можливості розвивати ті навички, які становлять суть математичної освіти.

Саме тому оцінювання в умовах генеративного штучного інтелекту має ґрунтуватися не на одному артефакті, а на сукупності взаємопов'язаних доказів. Оригінальну ідею в цьому напрямі пропонують Roe, Perkins і Giray, які вводять концепцію *assessment twins* — двох спеціально розроблених взаємозалежних компонентів оцінювання, спрямованих на ті самі результати навчання, але використовують різні способи отримання доказів і виконуються достатньо близько в часі (Roe, Perkins, & Giray, 2026). Така пара дозволяє перехресно перевірити результати й знизити відому вразливість, зокрема можливість виконання завдання за допомогою генеративного штучного інтелекту. Автори концепції розглядають широкий спектр можливих пар: письмова робота й усна співбесіда, домашнє завдання й контрольоване практичне виконання, звіт і групове обговорення тощо.

Наша модель посідає особливе місце в цьому контексті. Взаємне рецензування, яке ми пропонуємо як комплементарний компонент, не є просто ще одним завданням на ту саму тему. Воно оцінює ті самі результати навчання (здатність аналізувати, застосовувати критерії, виявляти помилки, обґрунтовувати висновки), але робить це через інший вид діяльності — аналіз чужого міркування. Така діяльність, як показують систематичні огляди та метааналізи (Kerman et al., 2024; Zhan et al., 2023), здатна підтримувати мислення вищого порядку, оскільки вона вимагає не простого відтворення знань, а застосування критеріїв, порівняння, оцінювання й аргументації. Особливо цінним є те, що в математичній освіті рецензування має професійну автентичність, особливо для майбутніх учителів математики, адже вміння аналізувати учнівські помилки, ставити діагностичні запитання й пропонувати корекцію є невід'ємною частиною їхньої майбутньої діяльності (de-Armas-González et al., 2023; Biton, 2025).

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досягнення поставленої мети — теоретичного обґрунтування ризик-орієнтованої моделі оцінювання — у роботі використано комплекс загальнонаукових і педагогічних методів.

На теоретичному рівні застосовано метод критичного аналізу наукової літератури (зокрема, праць із валідності оцінювання, метакогнітивної пасивності, генеративного штучного інтелекту в освіті, а також систематичних оглядів із взаємного рецензування). Це дало змогу визначити ключові ризики традиційних форм контролю та обґрунтувати необхідність переходу від індивідуальної самоперевірки до комплементарного рецензування. Використано метод концептуального моделювання, за допомогою якого синтезовано чотири обов'язкові та один вибірковий компоненти в цілісну процедуру; побудовано структурно-логічну схему (рис. 1) та описано різні варіанти адитивного, порогового та підтверджувального оцінювання. Метод аналогії та узагальнення залучено для перенесення принципів перехресної верифікації (Roe, Perkins, & Giray, 2026) у контекст математичних завдань, а також для розробки типових прикладів реалізації моделі в курсі математичного аналізу.

На емпіричному рівні проведено пілотну апробацію моделі в одній академічній групі (N=10) дистанційної форми навчання в межах одного завдання з теми «Екстремуми функції двох змінних». Пілот мав розвідувальний характер і був спрямований на перевірку принципової працездатності процедури, а не на статистичне підтвердження гіпотез. Збір даних здійснено за допомогою трьох інструментів:

аналіз виконання рецензій — оцінено, чи виявляють студенти закладені типові помилки в запропонованих викладачем рецензентам розв'язаннях (критерій — наявність аргументованого зазначення пропущеної достатньої умови, неправильного застосування критерію або пропущеного якобіана);

коротке анонімне опитування з відкритими питаннями — два питання: «Чи змусило вас рецензування чужої роботи уважніше поставитися до власного розв'язання?» та «Із якими труднощами ви зіткнулися під час рецензування?»;

спостереження викладача за діалогом «автор — рецензент» — фіксувалося, чи наводить автор математичні аргументи у відповіді на рецензію, чи обмежується формальною згодою.

Обробка отриманих даних проводилася якісними методами: контент-аналіз відповідей на відкриті запитання, порівняльний аналіз рецензій із еталонними викладацькими очікуваннями, тематичне кодування труднощів, що виникали в студентів. Кількісні показники не обчислювалися через малий об'єм вибірки та розвідувальний характер пілоту. Отримані якісні результати використано для корекції критеріїв і уточнення процедури аудиту перед наступними етапами дослідження.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Когнітивно-верифікаційний підхід, запропонований у попередній роботі (Chkana, 2026), спирався на ідею, що домашнє завдання має стати не лише тренувальною вправою, а й засобом формування самоконтролю та рефлексії. Здобувач, виконуючи таке завдання, не просто отримує відповідь, а й пояснює вибір методу, обґрунтовує ключові кроки, перевіряє результат, аналізує можливі помилки й інтерпретує відповідь у змістовому контексті. Однак, як уже зазначалося, генеративний штучний інтелект здатен запропонувати не тільки розв'язання, але й його перевірку та пояснення. Тому

наступним логічним кроком є перенесення верифікаційної діяльності на новий об'єкт — математичне міркування іншої особи.

Такий перехід є не просто технічним ускладненням, а якісною зміною когнітивної ситуації. Коли здобувач перевіряє власну роботу, він часто спирається на пам'ять про свої дії, на інтуїцію, на знання того, «як мало бути». Коли ж він рецензує чужу роботу, він не має цих підказок; він змушений реконструювати логіку невідомого автора, зіставляти її з математичними критеріями й формулювати зовнішнє аргументоване судження. Це значно складніше завдання, яке активізує саме ті метакогнітивні процеси, які часто залишаються пасивними при використанні генеративного штучного інтелекту (Fan et al., 2025).

Варто підкреслити, що запропонована модель не скасовує й не применшує значення попереднього етапу. Навпаки, якісне рецензування неможливе без сформованих умінь пояснювати й перевіряти власне розв'язання. Здобувач, який не навчився верифікувати власну роботу, навряд чи зможе аргументовано оцінити чужу. Отже, два етапи — самоперевірка й перехресне рецензування — органічно доповнюють один одного, утворюючи єдину систему формування математичної компетентності.

Запропонована нами модель складається з чотирьох обов'язкових компонентів і одного вибіркового, які разом утворюють цілісну процедуру, здатну забезпечити надійні докази досягнення результатів навчання навіть в умовах широкої доступності генеративного штучного інтелекту.

Першим компонентом є власне *когнітивно-верифікаційне розв'язання*. Здобувач отримує математичне завдання, яке містить не лише вимогу отримати числову або символічну відповідь, а й низку контрольних точок, що фіксують логіку міркування. Залежно від теми, це можуть бути: визначення типу задачі, вибір методу, пояснення умов застосування теореми, виконання розв'язання з проміжними викладками, проведення перевірки, формулювання змістового висновку тощо. Наприклад, у задачі на дослідження екстремуму функції двох змінних здобувач повинен подати частинні похідні першого порядку, критичні точки, другі похідні, дискримінант другого диференціала, висновок про характер точки та коротку геометричну інтерпретацію. Така структура робить завдання значно менш вразливим до простого копіювання згенерованої відповіді, оскільки воно вимагає осмисленого членування процесу.

Другий компонент — це *комплементарне рецензування*. Здобувач отримує не довільну роботу з будь-якої теми, а розв'язання, структурно аналогічне його власному завданню й спрямоване на ті самі результати навчання. Це принципова умова: якщо здобувач розв'язував задачу на умовний екстремум, а рецензує задачу на криволінійний інтеграл, така діяльність може бути навчальною корисною, але вона не створює комплементарного доказу того самого результату. Рецензування виконується за чітким критерієм, яка спрямовує увагу здобувача на ключові аспекти математичної правильності: розуміння умови, відповідність методу, перевірку передумов, логічну коректність, обчислювальну точність, повноту, наявність перевірки результату, обґрунтованість висновку. Важливо, що рецензент не виставляє остаточної оцінки здобувачу; його завдання — надати аргументований аналіз і, за можливості, сформулювати уточнювальне запитання та конкретну рекомендацію щодо покращення.

Третій компонент — *відповідь здобувача на отриману рецензію*. Здобувач має коротко, але змістовно відреагувати на зауваження: вказати, з якими з них він погоджується й які виправлення вносить, а з якими не погоджується й чому, наводячи математичні аргументи. Цей етап є критично важливим з двох причин. По-перше, він показує, чи здатен здобувач оцінити якість отриманого зворотного зв'язку, тобто чи володіє він критичним ставленням не лише до власної роботи, а й до чужих суджень. По-друге, він запобігає ситуації, коли помилкова або поверхнева рецензія автоматично сприймається як істина. Діалог між здобувачем і рецензентом перетворює процедуру на живу комунікацію, а не на одноразове коментування.

Четвертий компонент — *коротка саморефлексія*, яка для великих груп може бути зведена до кількох запитань: який крок розв'язання був ключовим, де можливе слабе місце, чи використовувався штучний інтелект і для якої операції, що здобувач перевіряв самостійно. Цей блок не повинен перетворюватися на великий текст, який також легко згенерувати; його функція — зафіксувати позицію здобувача перед рецензуванням і створити додаткову точку відліку для викладача (Combrinck & Loubser, 2025).

Нарешті, п'ятий, вибіркового компонента — це *аудит викладача*. Викладач не проводить індивідуальної співбесіди з кожним здобувачем, а здійснює перевірку за комбінованим принципом: випадково обрані роботи, роботи з істотними суперечностями між розв'язанням, рецензією та відповіддю здобувача, рецензії без аргументації, роботи з нетиповим методом, випадки різкого розходження між поточною навчальною активністю й рівнем поданої роботи. Випадковий компонент є необхідним для справедливості: якщо перевіряються лише «підозрілі» здобувачі, процедура може сприйматися як каральна й упереджена. Аудит може мати форму одного-двох коротких запитань, що стосуються ключового переходу, зміненої умови або виправлення конкретної помилки (рис. 1).

Щоб зробити запропоновану модель більш наочною, розглянемо кілька конкретних прикладів із курсу математичного аналізу, які ілюструють, як одне й те саме завдання може бути подане для виконання й для рецензування.

Перший приклад стосується теми границі функції двох змінних. Здобувачеві пропонується дослідити існування границі $\lim_{(x,y) \rightarrow (0;0)} \frac{x^2 - y^2}{x^2 + y^2}$. У розв'язанні він має перевірити принаймні два різні шляхи наближення, зробити висновок

про існування або неіснування границі й пояснити, чому одного шляху недостатньо. Рецензент, у свою чергу, отримує розв'язання, в якому інший здобувач, скажімо, перевіряв лише шлях вздовж прямої $y = x$, отримав нуль і зробив висновок, що границя дорівнює нулю. Завдання рецензента — виявити логічну помилку, запропонувати два інші шляхи (наприклад, $y = 0$ та $y = 2x$), сформулювати правильний висновок про неіснування границі й пояснити, чому одного шляху достатньо для спростування, але недостатньо для доведення. Цей приклад добре демонструє, як рецензування перевіряє не лише знання техніки, а й розуміння логіки доведення.



Рис. 1. Структура ризик-орієнтованої моделі оцінювання (п'ять компонентів)

Джерело: згенеровано за допомогою ШІ (<https://claude.ai>) на основі авторського опису

Другий приклад — дослідження екстремуму функції двох змінних, наприклад, $f(x, y) = x^2 - y^2$. Здобувач має знайти частинні похідні, критичну точку, обчислити другі похідні, застосувати критерій другого порядку й зробити висновок. Рецензент отримує розв'язання, в якому здобувач знайшов частинні похідні, прирівняв їх до нуля й зробив висновок, що в точці $(0,0)$ функція має мінімум, не перевірявши достатніх умов. Рецензент має оцінити достатність умови (рівність нулю частинних похідних першого порядку), обчислити другі похідні, застосувати критерій, пояснити сідловий характер точки й запропонувати геометричну або траєкторну перевірку. Тут перевіряється не техніка диференціювання, а розуміння різниці між необхідною й достатньою умовами екстремуму.

Третій приклад — обчислення подвійного інтеграла $\iint_{x^2+y^2 \leq 1} (x^2 - y^2) dx dy$. Здобувач має виконати перехід до

полярних координат, правильно записати межі інтегрування, не забути про якобіан і виконати обчислення. Рецензент отримує розв'язання, де здобувач перейшов до полярних координат, але записав інтеграл без множника r . Завдання рецензента — знайти пропущений елемент, пояснити роль якобіана, виправити інтеграл, обґрунтувати межі й сформулювати геометричний сенс множника r . Цей приклад ілюструє, як рецензування виявляє не лише обчислювальні помилки, а й концептуальні прогалини.

У кожному з цих випадків рецензування перевіряє ті самі результати навчання, що й власне виконання, але в іншому режимі діяльності — через аналіз чужого міркування, що вимагає глибшого розуміння й критичного підходу.

Підсумкова оцінка за виконану роботу може формуватися на основі трьох компонентів. Найпростіший варіант — адитивна модель, де 40 % ваги припадає на власне розв'язання, 40 % — на якість рецензії чужої роботи й 20 % — на відповідь здобувача на отриману рецензію. Такий розподіл зменшує домінування готового продукту й стимулює здобувача серйозно ставитися до рецензування. Водночас можна застосувати порогову модель, за якої здобувач отримує високу оцінку за власне розв'язання лише за умови досягнення мінімального рівня за рецензування та відповідь на feedback. Це підкреслює обов'язковість аналітичної компетентності. Нарешті, можлива підтверджувальна модель, де рецензія й відповідь здобувача не додають значної кількості балів, але слугують підтвердженням того, що результат первинної роботи можна інтерпретувати як свідчення досягнення результату навчання. Для перших пілотних досліджень доцільно використовувати адитивну модель із порогом для обов'язкового аудиту, що зменшує ризик надмірно жорстких наслідків на етапі, коли здобувачі ще навчаються рецензувати.

Щодо практичного впровадження, варто дотримуватися кількох рекомендацій. По-перше, завдання мають містити контрольні точки, а не обмежуватися кінцевою відповіддю. По-друге, рецензія повинна бути обов'язково структурованою — без чітких запитань здобувачі схильні писати формальні коментарі на кшталт «усе правильно». По-третє, якість рецензії має впливати на оцінку, інакше здобувачі не сприйматимуть цей етап серйозно. По-четверте, відповідь здобувача на рецензію є обов'язковою — це перетворює реєв'ю на діалог. По-п'яте, аудит викладача має бути вибірконим, але прозорим: здобувачі повинні знати критерії відбору робіт для перевірки. На початковому етапі доцільно пропонувати здобувачам для рецензування не реальні роботи, а спеціально підготовлені викладачем розв'язання з типовими помилками — це допоможе сформувати культуру математичного рецензування. І нарешті, всі процедури слід чітко прописати в силабусі, щоб здобувачі заздалегідь знали, що оцінюється не лише розв'язання, а й здатність аналізувати й рецензувати математичне міркування.

Нами було проведено попередню (пілотну) апробацію запропонованої моделі в межах курсу математичного аналізу для дистанційної форми навчання. Пілот охоплював одну академічну групу (10 студентів) протягом одного завдання на тему, для якої вже розроблено приклад реалізації моделі (зокрема, дослідження екстремуму функції двох

змінних, описане вище). Цикл містив всі чотири обов'язкові компоненти (власне розв'язання, комплементарне рецензування, відповідь здобувача на рецензію та коротку саморефлексію), а вибірковий аудит викладача був застосований до 30 % робіт за комбінованим принципом, описаним вище.

Оцінювання результатів пілоту мав описовий, якісний характер і не передбачав статистичної перевірки гіпотез, що відповідає масштабу й меті пілотного етапу. Як орієнтовні джерела доказів було використано: (1) аналіз того, чи виявляють рецензенти закладені в розв'язаннях типові помилки (наприклад, неперевірену достатню умову екстремуму) — цей показник прямо відповідає меті моделі; (2) коротке анонімне опитування здобувачів із двома-трьома відкритими питаннями про те, чи змусило рецензування чужої роботи уважніше поставитися до власного розв'язання, і з якими труднощами вони зіткнулися під час рецензування; (3) спостереження викладача за якістю діалогу “здобувач – рецензент” на етапі відповіді на рецензію (зокрема, чи наводить здобувач математичні аргументи, чи просто погоджується або відмовчується).

Очікуваним позитивним результатом пілоту є підтвердження принципової працездатності моделі: здатність хоча б частини рецензентів самостійно виявляти закладені помилки без підказки викладача, а також виникнення змістовного діалогу на етапі відповіді автора замість формального “погоджуюсь”. Такий результат, навіть без статистичного узагальнення, слугуватиме первинним підтвердженням того, що комплементарне рецензування активізує саме ті метакогнітивні дії, на розвиток яких орієнтована модель, і створить підставу для розширення вибірки та переходу до повноцінного емпіричного дослідження з кількісними показниками.

ОБГОВОРЕННЯ ТА ОБМЕЖЕННЯ

Запропонована модель розвиває когнітивно-верифікаційний підхід у трьох суттєвих напрямках. По-перше, вона переходить від одного джерела доказів до кількох: власне розв'язання показує, що здобувач може побудувати математичне міркування, а рецензування — що він може застосувати критерії правильності до іншого випадку; відповідь на feedback демонструє здатність оцінити критику й переглянути власну позицію. По-друге, модель виводить проблему з площини виявлення використання штучного інтелекту в площину валідності: її завданням є не доведення того, хто саме створив кожен рядок первинної роботи, а отримання достатньої сукупності доказів того, що здобувач володіє заявленою математичною компетентністю (Dawson et al., 2024; Roe, Perkins, & Giray, 2026). По-третє, модель пропонує масштабованішу альтернативу суцільному усному захисту: вибірковий аудит не усуває додаткового навантаження, але спрямовує його на випадки, де суперечності між компонентами роблять оцінювальне судження недостатньо обґрунтованим.

Водночас слід чітко усвідомлювати, що взаємне рецензування не є автоматично стійким до генеративного штучного інтелекту. Здобувач може передати чужу роботу системі й отримати готовий feedback. Отже, сильна сторона моделі полягає не в технічній неможливості використання штучного інтелекту, а в багатокomпонентності процедури, структурній відповідності завдань, необхідності реагувати на feedback і можливості вибіркового аудиту. Якщо здобувач використовує генеративний штучний інтелект для написання рецензії, це може виявитися під час аудиту, особливо якщо рецензія містить загальні фрази без конкретних посилань на математичні кроки. Однак повністю запобігти такому використанню неможливо, тому модель має ґрунтуватися на педагогічному дизайні, а не на технічних обмеженнях (Corbin, Dawson, & Liu, 2025; Corbin et al., 2025).

Серед обмежень моделі варто назвати обмежений масштаб емпіричної перевірки — на цьому етапі вона спирається лише на одноразовий пілот без статистичного узагальнення, тоді як повноцінна перевірка на більшій вибірці й з кількісними показниками валідності ще попереду. Якість рецензування залежить від рівня підготовки здобувачів: слабший може не помітити помилок у роботі сильнішого, або, навпаки, необґрунтовано їх приписати. Тому необхідно проводити навчання рецензуванню, використовувати еталонні приклади, починати з підготовлених викладачем розв'язань і забезпечувати вибіркову модерацію (Topping et al., 2025). Нерівноцінність робіт також створює виклик: майже безпомилкове або хаотичне розв'язання може створювати різні когнітивні можливості для рецензента, тому розподіл робіт має враховувати складність і типи помилок. Крім того, модель потребує ресурсів: викладач має підготувати аналогічні завдання, створити критерії, організувати розподіл, перевірити частину рецензій і розв'язати конфліктні випадки. Ця робота має визнаватися складником педагогічного навантаження. Нарешті, варто враховувати питання справедливості й інклюзивності: здобувачі можуть мати різний досвід отримання критичного зворотного зв'язку, мовну підготовку, рівень тривожності й комунікативні особливості. Необхідними є анонімізація, правила коректної комунікації, альтернативні формати й прозорі критерії.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Генеративний штучний інтелект змінює не лише способи виконання навчальних завдань, а й саму обґрунтованість висновків, які викладач робить на основі готового продукту. У дистанційному математичному навчанні правильне й належно оформлене розв'язання вже не може автоматично вважатися достатнім доказом досягнення результату навчання. Натомість оцінювання має будуватися на сукупності взаємопов'язаних доказів, які в різний спосіб засвідчують здатність здобувача аналізувати, застосовувати, перевіряти й аргументувати математичні міркування.

Запропонована в цій статті модель є послідовним розвитком когнітивно-верифікаційного підходу (Chkana, 2026): верифікаційна діяльність переноситься з власного розв'язання на аналіз структурно аналогічного чужого міркування. Комплементарне взаємне рецензування не є прямим доказом авторства первинної роботи й не замінює викладацького оцінювання. Його значення полягає у створенні другого джерела доказів — здатності здобувача застосовувати математичні критерії, виявляти помилки, обґрунтовувати оцінку й пропонувати виправлення. Поєднання власного когнітивно-верифікаційного завдання, структурованої рецензії, відповіді здобувача та вибіркового ризик-орієнтованого

аудиту потенційно посилює валідність оцінювання й створює масштабованішу альтернативу обов'язковому індивідуальному захисту кожної роботи.

Водночас модель не є універсальним або остаточним розв'язанням проблеми генеративного штучного інтелекту. Її ефективність залежить від узгодження результатів навчання, якості критеріїв, підготовки здобувачів, способу розподілу робіт, прозорості аудиту та інституційного врахування навантаження викладача (Corbin, Dawson, & Liu, 2025). Особливо перспективною вона видається для підготовки майбутніх учителів математики, для яких рецензування чужих розв'язань є професійно автентичною діяльністю (de-Armas-González et al., 2023; Biton, 2025).

Подальші дослідження мають бути спрямовані на повномасштабну емпіричну перевірку моделі — оцінювання її впливу на математичне міркування, метакогнітивну активність здобувачів, а також визначення реального співвідношення між підвищенням валідності та додатковими ресурсними витратами. Лише після такої перевірки можна буде з упевненістю говорити про практичну доцільність і межі застосування цієї моделі в різних освітніх контекстах.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автор підтверджує відсутність фінансових, особистих чи інших інтересів, що можуть розглядатися як потенційний конфлікт інтересів щодо публікації цієї статті.

ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Робота виконана за відсутності фінансової підтримки з боку будь-яких організацій.

ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ

Дані можуть бути надані за обґрунтованим запитом відповідному автору.

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Засоби ШІ, зокрема, claude.ai, було використано для візуалізації моделі запропонованого в статті когнітивно-верифікаційного підходу та ChatGPT для поліпшення якості мови. Автор критично перевірів і відредагував отриманий контент та несе повну відповідальність за його зміст.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Bennett, R. E. (2011). Formative assessment: A critical review. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 18(1), 5–25. <https://doi.org/10.1080/0969594X.2010.513678>
- Biton, Y. (2025). Learning mathematics through peer assessment: "How can we assess something that we ourselves don't know how to solve?" *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. <https://www.ejmste.com/article/learning-mathematics-through-peer-assessment-how-can-we-assess-something-that-we-ourselves-dont-know-15794>
- Combrinck, C., & Loubser, N. (2025). Student self-reflection as a tool for managing GenAI use in large class assessment. *Discover Education*, 4, Article 72. <https://link.springer.com/article/10.1007/s44217-025-00461-2>
- Corbin, T., Bearman, M., Boud, D., & Dawson, P. (2025). The wicked problem of AI and assessment. *Assessment & Evaluation in Higher Education*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/02602938.2025.2553340>
- Corbin, T., Dawson, P., & Liu, D. (2025). Talk is cheap: Why structural assessment changes are needed for a time of GenAI. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 50(7), 1087–1097. <https://doi.org/10.1080/02602938.2025.2503964>
- Dawson, P., Bearman, M., Dollinger, M., & Boud, D. (2024). Validity matters more than cheating. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 49(7), 1005–1016. <https://doi.org/10.1080/02602938.2024.2386662>
- de-Armas-González, P., Perdomo-Díaz, J., & Sosa-Martín, D. (2023). Peer assessment processes in a problem-solving activity with future teachers. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(4), Article em2245. <https://www.ejmste.com/article/peer-assessment-processes-in-a-problem-solving-activity-with-future-teachers-13057>
- Fan, Y., Tang, L., Le, H., Shen, K., Tan, S., Zhao, Y., Shen, Y., Li, X., & Gašević, D. (2025). Beware of metacognitive laziness: Effects of generative artificial intelligence on learning motivation, processes, and performance. *British Journal of Educational Technology*, 56(2), 489–530. <https://doi.org/10.1111/bjet.13544>
- Gao, X., Noroozi, O., Gulikers, J., Biemans, H. J. A., & Banihashem, S. K. (2024). A systematic review of the key components of online peer feedback practices in higher education. *Educational Research Review*, 42, 100588. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2024.100588>
- Sun, Y., Liao, Y., & Ma, X. (2026). Trusting AI to detect AI? A systematic evaluation of the reliability and robustness of current AIGC detection tools for student academic work. *Computers & Education*, 249, 105616. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2026.105616>
- Heil, J., & Ifenthaler, D. (2023). Online assessment in higher education: A systematic review. *Online Learning*, 27(1), 187–218. <https://olj.onlinelearningconsortium.org/index.php/olj/article/view/3398>
- Kerman, N. T., Banihashem, S. K., Karami, M., Er, E., van Ginkel, S., & Noroozi, O. (2024). Online peer feedback in higher education: A synthesis of the literature. *Education and Information Technologies*, 29(1), 763–813. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12273-8>
- Messick, S. (1989). Validity. In R. L. Linn (Ed.), *Educational measurement* (3rd ed., pp. 13–103). *American Council on Education*.
- Messick, S. (1993). Foundations of validity: Meaning and consequences in psychological assessment. *ETS Research Report Series*, 1993(2), i–18. <https://doi.org/10.1002/j.2333-8504.1993.tb01562.x>
- Perkins, M., Roe, J., Vu, B. H., Postma, D., Hickerson, D., McGaughan, J., & Khuat, H. Q. (2024). Simple techniques to bypass GenAI text detectors: Implications for inclusive education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21, Article 53. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00487-w>
- Roe, J., Perkins, M., & Giray, L. (2026). Assessment twins: An approach for strengthening assessment validity in the age of generative AI. *Journal of Applied Learning & Teaching*, 9(2). <https://doi.org/10.37074/jalt.2026.9.2.3>
- Rudolph, J., Tan, S., & Tan, S. (2023). ChatGPT: Bullshit spewer or the end of traditional assessments in higher education? *Journal of Applied Learning & Teaching*, 6(1), 342–363. <https://doi.org/10.37074/jalt.2023.6.1.9>

18. Topping, K. J., Gehringer, E., Khosravi, H., Gudipati, S., Jadhav, K., & Susarla, S. (2025). Enhancing peer assessment with artificial intelligence. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 22, Article 3. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00501-1>
19. Weber-Wulff, D., Anohina-Naumeca, A., Bjelobaba, S., Foltýnek, T., Guerrero-Dib, J., Popoola, O., Šigut, P., & Waddington, L. (2023). Testing of detection tools for AI-generated text. *International Journal for Educational Integrity*, 19, Article 26. <https://doi.org/10.1007/s40979-023-00146-z>
20. Zhan, Y., Yan, Z., Wan, Z. H., Wang, X., Zeng, Y., Yang, M., & Yang, L. (2023). Effects of online peer assessment on higher-order thinking: A meta-analysis. *British Journal of Educational Technology*, 54(4), 817–835. <https://doi.org/10.1111/bjet.13310>
21. Чкана, Я. (2026). Когнітивно-верифікаційний підхід до трансформації домашніх завдань з математичного аналізу в умовах використання штучного інтелекту. *Фізико-математична освіта*, 41(2), 86–93. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i2-08>

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Bennett, R. E. (2011). Formative assessment: A critical review. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 18(1), 5–25. <https://doi.org/10.1080/0969594X.2010.513678>
2. Biton, Y. (2025). Learning mathematics through peer assessment: "How can we assess something that we ourselves don't know how to solve?" *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. <https://www.ejmste.com/article/learning-mathematics-through-peer-assessment-how-can-we-assess-something-that-we-ourselves-dont-know-15794>
3. Combrinck, C., & Loubser, N. (2025). Student self-reflection as a tool for managing GenAI use in large class assessment. *Discover Education*, 4, Article 72. <https://link.springer.com/article/10.1007/s44217-025-00461-2>
4. Corbin, T., Bearman, M., Boud, D., & Dawson, P. (2025). The wicked problem of AI and assessment. *Assessment & Evaluation in Higher Education*. *Advance online publication*. <https://doi.org/10.1080/02602938.2025.2553340>
5. Corbin, T., Dawson, P., & Liu, D. (2025). Talk is cheap: Why structural assessment changes are needed for a time of GenAI. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 50(7), 1087–1097. <https://doi.org/10.1080/02602938.2025.2503964>
6. Dawson, P., Bearman, M., Dollinger, M., & Boud, D. (2024). Validity matters more than cheating. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 49(7), 1005–1016. <https://doi.org/10.1080/02602938.2024.2386662>
7. de-Armas-González, P., Perdomo-Díaz, J., & Sosa-Martín, D. (2023). Peer assessment processes in a problem-solving activity with future teachers. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(4), Article em2245. <https://www.ejmste.com/article/peer-assessment-processes-in-a-problem-solving-activity-with-future-teachers-13057>
8. Fan, Y., Tang, L., Le, H., Shen, K., Tan, S., Zhao, Y., Shen, Y., Li, X., & Gašević, D. (2025). Beware of metacognitive laziness: Effects of generative artificial intelligence on learning motivation, processes, and performance. *British Journal of Educational Technology*, 56(2), 489–530. <https://doi.org/10.1111/bjet.13544>
9. Gao, X., Noroozi, O., Gullikers, J., Biemans, H. J. A., & Banihashem, S. K. (2024). A systematic review of the key components of online peer feedback practices in higher education. *Educational Research Review*, 42, 100588. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2024.100588>
10. Sun, Y., Liao, Y., & Ma, X. (2026). Trusting AI to detect AI? A systematic evaluation of the reliability and robustness of current AIGC detection tools for student academic work. *Computers & Education*, 249, 105616. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2026.105616>
11. Heil, J., & Ifenthaler, D. (2023). Online assessment in higher education: A systematic review. *Online Learning*, 27(1), 187–218. <https://oli.onlinelearningconsortium.org/index.php/oli/article/view/3398>
12. Kerman, N. T., Banihashem, S. K., Karami, M., Er, E., van Ginkel, S., & Noroozi, O. (2024). Online peer feedback in higher education: A synthesis of the literature. *Education and Information Technologies*, 29(1), 763–813. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12273-8>
13. Messick, S. (1989). Validity. In R. L. Linn (Ed.), *Educational measurement* (3rd ed., pp. 13–103). *American Council on Education*.
14. Messick, S. (1993). Foundations of validity: Meaning and consequences in psychological assessment. *ETS Research Report Series*, 1993(2), i–18. <https://doi.org/10.1002/j.2333-8504.1993.tb01562.x>
15. Perkins, M., Roe, J., Vu, B. H., Postma, D., Hickerson, D., McGaughan, J., & Khuat, H. Q. (2024). Simple techniques to bypass GenAI text detectors: Implications for inclusive education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21, Article 53. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00487-w>
16. Roe, J., Perkins, M., & Giray, L. (2026). Assessment twins: An approach for strengthening assessment validity in the age of generative AI. *Journal of Applied Learning & Teaching*, 9(2). <https://doi.org/10.37074/jalt.2026.9.2.3>
17. Rudolph, J., Tan, S., & Tan, S. (2023). ChatGPT: Bullshit spewer or the end of traditional assessments in higher education? *Journal of Applied Learning & Teaching*, 6(1), 342–363. <https://doi.org/10.37074/jalt.2023.6.1.9>
18. Topping, K. J., Gehringer, E., Khosravi, H., Gudipati, S., Jadhav, K., & Susarla, S. (2025). Enhancing peer assessment with artificial intelligence. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 22, Article 3. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00501-1>
19. Weber-Wulff, D., Anohina-Naumeca, A., Bjelobaba, S., Foltýnek, T., Guerrero-Dib, J., Popoola, O., Šigut, P., & Waddington, L. (2023). Testing of detection tools for AI-generated text. *International Journal for Educational Integrity*, 19, Article 26. <https://doi.org/10.1007/s40979-023-00146-z>
20. Zhan, Y., Yan, Z., Wan, Z. H., Wang, X., Zeng, Y., Yang, M., & Yang, L. (2023). Effects of online peer assessment on higher-order thinking: A meta-analysis. *British Journal of Educational Technology*, 54(4), 817–835. <https://doi.org/10.1111/bjet.13310>
21. Чкана, Я. (2026). Когнітивно-верифікаційний підхід до трансформації домашніх завдань з математичного аналізу в умовах використання штучного інтелекту [A cognitive-verification approach to transforming homework in mathematical analysis in the context of artificial intelligence use]. *Фізико-математична освіта – Physical and Mathematical Education*, 41(2), 86–93. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i2-08> (in Ukrainian).

| Матеріал надійшов до редакції: 01.04.2026 р. | Прийнято до друку: 25.05.2026 р. | Опубліковано: 30.06.2026 р. |



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

КАСКАДНІ ПРИКЛАДНІ ЗАДАЧІ З МАТЕМАТИКИ ЯК ЗАСІБ ФОРМУВАННЯ КЛЮЧОВИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ УЧНІВ

Василь ШВЕЦЬ

Український державний університет
імені Михайла Драгоманова, Україна
v.o.shvets@udu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-2084-1336>

Алла ПРУС ✉

Житомирський державний університет
імені Івана Франка, Україна
pruswork@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8869-2544>

CASCADE APPLIED PROBLEMS IN MATHEMATICS AS A MEANS OF DEVELOPING KEY COMPETENCIES OF STUDENTS

Vasyl SHVETS

Dragomanov Ukrainian State University, Ukraine
v.o.shvets@udu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-2084-1336>

Alla PRUS ✉

Zhytomyr Ivan Franko State University, Ukraine
pruswork@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-8869-2544>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. У державних нормативних документах — Новій українській школі (2016), Державному стандарті базової середньої освіти (2020), Державному стандарті профільної середньої освіти (2024) — зазначається, що обов'язковими результатами навчання здобувачів освіти мають бути ключові компетентності. Зрозуміло, що вони мають формуватись під час вивчення всіх навчальних дисциплін у міру можливостей їх змісту і мети навчання. Сказане в повній мірі стосується і шкільного курсу математики (надалі коротко ШКМ). Він має великий потенціал щодо безпосереднього та опосередкованого формування багатьох з вказаних компетентностей: якщо обирати методи навчання, то насамперед, метод доцільних задач, метод проєктів, метод навчання через розв'язування задач; якщо обирати засоби, то це, переважно, системи сучасних прикладних задач, дослідницькі проєкти; якщо обирати форми навчання, то це бінарні чи інтегровані уроки, практичні чи лабораторні роботи тощо. Головним засобом, на наш погляд, є система прикладних задач і їх розв'язування. Шкільний курс математики має значний потенціал щодо їх формування, зокрема через використання системи сучасних прикладних задач. Дана стаття присвячена каскадним прикладним задачам з математики та підходам до їх використання у навчанні учнів базової середньої та профільної середньої шкіл.

Матеріали і методи. Під час підготовки статті використано теоретичні методи дослідження: аналіз нормативних документів, довідкової та навчальної літератури з теорії та методики навчання математики; синтез, порівняння та узагальнення отриманих відомостей.

Результати. У статті представлено та обґрунтовано поняття каскадних прикладних задач з математики, запропоновано зразки таких задач із детальними розв'язаннями та методичними коментарями.

Висновки. Каскадні прикладні задачі з математики є перспективним засобом формування ключових компетентностей здобувачів освіти під час навчання шкільного курсу математики. Їх розв'язування може сприяти розвитку як математичних, так і інших ключових компетентностей, передбачених стандартами освіти. Перспективою подальших досліджень є експериментальна перевірка ефективності використання каскадних прикладних задач у реальній шкільній практиці.

ABSTRACT

Problem statement. Contemporary educational reforms in Ukraine emphasize the development of key competencies as mandatory learning outcomes at all levels of secondary education. State regulatory documents — the New Ukrainian School (2016), the State Standard of Basic Secondary Education (2020), and the State Standard of Profile Secondary Education (2024) — identify a broad spectrum of competencies that students are expected to acquire, including mathematical, civic, environmental, entrepreneurial, and digital competencies, among others. The school mathematics course has significant potential for integrated development, particularly through purposefully designed systems of applied problems that embed mathematical content in authentic real-world contexts. However, existing mathematics textbooks rarely include problems of this kind, creating a clear methodological gap between normative expectations and classroom practice. This article addresses that gap by focusing on a specific type of applied problem — the cascade applied problem — and on approaches to its effective use in teaching students at the basic and profile secondary education levels.

Materials and methods. The study employs theoretical research methods: analysis of regulatory documents; reference and educational literature on the theory and methodology of mathematics teaching; and synthesis, comparison, and generalization of the findings. The theoretical foundations of the study draw on international research in mathematical modeling and competency-based education.

Results. The article introduces and substantiates the concept of applied problems in mathematics as a cascade, an original didactic construct. A cascade-applied problem is defined as a problem that combines an authentic real-world context with a cascade of interrelated requirements of increasing complexity, mandatory interdisciplinary connections, a discussion question requiring reasoned judgment, and a purposeful orientation towards specific key competencies. The article proposes four sample cascade problems with detailed solutions, methodological commentary, and analysis of the competencies developed through each problem.

Conclusions. Cascade applied problems in mathematics represent a promising means of developing students' key competencies in the school mathematics course. Their cascade structure naturally provides for differentiation, enabling students of varying levels of preparation to engage meaningfully with the same problem. Solving such problems may contribute to the development of both mathematical and other key competencies stipulated by educational standards. A perspective for further research is the experimental verification of the effectiveness of cascade applied problems in real school practice, including an investigation of their impact on students' mathematical literacy across different age groups.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ключові компетентності; система прикладних задач з математики; методика розв'язування прикладних задач; зразки розв'язань; каскадна прикладна задача.

KEYWORDS: key competencies; system of applied mathematics problems; methodology of solving applied problems; sample solutions; cascade applied problem.

ДЛЯ ЦИТУВАННЯ: Швець В., Прус А. Каскадні прикладні задачі з математики як засіб формування ключових компетентностей учнів. *Фізико-математична освіта*, 2026. Том 41. № 3. С. 45-54. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-06>.

FOR CITATION: Shvets, V., & Prus, A. (2026). Cascade applied problems in mathematics as a means of developing key competencies of students. *Physical and Mathematical Education*, 41(3), 45-54. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-06>.

ВСТУП

Постановка проблеми. Формування ключових компетентностей в учнів базової середньої та профільної середньої шкіл проблема нова, важлива і потребує немалих зусиль для її вирішення та досліджень. Вона вирізняється серед інших тим, що над її розв'язанням мають працювати всі вчителі-предметники. «Дитина одна, а няньок багато!» Тому кожен педагог має чітко визначитися з методами, засобами та організаційними формами навчання, щоб зробити власний посильний внесок у досягнення запланованих спільних результатів під час вивчення відповідної навчальної дисципліни. Звісно, такі ж завдання має вирішувати і вчитель математики. У своїх статтях (Швець & Першина, 2022; Швець & Прус, 2026) ми вже вели мову про формування ключових компетентностей під час навчання учнів базової середньої і профільної середньої шкіл. Зокрема, нами рекомендувалися: *із методів* – метод доцільних задач, метод навчання через розв'язування практичних і прикладних задач, метод математичного моделювання, метод проєктів; *із засобів* – системи прикладних задач, навчальні проєкти, практичні (лабораторні) роботи; *із форм навчання* – інтегровані і бінарні уроки, практичні роботи тощо. Одним із фундаментальних, на наш погляд, засобів формування ключових компетентностей під час навчання математики є система сучасних прикладних задач, в ході розв'язування яких формуються безпосередньо математичні компетентності (процедурна, графічна, обчислювальна та інші) і опосередковано (у фоновому режимі) інші ключові компетентності, які передбачені державними стандартами (МОН України, 2020; 2024). Створення систем сучасних прикладних задач – надзвичайно важливе завдання. Але цього замало. У даній статті обґрунтовується потенціал каскадних прикладних задач з математики як засобу формування ключових компетентностей та демонструються підходи до їх використання.

Проблема використання прикладних задач та математичного моделювання у шкільному навчанні активно досліджується у світовій науковій спільноті. Зокрема, емпірично доведено, що контекстна близькість задачі до реального досвіду учня суттєво впливає на успішність її розв'язання (Leiss et al., 2024). Дослідники підкреслюють, що математичне моделювання у реальному контексті є каталізатором розвитку ключових компетентностей учнів – критичного мислення, співпраці, комунікації та творчості (Suh et al., 2021). Водночас встановлено, що математичне моделювання та розвиток критичного й логічного мислення є взаємопов'язаними процесами, а вчителю відводиться провідна роль у цілеспрямованому формуванні відповідних компетентностей (Dincer Aksoy et al., 2025). Учні, які звикли до алгоритмічних задач із єдиною відповіддю, відчувають труднощі при переході до відкритих прикладних задач, що вимагають самостійних припущень та інтерпретації результатів (Lien & Nordskog, 2025). Це підкреслює необхідність цілеспрямованої роботи вчителя математики із системою прикладних задач, зокрема таких, що охоплюють увесь цикл математичного моделювання (Vorgomeo Ferri & Greefrath, 2026).

Мета статті. Обґрунтувати потенціал каскадних прикладних задач з математики як засобу формування ключових компетентностей учнів базової середньої та профільної середньої шкіл і продемонструвати підходи до їх використання на конкретних зразках.

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Математичне моделювання як процес перекладу реальної ситуації мовою математики і повернення математичних результатів у реальний контекст є одним із центральних об'єктів дослідження в сучасній дидактиці математики (Blum & Vorgomeo Ferri, 2009). За останні п'ятдесят років у цій галузі сформувалася розвинена дослідницька традиція, що охоплює питання типології задач, компетентностей моделювання та умов ефективного навчання (Frejd & Vos, 2023).

У дидактичній літературі задачі, пов'язані з реальним контекстом, позначаються різними термінами: *word problems*, *applied problems*, *modelling tasks*, *reality-based tasks*. Незважаючи на відмінності у визначеннях, дослідники виділяють спільні характеристики якісної прикладної задачі: автентичний реальний контекст, відкритість умови, можливість кількох шляхів розв'язання та необхідність проходження повного або часткового циклу математичного моделювання (Vorgomeo Ferri, 2018). Компетентності, що формуються в ході роботи з такими задачами, охоплюють не лише суто математичні вміння, а й здатність спрощувати ситуацію, формулювати припущення, інтерпретувати та перевіряти результати (Maas, 2006). Водночас аналіз існуючих класифікацій прикладних задач показує, що жодна з них не описує специфічний тип задачі, в якому реальний контекст поєднується з каскадом взаємопов'язаних вимог наростаючої складності, обов'язковими міжпредметними зв'язками, дискусійним питанням і цілеспрямованістю на конкретні компетентності. Саме такий тип задач є предметом розгляду в цій статті.

З метою термінологічної точності пропонуємо авторський конструкт — *каскадна прикладна задача з математики*. Під каскадною прикладною задачею розуміємо задачу, що відповідає таким характеристикам:

- 1) умова описує реальну або реалістичну ситуацію з достатнім рівнем автентичності та практичної значущості для учнів;
- 2) задача містить каскад взаємопов'язаних вимог наростаючої складності, де кожна наступна вимога логічно спирається на результат або контекст попередньої — від відтворювальних до дослідницьких;

3) задача обов'язково демонструє міжпредметні зв'язки: її розв'язання потребує залучення знань з різних галузей — природничих, соціальних, економічних чи технологічних;

4) задача містить дискусійне питання, яке не має єдиної математично правильної відповіді і вимагає від учня аргументованої позиції, критичного осмислення ситуації та вміння обґрунтовувати власні судження;

5) задача проєктується цілеспрямовано — під конкретні ключові компетентності, які вчитель планує формувати на відповідному етапі навчання;

6) каскадна структура природно забезпечує диференціацію: учні з різним рівнем підготовки можуть виконати різну кількість вимог, не порушуючи цілісності роботи з задачею.

Зазначені характеристики відрізняють каскадні прикладні задачі від стандартних текстових задач шкільного підручника, які зазвичай мають одну закриту вимогу і не передбачають повного циклу моделювання. Від задач на моделювання у вузькому розумінні вони відрізняються обов'язковою міжпредметністю, наявністю дискусійного питання та свідомою цілеспрямованістю на формування конкретних компетентностей. Саме поєднання цих ознак робить каскадну прикладну задачу самостійним дидактичним конструктом, а не лише різновидом відомих типів задач.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Теоретичні: аналіз нормативних документів, довідкової та навчальної літератури з теорії та методики навчання математики; синтез, порівняння та узагальнення отриманих відомостей.

ВИКЛАД ОСНОВНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Прикладні задачі з математики, як засіб формування ключових компетентностей, можна застосовувати з різною метою: як *доцільні* — для формування нових математичних знань (понять, тверджень, алгоритмів, способів діяльності тощо); як *дослідницькі* — для формування вмінь та навичок математичного моделювання (в міру сформованості теоретичних і практичних математичних вмінь і навичок); як *пізнавальні* — для опосередкованого формування знань про навколишню дійсність. Методика використання прикладних задач як доцільних у навчанні математики (метод доцільних задач) давно розроблена в теорії та методиці навчання математики. Ми пропонуємо дотримуватися її на початку вивчення програмної теми (на мотиваційному етапі) (див. Швець & Прус, 2025). Зупинимось детальніше на розв'язуванні сучасних прикладних задач, які слід використовувати на завершальному етапі вивчення теми (практико-застосовному етапі). Такі задачі ми називаємо прикладними задачами каскадного типу, каскад вимог в яких і націлений на формування ключових компетентностей в учнів.

ЗАДАЧА 1. *На дачній ділянці, біля огорожі, росте кропива дводомна з чотиригранним стеблом. Відомо, що із стебел цієї рослини можна виготовляти або органічне добриво, або мотузки чи міцну тканину, з якої наші пращури шили мішки (вони їх називали «кропив'яними»). А з листя готувати лікарські засоби. Чотиригранна форма стебла відіграє важливу роль. Уявіть що середня довжина стебла 120 см, а довжина сторони квадрата в перерізі 0,8 см.*

Завдання:

- 1) обчисліть об'єм стебла кропиви дводомної з такими даними;
- 2) знайдіть яким був би радіус круга поперечного перерізу такого стебла з тим самим об'ємом;
- 3) з'ясуйте що сталося б із стеблом, якби воно мало циліндричну форму? Яку важливу функцію відіграє чотиригранна форма. Чому природа «обрала» чотиригранну форму?
- 4) господар дачі зрізав стебла кропиви і отримав 10 кг зеленої маси, згодом він вирішив насушити листя і використати як лікарську траву. Скільки аптечних упаковок замінить його заготовка, якщо листя становить $\approx 30\%$ зеленої маси?
- 5) скільки органічного добрива зможе отримати власник дачної ділянки, якщо заготовить 50 кг зеленої маси кропиви дводомної?

Розв'язання

Методичний коментар. Перш ніж виконувати вимоги задачі рекомендуємо розповісти учням що це за рослина «Кропива дводомна». Розповідь буде ефектною, якщо супроводжуватиметься гарною презентацією.

Короткий зміст такого повідомлення подано нижче.

«Кропива дводомна»

Як виглядає? Багаторічна трав'яниста рослина 30-150 см заввишки. Кореневище її з підземними галузистими пагонами; рослина росте групами. Стебло тупочотиригранне, усіяне, як і листки, волосками, що жалять. У стінках волосків міститься кремній, вони легко ламаються, гострими кінцями ранять шкіру і в ранку зі зламаною волоска потрапляють мурашина кислота і гістамін. Листки яйцевидно-ланцетні або ланцетні, шорстковолохаті, при основі серцевидні, по краях великозубчасті, супротивні, довгочерешкові. Квіти дводомні, дрібні, зелені, зібрані пучками в гіллясті колосовидні суцвіття, жіночі — звислі, чоловічі — прямостоячі. Плід — горішок. Цвіте з червня до осені.

Де росте? По всій території України: по засмічених місцях, в городах, у садах, попід тинами, в малині. *Що й коли збирають, як лікарську траву?* Молоді пагони й листки навесні і під час цвітіння, корені і насіння восени. *Коли застосовують?* Для збільшення виділення молока у жінок, що годують дитину, також для збільшення кількості гемоглобіну і червонокривців у крові, піднесення загального тону організму; при авітамінозах С і К з молодих листків кропиви приготують вітамінні борщі, кашки (вітаміни, мінеральні солі, 5% хлорофілу, залізо). Застосовують як



Рис. 1. Кропива дводомна

сечогінний засіб при ниркових захворюваннях та в інших випадках. Використовують у вигляді чаю. Більше відомостей про кропиву дводомну можна дізнатися в Інтернеті.

Виконання завдань

Завдання 1. Якщо ідеалізувати стебло кропиви (без суцвіття), то його можна сприймати як правильну чотирикутну призму, зі стороною основи $a \approx 0,8$ см, висотою $h \approx 120$ см. Тобто об'єм такої призми обчислюємо за формулою $V = a^2 \cdot h$. Отже, $V = (0,8)^2 \cdot 120 = 0,64 \cdot 120 = 6,4 \cdot 12 \approx 76,8$ (см³). З таким об'ємом стеблинка матиме певну масу m .

Завдання 2. Якби стебло кропиви мало циліндричну форму, то в поперечному перерізі був би круг радіуса r . При тому ж об'ємі V маса стебла була б також m . Знайдемо радіус круга r . Для стебла циліндричної форми об'єм $V \approx \pi r^2 \cdot h$. Отримуємо рівняння $\pi r^2 \cdot 120 = 76,8$ (см³).

$$\text{Звідки } r^2 = \frac{76,8}{\pi \cdot 120}, r \approx \sqrt{\frac{76,8}{3,14 \cdot 120}} \text{ (обчислення виконуємо за допомогою калькулятора методом підрахунку цифр).}$$

Отримуємо: $r \approx 0,45$ (см).

Завдання 3. Багаторічні спостереження показують що такі стебла трав'яних культур циліндричної форми або ламаються під власною вагою чи під впливом погодних умов (дощ, град, вітер ...), або вилягають і втрачають здатність розмножуватись. Завдяки приземленій формі стебла кропива не ламається, не вилягає і не гине. У чому причина? Відповідь на це запитання знаходимо в технології виготовлення будівельних конструкцій. Для деталей конструкцій існує таке поняття як **ребро жорсткості**. Ребро жорсткості – це елемент конструкції, що забезпечує її міцність і стійкість. Воно, зазвичай, розташоване вертикально і приймає на себе головне навантаження. Ребра жорсткості видимі на лицьовій поверхні деталі як кути об'ємного елемента. Вони допомагають утримувати деталі від деформації (згинання, ламання, провисання, скручування). Найпростіший спосіб їх виготовлення – виготовити конструкцію з декількома гранями. П – подібний металевий профіль (див. рис. 2 е)) набагато краще протистоїть деформації в порівнянні з плоскою деталлю тієї ж довжини і маси, а виріб з квадратним перерізом (див. рис. 2д)) перевищує по жорсткості (стійкості) П – подібний. Тому елементи конструкцій роблять з куточка, швелера, двутавра, труби, бруса і т.п. (див. рис. 2).

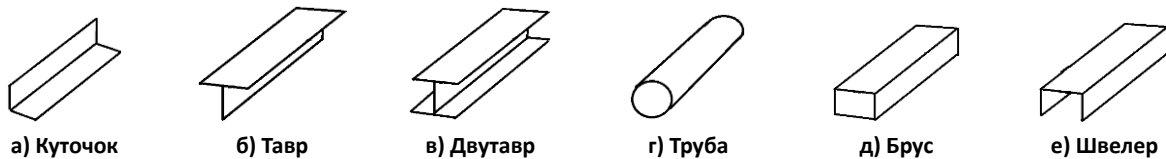


Рис. 2. Конструктивні деталі

Із сказаного вище слідує, що кропива стійка до деформацій саме тому, що має чотири ребра жорсткості, здатна переносити різні природні навантаження на стебло.

Завдання 4. Заінтригований аптечною упаковкою листя кропиви (рис. 3) господар вирішив самостійно заготовити для себе ліки.



Рис. 3. Аптечна упаковка листя кропиви

Із записів на упаковці дізнаємось, що маса листя в ній при 12 % вологості дорівнює ≈ 50 г. Отже, сухої речовини в упаковці буде 88 %. Знаходимо масу сухої речовини m (відома дія на знаходження процента від числа) $m \approx 50 \cdot 0,88 = 44$ г.

Із Інтернету дізнаємось, що з 50 кг зеленої маси отримують від 5 кг до 10 кг сухої речовини. Ідеалізуємо ситуацію. Нехай в результаті сушіння отримують 6кг сухої речовини. Тоді можемо знайти скільки кг сухого листя отримає господар з 10 кг зелених.

Позначимо масу отриманого сухого листя через m , маємо пропорцію: $\frac{50}{6} = \frac{10}{m}$. Звідки $m \approx \frac{10 \cdot 6}{50} = 1,2$ (кг).

Знаючи, що в одній аптечній упаковці листя кропиви міститься ≈ 44 г сухої речовини, знаходимо скільки упаковок зміг би виготовити господар самостійно із висушеного листя. Їх кількість $n \approx \frac{1,2 \text{ кг}}{44 \text{ г}} = \frac{1200}{44} = \frac{300}{11} \approx 27$ (упак) (обчислення здійснюємо за правилом підрахунку цифр, кінцевий результат заокруглюємо з недостачею з точністю до одиниці). Отже, кількість упаковок приблизно дорівнює 27 шт. При вартості 1 упаковки 54 грн господар зекономить на

лікач чималу суму $S = 54 \cdot 27 = 1\,458$ грн (ось чому ПрАТ «Ліктрави», Житомирської області і займається заготовленням лікарських трав).

Завдання 5. Після розв'язання завдань 1-4, учням слід запропонувати завдання 5 розв'язати самостійно. Для цього вони мають скористатись відомостями з Інтернету. Під час виконання дізнаються: як готувати органічне добриво з кропиви дводомної (рецепт); як застосовувати таке добриво на присадибній ділянці. Учнівські розв'язання (з презентаціями) рекомендуємо обговорити на наступному уроці (заслухати доповіді учнів) і оцінити отримані результати.

Методичний коментар. Розв'язуючи задачу з учнями рекомендуємо вчителю супроводжувати хід розв'язання коментарями, в яких розповідати ненав'язливо про лікарські рослини, їх цінність і масові заготовки, про можливість організації власного бізнесу. Пояснювати учням роль геометричних форм у виготовленні стійких до деформації деталей металевих чи дерев'яних конструкцій тощо. Розповідь буде вражаючою для учнів, якщо супроводжувати її цікавими флеш-роліками чи комп'ютерними презентаціями.

ЗАДАЧА 2. Приватний підприємець Тарасюк, щоб забезпечити сім'ю свіжими овочами, в минулому році придбав теплицю, під плівкою, яку поставив на присадибній ділянці (рис. 4) Розміри теплиці вказані на рисунку. Через рік виникла потреба плівку замінити на нову.

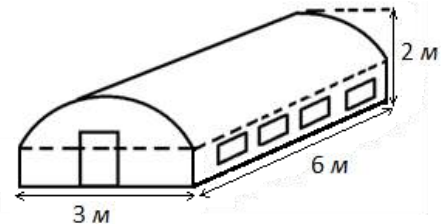


Рис. 4. Теплиця під плівкою

Завдання:

- 1) обчисліть площу поверхні теплиці;
- 2) розглядаючи в Інтернеті різні пропозиції для придбання плівки, Тарасюк зупинився на двох видах:
 - а) вид PROF (знижка під час продажу 50 %), розміри 1 рулону 4×10 м, ціна 790 грн (термін придатності до 3 років);
 - б) вид STANDART (знижка під час продажу 50 %), розміри 1 рулону 6×8 м, ціна 599 грн (термін придатності до 2 років);
- 3) скільки рулонів плівки потрібно придбати підприємцю, якщо він зупинить свій вибір на плівці виду PROF?
- 4) скільки рулонів плівки потрібно придбати підприємцю, якщо він зупинить свій вибір на плівці виду STANDART? Який з двох виборів буде дешевшим?

Розв'язання
Виконання завдань

Завдання 1. Легко бачити що поверхню теплиці складають половина повної поверхні циліндра з радіусом основи $r = 1,5$ м, висотою $l = 6$ м і бічна поверхня прямокутного паралелепіпеда з розмірами $3 \times 6 \times 0,5$ м. Половину повної поверхні циліндра обчислюємо за формулою $S_1 = \frac{1}{2}(S_{\text{біч}} + 2S_{\text{основи}}) = \frac{1}{2}(2\pi r \cdot l + 2\pi r^2) = \pi r \cdot l + \pi r^2$, де $r = 1,5$ м, $l = 6$ м.

Отже, $S_1 = \pi \cdot 1,5 \cdot 6 + \pi \cdot 1,5^2 = \pi(9 + 2,25) \approx 3,14 \cdot 11,25 \text{ (м}^2\text{)}, S_1 \approx 35,3 \text{ (м}^2\text{)}.$

Бічну поверхню прямокутного паралелепіпеда обчислюємо за відомою формулою:

$$S_2 = p \cdot h = 2(3 + 6) \cdot 0,5 = 18 \cdot 0,5 = 9 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Тоді площа поверхні теплиці дорівнює: $S_3 = S_1 + S_2 \approx 35,3 + 9 = 44,3 \text{ (м}^2\text{)}.$

Відповідь: $44,3 \text{ (м}^2\text{)}$

Завдання 2. Перекривати теплицю можна по-різному. Щоб менше було швів, припустимо, що господар спочатку перекриває верхню частину теплиці і бічні стінки, без фасаду і тильної сторони. Отже, йому потрібно знати площу поверхні, яку потрібно перекрыти. Цю поверхню, якщо розгорнути, можна розглядати як прямокутник ABCD зі сторонами a і b , де $b = 6$ м, $a = \pi r + 0,5 \cdot 2 = \pi \cdot 1,5 + 1 = 3,14 \cdot 1,5 + 1 \approx 6,6 + 1 = 7,6$ (м).

Тоді площа прямокутника буде дорівнювати

$$S = a \cdot b = 7,6 \cdot 6,2 \approx 47,2 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Теплична плівка виду PROF має розміри 4×10 м. Очевидно, що 1 рулона не вистачить. Відрізвавши від рулона полосу $6,2$ м і ще з 1 рулона полосу $6,2$ м, ширина яких 4 м, господар зможе повністю покрити верх та бічні стінки теплиці. З обох рулонів в нього залишаються два шматки плівки розмірами $4 \times 3,8$ м.

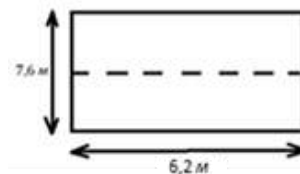


Рис. 5. Розгортка бічної поверхні

Чи вистачить цих два шматки, щоб перекрыти вхідну і тильну стінки?

Знайдемо площу поверхні однієї стінки, іншої така ж сама.

Обчислюємо площу вхідної стінки: $S_5 = 3 \cdot 0,5 + \frac{1}{2} \pi \cdot (1,5)^2 = 1,5 + 3,14 \cdot 2,25 \cdot 0,5 \approx 1,5 + 3,54 = 4,4 \text{ (м}^2\text{)}.$

Площа залишку від першого рулона дорівнює $S_6 = 4 \cdot 3,8 = 15,2 \text{ (м}^2\text{)}.$ Таким чином цього має вистачити щоб покрити обидві стінки, а другий шматок буде як резервний (запасний).

Підсумовуючи отримуємо результат: - на перекрыття теплиці плівкою PROF господарю знадобиться 2 рулони;

- при вартості (із знижкою 50 % за 1 рулон) він витратить на купівлю двох рулонів $790 \cdot 2 = 1\,580$ (грн).

Завдання 3-4. Рекомендуємо запропонувати учням розв'язати самостійно і вибрати свій спосіб покриття. Яке із покриттів виявиться дешевшим? На наступному уроці організувати обговорення учнівських результатів та оцінки їх пропозиції.

ЗАДАЧА 3. Шістнадцятирічний Максим займається любительським бігом. Він регулярно тренується у міському парку і стежить за своїм здоров'ям. Лікарі та спортивні тренери рекомендують під час фізичних навантажень випивати $30\text{--}40$ мл води кожні 10 хвилин активності, аби запобігти зневодненню організму. Для

тренувань Максим купив спеціальну спортивну пляшку для води. Пляшка має форму циліндра з такими характеристиками: висота $h \approx 22$ см, діаметр основи $d \approx 7$ см.

Завдання:

- 1) обчисліть повний об'єм пляшки для води (у см^3 та мл);
- 2) тренування Максима триває 1 годину 30 хвилин. Скільки мілілітрів води він повинен випити за цей час згідно з медичною нормою? (використайте середнє значення норми);
- 3) чи вистачить однієї пляшки на все тренування? Якщо ні — скількох пляшок потрібно? Що зручніше: взяти кілька пляшок чи знайти джерело води у парку?
- 4) перед виходом з дому Максим наповнив пляшку лише на 80 %. Як це впливає на відповідь у завданні 3?
- 5) за місяць Максим тренується 20 разів. Яку загальну масу води (у кілограмах) він випиває під час тренувань за місяць? За рік?
- 6) дайте відповідь на запитання: чому вода така важлива під час фізичних навантажень? Що відбувається з організмом при зневодненні на 1–2 %? Як пов'язані об'єм крові людини і вода? (скористайтесь додатковими джерелами).

Розв'язання

Методичний коментар. Вступна бесіда. Рекомендуємо розпочати урок із запитань до класу:

- Хто з вас займається спортом або фітнесом? Чи берете ви з собою воду на тренування?
- Чи замислювалися ви, скільки саме води потрібно випити під час фізичного навантаження?
- Як ви думаєте, чи можна «випити забагато» води? Чи це безпечно?

Короткий інформаційний блок «Вода і тіло людини». Перед розв'язуванням варто коротко розповісти учням (або запропонувати їм самим підготувати повідомлення):

- Тіло людини на 60–70 % складається з води.
- Кров людини — приблизно на 83 % складається з води.
- При зневодненні всього на 1–2 % знижується концентрація уваги та фізична витривалість.
- При зневодненні на 5 % і більше — виникає небезпека для здоров'я.
- Норма щоденного споживання води для підлітка — близько 1,5–2 л (включаючи їжу).

Задача демонструє міжпредметні зв'язки: математика — стереометрія (циліндр), алгебра (відсотки, одиниці вимірювання величин); біологія — фізіологія людини, водний баланс організму; фізична культура — норми гідратації під час тренувань; основи здоров'я — профілактика зневоднення.

Завдання 3 і 4 є дискусійними — заохочуйте учнів висловлювати власні міркування та порівнювати відповіді.

Виконання завдань

Завдання 1. Пляшка має форму циліндра з діаметром $d = 7$ см і висотою $h = 22$ см.

Радіус основи: $r = \frac{d}{2} = \frac{7}{2} = 3,5$ (см).

Об'єм циліндра: $V = \pi r^2 h = 3,14 \cdot (3,5)^2 \cdot 22 = 3,14 \cdot 12,25 \cdot 22 = 846,23 (\text{см}^3) \approx 846$ (мл).

Оскільки $1 \text{ см}^3 = 1$ мл, об'єм пляшки становить приблизно 846 мл $\approx 0,85$ л.

Відповідь: об'єм пляшки — приблизно 846 мл ($\approx 0,85$ л).

Завдання 2. Тривалість тренування: 1 год 30 хв = 90 хв. Норма: 30–40 мл кожні 10 хв. Середнє значення: 35 мл на 10 хв. Кількість «порцій» по 10 хвилин: $\frac{90}{10} = 9$ (порцій). Норма на 9 порцій: $9 \cdot 35 = 315$ мл. Перевірка за граничними значеннями: мінімум — $9 \cdot 30 = 270$ мл; максимум — $9 \cdot 40 = 360$ мл.

Відповідь: за нормою Максим повинен випити від 270 до 360 мл води; у середньому — 315 мл.

Завдання 3. Об'єм пляшки (повної): 846 мл. Потрібно: максимум 360 мл. $846 \text{ мл} > 360 \text{ мл}$. Однієї повної пляшки цілком вистачить — навіть залишиться більше половини.

З практичної точки зору: якщо поруч є джерело питної води (кіоск, фонтанчик з питною водою) — зручніше взяти одну пляшку і за потреби наповнити знову. Якщо ні — краще мати повну пляшку про запас.

Відповідь: однієї повної пляшки (846 мл) цілком вистачить на тренування (потрібно лише 270–360 мл).

Завдання 4. Фактичний об'єм води у пляшці: $V_{\text{фактичне}} = 846 \cdot 0,8 = 676,8 \approx 677$ мл.

Порівнюємо з потребою: $677 \text{ мл} > 360 \text{ мл}$. Навіть наповнена на 80 % пляшка повністю покриває потребу у воді під час тренування.

Відповідь: пляшка на 80 % містить ≈ 677 мл — цього достатньо. Відповідь до завдання 3 не змінюється.

Завдання 5. Вода за одне тренування (середнє значення): $315 \text{ мл} = 0,315 \text{ л} = 0,315 \text{ кг}$.

За місяць (20 тренувань): $m_{\text{міс}} = 20 \cdot 0,315 = 6,3$ (кг)

За рік (12 місяців): $m_{\text{рік}} = 6,3 \cdot 12 = 75,6$ (кг)

Це понад 75 літрів води — приблизно маса дорослої людини!

Завдання 6. Для самостійного опрацювання. Учням пропонується скористатися підручником з біології або інтернет-ресурсами (наприклад, сайтом МОЗ України) і дати відповіді на такі запитання:

- Який відсоток тіла людини складає вода? Чи однаковий цей показник у дітей і дорослих?
- Що таке зневоднення? Які перші симптоми зневоднення при втраті 1–2 % рідини?
- Як змінюється об'єм крові при зневодненні і чому це небезпечно для серця?
- Яка добова норма споживання рідини для підлітка 14–16 років?

Методичний коментар. Розв'язання завдання 6 рекомендуємо заслухати як короткі усні повідомлення учнів на початку наступного уроку або оформити як міні-есе.

ЗАДАЧА 4. За даними досліджень, підлітки проводять у TikTok у середньому 2,5 години на день. Уявімо типового старшокласника Данила, який не є винятком. Середня тривалість одного відео в його стрічці — 45 секунд. Данило мріє про власний бізнес і одного дня замислився: а що, якби він витрачав свій «TikTok-час» інакше? або навіть — почав заробляти на цій платформі?

Завдання:

1) скільки відео переглядає Данило щодня? За тиждень? За рік? Запишіть числа і прокоментуйте: чи вразила вас ця кількість?

2) якби замість перегляду TikTok Данило щодня вчив англійські слова зі швидкістю 20 слів за 10 хвилин — скільки слів міг би вивчити за рік? Словниковий запас освіченого носія мови — близько 20 000 слів. За скільки місяців такого навчання Данило досяг би цього рівня?

3) Данило вирішив вести власний TikTok-акаунт. Платформа виплачує авторам приблизно 0,2 грн за кожен перегляд. Якщо щодня він публікує 1 відео, і кожне набирає 5 000 переглядів — скільки заробить Данило за місяць (30 днів)? За рік?

4) перегляд відео у TikTok у стандартній якості витрачає приблизно 50 МБ на 1 хвилину. Скільки гігабайт трафіку витрачає Данило за місяць на перегляд TikTok? Скільки коштує цей трафік, якщо 1 Гб мобільного інтернету — 15 грн?

5) Данило вирішив зберегти найкращі відео. Одне відео TikTok займає у середньому 20 МБ. Пам'ять його телефону — 64 Гб, з яких 40 % вже зайнято. Скільки відео він може зберегти на вільному місці?

6) дайте відповідь: що таке «цифровий детокс» і навіщо він потрібен? Як надмірне використання соцмереж впливає на здатність концентруватися і на сон? Сформулюйте 3 особисті правила відповідального використання соцмереж.

Розв'язання

Методичний коментар. Вступна провокація. Запропонуйте учням на 30 секунд задуматися і відповісти на запитання:

— Скільки годин на день ви проводите у соцмережах? (можна перевірити у налаштуваннях телефону — «Екранний час».)

— Чи вважаєте ви цей час витраченим з користю?

— Чи знаєте ви, що деякі підлітки заробляють на TikTok більше, ніж їхні батьки на роботі?

Короткий інформаційний блок «TikTok і цифрове покоління». Рекомендується підготувати коротке повідомлення або презентацію:

— TikTok — одна з найпопулярніших платформ у світі: понад 1,5 млрд активних користувачів.

— Середній підліток витрачає у соцмережах 7–9 годин на добу (разом з усіма платформами).

— Цифрова грамотність — одна з ключових компетентностей XXI ст. за документами ЮНЕСКО.

— «Екранний час» і «цифровий добробут» — поняття, які вже включені у програми здоров'я у багатьох країнах.

Задача охоплює: арифметичні дії з великими числами та одиницями виміру (хвилини, мегабайти, гривні); поняття «альтернативна вартість» з економіки; критичне мислення та медіаграмотність.

Завдання 6 рекомендуємо задати як домашній творчий проєкт або обговорити у форматі «круглого столу».

Виконання завдань

Завдання 1. Щоденний час у TikTok: 2,5 год = 150 хв = 9 000 с.

Тривалість одного відео: 45 с.

Кількість відео на день: $n_{\text{за день}} = \frac{9000}{45} = 200$.

Кількість відео за тиждень: $n_{\text{за тиждень}} = 200 \cdot 7 = 1400$.

Кількість відео за рік (365 днів): $n_{\text{за рік}} = 200 \cdot 365 = 73\,000$.

Для порівняння: 73 000 відео — це приблизно 200 повнометражних фільмів або 36 500 хвилин (понад 25 діб!) безперервного перегляду.

Відповідь: 200 відео на день; 1 400 за тиждень; 73 000 за рік.

Завдання 2. Щоденний «TikTok-час»: 150 хв. Швидкість навчання: 20 слів за 10 хв.

Кількість слів за день: $k_{\text{за день}} = \frac{150}{10} \cdot 20 = 300$.

Кількість слів за рік: $k_{\text{за рік}} = 300 \cdot 365 = 109\,500$.

Рівень освіченого носія мови — це 20 000 слів.

Скільки треба часу, що досягти такого рівня: $\frac{20\,000}{300} = 66,7$ (днів) $\approx 2,2$ місяця.

Тобто дещо більше ніж за 2 місяці такого навчання щодня Данило міг би досягти словникового запасу носія мови!

Відповідь: 300 слів на день; 109 500 за рік; рівня носія мови можна досягти приблизно за 2,2 місяця.

Завдання 3. Перегляди одного відео: 5 000. Виплата: 0,2 грн/перегляд.

Дохід з одного відео: $d_{1 \text{ відео}} = 5\,000 \cdot 0,2 = 1\,000$ (грн).

Дохід за місяць (30 відео): $d_{\text{за місяць}} = 1\,000 \cdot 30 = 30\,000$ (грн).

Дохід за рік (365 відео): $d_{\text{за рік}} = 1\,000 \cdot 365 = 365\,000$ (грн).

Зуваження. Реальний дохід залежить від монетизаційної програми платформи, країни та охоплення аудиторії. Завдання ілюструє математичний принцип масштабування: навіть невеликий дохід з одного відео при постійній публікації дає значний результат.

Відповідь: 30 000 грн/місяць; 365 000 грн/рік (за умов задачі).

Завдання 4. Щоденний перегляд: 2,5 год = 150 хв. Витрати: 50 МБ/хв.

За день: $t_{\text{за день}} = 150 \cdot 50 = 7500$ (МБ) = 7,5 (ГБ).

За місяць (30 днів): $t_{\text{за місяць}} = 7,5 \cdot 30 = 225$ (ГБ).

Вартість трафіку: $225 \cdot 15 = 3\,375$ (грн).

Для порівняння: необмежений мобільний інтернет в Україні коштує 150–300 грн/місяць — це вигідніше за потарифний.

Відповідь: 225 ГБ трафіку на місяць; вартість потарифно — 3 375 грн/міс.

Завдання 5. Пам'ять телефону: 64 ГБ. Зайнято: 40 %.

Зайнято: $64 \cdot 0,4 = 25,6$ (ГБ).

Вільно: $64 - 25,6 = 38,4$ (ГБ) = 38 400 (МБ).

Розмір одного відео: 20 МБ.

Кількість відео: $\frac{38400}{20} = 1920$ (відео).

Відповідь: на вільне місце можна зберегти 1 920 відео.

Завдання 6. Для самостійного опрацювання та обговорення. Учням пропонується дослідити і дати відповіді на запитання:

— Що таке «цифровий детокс»? Знайдіть у мережі кілька реальних прикладів людей, які спробували відмовитися від соцмереж на тиждень. Які результати вони описують?

— Як надмірне використання соцмереж впливає на концентрацію, пам'ять і якість сну? (знайдіть дані наукових досліджень або статті МОЗ).

— Що таке «алгоритм залученості» у TikTok? Як платформа утримує увагу користувача якомога довше?

Творче завдання: сформулюйте 3 особисті правила відповідального використання соцмереж — такі, яких ви реально могли б дотримуватись. Запишіть їх і поділіться з класом.

Розв'язання завдання 6 рекомендуємо обговорити у форматі «круглого столу» або запропонувати учням підготувати коротку презентацію (3–4 слайди).

ОБГОВОРЕННЯ

Запропонований у статті підхід до використання каскадних прикладних задач з математики узгоджується з провідними тенденціями сучасної міжнародної науково-педагогічної думки. Результати зарубіжних досліджень підтверджують, що задачі з реальним контекстом, які вимагають від учнів самостійного прийняття рішень та інтерпретації результатів, мають значний потенціал для розвитку ключових компетентностей (Suh et al., 2021; Leiss et al., 2024). Каскадна структура задач, описана в цій статті, відповідає принципу поступового ускладнення вимог і дозволяє враховувати різні рівні математичної підготовки учнів, що є важливим чинником організації навчання в умовах реального класу.

Водночас слід зазначити, що описаний підхід має теоретично-методичний характер і потребує подальшої експериментальної перевірки в умовах шкільної практики. Дослідники фіксують, що учні, які звикли до стандартних алгоритмічних задач, нерідко відчують труднощі при роботі з відкритими прикладними задачами – зокрема на етапі формулювання припущень та інтерпретації математичних результатів у реальному контексті (Lien & Nordskog, 2025). Це свідчить про те, що ефективне впровадження каскадних прикладних задач вимагає не лише наявності якісного дидактичного матеріалу, а й відповідної підготовки вчителя, зокрема розвитку його компетентності у сфері оцінювання розв'язань задач на моделювання (Borromeo Ferri & Greefrath, 2026).

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Каскадні прикладні задачі з математики є особливим типом навчальних задач, що містять умову з реальним контекстом і каскад взаємопов'язаних завдань різного рівня складності. Їх зміст поєднує математичний та компетентнісний складники: перший спрямований на формування математичних компетентностей, другий – на опосередкований розвиток інших ключових компетентностей, передбачених державними стандартами освіти. Каскадна структура дозволяє враховувати різні рівні підготовки учнів і може застосовуватись на завершальному, практико-застосовному етапі вивчення програмної теми.

Такі задачі практично відсутні в чинних підручниках з математики, що свідчить про актуальність їх розробки та включення до навчального процесу. Створення системи каскадних прикладних задач до програмних тем шкільного курсу математики є перспективним, проте трудомістким завданням, що потребує подальших досліджень, зокрема експериментальної перевірки їх ефективності в реальній шкільній практиці.

Перспективами подальших досліджень є експериментальна перевірка ефективності каскадних прикладних задач у реальній шкільній практиці, вивчення впливу таких задач на рівень математичної грамотності учнів різних вікових груп, а також дослідження можливостей використання сучасних цифрових інструментів, зокрема засобів штучного інтелекту, для створення прикладних задач у актуальних реальних контекстах.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Дослідження виконано за відсутності фінансової підтримки.

ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ

Це дослідження не передбачає використання окремих наборів даних.

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Під час підготовки цієї роботи автори використовували інструмент штучного інтелекту (Claude, Anthropic) з метою редагування та поліпшення мовного оформлення окремих фрагментів статті. Усі наукові ідеї, висновки та зміст були сформульовані авторами самостійно. Автори несуть повну відповідальність за зміст статті.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. МОН України. (2016). *Нова українська школа: концептуальні засади реформування середньої школи*. <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/nova-ukrainska-shkola-compressed.pdf>
2. МОН України. (2020). *Державний стандарт базової середньої освіти*. Постанова Кабінету Міністрів України № 898 від 30.09.2020. <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/nova-ukrayinska-shkola/derzhavnij-standart-bazovoyi-serednoyi-osviti>
3. МОН України. (2024). *Державний стандарт профільної середньої освіти*. Постанова Кабінету Міністрів України № 851 від 25.07.2024. <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennia-derzhavnogo-standartu-profilnoi-serednoi-osvity-851-250724>
4. Швець, В. О., & Першина, Н. Б. (2022). Формування навичок математичного моделювання під час розв'язування прикладних задач економічного змісту. *Фізико-математична освіта*, 33(1), 57–62. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2022-033-1-010>
5. Швець В. О., & Прус, А. О. (2025). Концептуальна модель реалізації практичної спрямованості навчання шкільного курсу математики. *Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького*, 3, 81–88. <https://doi.org/10.31651/2524-2660-2025-3-81-88>
6. Швець, В. О., & Прус, А. О. (2026). Система прикладних задач з математики: критерії створення, особливості розв'язування. *Фізико-математична освіта*, 41(1), 37–47. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i1-06>
7. Швець, В. О., & Черненко, А. О. (2024). Формування в учнів базової середньої школи мотивів отримувати знання про фінансово-підприємницьку діяльність під час вивчення алгебри. *Освіта. Інноватика. Практика*, 12(3), 83–92. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol12i3-012>
8. Швець В. О., & Новікова А. О. (2019). Математичне моделювання в курсі алгебри під час розв'язування задач. *Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія 3*, 20, 70–76.
9. Abassian, A., Safi, F., Bush, S., & Bostic, J. (2020). Five different perspectives on mathematical modeling in mathematics education. *Investigations in Mathematics Learning*, 12(1), 53–65. <https://doi.org/10.1080/19477503.2019.1595360>
10. Blum, W., & Borromeo Ferri, R. (2009). Mathematical modelling: Can it be taught and learnt? *Journal of Mathematical Modelling and Application*, 1(1), 45–58.
11. Borromeo Ferri, R. (2018). *Learning how to teach mathematical modeling in school and teacher education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68072-9>
12. Borromeo Ferri, R., & Greefrath, G. (2026). Pre-service teachers' assessment competence for grading students' solutions of mathematical modelling problems. *Teaching and Teacher Education*, 169, 105281. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2025.105281>
13. Diñçer Aksoy, B., Kuşçaya Mumcu, F., & Cantürk Günhan, B. (2025). Unveiling the nexus: Computational thinking and mathematical modelling in K-12 education — a teacher-centric exploration. *Thinking Skills and Creativity*, 60, 102049. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2025.102049>
14. Frejd, P., & Vos, P. (2023). The spirit of mathematical modeling — a philosophical study on the occasion of 50 years of mathematical modeling education. *The Mathematics Enthusiast*, 21(1), 269–300.
15. Leiss, D., Ehmke, T., & Heine, L. (2024). Reality-based tasks for competency-based education: The need for an integrated analysis of subject-specific, linguistic, and contextual task features. *Learning and Individual Differences*, 114, 102518. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2024.102518>
16. Lien, B., & Nordskog, M. (2025). Challenges and perceptions of mathematical modelling among Norwegian pre-service teachers. *JISTE*, 29(1), 70–83.
17. Maaß, K. (2006). What are modelling competencies? *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 38(2), 113–142. <https://doi.org/10.1007/BF02655885>
18. Suh, J., Matson, K., Seshaiyer, P., Jamieson, S., & Tate, H. (2021). Mathematical modeling as a catalyst for equitable mathematics instruction: Preparing teachers and young learners with 21st century skills. *Mathematics*, 9(2), 162. <https://doi.org/10.3390/math9020162>

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. MON Ukrainy. (2016). *Nova ukrainska shkola: kontseptualni zasady reformuvannia serednoi shkoly [New Ukrainian School: Conceptual Principles of Secondary School Reform]*. <https://mon.gov.ua/static-objects/mon/sites/1/zagalna%20serednya/nova-ukrainska-shkola-compressed.pdf> (in Ukrainian)
2. MON Ukrainy. (2020). *Derzhavnyi standart bazovoi serednoi osvity [State Standard of Basic Secondary Education]*. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy No. 898 vid 30.09.2020. <https://mon.gov.ua/ua/osvita/zagalna-serednya-osvita/nova-ukrayinska-shkola/derzhavnij-standart-bazovoyi-serednoyi-osviti> (in Ukrainian)
3. MON Ukrainy. (2024). *Derzhavnyi standart profilnoi serednoi osvity [State Standard of Profile Secondary Education]*. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy No. 851 vid 25.07.2024. <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-zatverdzhennia-derzhavnogo-standartu-profilnoi-serednoi-osvity-851-250724> (in Ukrainian)
4. Shvets, V. O., & Pershyna, N. B. (2022). Formuvannia navychok matematychnoho modeliuвання pid chas rozv'язuvannia prykladnykh zadach ekonomichnogo zmistu [Formation of mathematical modeling skills during solving applied problems of economic content]. *Fiziko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 33(1), 57–62. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2022-033-1-010> (in Ukrainian)

5. Shvets, V. O., & Prus, A. O. (2025). Kontseptualna model realizatsii praktychnoi spriamovanosti navchannia shkilnoho kursu matematyky [Conceptual model of implementing the practical orientation of teaching the school mathematics course]. *Visnyk Cherkaskoho natsionalnoho universytetu imeni Bohdana Khmelnytskoho – Bulletin of Bohdan Khmelnytsky Cherkasy National University*, 3, 81–88. <https://doi.org/10.31651/2524-2660-2025-3-81-88> (in Ukrainian)
6. Shvets, V. O., & Prus, A. O. (2026). Systema prykladnykh zadach z matematyky: kryterii stvorennia, osoblyvosti rozviazuvannia [System of applied problems in mathematics: criteria for creation, features of solving]. *Fyzyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 41(1), 37–47. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i1-06> (in Ukrainian)
7. Shvets, V. O., & Chernenko, A. O. (2024). Formuvannia v uchniv bazovoi serednoi shkoly motyviv otrymuvaty znannia pro finansovo-pidpriemnytsku diialnist pid chas vyvchennia alhebrы [Formation of motives to acquire knowledge about financial and entrepreneurial activity in basic secondary school students during algebra learning]. *Osvita. Innovatyka. Praktyka – Education. Innovation. Practice*, 12(3), 83–92. <https://doi.org/10.31110/2616-650X-vol12i3-012> (in Ukrainian)
8. Shvets, V. O., & Novikova, A. O. (2019). Matematychno modeliuвання v kursy alhebrы pid chas rozviazuvannia zadach [Mathematical modelling in the algebra course during problem solving]. *Naukovyi chasopys NPU imeni M. P. Drahomanova. Seriiа 3 – Scientific Journal of M. P. Drahomanov NPU. Series 3*, 20, 70–76. (in Ukrainian)
9. Abassian, A., Safi, F., Bush, S., & Bostic, J. (2020). Five different perspectives on mathematical modeling in mathematics education. *Investigations in Mathematics Learning*, 12(1), 53–65. <https://doi.org/10.1080/19477503.2019.1595360>
10. Blum, W., & Borromeo Ferri, R. (2009). Mathematical modelling: Can it be taught and learnt? *Journal of Mathematical Modelling and Application*, 1(1), 45–58.
11. Borromeo Ferri, R. (2018). *Learning how to teach mathematical modeling in school and teacher education*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68072-9>
12. Borromeo Ferri, R., & Greefrath, G. (2026). Pre-service teachers' assessment competence for grading students' solutions of mathematical modelling problems. *Teaching and Teacher Education*, 169, 105281. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2025.105281>
13. Dinçer Aksoy, B., Kuşkaya Mumcu, F., & Cantürk Günhan, B. (2025). Unveiling the nexus: Computational thinking and mathematical modelling in K-12 education – a teacher-centric exploration. *Thinking Skills and Creativity*, 60, 102049. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2025.102049>
14. Frejd, P., & Vos, P. (2023). The spirit of mathematical modeling – a philosophical study on the occasion of 50 years of mathematical modeling education. *The Mathematics Enthusiast*, 21(1), 269–300.
15. Leiss, D., Ehmke, T., & Heine, L. (2024). Reality-based tasks for competency-based education: The need for an integrated analysis of subject-specific, linguistic, and contextual task features. *Learning and Individual Differences*, 114, 102518. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2024.102518>
16. Lien, B., & Nordskog, M. (2025). Challenges and perceptions of mathematical modelling among Norwegian pre-service teachers. *JISTE*, 29(1), 70–83.
17. Maaß, K. (2006). What are modelling competencies? *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*, 38(2), 113–142. <https://doi.org/10.1007/BF02655885>
18. Suh, J., Matson, K., Seshaiyer, P., Jamieson, S., & Tate, H. (2021). Mathematical modeling as a catalyst for equitable mathematics instruction: Preparing teachers and young learners with 21st century skills. *Mathematics*, 9(2), 162. <https://doi.org/10.3390/math9020162>

| Матеріал надійшов до редакції: 06.04.2026 р. | Прийнято до друку: 24.05.2026 р. | Опубліковано: 30.06.2026 р. |



This work is licensed under Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.



ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА (PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION)

p-ISSN: 2413-1571, e-ISSN: 2413-158X

2026, 41(3), <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-07>

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОБЛЕМНО- ОРІЄНТОВАНИХ СИТУАЦІЙ У ФАХОВІЙ ПІДГОТОВЦІ ВЧИТЕЛІВ МАТЕМАТИКИ

Ольга ЯКОВЛЕВА ✉

Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського», Україна
yakovlieva.on@pdpu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-0750-9769>

Ольга ПАПАЧ

Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського», Україна
olivapa@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-8960-5457>

Анастасія ДРОЦЬ

Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського», Україна
Dudko.AI@pdpu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-7400-7270>

Марія ПАРЛІКОВА

Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського», Україна
Parlikova.MO@pdpu.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0003-1678-1905>

CONCEPTUAL FOUNDATIONS OF USING PROBLEM-ORIENTED SITUATIONS IN THE PROFESSIONAL TRAINING OF MATHEMATICS TEACHERS

Olga YAKOVLIEVA ✉

South Ukrainian National Pedagogical University
named after K. D. Ushynsky, Ukraine
yakovlieva.on@pdpu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0003-0750-9769>

Olha PAPACH

South Ukrainian National Pedagogical University
named after K. D. Ushynsky, Ukraine
olivapa@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0002-8960-5457>

Anastasiia DROTS

South Ukrainian National Pedagogical University
named after K. D. Ushynsky, Ukraine
Dudko.AI@pdpu.edu.ua
<https://orcid.org/0000-0001-7400-7270>

Maria PARLIKOVA

South Ukrainian National Pedagogical University
named after K. D. Ushynsky, Ukraine
Parlikova.MO@pdpu.edu.ua
<https://orcid.org/0009-0003-1678-1905>

АНОТАЦІЯ

У статті визначено концептуальні засади використання проблемно-орієнтованих ситуацій як інноваційної технології у фаховій підготовці вчителів математики, окреслено авторську методику конструювання таких ситуацій при викладанні математичних дисциплін та методики навчання математики, наведено приклади з узагальненого педагогічного досвіду авторів.

Формулювання проблеми. Проблемно-орієнтоване навчання (ПОН) розвиває предметно-методичну компетентність майбутніх учителів математики. Однак наявні дослідження зосереджені переважно на використанні окремих проблемних завдань, а не на системній методиці конструювання проблемно-орієнтованих ситуацій. Нерозв'язаним залишається питання: як навчити майбутнього вчителя не лише розв'язувати, а й самостійно проектувати такі ситуації. Авторська методика заповнює цю лауну, пропонуючи типологію ситуацій та поетапний алгоритм впровадження – від суб'єктивного «проживання» проблеми в математичних дисциплінах до рефлексивного проектування у курсі методики навчання математики.

Матеріали і методи. Методологічну основу дослідження становлять системний та діяльнісний підходи до фахової підготовки вчителів математики. Використано методи аналізу, синтезу, систематизації, порівняння, а також узагальнення власного педагогічного досвіду щодо впровадження освітніх інновацій.

Результати. Визначено концептуальні засади впровадження ПОН як інноваційної технології. Презентовано авторську методику конструювання проблемно-

ABSTRACT

The article defines the conceptual foundations of using problem-oriented situations as an innovative technology in the professional training of mathematics teachers, outlines the authors' methodology for designing such situations in teaching mathematical disciplines and methods of teaching mathematics, and provides examples from the authors' generalized pedagogical experience.

Formulation of the problem. Problem-oriented learning (POL) contributes to the development of subject-specific and methodological competence in future mathematics teachers. However, existing studies focus primarily on individual problem-based tasks rather than on a systematic methodology for designing problem-oriented situations. Thus, the issue of how to prepare future teachers not only to solve such situations but also to design them independently remains unresolved. The authors' methodology addresses this gap by proposing a typology of problem-oriented situations and a step-by-step implementation algorithm that progresses from students' subjective experiences of mathematical problems within mathematical disciplines to reflective design in the course on methods of teaching mathematics.

Materials and methods. The methodological basis of the research is formed by systemic and activity-based approaches to the professional training of mathematics teachers. The methods of analysis, synthesis, systematization, comparison, and generalization of the authors' own pedagogical experience in implementing educational innovations were used.

Results. The conceptual foundations for implementing problem-based learning (PBL) as an innovative technology have been

орієнтованих ситуацій («алгоритмічної неможливості», «часового обмеження», «методичної нераціональності» тощо), яка стимулює самостійний пошук здобувачів. Окреслено особливості впровадження ПОН у викладанні математичних дисциплін та методики навчання математики, запропоновано поетапність: від суб'єктивного розв'язання проблемно-орієнтованих ситуацій до опанування методів їх проектування в курсі методики.

Висновки. Упровадження авторської методики у фахову підготовку вчителів математики сприятиме переходу студентів від ролі пасивних слухачів до активних дослідників та розробників освітнього контенту, збагачуючи їхній індивідуальний методичний арсенал інноваційними інструментами навчання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: фахова підготовка вчителів математики; проблемно-орієнтоване навчання; проблемно-орієнтовані ситуації; інноваційні освітні технології; проектування освітнього середовища.

ДЛЯ ЦИТУВАННЯ: Яковлева О., Папач О., Дроць А., Парлікова М. Концептуальні засади використання проблемно-орієнтованих ситуацій у фаховій підготовці вчителів математики. *Фізико-математична освіта*, 2026. Том 41. № 3. С. 55-63. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-07>.

defined. The author's methodology for constructing problem-based situations ("algorithmic impossibility," "time constraints," "methodological irrationality," etc.) that stimulate students' independent exploration is presented. The article outlines the specific features of implementing problem-oriented learning in the teaching of mathematical disciplines and mathematics pedagogy, and proposes a phased approach: from the subjective resolution of problem-oriented situations to mastering the methods of designing them in a course on teaching methodology.

Conclusions. The implementation of the authors' methodology into the professional training of mathematics teachers will facilitate students' transition from passive listeners to active researchers and developers of educational content, enriching their individual methodological toolkit with innovative teaching tools.

KEYWORDS: professional training of mathematics teachers; problem-based learning; problem-oriented situations; innovative educational technologies; designing the educational environment.

FOR CITATION: Yakovlieva, O., Papach, O., Drots, A., & Parlíkova, M. (2026). Conceptual foundations of using problem-oriented situations in the professional training of mathematics teachers. *Physical and Mathematical Education*, 41(3), 55-63. <https://doi.org/10.31110/fmo2026.v41i3-07>.

ВСТУП

Системне реформування всіх ланок національної освіти – від профільної середньої школи до вищої школи – потребує стратегічного оновлення підходів до навчання. В Положенні про акредитацію (2019) чітко вказується на необхідність упровадження інноваційних технологій, які дозволять змістити акценти з пасивного сприйняття інформації на самостійний пошук рішень в межах професійних проблемних ситуацій. Державні стандарти базової загальної та профільної середньої освіти також визначають нові вимоги до організації освітньої діяльності та задають орієнтири як для працюючих, так і для майбутніх вчителів математики. Ефективний учитель математики сьогодення – це не лише ретранслятор знань, а й розробник креативного освітнього контенту, тому сучасне викладання математики повинно фокусуватися на впровадженні інноваційного інструментарію, що доповнюватиме традиційні методи та дозволятиме їх трансформувати. При цьому головною метою навчання постає використання широкого спектра освітніх інновацій для подолання пасивності здобувачів освіти та переведення фахової підготовки на новий технологічний рівень. Серед таких інноваційних освітніх технологій можна вказати: проєктне навчання (Project-Based Learning), контекстне та ігрове навчання (Gamification), мобільні технології (M-learning), змішані форми організації освітнього процесу (Blended Learning), проблемно-орієнтоване навчання (Problem-Based Learning, PBL) тощо.

Аналіз актуальних досліджень. Однією з найбільш затребуваних сучасних педагогічних технологій є проблемно-орієнтоване навчання (далі ПОН), яке виступає інструментом розвитку предметно-методичної компетентності. Її структура змінює саму дидактичну конструкцію взаємодії «викладач-студент». В основі цієї технології лежить використання неструктурованої та реалістичної проблеми як відправної точки для набуття нових знань та розвитку навичок критичного мислення, що змушує суб'єктів навчання самостійно вибудовувати траєкторію пізнання в умовах невизначеності.

Теоретичне підґрунтя проблемно-орієнтованого навчання було закладено в медичній освіті. Barrows (1986) запропонував такономію методів ПОН, виокремивши різні рівні структуривання проблеми та ролі викладача – від повністю структурованого кейсів до відкритого дослідницького пошуку. Спільно з Tamblyn (Barrows & Tamblyn, 1980) він обґрунтував ПОН як альтернативу традиційному лекційному навчанню, що дозволяє здобувачу інтегрувати знання з різних дисциплін для розв'язання реальних клінічних задач. Згодом Hmelo-Silver (2004) на основі аналізу численних досліджень уточнила когнітивні механізми впливу ПОН, показавши, що він сприяє розвитку гнучкого мислення, самостійності та здатності переносити знання в нові контексти. У свою чергу Savery (2015) запропонував чітке відмежування ПОН від інших активних підходів (проєктного навчання, кейс-методу, проблемно-орієнтованого навчання як філософії), що дозволило уникнути термінологічних збігів Вагомим підтвердженням ефективності ПОН став мета-аналіз Strobel та van Barneveld (2009), який показав, що студенти, навчені за методом ПОН, демонстрували кращі результати у застосуванні знань на практиці, хоча можуть поступатися студентам традиційних груп у тестах на відтворення фактів.

Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених загальним засадам проблемного навчання, аналіз сучасної літератури засвідчує певну галузеву асиметрію: якщо в медичній та інженерній освіті ПОН має розгалужені стратегічні моделі, то в підготовці вчителів математики воно залишається фрагментарним. Наявні дослідження зосереджені переважно на використанні окремих проблемних завдань, а не на системній методиці конструювання проблемно-орієнтованих ситуацій. Залишається невирішеним питання, як навчити майбутнього вчителя математики не лише розв'язувати, а й самостійно проектувати такі ситуації.

Так, у праці (Гуменна, 2025) описано досвід навчання студентів аграрного коледжу, де акцент зміщено з репродуктивного засвоєння знань на розвиток умінь аналізувати альтернативні варіанти розв'язання проблеми та обирати найбільш раціональний у складних виробничих умовах. Результати педагогічного експерименту, проведеного авторкою, засвідчили суттєве зростання рівня когнітивної самостійності здобувачів та їхньої здатності до оперативного прийняття рішень у ситуаціях із високим ступенем невизначеності.

Досвід імплементації ПОН в медичну освіту розкрито у статті (Должковий та ін., 2022). Автори акцентували увагу на довгостроковій ефективності технології, коли у тривалій перспективі студенти демонструють кращі результати завдяки розвиненим навичкам самостійного пошуку інформації та високій мотивації.

У роботі (Хмель, 2025) описано досвід застосування ПОН в поєднанні з цифровими інструментами для формування клінічного мислення та дослідницьких компетентностей майбутніх лікарів. Авторка обґрунтовує використання групової дискусії та самостійного формулювання висновків здобувачами освіти для забезпечення усвідомленого синтезу інформації.

У дослідженні (Романовський & Лапузіна, 2022) ПОН розглядається як стратегічна технологія підготовки лідерів-професіоналів у технічних університетах. Автори обґрунтовують доцільність використання Challenge Based Learning та Pebble in the Pond, що дозволяє змістити акценти із репродуктивного викладання на активне розв'язання автентичних професійних завдань. У статті наводяться приклади інтеграції проблемних кейсів із інтерактивними методами для забезпечення засвоєння фахових знань та розвитку стратегічного мислення й лідерського потенціалу.

Варто зауважити, що впровадження проблемно-орієнтованого навчання в процес підготовки педагогів різних спеціальностей наразі представлено не так широко, як і інших сферах підготовки фахівців в ЗВО. Так, дослідження (Дмитренко & Доля, 2016) спрямоване на вивчення змісту та структури застосування ПОН на заняттях з іноземної мови. Автори описують специфічні риси проблемно-орієнтованих ситуацій та презентують комплексну модель реалізації ПОН, структурування якої здійснюється за трьома ключовими етапами. У статті підкреслюється, що успіх ПОН залежить від трансформації ролі викладача у фасилітатора, який не ретранслює готову інформацію, а стимулює студентів до глибокого дослідження.

У праці (Валентьєва та ін., 2023) розглядаються особливості підготовки майбутніх педагогів за спеціальністю «Дошкільна освіта», де головний акцент зміщено з пасивної ретрансляції знань на активне формування професійних компетенцій через впровадження проблемно-орієнтованого навчання. Автором обґрунтовано доцільність використання проблемних лекцій як інструменту розвитку інтелектуальної незалежності студентів, результати аналізу структурних компонентів навчання — від створення проблемно-орієнтованих ситуацій до розв'язання практичних завдань — підтверджують ефективність обраної технології для досягнення навчальних цілей та адаптації майбутніх вихователів до викликів сучасного постіндустріального суспільства.

Для методики викладання математики важливе значення має дослідження (Рудик & Селезньова, 2025), у якому ПОН розглядається як ключовий фактор оптимізації підготовки в умовах STEM-орієнтованого підходу. У роботі висвітлено впровадження проблемних лекцій та специфічних проблемних домашніх завдань, що дозволяє зорієнтувати діяльність студента на творчо-дослідницький пошук, а практичну цінність становлять запропоновані авторами способи реалізації проблемно-орієнтованих ситуацій.

Проблема вибору ефективних методів підготовки фахівців у динамічних професійних середовищах є предметом активних дискусій у сучасному міжнародному науково-педагогічному дискурсі. Так, досліджуються механізми формування професійної компетентності та акцентується увага на важливості впровадження індивідуальних навчальних рівнів (CLS) у межах проблемно-орієнтованого навчання (Joо, 2026). Автор доводить, ПОН-інтегрований підхід не лише сприяє залученню студентів до активного навчання, але й виступає ефективним інструментом для розвитку критичного мислення та здатності до аналізу складних міждисциплінарних викликів, фактично нівелюючи розрив між теоретичною підготовкою та практичною діяльністю.

В роботі (Seidel et al., 2022) оцінюється потенціал проблемно-орієнтованого навчання та обґрунтовується роль ПОН як стратегічного інструменту модернізації академічних програм. Автори наголошують, що перехід від механічного запам'ятовування до розв'язання складних сценаріїв реального життя дає змогу ефективно формувати критичне мислення та навички колаборації, необхідні для успішної професійної діяльності. Такий підхід забезпечує стійкий зв'язок між теоретичними знаннями та їх практичним застосуванням у динамічному професійному середовищі.

Значний науковий інтерес становить порівняльний аналіз результативності традиційних лекцій, кейс-методів та симуляцій (Farashah & Tajeddin, 2018). Авторами доведено, що хоча лекційний виклад залишається базовим для засвоєння декларативних знань, саме симулятивне навчання забезпечує найвищий рівень процедурної компетентності та здатності до ухвалення рішень. Важливим для нашого дослідження є висновок про те, що симуляції перевершують статичні кейс-стаді у формуванні адаптивності суб'єкта до змінних умов, що створює підґрунтя для екстраполяції цих результатів на стратегію фахової підготовки майбутніх учителів математики. Водночас слід враховувати обмеження такої екстраполяції. По-перше, абсолютна природа математичного знання ускладнює створення «реалістичних» проблем, які є основою класичного ПОН у медицині чи інженерії: математичні задачі рідко мають прямі аналоги в повсякденному досвіді. По-друге, не всі моделі ПОН, розроблені для інших галузей, є безпосередньо застосованими в підготовці вчителів математики, оскільки тут важливим є не лише розроблення проблеми, а й формування здатності проектувати такі ситуації для майбутніх учнів. Отже, запропонована в цій статті методика адаптує загальні принципи ПОН до специфіки математичної освіти, зміщуючи акцент із предметного розв'язання на рефлексивне проектування проблемних ситуацій.

Особливий інтерес для нашого дослідження становить робота (Korkmaz & Kalaıcı 2021), у якій ПОН розглядається не лише як метод, а як фундаментальна освітня філософія та основа проектування навчальних планів у вищій школі XXI століття. Автори пропонують інноваційну концептуальну модель SIEDS (Structure-Implement-Evaluate-Decide-Sustain), в основі якої лежить концепція цілісного професійного становлення студента. Вона інтегрує принципи самоспрямованого навчання дорослих (андрагогіка), пріоритет особистісного досвіду (гуманізм) та орієнтацію на вимоги реального ринку праці (професіоналізм). Модель SIEDS пропонує чіткий покроковий алгоритм для інституційних змін, залучаючи широке коло стейкхолдерів до розроблення, впровадження та оцінювання навчальних програм. Важливим для нашої розвідки є висновок авторів про необхідність поєднання проблемного та проектного навчання в єдину систему, що дозволяє подолати розрив між теоретичними знаннями та практичною діяльністю, перетворюючи навчальний процес на симуляцію професійного середовища.

Сучасні міжнародні дослідження активно розвивають застосування ПОН у підготовці вчителів математики. Зокрема, в роботі (Altınbaş et al., 2025) експериментально доведено, що впровадження ПОН у курс лінійної алгебри для майбутніх учителів математики сприяє глибшому розумінню понять та підвищує самооцінку студентів. В публікації (Marco & Palatnik, 2024) досліджувалось, як спільне конструювання проблемно-орієнтованих ситуацій у процесі навчання сприяє професійному зростанню вчителів математики, підкреслюючи важливість переходу від розв'язання готових задач до самостійного їх створення. В роботі (Ortiz et al., 2025) розглянуто впровадження ПОН у цифрових середовищах у магістерській підготовці вчителів математики, отримано позитивні результати щодо розвитку професійних компетентностей. Дослідження використання асинхронних цифрових симуляцій проблемних уроків для підтримки професійного розвитку вчителів математики було проведено Schwarts et al. (2024). Мета-аналіз (Yuhana & Fajari, 2025) засвідчив значний вплив ПОН на розвиток навичок розв'язування проблем у міждисциплінарному контексті, що підтверджує потенціал цієї технології в освітній практиці.

Вибір проблемних ситуацій для ПОН має спиратися на розуміння природи математичного моделювання. У цьому контексті важливою є класифікація (Abassian et al., 2020), де виокремлено п'ять типів моделювання: реалістичне, освітнє, когнітивне, соціокритичне та епістемологічне. Запропонована авторами структура дозволяє розробнику навчальних кейсів чітко диференціювати зміст завдань: від розв'язання практико-орієнтованих життєвих проблем (реалістичний підхід) до стимулювання суто математичного мислення (епістемологічний напрям).

Мета статті полягає у визначенні концептуальних засад використання проблемно-орієнтованих ситуацій як інноваційної технології у фаховій підготовці вчителів математики та демонстрації авторської методики їх конструювання при викладанні математичних дисциплін та методики навчання математики. Реалізація окресленої мети передбачає послідовне вирішення двох завдань: обґрунтування теоретико-методологічного підґрунтя технології проблемно-орієнтованого навчання і розроблення та дослідну перевірку відповідного прикладного інструментарію – авторської методики конструювання проблемних ситуацій при викладанні математичних дисциплін та методики навчання математики. Повноцінне експериментальне підтвердження ефективності запропонованої методики визначено як перспективний напрям наших подальших досліджень.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Методологічну основу дослідження становлять системний і діяльнісний підходи до фахової підготовки вчителів математики у закладах вищої освіти. Для досягнення мети було використано комплекс методів. Під час окреслення концептуальних засад дослідження використовувалися теоретичні методи: аналіз, синтез, систематизація та порівняння науково-методичних джерел. При проведенні дослідження використовувалися і емпіричні методи: узагальнення власного педагогічного досвіду, цілеспрямоване педагогічне спостереження за навчальною діяльністю здобувачів освіти, аналіз виконання ними проблемних завдань. Емпіричну базу досліджень становить узагальнений досвід викладацької діяльності авторів, накопичений впродовж 2022–2026 років на базі Університету Ушинського. Дослідна перевірка елементів авторської методики здійснювалася у процесі навчання здобувачів вищої освіти спеціальності 014.04 Середня освіта (Математика) першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти. Навчальний матеріал для конструювання проблемних ситуацій інтегрувався у процес викладання математичних дисциплін, зокрема, у навчальні дисципліни «Лінійна алгебра», «Аналітична геометрія», «Числові системи», «Основи курсів вищої математики» тощо та методичних дисциплін «Методика навчання математики в закладах освіти».

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У центрі проблемно-орієнтованого навчання перебуває здобувач освіти як активний дослідник, що самостійно шукає шляхи розв'язання професійно спрямованих задач. У такому контексті здобувач освіти перестає бути споживачем готових фактів, він активізує процеси аналізу і синтезу, формулює власні гіпотези та перевіряє її правильність. Впровадження ПОН у курсах математичних дисциплін вимагає від викладача відмови від репродуктивної моделі «послухав-відтворив» до продуктивної моделі «дослідив-обґрунтував». Теоретичне підґрунтя доцільності такого підходу закладено у працях вітчизняних дослідників рефлексивної складової педагогічної освіти та творчого саморозвитку фахівця (Сисоєва, 1996; Ничкало, 2014). Водночас методичну основу дослідження становлять засади трансформації предметного математичного знання у професійно-педагогічну площину (Кузьмінський та ін., 2009). Практична реалізація цього підходу під час лекційних занять дає змогу замінити механічну ретрансляцію знань на системне моделювання ситуацій інтелектуального утруднення. У таких умовах наявний когнітивний інструментарій студента виявляється недостатнім, що стає стимулом для пошуку нових методів і формування математичної інтуїції.

Практичним вираженням окреслених теоретичних засад став запропонований нами прикладний інструментарій для конструювання проблемно-орієнтованих ситуацій під час проведення лекційних та практичних занять при викладанні математичних дисциплін. На основі цього підходу нами було спроектовано комплекс методичних рішень, що має низку специфічних особливостей. Для ілюстрації механізмів такого моделювання спочатку проаналізуємо обрані авторські варіанти завдань, що охоплюють різні типи навчальних ситуацій, які створюються на лекційних заняттях.

Створення ситуації алгоритмічної неможливості (тема «Степеневі ряди», Математичний аналіз). На лекції викладач пропонує обчислити інтеграл $\int_0^1 \frac{\sin x}{x} dx$, який студенти не можуть обчислити через відомі їм алгоритми (метод заміни, метод інтегрування частинами тощо). Викладач створює проблемно-орієнтовану ситуацію, демонструючи, що існують інтеграли, які не можна обчислити в квадратурах. Виходом з ситуації є перехід до наближених обчислень, де обґрунтовується ефективність застосування степеневих рядів для знаходження результату із заданою точністю.

Створення ситуації часового обмеження (тема «Комплексні числа», Лінійна алгебра). Після вивчення алгебраїчної форми комплексних чисел та операції над комплексними числами в алгебраїчній формі викладач може запропонувати на лекції обчислити наступне число $(1 - i\sqrt{3})^{47}$. Зрозуміло, що студенти за обмежений час не зможуть

цього зробити, використовуючи відомий їм інструментарій. Викладач створює проблемно-орієнтовану ситуацію, виходом з якої є перехід до запису комплексного числа у тригонометричній формі та використання формули Муавра, що дозволяє мінімізувати операційну складність завдання, помітно спрощуючи його розв'язання.

Створення ситуації методичної нераціональності (тема «Векторна алгебра», Аналітична геометрія). Після вивчення скалярного добутку векторів та його застосувань студентам пропонується обчислити площу трикутника ABC , знаючи координати його вершин $A(x_1, y_1, z_1)$, $B(x_2, y_2, z_2)$, $C(x_3, y_3, z_3)$. Якщо студенти почнуть обчислювати площу трикутника традиційним способом через довжини сторін та синус кута між двома обраними сторонами, то вони одразу стикнуться з громіздкими обчисленнями та дійдуть до висновку, що такий шлях не є раціональним. Виходом з створеної проблеми є введення поняття векторного добутку векторів, тоді площа трикутника, побудованого на векторах \vec{a} і \vec{b} , може бути обчислена за формулою $S_{\Delta} = \frac{1}{2} |\vec{a} \times \vec{b}|$.

Якщо під час лекції викладач через моделювання проблемно-орієнтованих ситуацій спрямовує студентів до відкриття нових теоретичних моделей, він виступає у ролі викладача-фасилітатора, то на практичних заняттях його позиція трансформується. Тут він більше виступає у ролі модератора самостійного пошуку, де студенти мають виявити гнучкість у застосуванні вже вивченого апарату. Розглянемо кілька прикладів організації такої роботи.

Створення ситуації прихованої закономірності (тема «Визначники», Лінійна алгебра). Проблемно-орієнтовані завдання доцільно пропонувати під час опрацювання властивостей визначників. Зокрема, студентам дається установка: не обчислюючи визначник безпосередньо, довести, що він дорівнює 0. Наприклад, доцільно розглядати наступні визначники:

$$\begin{vmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \\ 7 & 8 & 9 \end{vmatrix}; \begin{vmatrix} a+b & c & 1 \\ b+c & a & 1 \\ c+a & b & 1 \end{vmatrix}; \begin{vmatrix} \sin \alpha & \cos \alpha & \sin(\alpha + \delta) \\ \sin \beta & \cos \beta & \sin(\beta + \delta) \\ \sin \gamma & \cos \gamma & \sin(\gamma + \delta) \end{vmatrix}.$$

Реалізація властивостей визначників вимагає від студентів самостійного вибору та виконання в межах поставленого завдання необхідних рівносильних перетворень рядків або стовпців визначників.

Створення ситуації інтерпретаційного дисонансу (тема «Похідна функції та її застосування», Математичний аналіз). На практичному занятті студентам пропонується графік похідної функції $y = f'(x)$ (рис.1.) із завданням знайти точку максимуму самої функції $y = f(x)$.

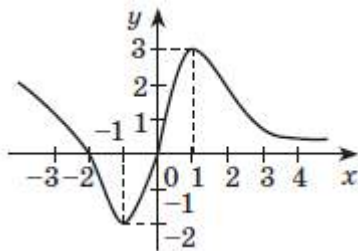


Рис. 1. Рисунок до завдання

Джерело: авторська розробка

Тут викладач свідомо провокує типову помилку: візуальне ототожнення точки максимуму похідної функції з точкою максимуму самої функції. Проблема змушує студента розмежувати візуальне сприйняття умови та логічне обґрунтування розв'язання.

Зазначимо, що створення проблемно-орієнтованих ситуацій при вивченні комплексних чисел на практичних заняттях було висвітлено в роботі (Дроць & Яковлева, 2025), що свідчить про увагу фахівців до впровадження методів ПОН у математичну освіту.

У межах нашого дослідження ми виокремлюємо низку ключових особливостей, що визначають ефективність використання проблемно-орієнтованого навчання на практичних заняттях з математичних дисциплін. Першою важливою умовою є **дотримання балансу складності**, оскільки проблемно-орієнтоване завдання не має бути надто легким чи надто важким. Якщо задача не створює виклику, здобувач втрачає до неї інтерес, тоді як надмірна складність в умовах обмеженого часу може призвести до фрустрації або апатії.

Не менш вагомим у представленій методиці є впровадження принципу евристичного фіналу («останнього кроку»). Його сутність полягає в тому, що студент, спираючись на базовий обсяг знань та алгоритмів, виконує підготовчу роботу, проте фінальний етап розв'язання завдання обов'язково вимагає відходу від шаблону. Саме цей самостійний завершальний крок забезпечує трансформацію мислення з репродуктивного в креативне та формує у студента стійку впевненість у власних інтелектуальних силах.

Також ми наголошуємо на **делегуванні вибору методу**, коли викладач свідомо уникає прямих вказівок щодо шляху розв'язання задачі. Наприклад, при обчисленні інтегралів ставиться лише кінцева мета, вибір конкретного інструментарію залишається за студентом, що безпосередньо сприяє розвитку критичного мислення. За таких умов діяльність викладача фокусується на спостереженні та постановці уточнювальних запитань, що виключає надання готових відповідей і стимулює студентів до самостійного пошуку.

Нарешті, суттєвою особливістю є **припустимість методичного «глухого кута»**, коли викладач не виправляє помилки миттєво, а виконує роль модератора. Він дозволяє здобувачам дійти до логічного тупика, адже саме момент усвідомлення власної помилки ми вважаємо ключовим у навчанні. Такий підхід найкраще реалізується у форматі колективного обговорення, де студенти вчаться аргументувати власні пропозиції та об'єктивно оцінювати ідеї інших учасників пошуку.

У межах нашого дослідження ми розмежуємо використання проблемно-орієнтованих ситуацій залежно від змісту навчальних дисциплін. Так, у курсах математичних дисциплін основна увага приділяється суб'єктному проживанню досвіду, коли студенти на власному прикладі відчувають стан інтелектуального дефіциту та проходять шлях від усвідомлення проблеми до її розв'язання. Це забезпечує не лише глибоке засвоєння фахового матеріалу, а й формування особистісного ставлення до математичного пошуку, тим самим формуючи цілісну математичну компетентність. Натомість у курсі методики навчання математики акцент зміщується на рефлексивний аналіз. Майбутні педагоги опановують логіку побудови таких занять, вчать проєктувати точки дисонансу та керувати пізнавальним пошуком вже з позиції проєктувальника освітнього середовища. Така поетапність дозволяє майбутнім учителям математики спочатку відчути ефективність проблемно-орієнтованого навчання зсередини, а згодом – свідомо використовувати цей досвід для впровадження технологій ПОН у власній педагогічній діяльності. Якщо під час вивчення математичних дисциплін здобувачі освіти опановують зміст через розв'язання проблемно-орієнтованих ситуацій, то в курсі методики навчання математики вони оволодівають самою технологією їх створення. Таким чином, ПОН постає не лише як спосіб засвоєння матеріалу та чинник інтелектуального розвитку здобувача, а як складний професійний інструмент, яким має оволодіти майбутній учитель математики.

Робота з ПОН на цьому етапі відзначається низкою специфічних рис. По-перше, відбувається трансформація позиції від виконавця до організатора пізнавального пошуку. По-друге, робота з ПОН на заняттях з методики вимагає від здобувачів опанування навичками модерації, що передбачає глибокий аналіз можливих сценаріїв помилок аудиторії. Це дозволяє заздалегідь спрогнозувати хибні шляхи розв'язання та підготувати систему уточнювальних запитань (scaffolding). По-третє, робота з ПОН завершується рефлексивним аналізом розроблених сценаріїв у форматі мікрвикладання. Під час презентації здобувачами фрагментів занять їхня робота стає об'єктом спільного критичного розгляду. У межах групового обговорення аналізується автентичність створеного виклику, рівень автономності здобувача та здатність майбутнього вчителя врівноважувати складність завдання з підтримкою мотивації. Аналіз напрацювань здобувачів підтверджує, що інструменти ПОН, системне поєднання фундаментальної підготовки з методичним конструктором та практичною апробацією формують професійну впевненість майбутнього вчителя математики як фахівця, здатного керувати творчим математичним пошуком.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

У статті визначено концептуальні засади впровадження проблемно-орієнтованого навчання як інноваційної технології у фаховій підготовці майбутніх учителів математики. Презентовано авторську методику конструювання проблемно-орієнтованих ситуацій («алгоритмічної неможливості», «часового обмеження», «методичної нераціональності» тощо), яка на конкретних прикладах математичних дисциплін демонструє механізми стимулювання самостійного пошуку здобувачів. Окреслено особливості впровадження ПОН у процесі викладання математичних дисциплін та викладання методики навчання математики, що засвідчує залежність реалізації технології ПОН від специфіки конкретної навчальної предметної області. Запропоновано поетапність застосування цієї технології: від суб'єктивного розв'язання проблемно-орієнтованих ситуацій у курсах дисциплін математичного циклу до опанування методів їх проєктування в курсі методики навчання математики. Узагальнюючи результати роботи, зазначимо, що представлена авторська методика конструювання проблемно-орієнтованих ситуацій успішно пройшла етап дослідної перевірки. Логічне продовження дослідження вбачаємо в проєктуванні та реалізації повноцінного педагогічного експерименту, який забезпечить репрезентативне підтвердження результативності запропонованих змін у викладанні математичних дисциплін і методиці навчання математики.

Вважаємо, що впровадження запропонованої авторської методики у фахову підготовку майбутніх учителів математики сприятиме переходу здобувачів освіти від ролі пасивних слухачів до активних дослідників та розробників освітнього контенту, збагачуючи їхній індивідуальний методичний арсенал інноваційними інструментами навчання.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

ДЖЕРЕЛА ФІНАНСУВАННЯ

Роботу виконано за відсутності фінансової підтримки.

ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ

Це дослідження не передбачало використання окремих наборів даних.

ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Використано Gemini для поліпшення якості мови та перевірки граматики. Автори критично перевірили та відредагували отриманий контент і несуть повну відповідальність за його зміст.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Валентьева, Т., Смолянко, Ю., & Семянко, Ю. (2022). Проблемне навчання у закладах вищої освіти як засіб формування професійної компетентності майбутніх педагогів. *Актуальні питання гуманітарних наук*, 49(1), 130–139. <https://epub.chnpu.edu.ua/ispui/handle/123456789/7744>

2. Дмітренко, Н., & Доля, І. (2016). Застосування проблемно-орієнтованого навчання на заняттях з іноземної мови у вищому навчальному закладі. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методи навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*, 46, 166–170. <https://vspu.net/sit/index.php/sit/article/view/2468>
3. Должковий, С. В., Крижанівський, О. А., Оганезян, А. Г., & Шейко, В. Д. (2022). Використання методу проблемно-орієнтованого навчання в роботі зі студентами-медиками. У *Сучасні тренди розвитку медичної освіти: перспективи і здобутки: матеріали науково-практичної конференції* (с. 94–96). ПДМУ. <https://repository.pdmu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/0d16e5f5-0e08-4f24-a061-3246c767577c/content>
4. Дроць, А. І., & Яковлева, О. М. (2025). Проблемно-орієнтовані ситуації на заняттях із математичних дисциплін як механізм формування професійної креативності майбутніх учителів математики. *Креативне мислення як інструмент розвитку успішної особистості під час навчання у ЗВО: збірник матеріалів всеукраїнської науково-методичної конференції з міжнародною участю* (м. Одеса, 20 грудня 2025 р.) (с. 54–56). Одеса: Університет Ушинського. <http://dspace.pdpu.edu.ua/handle/123456789/24547>
5. Кузьмінський, А. І., Тарасенкова, Н. А., & Акуленко, І. А. (2009). *Наукові засади методичної підготовки майбутнього вчителя математики: монографія*. Черкаси: ЧНУ ім. Богдана Хмельницького.
6. Ничкало, Н. Г. (2014). *Розвиток професійної освіти в умовах глобалізаційних та інтеграційних процесів: монографія*. Київ: Видавництво НПУ імені М. П. Драгоманова.
7. Романовський, О., & Лапузіна, О. (2022). Проблемно-орієнтоване навчання та його роль в процесі підготовки майбутніх лідерів-професіоналів у технічних університетах України. *Теорія і практика управління соціальними системами*, (4), 3–14. <https://doi.org/10.20998/2078-7782.2022.4.01>
8. Рудик, Т. О., & Селєзньова, Н. П. (2025). Проблемно-орієнтоване навчання як один з факторів оптимізації математичної підготовки студентів у технічному університеті. *Науковий часопис УДУ імені Михайла Драгоманова*, 104, 112–117. <https://doi.org/https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series5.2025.104.22>
9. Сисоева, С. О. (1996). *Підготовка вчителя до формування творчої особистості учня: монографія*. Київ: Поліграфкнига.
10. Хмель, Л. Л. (2025). Інноваційне застосування технології проблемно-орієнтованого навчання (Problem Based Learning) для формування компетентностей майбутніх лікарів і провізорів у студентів ВНМУ ім. М. І. Пирогова на кафедрі нормальної фізіології. *Вісник Вінницького національного медичного університету*, 29(1), 118–121. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2025-29\(1\)-21](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2025-29(1)-21)
11. Abassian, A., Safi, F., Bush, S., & Bostic, J. (2020). Five different perspectives on mathematical modeling in mathematics education. *Investigations in Mathematics Learning*, 12(1), 53–65. <https://doi.org/10.1080/19477503.2019.1595360>
12. Altınbaş, Z., Solak, S., & Ertekin, E. (2025). The effect of multiple representations-based and problem-based instruction in linear algebra on pre-service teachers' dimensions of understanding. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 28(2), 145–167. <https://doi.org/10.1007/s10857-025-09696-0>
13. Barrows, H. S. (1986). A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education*, 20(6), 481–486. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.1986.tb01386.x>
14. Barrows, H. S., & Tamblyn, R. M. (1980). *Problem-based learning: An approach to medical education*. Springer Publishing Company. New York. 224 p. <https://app.nova.edu/toolbox/instructionalproducts/edd8124/fall11/1980-BarrowsTamblyn-PBL.pdf>
15. Brownell, J., & Jameson, D. (2004). Problem-based learning in graduate management education: An integrative model and interdisciplinary application. *Journal of Management Education*, 28(5), 558–577. <https://doi.org/10.1177/1052562904266073>
16. Farashahi, M., & Tajeddin, M. (2018). Effectiveness of teaching methods in business education: A comparison study of learning outcomes of lecture, case studies and simulations. *International Journal of Management Education*, 16, 131–142. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2018.01.003>
17. Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266. <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
18. Humenna, L. (2025). Problem-based learning technology as a means of activating the cognitive activity of learners. *Professional Pedagogics*, 2(31), 31–41. <https://doi.org/10.32835/2707-3092.2025.31.31-41>
19. Joo, S. H. (2026). Integrating Problem-Based Learning into a Senior Engineering Design Course: A Sustainability-Focused Approach to Microplastic Removal from Stormwater. *Sustainability*, 18(7), 3391. <https://doi.org/10.3390/su18073391>
20. Ortiz, W., Martinez, R., Tolozano, M. & Vazquez, A. (2025). Problem-based learning through digital environments: an experience in graduate mathematics teacher education. *Formación Universitaria*, 18(1), 143–152. <https://doi.org/10.4067/s0718-50062025000100143>
21. Korkmaz, G., & Kalayci, N. (2021). Problem and project-based learning as an educational philosophy: A novel conceptual model for higher education. *African Educational Research Journal*, 9, 774–789. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1324144.pdf>
22. Marco, N., & Palatnik, A. (2024). From "learning to variate" to "variate for learning": Teachers learning through collaborative, iterative context-based mathematical problem posing. *The Journal of Mathematical Behavior*, 74, 101156. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2023.101119>
23. Nilson, L. B. (1998). *Teaching at its best: A research-based resource for college instructors*. Jossey-Bass. 408 p. https://www.researchgate.net/publication/247700990_Teaching_at_Its_Best_A_Research-Based_Resource_for_College_Instructors
24. Savery, J. R. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and Distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1), (pp. 5–15). Purdue University Press. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1002>
25. Schwartz, G., Herbst, P., & Brown, A. (2024). Harnessing Asynchronous Digital Simulations of Problem-based Lessons to Support Mathematics Teachers' Professional Development: A Design-based Approach. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23 (9), 1883–1916. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10514-x>
26. Seidel, L. F., Lewis, J. B., Ritvo, R. A., & Kent, K. E. (2022). Using Problem-Based Learning to Prepare Students and Improve Academic Programs. *Journal of Health Administration Education*, 39, 85–106. <https://www.ingentaconnect.com/contentone/aupha/ijhae/2022/00000039/00000001/art00006#>
27. Strobel, J., & van Barneveld, A. (2009). When is PBL More Effective? A Meta-synthesis of Meta-analyses Comparing PBL to Conventional Classrooms. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 3(1), 44–58. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1046>
28. Yuhana, Y., & Fajari, L. E. W. (2025). Cross-disciplinary effects of problem-based learning on problem-solving skills in mathematics and beyond: A comprehensive meta-analysis and bibliometric. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(1), em2568. <https://doi.org/10.29333/ejmste/17345>

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Valentieva, T., Smolianko, Yu., & Semianko, Yu. (2022). Probleme navchannia u zakladakh vyshchoi osvity yak zasib formuvannia profesiinoi kompetentnosti maibutnih pedahohiv [Problem-based learning in higher education institutions as a means of forming professional competence of future teachers]. *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk – Current issues of the humanities*, 49(1), 130–139. <https://epub.chnpu.edu.ua/ispui/handle/123456789/7744>

2. Dmitrenko, N., & Dolia, I. (2016). Zastosuvannia problemno-orientovanoho navchannia na zaniattiakh z inozemnoi movoy u vyshchomu navchalnomu zakladi [Application of problem-based learning in foreign language classes in a higher educational institution]. *Suchasni informatsiini tekhnologii ta innovatsiini metody navchannia v pidhotovtsi fakhivtsiv: metodolohiia, teoriia, dosvid, problemy – Modern information technologies and innovative teaching methods in the training of specialists: methodology, theory, experience, problems*, 46, 166–170. <https://vspu.net/sit/index.php/sit/article/view/2468>
3. Dolzhkovyi, S. V., Kryzhanivskiy, O. A., Ohanezian, A. H., & Sheiko, V. D. (2022). Vykorystannia metodu problemno-orientovanoho navchannia v roboti zi studentamy-medykamy [Using the method of problem-oriented learning in working with medical students]. In *Suchasni trendy rozvytku medychnoi osvity: perspektyvy i zdobutky: materialy naukovo-praktychnoi konferentsii – Modern trends in the development of medical education: prospects and achievements: materials of the scientific and practical conference* (pp. 94–96). PDMU. <https://repository.pdmu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/0d16e5f5-0e08-4f24-a061-3246c767577c/content>
4. Drots, A. I., & Yakovlieva, O. M. (2025). Problemno-orientovani sytuatsii na zaniattiakh iz matematychnykh dystsyplin yak mekhanizm formuvannia profesiinoi kreatyvnosti maibutnykh uchyteliv matematyky [Problem-oriented situations in mathematical classes as a mechanism for forming professional creativity of future mathematics teachers]. *Kreatyvne myslennia yak instrument rozvytku uspishnoi osobystosti pid chas navchannia u ZVO: zbirnyk materialiv vseukrainskoi naukovo-metodychnoi konferentsii z mizhnarodnoiu uchastiu – Creative thinking as a tool for developing a successful personality during studies in higher education: a collection of materials of the All-Ukrainian scientific and methodological conference with international participation (m. Odesa, 20 hrudnia 2025 r.)* (pp. 54–56). Odesa: Universytet Ushynskoho. <http://dspace.pdpu.edu.ua/handle/123456789/24547>
5. Kuzminskiy, A. I., Tarasenkova, N. A., & Akulenko, I. A. (2009). *Naukovi zasady metodychnoi pidhotovky maibutnoho vchytelia matematyky [Scientific principles of methodological training of future mathematics teachers]*. Cherkasy: ChNU im. Bohdana Khmelnytskoho.
6. Nychkalo, N. H. (2014). *Rozvytok profesiinoi osvity v umovakh hlobalizatsiinykh ta intehratsiinykh protsesiv [Development of professional education in the context of globalization and integration processes]*. Kyiv: Vydavnytstvo NPU imeni M. P. Drahomanova.
7. Romanovskiy, O., & Lapuzina, O. (2022). Problemno-orientovane navchannia ta yoho rol v protsesi pidhotovky maibutnykh lideriv-profesionaliv u tekhnichnykh universytetakh Ukrainy [Problem-based learning and its role in the process of training future professional leaders in technical universities of Ukraine]. *Teoriia i praktyka upravlinnia sotsialnymy systemamy – Theory and practice of social systems management*, (4), 3–14. <https://doi.org/10.20998/2078-7782.2022.4.01>
8. Rudyk, T. O., & Selezniova, N. P. (2025). Problemno-orientovane navchannia yak odyn z faktoriv optymizatsii matematychnoi pidhotovky studentiv u tekhnichnomu universyteti [Problem-based learning as one of the factors of optimizing mathematical training of students in a technical university]. *Naukovyi chasopys UDU imeni Mykhaila Drahomanova – Scientific journal of the Mykhailo Dragomanov USU*, 104, 112–117. <https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series5.2025.104.22>
9. Sysioeva, S. O. (1996). *Pidhotovka vchytelia do formuvannia tvorchoi osobystosti uchnia [Teacher training for the formation of a student's creative personality]*. Kyiv: Polihrafknyha.
10. Khmel, L. L. (2025). Innovatsiine zastosuvannia tekhnologii problemno-orientovanoho navchannia (Problem Based Learning) dlia formuvannia kompetentnosti maibutnykh likariv i provizoriv u studentiv VNMU im. M. I. Pyrohova na kafedri normalnoi fiziologii [Innovative application of problem-based learning technology (Problem Based Learning) for the formation of competencies of future doctors and pharmacists in students of VNMU named after M. I. Pirogov at the Department of Normal Physiology]. *Visnyk Vinnytskoho natsionalnogo medychnoho universytetu – Bulletin of Vinnytsia National Medical University*, 29(1), 118–121. [https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2025-29\(1\)-21](https://doi.org/10.31393/reports-vnmedical-2025-29(1)-21)
11. Abassian, A., Safi, F., Bush, S., & Bostic, J. (2020). Five different perspectives on mathematical modeling in mathematics education. *Investigations in Mathematics Learning*, 12(1), 53–65. <https://doi.org/10.1080/19477503.2019.1595360>
12. Altınbaş, Z., Solak, S., & Ertekin, E. (2025). The effect of multiple representations-based and problem-based instruction in linear algebra on pre-service teachers' dimensions of understanding. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 28(2), 145–167. <https://doi.org/10.1007/s10857-025-09696-0>
13. Barrows, H. S. (1986). A taxonomy of problem-based learning methods. *Medical Education*, 20(6), 481–486. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2923.1986.tb01386.x>
14. Barrows, H. S., & Tamblyn, R. M. (1980). *Problem-based learning: An approach to medical education*. Springer Publishing Company. New York. 224 p. <https://app.nova.edu/toolbox/instructionalproducts/edd8124/fall11/1980-BarrowsTamblyn-PBL.pdf>
15. Brownell, J., & Jameson, D. (2004). Problem-based learning in graduate management education: An integrative model and interdisciplinary application. *Journal of Management Education*, 28(5), 558–577. <https://doi.org/10.1177/1052562904266073>
16. Farashahi, M., & Tajeddin, M. (2018). Effectiveness of teaching methods in business education: A comparison study of learning outcomes of lecture, case studies and simulations. *International Journal of Management Education*, 16, 131–142. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2018.01.003>
17. Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266. <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>
18. Humenna, L. (2025). Problem-based learning technology as a means of activating the cognitive activity of learners. *Professional Pedagogics*, 2(31), 31–41. <https://doi.org/10.32835/2707-3092.2025.31.31-41>
19. Joo, S. H. (2026). Integrating Problem-Based Learning into a Senior Engineering Design Course: A Sustainability-Focused Approach to Microplastic Removal from Stormwater. *Sustainability*, 18(7), 3391. <https://doi.org/10.3390/su18073391>
20. Ortiz, W., Martinez, R., Tolozano, M. & Vazquez, A. (2025). Problem-based learning through digital environments: an experience in graduate mathematics teacher education. *Formación Universitaria*, 18(1), 143–152. <https://doi.org/10.4067/s0718-50062025000100143>
21. Korkmaz, G., & Kalayci, N. (2021). Problem and project-based learning as an educational philosophy: A novel conceptual model for higher education. *African Educational Research Journal*, 9, 774–789. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1324144.pdf>
22. Marco, N., & Palatnik, A. (2024). From "learning to variate" to "variate for learning": Teachers learning through collaborative, iterative context-based mathematical problem posing. *The Journal of Mathematical Behavior*, 74, 101156. <https://doi.org/10.1016/j.imathb.2023.101119>
23. Nilson, L. B. (1998). *Teaching at its best: A research-based resource for college instructors*. Jossey-Bass. 408 p. https://www.researchgate.net/publication/247700990_Teaching_at_Its_Best_A_Research-Based_Resource_for_College_Instructors
24. Savery, J. R. (2006). Overview of problem-based learning: Definitions and Distinctions. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 1(1). (pp. 5–15). Purdue University Press. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1002>
25. Schwartz, G., Herbst, P., & Brown, A. (2024). Harnessing Asynchronous Digital Simulations of Problem-based Lessons to Support Mathematics Teachers' Professional Development: A Design-based Approach. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 23 (9), 1883–1916. <https://doi.org/10.1007/s10763-024-10514-x>
26. Seidel, L. F., Lewis, J. B., Ritvo, R. A., & Kent, K. E. (2022). Using Problem-Based Learning to Prepare Students and Improve Academic Programs. *Journal of Health Administration Education*, 39, 85–106. <https://www.ingentaconnect.com/contentone/aupha/jhae/2022/00000039/00000001/art00006#>

27. Strobel, J., & van Barneveld, A. (2009). When is PBL More Effective? A Meta-synthesis of Meta-analyses Comparing PBL to Conventional Classrooms. *Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning*, 3(1), 44–58. <https://doi.org/10.7771/1541-5015.1046>
28. Yuhana, Y., & Fajari, L. E. W. (2025). Cross-disciplinary effects of problem-based learning on problem-solving skills in mathematics and beyond: A comprehensive meta-analysis and bibliometric. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 21(1), em2568. <https://doi.org/10.29333/ejmste/17345>

| Матеріал надійшов до редакції: 21.04.2026 р. | Прийнято до друку: 05.06.2026 р. | Опубліковано: 30.06.2026 р. |



АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Д		С	
Дроць А.	55	Смужаниця Д.	20
К		Т	
Каплієнко М.	6	Тінькова Д.	29
Л		Ч	
Лінчевський І.	14	Чкана Я.	37
Луценко Г.	29	Ш	
П		Швець В.	45
Папач О.	55	Я	
Парлікова М.	55	Яковлева О.	55
Пеклун В.	14		
Прус А.	45		

Наукове видання

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА

Науковий журнал

Key title: Fiziko-matematična osvita

Abbreviated key title: Fiz.-mat. osv.

Том 41, № 3

2026

Друкується в авторській редакції
Матеріали подані мовою оригіналу

Відповідальний за випуск

О.В. Семеніхіна

Комп'ютерна верстка

О.М. Удовиченко

Ідентифікатор медіа:

R30-02975

<https://fmo-journal.org/>

Підп. до друку 27.04.2026.

Формат 60x84/8. Гарнітура Calibri. Папір офсетний. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 7,6.
Ум. фарб.-відб. 7,6. Обл.-вид. арк. 7,9. Тираж 50 пр. Вид. №23

Видавець:

Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка
40002, м.Суми, вул.Роменська, 87
Тел. (0542) 68-59-15, (0542) 68-59-72; rector@sspu.edu.ua
Свідоцтво ДК № 231 від 02.11.2000 р.

Виготовлювач:

ФОП Цьома С.П. 40002, м. Суми, вул. Роменська, 100.
Тел.: 066-293-34-29.
Зам. № 32

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
серія ДК, № 5050 від 23.02.2016.