

Секція Освітні науки	
УДК 37.091.39:004:37.018.43:378	
Дата першого надходження статті до видання	2026-06-30
Дата прийняття статті до друку після рецензування	2026-07-30
Дата публікації/оприлюднення	2026-07-30

Цифрові інструменти та віртуальні лабораторії у професійній підготовці педагогів до реалізації міждисциплінарних STEM-проектів

Пойда Сергій Андрійович

кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри управління та адміністрування,
Комунальний заклад вищої освіти
«Вінницька академія безперервної освіти»
Вінниця, Україна
serj.pojda@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9895-0220

Анотація. Статтю присвячено дослідженню можливостей використання цифрових інструментів і віртуальних лабораторій у професійній підготовці педагогів до реалізації міждисциплінарних STEM-проектів в умовах цифрової трансформації освіти. **Актуальність** дослідження зумовлена необхідністю оновлення змісту педагогічної освіти відповідно до сучасних технологічних змін, поширення цифрових освітніх середовищ, розвитку генеративного штучного інтелекту (ГШІ) та зростання вимог до цифрової компетентності педагогічних працівників. **Метою** статті є теоретичне обґрунтування можливостей використання цифрових інструментів і віртуальних лабораторій у професійній підготовці педагогів, систематизація сучасних цифрових сервісів за їх педагогічним призначенням, визначення педагогічних умов їх ефективної інтеграції в освітній процес та розроблення практичних кейсів для реалізації міждисциплінарних STEM-проектів. **Методологічну** основу дослідження становлять аналіз, узагальнення й систематизація наукових джерел, порівняльний аналіз функціональних можливостей цифрових сервісів, метод педагогічного моделювання й проектування. Інформаційну базу дослідження склали сучасні наукові праці українських і зарубіжних учених, нормативно-правові документи у сфері освіти, міжнародні рекомендації щодо розвитку цифрової компетентності педагогів та офіційні матеріали цифрових платформ. У **результаті** дослідження запропоновано систематизацію цифрових інструментів відповідно до їх педагогічного призначення, що охоплює віртуальні лабораторії, засоби інженерного проектування, сервіси аналізу даних, платформи командної взаємодії, засоби візуалізації та системи ГШІ. Визначено педагогічні умови ефективної інтеграції цифрових технологій у професійну підготовку педагогів, серед яких системне використання цифрових ресурсів у змісті навчання, розвиток цифрової компетентності, організація практикоорієнтованої проектної діяльності, створення сучасного цифрового освітнього середовища та педагогічно виважене застосування технологій штучного інтелекту. Розроблено навчальні кейси, що демонструють можливості комплексного використання цифрового моделювання, програмування, аналізу даних і ГШІ під час виконання міждисциплінарних STEM-проектів. **Наукова новизна** дослідження полягає в розробленні авторського підходу до систематизації цифрових інструментів за педагогічним призначенням, обґрунтуванні педагогічних умов їх інтеграції та визначенні практичних механізмів використання цифрових технологій у професійній підготовці педагогів. **Практичне значення** одержаних результатів полягає у можливості їх використання під час модернізації

освітніх програм закладів вищої та післядипломної педагогічної освіти, розроблення навчально-методичного забезпечення, організації програм підвищення кваліфікації педагогічних працівників і впровадження міждисциплінарних STEM-проектів у сучасному освітньому середовищі.

У процесі роботи над дослідженням використовувались сервіси генеративного штучного інтелекту ChatGPT (<https://chatgpt.com/>) та Gemini (<https://gemini.google.com/>) для виявлення орфографічних та синтаксичних помилок і редагування мовного оформлення тексту, перекладу з іноземної мови. Змістові висновки та результати дослідження належать автору.

Ключові слова: STEM-освіта, професійна підготовка педагогів, цифрові інструменти, віртуальні лабораторії, цифрова компетентність, генеративний штучний інтелект, міждисциплінарні STEM-проекти, цифрове моделювання, педагогічні умови, цифрове освітнє середовище, післядипломна освіта.

Digital tools and virtual laboratories in teachers' professional training for the implementation of interdisciplinary STEM projects

Poida Serhii Andriiovych

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Management and Administration,
Public Higher Educational Establishment
«Vinnytsia Academy of Continuing Education»
Vinnytsia, Ukraine
serj.pojda@gmail.com
ORCID: 0000-0001-9895-0220

Abstract. This article explores the potential for using digital tools and virtual laboratories in the professional training of educators to implement interdisciplinary STEM projects in the context of the digital transformation of education. The relevance of this research stems from the need to update the content of teacher education in line with contemporary technological changes, the proliferation of digital educational environments, the development of generative artificial intelligence (GAI), and the growing demands for digital competence among educators. The purpose of this article is to provide a theoretical justification for the use of digital tools and virtual laboratories in the professional training of teachers, to systematize modern digital services according to their pedagogical purpose, to identify the pedagogical conditions for their effective integration into the educational process, and to develop practical case studies for implementing interdisciplinary STEM projects.

The methodological framework of the study consists of the analysis, synthesis, and systematization of scientific sources; a comparative analysis of the functional capabilities of digital services; and the method of pedagogical modeling and design. The information base of the study consists of contemporary scientific works by Ukrainian and foreign scholars, regulatory and legal documents in the field of education, international recommendations on the development of teachers' digital competence, and official materials from digital platforms. As a result of the study, a systematization of digital tools according to their pedagogical purpose is proposed, covering virtual laboratories, engineering design tools, data analysis services, team collaboration platforms, visualization tools, and GIS systems. The pedagogical conditions for the effective integration of digital technologies into teacher professional development have been identified, including the systematic use of digital resources in instructional content, the development of digital competence, the organization of practice-oriented project-based activities, the creation of a modern digital educational environment, and the pedagogically sound application of artificial intelligence technologies. Educational case studies have been

developed that demonstrate the possibilities of the comprehensive use of digital modeling, programming, data analysis, and AI during the implementation of interdisciplinary STEM projects.

The scientific novelty of this study lies in the development of an original approach to the systematization of digital tools according to their pedagogical purpose, the justification of the pedagogical conditions for their integration, and the identification of practical mechanisms for using digital technologies in the professional training of educators. The practical significance of the results lies in their potential application in modernizing educational programs at institutions of higher and postgraduate teacher education, developing instructional materials, organizing professional development programs for educators, and implementing interdisciplinary STEM projects in the contemporary educational environment.

During the research, the generative artificial intelligence services ChatGPT (<https://chatgpt.com/>) and Gemini (<https://gemini.google.com/>) were used to identify spelling and syntactic errors, edit the linguistic style of the text, and translate from a foreign language. The substantive conclusions and results of the study belong to the author.

Keywords: STEM education, teacher professional training, digital tools, virtual laboratories, digital competence, generative artificial intelligence, interdisciplinary STEM projects, digital modeling, pedagogical conditions, digital educational environment, postgraduate education.

Вступ

Актуальність проблеми. Цифрова трансформація освіти суттєво змінює вимоги до професійної діяльності сучасного педагога, актуалізуючи необхідність оновлення змісту й технологій професійної підготовки. Активне використання цифрового моделювання, хмарних сервісів, віртуальних лабораторій, систем аналізу даних і технологій штучного інтелекту створює нові можливості для організації навчально-дослідницької та проєктної діяльності, водночас висуваючи нові вимоги до рівня цифрової компетентності майбутніх учителів.

Одним із ключових напрямів модернізації сучасної освіти є впровадження STEM, що передбачає інтеграцію природничих наук, технологій, інженерії та математики для розв'язання практикоорієнтованих завдань. Такий підхід спрямований не лише на засвоєння предметних знань, а й на формування критичного мислення, дослідницьких умінь, здатності працювати в команді, приймати обґрунтовані рішення та застосовувати набуті знання у повсякденних справах. У зв'язку з цим особливого значення набуває підготовка педагогів, здатних ефективно використовувати цифрові технології та організовувати міждисциплінарну проєктну діяльність [8, с. 134].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема використання цифрових технологій у професійній підготовці педагогів активно досліджується як українськими, так і зарубіжними науковцями. Незважаючи на спільне визнання важливості цифрової трансформації освіти, дослідники по-різному визначають пріоритетні напрями інтеграції цифрових інструментів у підготовку педагогічних працівників.

Українські вчені переважно акцентують увагу на розвитку цифрової компетентності педагогів як ключової умови впровадження STEM-освіти. Зокрема, А. Дрокіна [12] розглядає професійну підготовку майбутніх учителів крізь призму реалізації концепції Нової української школи, наголошуючи на необхідності педагогічно обґрунтованого використання STEM-технологій. Подібної позиції дотримується О. Гуменний [11], який пов'язує ефективність професійної підготовки насамперед із подоланням недостатнього рівня цифрової компетентності педагогів та модернізацією змісту педагогічної освіти. Водночас І. Воротникова [6] основну увагу приділяє розвитку цифрової компетентності педагогів у процесі використання інструментів штучного

інтелекту, тоді як Л. Гриневич, Н. Морзе, В. Бойко та М. Вембер [10] розглядають цифрові технології як складову цілісної STEM-екосистеми освіти.

Зарубіжні дослідження характеризуються ширшим трактуванням цифрової трансформації професійної освіти. Так, S. Lyu та співавтори [21] обґрунтовують ефективність міжінституційної співпраці університетів, шкіл і роботодавців у підготовці майбутніх учителів до реалізації STEAM-проектів. Y. Walter [26] та C. K. Y. Chan і K. K. W. Lee [18] акцентують увагу на необхідності розвитку AI literacy, критичного мислення та навичок відповідального використання генеративного штучного інтелекту. Натомість A. Mills, M. Bali та L. Eaton [22] розглядають генеративний штучний інтелект передусім як інструмент підтримки відкритих освітніх практик, підкреслюючи необхідність академічної доброчесності під час його використання.

Окремий напрям досліджень присвячений використанню цифрового моделювання та віртуальних лабораторій у STEM-освіті. P. A. Ukhov [25] доводить ефективність виконання практичних робіт у цифрових лабораторіях, тоді як A. Boltsi та співавтори [16] демонструють можливості цифрових двійників у процесі інженерного проектування. На відміну від них, Н. Іваніук та співавтори [19] розглядають цифрові інструменти як засіб підтримки міждисциплінарної проектної діяльності й професійного саморозвитку здобувачів освіти.

Отже, аналіз сучасних наукових праць свідчить, що більшість досліджень присвячена окремим аспектам використання цифрових технологій: розвитку цифрової компетентності педагогів, застосуванню генеративного штучного інтелекту, цифрового моделювання або організації STEM-навчання. Водночас недостатньо дослідженими залишаються питання комплексної інтеграції цифрових інструментів, віртуальних лабораторій, сервісів аналізу даних, платформ командної взаємодії та генеративного штучного інтелекту як єдиної методичної системи професійної підготовки педагогів до реалізації міждисциплінарних STEM-проектів. Саме усунення цієї наукової прогалини зумовило вибір теми та визначило мету проведеного дослідження.

Виділення не вирішеної частини проблеми. Попри значну кількість публікацій, недостатньо дослідженими залишаються питання інтегрованого використання цифрових інструментів, віртуальних лабораторій і ГШІ як цілісної методичної системи професійної підготовки педагогів до реалізації міждисциплінарних STEM-проектів, що зумовило вибір теми дослідження.

Метою статті є обґрунтування методичних засад інтеграції цифрових інструментів і віртуальних лабораторій у професійну підготовку педагогів до реалізації міждисциплінарних STEM-проектів.

Наукова новизна дослідження полягає в систематизації можливостей цифрових інструментів і віртуальних лабораторій відповідно до їх педагогічного призначення в процесі професійної підготовки педагогів. Обґрунтовано доцільність системного використання засобів цифрового моделювання, віртуального експериментування, сервісів командної взаємодії та ГШІ як взаємопов'язаних компонентів підготовки до реалізації міждисциплінарних STEM-проектів. Уточнено педагогічні умови ефективної інтеграції цифрових технологій у професійну освіту педагогів та запропоновано практичні кейси їх застосування.

Практичне значення дослідження полягає у використанні запропонованих підходів під час модернізації освітніх програм закладів вищої педагогічної освіти, розроблення навчально-методичних матеріалів і програм підвищення кваліфікації педагогічних працівників. Запропонована систематизація цифрових інструментів і практичних кейсів може бути використана викладачами, методистами та тренерами для організації міждисциплінарної проектної діяльності й розвитку цифрової компетентності педагогів.

Методологія

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використано комплекс взаємодоповнювальних методів дослідження. Аналіз, узагальнення та систематизація наукових джерел, зіставлення результатів аналізу з власним професійним досвідом дали змогу визначити сучасні тенденції цифровізації професійної підготовки педагогів і окреслити підходи до використання цифрових технологій у STEM-освіті. Порівняльний аналіз застосовано для зіставлення функціональних можливостей сучасних цифрових сервісів, а метод педагогічного моделювання – для розроблення системи їх інтегрованого застосування у професійній підготовці педагогів. Метод проєктування використано під час створення практичних навчальних кейсів.

Джерела даних. Інформаційну основу дослідження склали наукові праці українських і зарубіжних учених, присвячені STEM-освіті, цифровій трансформації освіти, професійній підготовці педагогів та використанню технологій штучного інтелекту.

Інструменти аналізу. Для опрацювання матеріалів використано контент-аналіз наукових джерел, порівняльний аналіз цифрових інструментів за їх функціональними можливостями та педагогічним призначенням, а також метод класифікації для їх систематизації. Узагальнення отриманих результатів здійснювалося шляхом логічного аналізу й синтезу, що дало можливість сформулювати педагогічні умови ефективної інтеграції цифрових технологій до професійної підготовки педагогів.

Обмеження дослідження. Дослідження має теоретико-аналітичний характер і ґрунтується на узагальненні сучасних наукових підходів та аналізі можливостей цифрових інструментів. Запропоновані положення потребують подальшої експериментальної перевірки в умовах закладів вищої та післядипломної педагогічної освіти з урахуванням особливостей підготовки педагогів різних спеціальностей.

Результати

У результаті проведеного дослідження здійснено систематизацію сучасних цифрових інструментів і віртуальних лабораторій відповідно до їх педагогічного призначення у професійній підготовці педагогів до реалізації міждисциплінарних STEM-проєктів. Виділено основні групи цифрових ресурсів, зокрема віртуальні лабораторії, засоби інженерного проєктування, інструменти аналізу та візуалізації даних, платформи для командної взаємодії, програмні середовища та системи ГШІ [19]. Для кожної групи визначено функціональні можливості, переваги використання та потенційні обмеження. Аналіз сучасних цифрових ресурсів засвідчив доцільність їх систематизації за педагогічним призначенням, що враховує функції цифрових інструментів на різних етапах реалізації міждисциплінарних STEM-проєктів.

Першу групу інструментів складають віртуальні лабораторії та засоби цифрового моделювання, що забезпечують проведення симуляцій, моделювання природничих і технічних процесів та організацію дослідницької діяльності в умовах, коли реальне лабораторне обладнання недоступне, небезпечне або надто дороге для проведення експериментів здобувачами освіти.

До другої групи належать цифрові середовища інженерного проєктування й програмування, які підтримують створення електронних схем, тривимірних моделей, програмування мікроконтролерів і перевірку технічних рішень, сприяючи розвитку інженерного та алгоритмічного мислення [25].

Третя група охоплює сервіси спільної роботи та управління проєктами, що забезпечують комунікацію [2, с. 370], координацію діяльності учасників і колективне створення навчальних матеріалів [9, с. 137].

Четверту групу складають інструменти аналізу та візуалізації даних, призначені для статистичної обробки, інтерпретації та представлення результатів досліджень [9, с. 138].

Окрему групу утворюють сервіси ГШІ, які можуть використовуватись для створення навчального контенту, розроблення практичних завдань [7], підтримки програмування, аналізу інформації, персоналізації навчання тощо. Варто зазначити, що використання таких систем потребує критичного оцінювання отриманих результатів і неухильного дотримання принципів академічної доброчесності [1].

Запропонована систематизація демонструє, що педагогічна цінність цифрових інструментів визначається не лише їх точковим використанням, а й можливістю поєднання в єдиному інформаційно-освітньому середовищі відповідно до логіки реалізації STEM-проєкту. Саме інтеграція цифрового моделювання, експериментування, інженерного проєктування, аналізу даних, командної взаємодії та використання сервісів ГШІ створює умови для формування професійної готовності майбутніх педагогів до реалізації міждисциплінарних STEM-проєктів.

Для оцінювання педагогічного потенціалу сучасних цифрових ресурсів проведено їх порівняльний аналіз за функціональним призначенням, можливостями інтеграції у міждисциплінарне навчання, рівнем складності використання та впливом на формування професійних компетентностей педагогів (табл. 1). Наведені у таблиці дані дають змогу розглядати цифрові сервіси не як перелік популярних платформ, а як засоби, що виконують різні функції на етапах постановки проблеми, моделювання, експериментування, аналізу даних, командної взаємодії та представлення результатів.

Таблиця 1.

Цифрові інструменти професійної підготовки педагогів до реалізації
міждисциплінарних STEM-проєктів

Категорія сервісів	Цифровий інструмент	Основні функції	STEM-компоненти	Переваги для професійного розвитку вчителів	Обмеження
Віртуальні лабораторії	PhET Interactive Simulations	Віртуальні експерименти з фізики, хімії, математики, біології	S, M	Безкоштовний доступ, україномовний інтерфейс, наочна візуалізація процесів, можливість дистанційного проведення дослідів	Обмежені можливості створення власних моделей
	Labster	VR-симуляції наукових експериментів	S, T	Наближення до реального лабораторного середовища, розвиток дослідницьких навичок	Платний доступ, високі технічні вимоги
	Praxi Labs	Онлайн-лабораторії для природничих наук	S	Безпечне проведення експериментів, можливість багаторазового повторення дослідів	Частина функцій доступна лише за передплатою
Інженерне проєктування	Tinkercad	3D-моделювання, схемотехніка, Arduino	T, E, M	Простий інтерфейс, інтеграція інженерії та програмування, розвиток конструкторського мислення	Обмежений функціонал для складного професійного моделювання
	SketchUp	Архітектурне та інженерне проєктування	T, E, M	Створення STEM-проєктів з архітектури та дизайну, розвиток просторового мислення	Потребує навичок 3D-моделювання та часу на

	Blender	3D-модельовання	T, E, M	Побудова 3D-моделей, відео різної складності	опанування інтерфейсу
Робототехніка	Arduino IDE	Моделювання, створення та програмування цифрових пристроїв, роботів	T, E, M	Формування інженерних компетентностей, реалізація практичних STEM-проектів	Необхідність додаткового обладнання
	Micro: bit				
	LEGO				
Математичне моделювання	Geo Gebra	Динамічна математика та статистика	M	Візуалізація математичних моделей, аналіз даних, міжпредметна інтеграція	Недостатні можливості для побудови складних інженерних моделей
Аналіз даних	Excel	Обробка та аналіз даних	M, T	Доступність, універсальність, підтримка STEM-досліджень	Обмежений для складного статистичного аналізу, потребує навичок роботи з формулами й функціями
	Power BI	Візуалізація та аналітика даних	M, T	Формування навичок роботи з великими масивами даних, створення інтерактивних звітів	Потребує спеціальної підготовки
Програмування	Scratch	Блокове програмування	T	Формування алгоритмічного мислення, швидке створення STEM-моделей	Орієнтований переважно на початкове опанування програмування
	Python	Аналіз даних, моделювання, III	T, M	Універсальність, використання в STEM-дослідженнях та машинному навчанні	Потребує знання основ програмування та навичок роботи з бібліотеками
Управління проектами, організація спільної роботи	Trello	Координація складних командних проектів	T	Організація командної діяльності, розвиток навичок управління проектами	Частина функціоналу платна
	Asana				
	Google Workspace for Education	Спільна робота в документах, таблицях, малюнках, презентаціях	T	Підтримка дистанційної співпраці, швидкий обмін результатами	Потребує навичок синхронної та асинхронної роботи з інструментами Google Workspace for Education
Візуалізація результатів	Canva	Інфографіка, постери, презентації	T	Представлення результатів STEM-проектів, розвиток навичок наукової комунікації	Обмежені можливості для наукового моделювання
	Tableau Public	Професійна візуалізація даних	M, T	Створення інтерактивних STEM-звітів	Вимагає спеціальних навичок роботи з даними
Штучний інтелект	ChatGPT Gemini	Пошук, аналіз та генерація	S, T,	Пошук інформації, зокрема через DeepResearch,	Потребує перевірки

	Notebook LM	мультимедійного контенту, генерація ідей, сценаріїв, кейсів, завдань, створення програмного коду та аналіз даних	Е, М	персоналізація навчання, підтримка проєктної діяльності, створення навчального мультимедійного контенту, допомога у створенні програмного коду тощо.	достовірності інформації, ефективність залежить від якості запитів
	Claude				
Доповнена та віртуальна реальність	CoSpaces Edu	Створення VR/AR-проєктів	S, T, E	Розвиток просторового мислення та STEM-візуалізації	Потребує додаткового технічного забезпечення

Джерело: розробка автора

Аналіз результатів, наведених у таблиці 1, свідчить, що окремі цифрові ресурси виконують різні функції на етапах реалізації міждисциплінарних STEM-проєктів, тому їх педагогічна ефективність визначається не самостійним використанням, а цілеспрямованим поєднанням відповідно до освітньої мети.

Віртуальні лабораторії доцільно використовувати для організації експериментальної та дослідницької діяльності, середовища інженерного проєктування – для моделювання технічних рішень, сервіси аналізу даних – для статистичної обробки та візуалізації результатів, а цифрові платформи спільної роботи та системи управління проєктами – для координації командної діяльності. Системи ГШІ розширюють можливості створення навчального контенту, інформаційної підтримки проєктів, програмування й персоналізації навчання, однак потребують критичної оцінки отриманих результатів і дотримання принципів академічної доброчесності [10].

Отже, система підготовки педагогічних працівників має бути спрямована на формування здатності обґрунтовано добирати та інтегрувати цифрові ресурси залежно від змісту навчального завдання, а не лише на опанування окремих цифрових сервісів. Система інтегрованого застосування цифрових інструментів у професійній підготовці педагогів передбачає їх послідовне використання на різних етапах виконання міждисциплінарних STEM-проєктів – від постановки проблеми та цифрового моделювання до аналізу отриманих даних, організації командної взаємодії та представлення результатів дослідження.

На основі проведеного аналізу визначено педагогічні умови ефективної інтеграції цифрових технологій у професійну підготовку педагогів, детальний аналіз яких наведено в розділі «Обговорення».

Практичним результатом дослідження стало розроблення навчальних кейсів «Розумна теплиця», «Енергоефективний будинок», «Моніторинг якості води», «Використання джерел відновлюваної енергетики» та «Зручні корисні речі», які демонструють можливості інтегрованого використання цифрового моделювання, програмування, віртуального експериментування, аналізу даних і ГШІ та можуть бути використані у закладах освіти як основа для реалізації міждисциплінарних STEM-проєктів.

Кейс «**Розумна теплиця**» передбачає моделювання автоматизованої системи моніторингу параметрів довкілля із застосуванням Tinkercad, Arduino IDE, Google Sheets та ГШІ [17]. У процесі його виконання майбутні педагоги набувають досвіду цифрового моделювання, програмування та аналізу експериментальних даних [24].

Кейс «**Енергоефективний будинок**» орієнтований на створення цифрової моделі будівлі, аналіз показників енергоспоживання та обґрунтування проєктних рішень із використанням засобів математичного й інженерного моделювання [16].

Кейс «**Моніторинг якості води**» демонструє можливості інтеграції віртуальних лабораторій, цифрових інструментів збору інформації та засобів статистичної обробки даних під час виконання екологічних досліджень [23].

Кейс «**Використання джерел відновлюваної енергетики**» пропонує розробити модель та побудувати пристрій, який дасть можливість отримувати електричну енергію шляхом перетворення енергії вітру, Сонця, води тощо.

Кейс «**Зручні корисні речі**» передбачає вивчення потреб людей (фахівців, спільнот) у зручних пристроях та інструментах для виконання професійних або побутових завдань. У процесі роботи над проєктом буде проаналізовано потреби, розроблено дизайн виробів чи пристроїв, досліджено властивості конструкційних матеріалів, розраховано орієнтовну вартість виробу та можливості економії ресурсів.

Зазначимо, що кожен із запропонованих кейсів потребує значного часу для реалізації, а також може бути обмежений наявністю необхідного обладнання. За таких умов педагог може запропонувати учням реалізувати окремий етап проєкту: створити віртуальну модель, змодельовати віртуальний пристрій. Доцільним також є повторне (вторинне) використання матеріалів і елементів обладнання, якщо це не суперечить вимогам безпеки та навчальній меті проєкту.

Запропоновані кейси підтверджують, що узгоджене використання цифрового моделювання, інженерного проєктування, аналізу даних та ГШІ може посилити практичну підготовку педагогів до організації міждисциплінарних STEM-проєктів. Крім того, учителі отримують ідеї та готові кейси для реалізації STEM-проєктів у власному закладі освіти, що може полегшити впровадження цієї освітньої технології та сприяти зацікавленню здобувачів освіти технічними, природничими та інженерними напрямками навчання.

Обговорення. Отримані результати засвідчують, що ефективність професійної підготовки педагогів до реалізації міждисциплінарних STEM-проєктів визначається не кількістю цифрових інструментів, а їх педагогічно обґрунтованою інтеграцією в освітній процес. Проведений аналіз дозволив визначити комплекс **педагогічних умов**, реалізація яких може забезпечити ефективне використання цифрових технологій у професійній підготовці педагогів.

Першою умовою є системна інтеграція цифрових технологій у процес професійної підготовки. Її реалізація передбачає використання цифрових інструментів не як окремих допоміжних засобів, а як складників освітнього середовища, що забезпечують виконання навчальних, дослідницьких і проєктних завдань.

Другою умовою виступає цілеспрямований розвиток цифрової компетентності педагогів. Йдеться про формування здатності обґрунтовано добирати цифрові ресурси, адаптувати їх до освітніх потреб, аналізувати результати їх застосування та оцінювати педагогічну доцільність використання в різних моделях STEM-навчання [6].

Проєктна діяльність забезпечує інтеграцію цифрового моделювання, експериментування [4, с. 161], інженерного проєктування, аналізу даних і командної взаємодії під час розв'язання практичних професійних завдань.

Не менш важливим чинником є створення цифрового освітнього середовища, яке забезпечує постійну комунікацію, об'єднує хмарні сервіси, платформи спільної роботи, віртуальні лабораторії та цифрові комунікаційні інструменти. Функціонування такого середовища сприяє відкритості освітнього процесу, підтримує співпрацю між учасниками навчання та розширює можливості організації змішаного й дистанційного навчання [14].

Окрему увагу доцільно приділяти педагогічно виваженому використанню генеративного штучного інтелекту [15, 18]. ГШІ може використовуватися для створення навчальних матеріалів, підтримки програмування, автоматизації окремих етапів проєктної діяльності, аналізу інформації та персоналізації навчання [22]. Водночас застосування систем ГШІ має супроводжуватися критичним оцінюванням отриманих результатів, дотриманням принципів академічної доброчесності та розвитком навичок відповідального використання штучного інтелекту [3]. Важливою особливістю використання сервісів ГШІ в освітній діяльності є формування в здобувачів освіти розуміння того, що штучний інтелект – це потужний інструмент навчання, однак він не повинен виконувати завдання замість них.

Отримані результати підтверджують висновки сучасних досліджень щодо доцільності використання цифрових технологій у професійній підготовці педагогів, однак водночас розширюють існуючі наукові уявлення про організацію міждисциплінарних STEM-проєктів. Якщо більшість дослідників акцентують увагу на окремих цифрових інструментах або розвитку цифрової компетентності педагогів, то запропонований у статті підхід передбачає їх комплексне використання як взаємопов'язаної системи. Така інтеграція забезпечує підтримку всіх етапів проєктної діяльності: від постановки проблеми й моделювання до аналізу результатів, командної взаємодії та представлення отриманих результатів.

На відміну від існуючих підходів, у яких цифрові сервіси розглядаються переважно як окремі засоби навчання, запропонована система орієнтована на їх функціональну взаємодію відповідно до логіки реалізації STEM-проєкту. Це дає змогу формувати в педагогів не лише цифрову компетентність, а й навички проєктування освітнього процесу, міждисциплінарної взаємодії, критичного аналізу інформації та педагогічно доцільного використання генеративного штучного інтелекту.

Практична цінність запропонованого підходу полягає також у його універсальності. Він може бути адаптований до різних рівнів освіти, різних предметних галузей та різного рівня матеріально-технічного забезпечення закладів освіти, що робить його придатним для широкого впровадження у практику професійної підготовки педагогів.

Ще одним інструментом професійного розвитку педагогів є також їх участь у цифрових професійних спільнотах [26]. Комунікація у таких спільнотах сприяє обміну професійним досвідом [5, с. 53], поширенню інноваційних практик і безперервному професійному розвитку педагогів [20]. Зокрема, корисними для вчителів, які мають потребу розвивати професійні компетентності щодо впровадження STEM-технологій навчання, можуть стати спільноти «Відділ STEM-освіти ІМЗО» <https://www.facebook.com/groups/805895179541236/>, FIRST LEGO League <https://www.facebook.com/FLLteams>, STEM КРОК для всіх <https://www.facebook.com/groups/2252368784777263> та ін.

Формуванню мотивації здобувачів освіти до участі у STEM-проєктах сприяє їх залучення до інженерних тижнів і змагань, зокрема FIRST LEGO League. Під час підготовки до таких заходів учитель організовує дослідницьку діяльність учнів: у процесі реалізації проєкту вони аналізують реальну проблему, визначають потреби користувачів або спільноти та розробляють інженерне рішення як один із можливих шляхів її розв'язання.

Варто зазначити, що запропоновані педагогічні умови не можуть функціонувати ізольовано, а утворюють взаємопов'язану систему. Їх реалізація дає змогу створити цілісну систему підготовки педагогів до використання цифрових технологій у міждисциплінарних STEM-проєктах, сприяє розвитку професійної готовності до проєктної діяльності та створює передумови для ефективної інтеграції сучасних цифрових рішень у практику навчання.

Інтерпретація результатів. Результативність підготовки визначається не окремим використанням цифрових сервісів, а їх педагогічно обґрунтованим поєднанням відповідно до змісту та етапів реалізації STEM-проектів. Поєднання віртуальних лабораторій, засобів моделювання, сервісів аналізу даних і ГШІ є підґрунтям для розвитку цифрової, дослідницької, інженерної та проектної компетентностей, необхідних для сучасної професійної діяльності педагога.

Порівняння з іншими дослідженнями. Отримані результати узгоджуються з висновками сучасних досліджень, у яких підкреслюється важливість розвитку цифрової компетентності педагогів [2; 9; 24], використання цифрових освітніх середовищ [8; 20] і проектно орієнтованого навчання [21; 25]. Водночас запропонований підхід відрізняється тим, що розглядає цифрові ресурси як взаємопов'язану систему, орієнтовану на підтримку всіх етапів реалізації міждисциплінарних STEM-проектів.

Наукова новизна (розгорнуто). Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що: запропоновано авторський методичний підхід комплексний методичний підхід до інтеграції цифрових інструментів, віртуальних лабораторій, сервісів аналізу даних, платформ командної взаємодії та генеративного штучного інтелекту в професійну підготовку педагогів до реалізації міждисциплінарних STEM-проектів; удосконалено систему класифікації цифрових інструментів за їх педагогічним призначенням, що забезпечує їх узгоджене використання відповідно до етапів проектної діяльності; набули подальшого розвитку наукові положення щодо педагогічних умов ефективної інтеграції цифрових технологій у професійну підготовку педагогів, а також методичні підходи до розроблення практикоорієнтованих STEM-кейсів із використанням сучасних цифрових сервісів і генеративного штучного інтелекту.

Практичне значення (розгорнуто). Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості використання запропонованого методичного підходу, систематизованих цифрових інструментів і розроблених навчальних кейсів під час модернізації освітніх програм закладів вищої та післядипломної педагогічної освіти, організації програм підвищення кваліфікації педагогічних працівників і впровадження міждисциплінарних STEM-проектів.

Запропоновані рекомендації можуть бути використані викладачами закладів вищої освіти, методистами, учителями природничо-математичних дисциплін, інформатики та технологій, а також керівниками центрів професійного розвитку педагогічних працівників під час розроблення навчально-методичного забезпечення, організації проектної діяльності та розвитку цифрової компетентності педагогів.

Висновки

У результаті дослідження теоретично обґрунтовано доцільність комплексного використання цифрових інструментів і віртуальних лабораторій у професійній підготовці педагогів до реалізації міждисциплінарних STEM-проектів. Встановлено, що результативність такої підготовки забезпечується системною інтеграцією цифрових технологій у зміст, методи та організаційні форми навчання, що сприяє розвитку цифрової, дослідницької, інженерної, проектної та комунікативної компетентностей педагогів.

Запропоновано систематизацію цифрових інструментів за їх педагогічним призначенням, яка дає змогу обґрунтовано добирати цифрові ресурси відповідно до завдань міждисциплінарних STEM-проектів. Визначено педагогічні умови ефективної інтеграції цифрових технологій у професійну підготовку педагогів та розроблено практичні кейси, що демонструють можливості використання цифрового моделювання, віртуального експериментування, аналізу даних і генеративного штучного інтелекту в освітньому процесі.

Практична цінність одержаних результатів полягає у можливості їх використання в процесі модернізації освітніх програм, розроблення навчально-методичних матеріалів, організації підвищення кваліфікації педагогічних працівників і впровадження міждисциплінарних STEM-проектів у закладах освіти різних рівнів з урахуванням наявних ресурсів, технічного забезпечення та рівня цифрової компетентності педагогів.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з експериментальною перевіркою ефективності запропонованої моделі професійної підготовки педагогів, розробленням методичних рекомендацій щодо інтеграції генеративного штучного інтелекту в STEM-освіту та визначенням критеріїв оцінювання сформованості цифрової готовності педагогів до організації міждисциплінарних STEM-проектів.

Список використаних джерел

1. Барладим В. М., Бруяка А., Коваленко В., Тукало С., Шишкіна М.П. Теоретичні засади та практичні підходи до підготовки вчителів до використання штучного інтелекту в STEM-освіті: міжнародний та український досвід. *Серія «Академічні нотатки», Педагогічна наука*, 1 (222). 2026. с.196-202 <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2026-1-222-196-202>
2. Дудаш О. С. Використання інтерактивних технологій у процесі професійної підготовки вчителів. *Серія Академічні нотатки. Педагогічна наука*, 1 (216). 2024. с. 369-373 <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-216-369-373>
3. Ілин М. М. Інструменти штучного інтелекту як ресурс модернізації методики викладання фізики в закладах загальної середньої освіти. *Наукові Записки Серія Проблеми Природничо-Математичної Технологічної Та Професійної Освіти*, 2, 2025. с. 55–64. <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2025-2-6>
4. Мінтій М. М. Вибір педагогічних умов для навчання STEM-викладачів використанню технологій доповненої реальності у своїй роботі. *Освітній вимір*, 9. 2023. с. 149–172. <https://doi.org/10.31812/ed.583>
5. Уліщенко В., Уліщенко А. Б. Удосконалення методичної компетентності науково-педагогічних працівників у контексті STEM-освіти. *Медицина та фармація: освітні дискурси.*, 2. 2024. с. 49–55. <https://doi.org/10.32782/eddiscourses/2024-2-9>
6. Воротникова І. Професійний розвиток вчителів природничої та математичної галузей з використання штучного інтелекту. *Відкрите освітнє електронне середовище сучасного університету*. № 15. 2023. с. 18–34. <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2023.152>
7. Євтушенко Н. В. Оновлення професійних компетентностей вчителів в епоху штучного інтелекту: стратегії та регулювання. *Педагогічні науки: збірник наукових праць*. № 111. 2025. с. 61–68. <https://doi.org/10.32999/ksu2413-1865/2025-111-9>
8. Ващилко С. Цифрове освітнє середовище як чинник ефективної підготовки майбутніх учителів технологій до дистанційного навчання. *Молодь і Ринок*. 2026. с. 133–138. <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2026.351254>
9. Гавриленко О. Інформатично-цифрові інструменти та хмарні технології як інноваційні засоби навчальної діяльності вчителя математики. *Практика освітніх інновацій*. № 11 (10). 2024. с. 132–140. <https://doi.org/10.31110/2616-650x-vol11i10-020>
10. Гриневич Л. М., Морзе Н., Вембер В. П., Бойко М. А. Роль цифрових технологій у розвитку екосистеми STEM-освіти. *Інформаційні технології та засоби навчання*. № 83 (3). 2021. с. 1–25. <https://doi.org/10.33407/itlt.v83i3.4461>
11. Гуменний О. Застосування STEM-технологій у підготовці майбутніх педагогів: перспективи та виклики. *Перспективи та інновації науки*. 2024. с. 187-198 [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-3\(37\)-187-198](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-3(37)-187-198)

12. Дрокіна А. Підготовка майбутніх учителів початкової школи до використання STEM-технологій у фаховій діяльності. *Освітні обрії: науково-педагогічний журнал*. 57 (2). 2024. с. 93–96. <https://doi.org/10.15330/obrii.57.2.93-96>
13. Кондратенко Т. В. Штучний інтелект у STEM-орієнтованому навчанні комп'ютерної математики майбутніх учителів інформатики і математики. *Імідж сучасного педагога: електрон. наук. фах. журн.* №1(226). 2026. с. 40–47 <https://isp.pano.pl.ua/article/view/350772>
14. Морзе Н., Бойко М., Струтинська О., Смирнова-Трибульська Е. Якою має бути цифрова компетентність викладачів у галузі штучного інтелекту? *Відкрите освітнє електронне середовище сучасного університету*. №16. 2024. с. 76–91. <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2024.166>
15. Arghir D.-C. Implementation of learning management systems with generative artificial intelligence functions in the post-pandemic environment. *Information Technologies and Learning Tools*, 100(2), 2024. pp. 217–232. <https://doi.org/10.33407/itlt.v100i2.5518>
16. Boltsi A., Kosmanos D., Xenakis A., Chatzimisios P., Chaikalis C. Towards a Novel Digital Twin Framework Proposal Within the Engineering Design Process for Future Engineers: An IoT Smart Building Use Case. *Sensors*, 25(11), 2025. Pp. 3504–3504. <https://doi.org/10.3390/s25113504>
17. Castañeda A., Castaño V. M. Smart frost control in greenhouses by neural networks models. *Computers and Electronics in Agriculture*, 137, 2017. Pp. 102–114. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.03.024>
18. Chan C. K. Y., Lee K. K. W. The AI generation gap: Are Gen Z students more interested in adopting generative AI such as ChatGPT in teaching and learning than their Gen X and millennial generation teachers? *Smart Learning Environments*, 10(1). 2023. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00269-3>
19. Ivaniuk H., Kuzemko L., Venhlovskaya O., Vovchok Y., Antypin Y. The use of digital tools in interdisciplinary projects of students' personal and professional self-development. *Revista Amazonia Investiga*, 11(54), 2022. Pp. 94–108. <https://doi.org/10.34069/ai/2022.54.06.10>
20. Kadirbayeva R., Abdrakhmanova X. K., Kudaibergenova K. Didactic Recommendations on the Use of STEM Approach in the Digital Education. *Iasayı Üniversitetiniñ Habarshysy*, 132(2), 2024. Pp. 204–217. <https://doi.org/10.47526/2024-2/2664-0686.55>
21. Lyu S., Niu S., Yuan J., Zhan Z. Developing professional capital through technology-enabled university-school-enterprise collaboration: an innovative model for C-STEAM preservice teacher education in the Greater Bay area. *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 18(3), 2024. Pp. 270–299. <https://doi.org/10.1108/apjie-01-2024-0014>
22. Mills A., Bali M., Eaton L. How do we respond to generative AI in education? Open educational practices give us a framework for an ongoing process. *Journal of Applied Learning & Teaching*. 2023. 6(1). <https://doi.org/10.37074/jalt.2023.6.1.34>
23. Sharma K., Saini L. M. Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 2015. Pp. 720–735. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.170>
24. Udvaros J., Gubán M., Gubán Á., Sándor Á. Industry 4.0 from the perspective of Education 4.0. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(4), 2023. Pp. 230–234. <https://doi.org/10.59287/ijanser.705>
25. Ukhov P. A. Perspective Chapter: Development of Mass Online Courses that Include Practical Work Based on the Home Laboratory. In *IntechOpen eBooks*. IntechOpen. 2023. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1001602>
26. Walter Y. Embracing the future of Artificial Intelligence in the classroom: the relevance of AI literacy, prompt engineering, and critical thinking in modern

education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1). 2024. <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00448-3>

References

1. Barladym V. M., Bruiaka A., Kovalenko V., Tukalo S., Shyshkina M.P. (2026). Teoretychni zasady ta praktychni pidkhody do pidhotovky vchyteliv do vykorystannia shtuchnoho intelektu v STEM-osviti: mizhnarodnyi ta ukraïnskyi dosvid. [Theoretical tasks and practical approaches to preparing teachers for the use of artificial intelligence in STEM education: international and Ukrainian experience]. *Seriia «Akademichni notatky», Pedahohichna nauka*, 1 (222). s.196-202 <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2026-1-222-196-202>
2. Dudash O. S. (2024). Vykorystannia interaktyvnykh tekhnolohii u protsesi profesiinoi pidhotovky vchyteliv. [The Use of Interactive Technologies in the Process of Teacher Professional Training. Academic Notes Series]. *Seriia Akademichni notatky. Pedahohichna nauka*, 1 (216). s. 369-373 <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-216-369-373>
3. Ilyn M. M. (2025). Instrumenty shtuchnoho intelektu yak resurs modernizatsii metodyky vykladannia fizyky v zakladakh zahalnoi serednoi osvity. [Artificial Intelligence Tools as a Resource for Modernizing Physics Teaching Methodology in General Secondary Education Institutions]. *Naukovi Zapysky Seriia Problemy Pryrodnycho-Matematychnoi Tekhnolohichnoi Ta Profesiinoi Osvity*, 2, s. 55–64. <https://doi.org/10.32782/cusu-pmtp-2025-2-6>
4. Mintii M. M. (2023). Vybir pedahohichnykh umov dlia navchannia STEM-vykladachiv vykorystanniu tekhnolohii dopovnenoï realnosti u svoïi roboti. [Selection of pedagogical conditions for training STEM educators to use augmented reality technologies in their work]. *Osvitnii vymir*, 9. s. 149–172. <https://doi.org/10.31812/ed.583>
5. Ulishchenko V., Ulishchenko A. B. (2024). Udoskonalennia metodychnoi kompetentnosti naukovo-pedahohichnykh pratsivnykiv u konteksti STEM-osvity. [Enhancing the Methodological Competence of Academic and Teaching Staff in the Context of STEM Education]. *Medytsyna ta farmatsiia: osvitiïni dyskursy.*, 2. s. 49–55. <https://doi.org/10.32782/eddiscourses/2024-2-9>
6. Vorotnykova I. (2023). Profesiïnyi rozvytok vchyteliv pryrodnychoï ta matematychnoi haluzeï z vykorystannia shtuchnoho intelektu. [Professional Development for Science and Mathematics Teachers on the Use of Artificial Intelligence]. *Vidkryte osvitiïne elektronne seredovyshe suchasnoho universytetu.* № 15. s. 18–34. <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2023.152>
7. Ievtushenko N. V. (2025). Onovlennia profesiïnykh kompetentnostei vchyteliv v epokhu shtuchnoho intelektu: stratehii ta rehuliuвання. [Updating Teachers' Professional Competencies in the Age of Artificial Intelligence: Strategies and Regulation]. *Pedahohichni nauky: zbirnyk naukovykh prats.* № 111. s. 61–68. <https://doi.org/10.32999/ksu2413-1865/2025-111-9>
8. Vashchylko S. (2026). Tsyfrove osvitiïne seredovyshe yak chynnyk efektyvnoi pidhotovky maibutnikh uchyteliv tekhnolohii do dystantsiinoho navchannia. [The Digital Educational Environment as a Factor in the Effective Preparation of Future Technology Teachers for Distance Learning]. *Molod i Rynok.* s. 133–138. <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2026.351254>
9. Havrylenko O. (2024). Informatychno-tsyfrovi instrumenty ta khmarni tekhnolohii yak innovatsiïni zasoby navchalnoi diïalnosti vchytelia matematyky. [Digital tools and cloud technologies as innovative means of a mathematics teacher's instructional activities]. *Praktyka osvitiïnykh innovatsii.* № 11 (10). s. 132–140. <https://doi.org/10.31110/2616-650x-vol11i10-020>
10. Hrynevych L. M., Morze N., Vember V. P., Boiko M. A. (2021). Rol tsyfrovnykh tekhnolohii u rozvytku ekosystemy STEM-osvity. [The Role of Digital Technologies in the

Development of the STEM Education Ecosystem]. *Informatsiini tekhnolohii ta zasoby navchannia*. № 83 (3). s. 1–25. <https://doi.org/10.33407/itlt.v83i3.4461>

11. Humennyi O. (2024). Zastosuvannia STEM-tekhnolohii u pidhotovtsi maibutnikh pedahohiv: perspektyvy ta vyklyky. [The Application of STEM Technologies in the Training of Future Educators: Prospects and Challenges]. *Perspektyvy ta innovatsii nauky*. s. 187–198 [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-3\(37\)-187-198](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-3(37)-187-198)

12. Drokina A. (2024). Pidhotovka maibutnikh uchyteliv pochatkovoï shkoly do vykorystannia STEM-tekhnolohii u fakhovii diïalnosti. [Preparing Future Primary School Teachers to Use STEM Technologies in Their Professional Practice]. *Osvitni obrii: naukovopedahohichniy zhurnal*. 57 (2). s. 93–96. <https://doi.org/10.15330/obrii.57.2.93-96>

13. Kondratenko T. V. (2026). Shtuchnyi intelekt u STEM-orïentovanomu navchanni kompiuternoi matematyky maibutnikh uchyteliv informatyky i matematyky. [Artificial Intelligence in STEM-Oriented Teaching of Computational Mathematics to Future Computer Science and Mathematics Teachers]. *Imidzh suchasnoho pedahoha: elektron. nauk. fakh. zhurn.* №1(226). s. 40–47 <https://isp.pano.pl.ua/article/view/350772>

14. Morze N., Boiko M., Strutynska O., Smyrnova-Trybulska E. (2024). Yakoiu maie buty tsyfrova kompetentnist vykladachiv u haluzi shtuchnoho intelektu? Vidkryte osvritnie elektronne seredovyshe suchasnoho universytetu. №16. s. 76–91. <https://doi.org/10.28925/2414-0325.2024.166>

15. Arghir D.-C. (2024). Implementation of learning management systems with generative artificial intelligence functions in the post-pandemic environment. *Information Technologies and Learning Tools*, 100(2), pp. 217–232. <https://doi.org/10.33407/itlt.v100i2.5518>

16. Boltsi A., Kosmanos D., Xenakis A., Chatzimisios P., Chaikalis C. (2025). Towards a Novel Digital Twin Framework Proposal Within the Engineering Design Process for Future Engineers: An IoT Smart Building Use Case. *Sensors*, 25(11), pp. 3504–3504. <https://doi.org/10.3390/s25113504>

17. Castañeda A., Castaño V. M. (2017). Smart frost control in greenhouses by neural networks models. *Computers and Electronics in Agriculture*, 137, pp. 102–114. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.03.024>

18. Chan C. K. Y., Lee K. K. W. (2023). The AI generation gap: Are Gen Z students more interested in adopting generative AI such as ChatGPT in teaching and learning than their Gen X and millennial generation teachers? *Smart Learning Environments*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00269-3>

19. Ivaniuk H., Kuzemko L., Venhlovskya O., Vovchok Y., Antypin Y. (2022). The use of digital tools in interdisciplinary projects of students personal and professional self-development. *Revista Amazonia Investiga*, 11(54), pp. 94–108. <https://doi.org/10.34069/ai/2022.54.06.10>

20. Kadirbayeva R., Abdrakhmanova Kh. K., Kudaibergenova K. (2024). Didactic Recommendations on the Use of STEM Approach in the Digital Education. *Iasayı Ÿniversitetiniñ Habarshysy*, 132(2), pp. 204–217. <https://doi.org/10.47526/2024-2/2664-0686.55>

21. Lyu S., Niu S., Yuan J., Zhan Z. (2024). Developing professional capital through technology-enabled university-school-enterprise collaboration: an innovative model for C-STEAM preservice teacher education in the Greater Bay area. *Asia Pacific Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 18(3), pp. 270–299. <https://doi.org/10.1108/apjie-01-2024-0014>

22. Mills A., Bali M., Eaton L. (2023). How do we respond to generative AI in education? Open educational practices give us a framework for an ongoing process. *Journal of Applied Learning & Teaching*. 6(1). <https://doi.org/10.37074/jalt.2023.6.1.34>

23. Sharma K., Saini L. M. (2015). Performance analysis of smart metering for smart grid: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, pp. 720–735. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.170>

24. Udvaros J., Gubán M., Gubán Á., Sándor Á. (2023). Industry 4.0 from the perspective of Education 4.0. *International Journal of Advanced Natural Sciences and Engineering Researches*, 7(4), pp. 230–234. <https://doi.org/10.59287/ijanser.705>
25. Ukhov P. A. (2023). Perspective Chapter: Development of Mass Online Courses that Include Practical Work Based on the Home Laboratory. In *IntechOpen eBooks*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1001602>
26. Walter Y. (2024). Embracing the future of Artificial Intelligence in the classroom: the relevance of AI literacy, prompt engineering, and critical thinking in modern education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s41239-024-00448-3>