

STEM-ОРІЄНТОВАНЕ НАВЧАННЯ АРХІТЕКТУРИ КОМП'ЮТЕРА У ФОРМУВАННІ ІНЖЕНЕРНОГО МИСЛЕННЯ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ ІНФОРМАТИКИ

Володимир ШАМОНЯ

Сумський державний педагогічний університет
імені А.С. Макаренка, Україна
v.shamonya@fizmatsspu.sumy.ua
<https://orcid.org/0000-0002-3201-4090>

Максим СОРОКА ✉

Сумський державний педагогічний університет
імені А.С. Макаренка, Україна
ms.mikro.1@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-2353-692X>

Олена СЕМЕНІХІНА

Сумський державний педагогічний університет
імені А.С. Макаренка, Україна
e.semenikhina@fizmatsspu.sumy.ua
<https://orcid.org/0000-0002-3896-8151>

STEM-ORIENTED TEACHING OF COMPUTER ARCHITECTURE IN DEVELOPING ENGINEERING THINKING OF FUTURE COMPUTER SCIENCE TEACHERS

Volodymyr SHAMONIA

Sumy State Pedagogical University
named after A.S. Makarenko, Ukraine
v.shamonya@fizmatsspu.sumy.ua
<https://orcid.org/0000-0002-3201-4090>

Maksym SOROKA ✉

Sumy State Pedagogical University
named after A.S. Makarenko, Ukraine
ms.mikro.1@gmail.com
<https://orcid.org/0009-0001-2353-692X>

Olena SEMENIKHINA

Sumy State Pedagogical University
named after A.S. Makarenko, Ukraine
e.semenikhina@fizmatsspu.sumy.ua
<https://orcid.org/0000-0002-3896-8151>

АНОТАЦІЯ

Формулювання проблеми. У статті обґрунтовано педагогічну доцільність використання симуляційного середовища Proteus у процесі STEM-орієнтованого навчання курсу «Архітектура комп'ютера» з метою формування інженерного мислення студентів. Актуальність дослідження зумовлена потребою у підготовці фахівців, здатних проектувати та аналізувати цифрові пристрої, ухвалювати технічно обґрунтовані рішення та інтегрувати знання з інформатики, фізики, математики й електроніки. У межах дослідження проведено педагогічний експеримент із студентами, які працювали в різних цифрових середовищах.

Матеріали і методи. Методи дослідження включають: аналіз літератури з питань STEM-освіти, порівняльний аналіз функціональних можливостей середовищ Proteus і Multisim, педагогічний експеримент, кількісні методи аналізу результатів Експеримент охопив студентів педагогічного університету, які вивчали дисципліни апаратного спрямування. Кількісний та якісний аналіз даних дозволив оцінити рівень засвоєння матеріалу, динаміку розвитку навичок цифрового моделювання, глибину рефлексії та прояви інженерного мислення.

Результати. Результати свідчать, що різні симуляційні середовища забезпечують засвоєння базового змісту курсу, однак саме середовище Proteus активніше стимулює технічну творчість, гнучкість у побудові моделей, здатність до аналізу та оптимізації схем. Студенти, які працювали в Proteus, демонстрували більш різноманітні підходи до виконання завдань, виявляли ініціативу у вдосконаленні проектних рішень і аргументовано обґрунтовували вибір інструментів.

Висновки. Зроблено висновок про доцільність використання Proteus у курсах, спрямованих на формування інженерного мислення в умовах STEM-парадигми. Запропоновано методичні рекомендації щодо оптимального використання обох середовищ залежно від дидактичної мети.

ABSTRACT

Formulation of the problem. The article substantiates the pedagogical feasibility of using the Proteus simulation environment in the process of STEM-oriented teaching of the "Computer Architecture" course with the aim of developing students' engineering thinking. The relevance of the study is determined by the need to train specialists capable of designing and analyzing digital devices, making technically sound decisions, and integrating knowledge from computer science, physics, mathematics, and electronics. Within the framework of the study, a pedagogical experiment was conducted with students who worked in different digital environments.

Materials and methods. Research methods include: analysis of literature on STEM education, comparative analysis of the functionality of Proteus and Multisim environments, pedagogical experiment, and quantitative methods of analyzing the results. The experiment involved students of a pedagogical university studying hardware-oriented disciplines. Quantitative and qualitative analysis of the data made it possible to assess the level of content mastery, the dynamics of digital modeling skills development, the depth of reflection, and the manifestations of engineering thinking.

Results. The results indicate that different simulation environments provide the acquisition of the basic content of the course; however, it is the Proteus environment that more actively stimulates technical creativity, flexibility in building models, and the ability to analyze and optimize circuits. Students working in Proteus demonstrated more diverse approaches to task completion, showed initiative in improving design solutions, and provided well-founded justifications for their choice of tools.

Conclusions. The conclusion is made about the advisability of using Proteus in courses aimed at developing engineering thinking within the STEM paradigm. Methodological recommendations are offered for the optimal use of both environments depending on the didactic purpose. The obtained results have practical significance for the development of hardware-oriented academic courses, updating teaching methods, and implementing an

Отримані результати мають практичне значення для розробки навчальних курсів апаратного профілю, оновлення методик і реалізації міждисциплінарного підходу в технічній підготовці майбутніх учителів інформатики.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: STEM-освіта; інженерне мислення; архітектура комп'ютера; Proteus; цифрове моделювання; технічна творчість; підготовка вчителів інформатики.

ДЛЯ ЦИТУВАННЯ: Шамоня В., Сорока М., Семеніхіна О. STEM-орієнтоване навчання архітектури комп'ютера у формуванні інженерного мислення майбутніх учителів інформатики. *Фізико-математична освіта*, 2025. Том 40. № 4. С. 59-64. <https://doi.org/10.31110/fmo2025.v40i4-09>.

interdisciplinary approach in the technical training of future computer science teachers.

KEYWORDS: STEM education; engineering thinking; computer architecture; Proteus; digital modeling; technical creativity; training computer science teachers.

FOR CITATION: Shamon, V., Soroka, M., & Semenikhina, O. (2025). STEM-oriented teaching of computer architecture in developing engineering thinking of future computer science teachers. *Physical and Mathematical Education*, 40(4), 59-64. <https://doi.org/10.31110/fmo2025.v40i4-09>.

ВСТУП

Постановка проблеми. Сучасні вимоги до підготовки фахівців у галузі інформаційних технологій і цифрової освіти потребують переосмислення традиційних підходів до вивчення дисциплін, пов'язаних із апаратною частиною комп'ютерних систем. Особливої уваги набуває курс «Архітектура комп'ютера» та суміжні навчальні дисципліни, що охоплюють мікропроцесорну техніку, логіку, схемотехніку та мікроелектроніку. Враховуючи динамічний розвиток електронної інженерії та стрімку цифровізацію освітнього процесу, все більшої актуальності набуває впровадження STEM-орієнтованого навчання, яке поєднує наукові знання, технічні навички, інженерне проєктування та математичне моделювання в єдину освітню систему.

Одним із ключових елементів такого підходу є формування інженерного мислення студентів, що передбачає розвиток умінь аналізувати, проєктувати, тестувати й оптимізувати технічні системи, спираючись на теоретичні знання та практичні інструменти. У цьому процесі важливу роль відіграють симуляційні середовища, які дозволяють безпечно і гнучко відтворювати структуру та функціонування електронних пристроїв. Одним із таких потужних інструментів є програмне забезпечення Proteus, яке поєднує можливості створення електронних схем, моделювання їхньої роботи та візуального аналізу результатів у реальному часі.

У межах цього дослідження зроблено спробу оцінити ефективність використання симуляційного середовища Proteus як інструменту розвитку інженерного мислення здобувачів освіти при вивченні архітектури комп'ютера. Враховуючи, що здобувач має навчитися не лише повторювати типові схеми, а й адаптувати їх під конкретні задачі, вдосконалювати або створювати нові функціональні блоки, акцент робиться не стільки на результат, скільки на процес осмислення технічної задачі. Саме це дозволяє реалізувати принципи STEM-освіти в повному обсязі через залучення моделювання, логіко-аналітичної діяльності та елементів дослідницької практики. Таким чином, постає потреба в науковому обґрунтуванні доцільності використання симуляційних цифрових середовищ у професійній підготовці здобувачів освіти в галузі IT, зокрема у формуванні інженерного мислення як інтегрованої здатності застосовувати знання на практиці, аналізувати процеси й ухвалювати технічно обґрунтовані рішення.

Аналіз актуальних досліджень. Упродовж останніх років інженерне мислення все частіше розглядається як одна з ключових цілей сучасної освіти, зокрема в контексті STEM-підходу (Стрижак та ін., 2017). За визначенням J. R. Qin і G. S. Fu (2017), інженерне мислення це інтегративна здатність до розв'язання прикладних проблем, що вимагає застосування знань з математики, фізики, технологій, інформатики та творчого проєктування. У межах STEM-освіти воно розглядається не лише як пізнавальна діяльність, а як спосіб мислення, що ґрунтується на ітеративному аналізі, критичному оцінюванні варіантів рішень і здатності до системного бачення.

У світовій науково-освітній літературі значну увагу приділено питанням формування інженерного мислення через використання цифрових симуляційних інструментів, зокрема в дисциплінах, пов'язаних з архітектурою комп'ютера, схемотехнікою та мікроелектронікою. Так, L. D. English (2016), Ю.В. Ботузова (2018) та Semenikhina et al. (2022) підкреслює важливість впровадження інтерактивних віртуальних середовищ у STEM-курси з метою розвитку здатності до технічного моделювання та самостійного пошуку інженерних рішень. С. Yata, Т. Ohtani і М. Isobe (2020) зазначають, що навчальні середовища мають не лише відтворювати фізичні процеси, а й стимулювати аналітичну діяльність, у якій студент виступає як активний дослідник.

Інженерне мислення формується, насамперед, через діяльність моделювання: побудову, тестування, вдосконалення й оцінку цифрових або фізичних прототипів. У зв'язку з цим середовище Proteus виконує не лише роль демонстраційного інструменту, а й за наявності правильно організованої методики інструменту розвитку високорівневих когнітивних функцій, таких як аналіз причинно-наслідкових зв'язків, перевірка гіпотез, оптимізація функціональних схем. Саме ці процеси, за С. Zhou і Y. Li (2021), і складають базис інженерного мислення в сучасному його розумінні.

У дослідженнях Semenikhina et al. (2020) підкреслено, що використання віртуальних лабораторій сприяє не лише зростанню академічної успішності, а й розвитку здатності до критичного аналізу моделей. Науковці акцентують увагу на тому, що в умовах дистанційного або змішаного навчання симуляційні середовища забезпечують повноцінну реалізацію експериментальної діяльності, що є однією з основ інженерного підходу в STEM.

В українському освітньому просторі питання розвитку інженерного мислення набуває особливої актуальності у підготовці майбутніх учителів інформатики, які мають не лише володіти предметними знаннями, а й виступати як фасилітатори інженерно-орієнтованого навчання в школі. Роботи О. О. Мартинюк (2018), Н.Р. Балик і Г.П. Шмигер (2017) доводять, що саме інформатика, поєднана з мікроелектронікою, цифровими технологіями та моделюванням, створює оптимальні умови для формування базового інженерного мислення у студентів. Водночас виявлено недостатність емпіричних досліджень, які б аналізували динаміку формування інженерного мислення саме в межах курсу «Архітектура комп'ютера» або суміжних дисциплін, з використанням спеціалізованих цифрових платформ. З огляду на це, доцільним є

розгляд програмного середовища Proteus як середовища розгортання інженерної діяльності студента, а не лише як інструмента візуалізації схем.

Отже, сучасні наукові дослідження підтверджують, що симуляційні цифрові середовища, зокрема Proteus, можуть виступати каталізаторами формування інженерного мислення у майбутніх фахівців ІТ-сфери за умови інтеграції в методично структуроване STEM-орієнтоване навчання.

Мета дослідження полягає в науковому обґрунтуванні доцільності використання симуляційного середовища Proteus як інструмента розвитку інженерного мислення студентів у процесі STEM-орієнтованого вивчення архітектури комп'ютера.

Досягнення мети передбачає реалізацію таких завдань:

- визначити педагогічні умови, за яких цифрове моделювання в Proteus сприяє формуванню ключових компонентів інженерного мислення;
- зіставити ефективність навчання з використанням Proteus і Multisim у частині формування навичок аналізу, проєктування та тестування цифрових схем;
- виявити динаміку розвитку інженерно-проєктної активності студентів на різних етапах навчання;
- оцінити вплив STEM-орієнтованої методики на самостійність, креативність та аналітичну рефлексію здобувачів освіти.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Методологічну основу дослідження становлять положення про інженерне мислення як цільову характеристику STEM-освіти, ідеї конструктивістського навчання, принципи моделювання як засобу пізнання складних систем, а також наукові підходи до організації цифрового освітнього середовища у підготовці майбутніх ІТ-фахівців.

Методи дослідження включають:

- Аналіз літератури з питань STEM-освіти, інженерного мислення, цифрового моделювання, симуляційних платформ у педагогіці та технічній освіті;
- Порівняльний аналіз функціональних можливостей середовищ Proteus і Multisim, здійснений за технічними параметрами (інструменти моделювання, аналітика, візуалізація, 3D-проєктування) та педагогічними критеріями (доступність, гнучкість, можливості для дослідження, зручність для студентів);
- Педагогічний експеримент, проведений протягом двох навчальних років на базі педагогічного ЗВО, у межах якого дві експериментальні групи вивчали курс, споріднений із архітектурою комп'ютера: ЕГ1 – із використанням Proteus, ЕГ2 – із використанням Multisim. Обидві групи на старті мали статистично однаковий рівень підготовки, що було підтверджено статистично;
- Кількісні методи аналізу результатів;
- Якісний аналіз результатів: інтерпретація рішень, поданих у середовищі симулятора; рівень оригінальності, варіативність технічних підходів, самостійність у виборі схемних елементів і структур; рефлексивні відгуки студентів.

Учасники дослідження студенти ІІІ курсу спеціальностей «Середня освіта (Інформатика)» та «Комп'ютерні науки», які не мали попереднього досвіду роботи з відповідними симуляторами. Загальна кількість учасників 87 осіб, з них 42 у групі з використанням Proteus (ЕГ1), 45 у групі з Multisim (ЕГ2). У процесі експерименту здійснювався контроль не лише академічних показників, а й темпів формування інженерного мислення, що виявлялося у способах роботи з інформацією, ухваленні технічних рішень та аналітичному обґрунтуванні вибраних підходів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати педагогічного експерименту дозволили виявити відмінності у характері формування інженерного мислення студентів, які опановували курс архітектури комп'ютера із використанням різних симуляційних середовищ. Порівняльний аналіз двох експериментальних груп показав, що обидва цифрові інструменти Proteus і Multisim сприяють засвоєнню технічного матеріалу, однак мають різну дидактичну ефективність залежно від цілей навчання.

1. Академічні досягнення

Аналіз середнього балу з курсу продемонстрував відсутність статистично значущих відмінностей між студентами, які працювали в середовищі Proteus (72 бали), і тими, хто використовував Multisim (70 балів). Це свідчить про еквівалентну результативність у засвоєнні теоретичних знань. Проте для STEM-освіти надзвичайно важливою є не лише когнітивна складова, а й діяльнісна здатність аналізувати, моделювати, оцінювати і вдосконалювати технічні рішення, тобто формувати інженерне мислення.

2. Ефективність виконання лабораторних завдань

За результатами фіксації середнього часу, витраченого на виконання лабораторних робіт, встановлено, що студенти групи Multisim демонстрували швидший темп роботи на етапі первинного знайомства з програмою. Так, середній час виконання типового завдання в середовищі Multisim становив 45,6 хв, тоді як у Proteus 48,1 хв. Проте ця різниця пояснюється переважно інтерфейсними особливостями: у Multisim більшість базових інструментів винесено на панель, тоді як у Proteus потрібен глибший пошук у бібліотеках.

Однак інженерне мислення передбачає не лише швидкість, а й осмисленість дій, оптимізацію структури рішення, гнучкість мислення та творчий підхід до побудови моделей. Саме ці ознаки виявлялися в роботах студентів, які працювали з Proteus, особливо у завданнях відкритого типу.

3. Динаміка формування інженерно-проектних навичок

Порівняння повторного виконання раніше відпрацьованих лабораторних робіт показало позитивну динаміку в обох групах, однак якісний аналіз рішень засвідчив глибшу рефлексію та варіативність підходів у групі Proteus. Студенти не лише відтворювали задану схему, а й пропонували альтернативи: використання різних типів джерел, перетворення сигнальних форм, вдосконалення схем комутації. У деяких випадках студенти пропонували власні покращення моделей, змінюючи логіку з'єднань або додаючи функціональні блоки (наприклад, елементи контролю напруги, індикатори помилок, фільтри шумів). Такі дії є прямими ознаками інженерного мислення, що включає ініціативність, конструктивну критичність і технічну творчість.

4. Виконання самостійних проектних завдань

У ході перевірки індивідуальних завдань (моделювання підсилювача на уніполярному транзисторі та логічного мажоритарного елемента) студенти демонстрували різний рівень самостійності. В обох групах завдання були виконані з допустимим рівнем помилок, однак:

- у Multisim переважали шаблонні рішення з незначними змінами типових схем;
- у Proteus понад 40% студентів вийшли за межі шаблону, реалізувавши оригінальні технічні підходи або підключивши зовнішні компоненти, зокрема таймери, дисплеї, сенсори.

Крім того, у рефлексивних звітах студенти групи Proteus частіше описували логіку вибору елементів, міркування щодо оптимізації схеми, труднощі, пов'язані з візуальним контролем параметрів і побудовою графіків. Це свідчить про глибший рівень технічного осмислення завдання, що є ядром інженерного мислення.

Отже, результати дослідження підтверджують:

- Multisim забезпечує швидке входження в роботу з електронними схемами, ефективний для базових завдань і дистанційного навчання;
- Proteus формує глибше осмислення функціонування цифрових схем, стимулює технічну творчість і є потужним засобом розвитку інженерного мислення в умовах STEM-орієнтованого курсу.

ОБГОВОРЕННЯ

Результати дослідження підтверджують ефективність використання цифрових симуляційних середовищ як засобів реалізації STEM-підходу у вищій технічній і педагогічній освіті. Поглиблений аналіз даних педагогічного експерименту засвідчив, що хоча обидва середовища Proteus і Multisim забезпечують засвоєння навчального матеріалу, саме Proteus виявився значно ефективнішим для формування інженерного мислення студентів, що є однією з ключових цілей сучасної STEM-освіти.

Інженерне мислення трактується не лише як здатність вирішувати технічні задачі, а як комплексна когнітивна діяльність, що включає вміння моделювати, декомпонувати, аналізувати, оцінювати, аргументувати та вдосконалювати технічні рішення. В умовах використання середовища Proteus у студентів значно частіше проявлялася ініціатива у зміні стандартних рішень, проектуванні власних схем, тестуванні гіпотез щодо зміни функціональних параметрів. Такі дії є маркерами високого рівня сформованого інженерного мислення.

Важливим педагогічним ефектом STEM-орієнтованого навчання стало формування аналітичних і алгоритмічних умінь. Студенти навчалися розкладати складні задачі на підзадачі (декомпозиція), аналізували взаємозв'язки між компонентами комп'ютерних систем, оцінювали вплив змін у структурі схем на загальну продуктивність або стабільність роботи пристрою. Це сприяло розвитку системного мислення, що є особливо актуальним у навчанні майбутніх учителів інформатики, які повинні не лише знати принципи роботи цифрової техніки, а й уміти пояснити їх у доступній та логічно структурованій формі. Водночас проектна діяльність і STEM-завдання стимулювали розвиток творчого потенціалу і здатності до експериментування. Студенти створювали нові варіанти схем, доповнювали базові рішення нестандартними елементами, самостійно обирали способи перевірки гіпотез. У цьому контексті Proteus виявився більш гнучким і «відкритим» середовищем, яке надає широкі можливості для реалізації власного інженерного задуму, порівняно з більш шаблонним інтерфейсом Multisim. Такий досвід сприяє формуванню критичного та креативного мислення важливих складових інженерної та педагогічної компетентностей.

Ще одним важливим аспектом, виявленим у дослідженні, є практична готовність до викладання STEM-дисциплін. Навчаючись у середовищі Proteus, студенти не лише набували фахових знань, а й водночас засвоювали дидактичні механізми реалізації STEM-підходу. Це формувало в них уявлення про структуру міждисциплінарного уроку, методи пояснення складних технічних процесів за допомогою моделювання, способи залучення школярів до проектної діяльності. У результаті майбутні вчителі інформатики опанували не лише зміст, а й методи його викладання в контексті сучасної цифрової школи.

До прикладів STEM-завдань, які можуть бути реалізовані в середовищі Proteus або за його підтримки, належать:

- моделювання схеми арифметико-логічного пристрою (ALU) з оцінкою ефективності архітектурних рішень;
- розробка прототипу smart-пристрою з контролем енергоспоживання на основі аналізу енергоефективності комп'ютерів;
- проектування простої системи керування периферійним пристроєм із зворотним зв'язком;
- створення віртуальної лабораторії або симулятора для вивчення роботи комп'ютерної пам'яті чи мережевих протоколів.

Такі завдання сприяють не лише поглибленню знань, а й розвитку практичних навичок реалізації інженерних ідей у віртуальному середовищі, що повністю відповідає вимогам сучасної освіти, орієнтованої на інтеграцію знання і діяльності.

Загалом, STEM-орієнтоване навчання архітектури комп'ютера в поєднанні із симуляційним середовищем Proteus забезпечує комплексний розвиток професійних якостей майбутнього вчителя інформатики. Студенти не лише глибше

розуміють будову й функціонування комп'ютерної техніки, а й здобувають інструменти та досвід, необхідні для організації інженерно орієнтованого освітнього процесу у школі. Такий підхід дозволяє підготувати педагогів, здатних навчати нове покоління учнів за логікою міждисциплінарності, технологічної гнучкості та творчої активності.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

Інтеграція симуляційного середовища Proteus у курс «Архітектура комп'ютера» створює ефективні умови для реалізації STEM-підходу, оскільки забезпечує поєднання наукового знання, технічного мислення, інженерного проектування та цифрового моделювання в єдиний навчальний процес. Це сприяє формуванню цілісного інженерного світогляду здобувачів освіти та розвитку їх здатності до аналізу, синтезу, оцінювання технічних рішень.

Порівняльний аналіз функціоналу Proteus і Multisim та результати педагогічного експерименту підтверджують, що обидва середовища забезпечують базове засвоєння навчального матеріалу. Проте саме Proteus активніше стимулює прояви інженерного мислення, зокрема в частині проектування, варіативності схемних рішень, логічного моделювання й аргументації вибраних підходів. Динаміка результатів показала, що хоча студенти групи Multisim виконували типові завдання швидше, студенти групи Proteus демонстрували глибшу когнітивну зануреність, креативність і здатність до оптимізації рішень, що є важливою ознакою сформованого інженерного мислення як інтегрованої компетентності в STEM-освіті. Програма Proteus забезпечує імітацію повного циклу технічного рішення: від побудови схеми до її верифікації, налагодження, візуалізації й аналітичного аналізу результатів. Такий формат сприяє формуванню системного бачення, відповідальності за рішення, рефлексії й готовності до самостійного вирішення інженерних задач. Вибір симуляційного середовища має ґрунтуватися на освітній меті: якщо акцент зроблено на ознайомленні, відпрацюванні типових схем або роботі в дистанційному форматі доцільним є використання Multisim; якщо навчання орієнтоване на розвиток інженерного мислення, творчої діяльності, самостійного проектування та дослідницького підходу Proteus є методично виправданим і переважним.

Отримані результати дають підстави для оновлення методичних підходів до викладання ІТ-дисциплін: рекомендовано включати до структури курсу етапи відкритого проектування, рефлексивного аналізу технічних рішень і формувального оцінювання інженерних стратегій; доцільно проводити індивідуальні або групові завдання, спрямовані на створення, аналіз і вдосконалення функціональних блоків із використанням Proteus як середовища для технічного мислення.

КОНФЛІКТ ІНТЕРЕСІВ

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

ФІНАНСУВАННЯ

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

ДОСТУПНІСТЬ ДАНИХ

Це теоретичне дослідження не передбачає використання додаткових наборів даних.

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Інструменти штучного інтелекту не використовувались при написанні цієї роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стрижак, О., Сліпучіна, І., Полісун, Н., & Чернецький, І. (2017). STEM-освіта: основні дефініції. *Інформаційні технології і засоби навчання*, 62(6), 16-33. <https://doi.org/10.33407/itlt.v62i6.1753>
2. English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0027-7>
3. Qin, J. R., & Fu, G. S. (2017). STEM education: Interdisciplinary education based on real problem scenarios. *China Educational Technology*, (4), 67-74.
4. Semenikhina, O. V., Drushlyak, M. G., & Shishenko, I. V. (2022). STEM project as a means of learning modeling for pre-service mathematics and computer science teachers. *Information Technologies and Learning Tools*, 90(4), 46-56. <https://doi.org/10.33407/itlt.v90i4.4946>
5. Semenikhina, O., Drushlyak, M., Yurchenko, A., Udovychenko, O., & Budyanskiy, D. (2020). The use of virtual physics laboratories in professional training: The analysis of the academic achievements dynamics. In *ICTERI 2020: 16th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications*, 2740, 423-429.
6. Yata, C., Ohtani, T., & Isobe, M. (2020). Conceptual framework of STEM based on Japanese subject principles. *International Journal of STEM Education*, 7. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00205-8>
7. Zhou, C., & Li, Y. (2021). The focus and trend of STEM education research in China – visual analysis based on CiteSpace. *Open Journal of Social Sciences*, 9, 168-180. <https://doi.org/10.4236/jss.2021.97011>
8. Балик, Н.Р., & Шмигер, Г.П. (2017). Підходи та особливості сучасної STEM-освіти. *Фізико-математична освіта*, 2(12), 26-30.
9. Ботузова, Ю.В. (2018). Динамічні моделі геоебґра на уроках математики як основа STEM-підходу. *Фізико-математична освіта*, 3(17), 31-35. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2018-017-3-005>
10. Мартинюк, О. О. (2018). STEM-технології як засіб формування інформаційно-цифрової компетентності вчителів та учнів. Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія : Педагогічна, 24, 18-22.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Stryzhak, O., Slipukhina, I., Polikhun, N., & Chernetskyy, I. (2017). STEM-osvita: osnovni definityi [STEM-Education: Main Definitions]. *Information Technologies and Learning Tools*, 62(6), 16–33. <https://doi.org/10.33407/itlt.v62i6.1753>
2. English, L. D. (2016). STEM education K-12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0027-7>
3. Qin, J. R., & Fu, G. S. (2017). STEM education: Interdisciplinary education based on real problem scenarios. *China Educational Technology*, (4), 67–74.
4. Semenikhina, O. V., Drushlyak, M. G., & Shishenko, I. V. (2022). STEM project as a means of learning modeling for pre-service mathematics and computer science teachers. *Information Technologies and Learning Tools*, 90(4), 46–56. <https://doi.org/10.33407/itlt.v90i4.4946>
5. Semenikhina, O., Drushlyak, M., Yurchenko, A., Udovychenko, O., & Budyanskiy, D. (2020). The use of virtual physics laboratories in professional training: The analysis of the academic achievements dynamics. In *ICTERI 2020: 16th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications*, 2740, 423–429.
6. Yata, C., Ohtani, T., & Isobe, M. (2020). Conceptual framework of STEM based on Japanese subject principles. *International Journal of STEM Education*, 7. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00205-8>
7. Zhou, C., & Li, Y. (2021). The focus and trend of STEM education research in China – visual analysis based on CiteSpace. *Open Journal of Social Sciences*, 9, 168–180. <https://doi.org/10.4236/jss.2021.97011>
8. Balyk, N., & Shmyger, G. (2017). Pidkhody ta osoblyvosti suchasnoi STEM-osvity [Approaches and Peculiarities of Modern STEM Education]. *Fyzyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 2(12), 26–30.
9. Botuzova, Yu. (2018). Dynamichni modeli geogebra na urokakh matematyky yak osnova STEM-pidkhodu [Geogebra Dynamic Models at the Mathematics Lessons as a STEM-Approach]. *Fyzyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 3(17), 31–35. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2018-017-3-005>
10. Martynyuk, O. O. (2018). STEM-tekhnologii yak zasib formuvannya informatsiino-tyfrovoy kompetentnosti vchyteliv ta uchniv [STEM-technologies as a means of forming information and digital competence of teachers and students]. *Zbirnyk naukovykh prats Kamianets-Podilskoho natsionalnoho universytetu im. I. Ohienka. Seriya: Pedagogichna*, 24, 18–22.

| Матеріал надійшов до редакції: 25.05.2025 р. | Прийнято до друку: 02.07.2025 р. | Опубліковано: 29.09.2025 р. |

