

УДК [378.091.322:001.891]:[378.018.8:37.011.3-051]:[004.9+5/.7](045)
DOI: 10.31499/2307-4906.2.2026.362783

ПРОЄКТНО-ДОСЛІДНИЦЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ МАЙБУТНІХ УЧИТЕЛІВ У ЦИФРОВОМУ STEAM-СЕРЕДОВИЩІ ALADDIN

Марія Медведєва, кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики,
Уманський національний університет.

ORCID: 0000-0001-9330-5185

E-mail: m.o.medvedeva@udpu.edu.ua

У статті розглянуто особливості організації проєктно-дослідницької діяльності майбутніх учителів у цифровому STEAM-середовищі Aladdin. Проаналізовано STEAM-освіту як інтегративну модель та визначено компетентності, що формуються у процесі проєктно-дослідницької діяльності: критичне мислення, цифрову грамотність, computational thinking, інженерне мислення і командну взаємодію. Охарактеризовано можливості платформи Aladdin для CAD/CAE-моделювання та енергетичного аналізу. Запропоновано п'ятиетапну модель організації діяльності й наведено приклади STEAM-проєктів. Обґрунтовано педагогічні умови ефективного використання платформи у підготовці майбутніх учителів.

Ключові слова: STEAM-освіта; проєктно-дослідницька діяльність; цифрове освітнє середовище; платформа Aladdin; simulation-based learning; майбутні вчителі; підготовка педагогів; computational thinking; цифрова компетентність; енергетичне моделювання; DigCompEdu; освіта для сталого розвитку.

PROJECT-BASED RESEARCH ACTIVITIES OF FUTURE TEACHERS IN THE ALADDIN DIGITAL STEAM ENVIRONMENT

Mariia Medvedieva, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department Informatics, Uman National University.

ORCID: 0000-0001-9330-5185

E-mail: m.o.medvedeva@udpu.edu.ua

This article examines the characteristics of organizing project-based research activities for future teachers in the Aladdin digital STEAM environment. It analyzes theoretical approaches to STEAM education as an integrative pedagogical model that combines natural sciences, technology, engineering, art, and mathematics based on interdisciplinarity and practical orientation. The essence of project-based research activities as a combination of project-based learning and inquiry-based learning is revealed, and the competencies formed in the process of such activities are identified: critical thinking, digital literacy, computational thinking, engineering thinking, and teamwork skills. The didactic potential of the Aladdin platform – a web environment for three-dimensional CAD/CAE modeling and energy analysis of buildings – is described. It is shown that the platform ensures the natural integration of STEAM components through work on real engineering problems: calculation of heat loss, analysis of solar radiation, and modeling of renewable energy systems. A five-stage model for organizing project-based research activities is proposed: problem formulation, model design, conducting research, interpreting results, and presentation with peer assessment. Four types of STEAM projects implemented using the platform are described: «Energy-Efficient Classroom», «Smart School», «Solar Energy for Educational Institutions», and «Indoor Microclimate Analysis».

The pedagogical conditions for effectiveness have been substantiated: interdisciplinary integration, practical orientation, collaborative learning, the research-based nature of tasks, alignment with the DigCompEdu framework, and the goals of education for sustainable development. It has been demonstrated that the use of Aladdin in combination with a project-based research approach contributes to the development of digital competence among future educators and improves the quality of preparation for STEAM education in schools.

Keywords: STEAM education; project-based and research activities; digital learning environment; Aladdin platform; simulation-based learning; future teachers; teacher training; computational thinking; digital competence; energy modeling; DigCompEdu; education for sustainable development.

Цифровізація педагогічної освіти є одним із пріоритетних напрямів розвитку вищої школи. В. Биков [40] зазначає, що цифрова трансформація суспільства суттєво змінює вимоги до компетентностей педагога та актуалізує потребу у розвитку відповідних цифрових платформ навчання. Поряд із цим зростає запит на підготовку вчителів, здатних реалізовувати міждисциплінарні підходи до навчання, зокрема STEAM-освіту.

STEAM-освіта (Science, Technology, Engineering, Arts, Mathematics) розглядається як освітня модель, що об'єднує природничі науки, технології, інженерію, мистецтво та математику навколо автентичних міждисциплінарних задач. Р. Байбі [4] вказує, що STEAM-підхід орієнтований на формування в учнів здатності вирішувати реальні комплексні проблеми, поєднуючи знання з різних предметних галузей. Підготовка вчителів, спроможних упроваджувати цей підхід, потребує принципових змін у змісті й методиці педагогічної освіти.

Проектно-дослідницька діяльність є однією з ефективних педагогічних стратегій для формування STEAM-компетентностей. Вона синтезує проєктне навчання (project-based learning (PBL)) та дослідницьке навчання (inquiry-based learning (IBL)): студенти розв'язують реальні задачі у форматі проєктів, при цьому проходячи повний дослідницький цикл – від формулювання гіпотези до перевірки результатів. С. Белл [1] та Дж. Крайчік і Н. Шін [17] показали, що PBL сприяє розвитку критичного мислення, мотивації та практичних умінь.

Важливим інструментом реалізації проєктно-дослідницького навчання є simulation-based learning – навчання на основі комп'ютерного моделювання. Т. Де Йонг [6] та Л. Сметана і Р. Белл [30] показали, що цифрові симуляції дозволяють студентам досліджувати складні процеси в безпечному середовищі, проводити обчислювальні експерименти та аналізувати результати, що недоступно в умовах традиційного навчання.

У цьому контексті практичний інтерес становить платформа Aladdin – безкоштовне вебсередовище для тривимірного CAD/CAE-проєктування та енергетичного моделювання будівель. К. Сі зі співавторами [37] описали платформу як ефективний дидактичний засіб для навчання інженерного проєктування через моделювання та симуляцію. Разом із тим використання Aladdin у підготовці майбутніх учителів залишається недостатньо дослідженим.

Таким чином, постає проблема: відсутня розроблена методика організації проєктно-дослідницької діяльності майбутніх учителів засобами платформи Aladdin у контексті STEAM-підготовки. Не визначено педагогічні умови, що забезпечують ефективність такої діяльності, та не обґрунтовано її вплив на формування STEAM-

компетентностей і комп'ютерного мислення (computational thinking) майбутніх педагогів.

Теоретичні засади STEAM-освіти розроблено у працях Дж. Якман [38], яка запропонувала піраміду STEAM як модель інтегративного навчання, та М. Сандерса [27], який дослідив принципи інтегративного STEM. Л. Інґліш [9] розглядає STEM-інтеграцію як ключовий підхід у загальній освіті. Д. Хенріксен зі співавторами [13] проаналізували взаємозв'язок творчості й технологій в освітньому контексті.

Проблематику project-based learning розкривають С. Белл [1], Дж. Томас [31], Дж. Крайчік і Н. Шін [17], С. Хан зі співавторами [12]. Inquiry-based learning досліджено у роботах Т. Де Йонга [6] та М. Педасте зі співавторами [21], які запропонували деталізовану модель inquiry cycle. К. Хмело-Сілвер [14] розглядає PBL як стратегію, що забезпечує одночасне засвоєння предметних знань і метакогнітивних умінь.

Питання computational thinking розробляли Дж. Вінг [36], яка визначила СТ як фундаментальну навичку; Д. Вейнтроп зі співавторами [34], які деталізували СТ для природничо-математичних дисциплін; К. Бреннан і М. Ресник [2], які запропонували нові рамки оцінювання СТ; В. Шут зі співавторами [29], які систематизували підходи до формування СТ в освітньому процесі. М. Медведєва зі співавторами [43] та Л. Ковальов зі співавторами [42] дослідили підготовку майбутніх учителів інформатики до формування СТ.

Simulation-based learning вивчали Т. Де Йонг [6], Н. Рюттен зі співавторами [26], Л. Сметана і Р. Белл [30]. Д. Габа [11] обґрунтував перспективність SBL у фаховій підготовці. Вплив активних форм навчання, зокрема із застосуванням цифрових інструментів, на академічну успішність студентів підтверджено у метааналізі С. Фрімена зі співавторами [10]. Дж. Дорі і Дж. Белчер [8] показали, що технологічно підтримуване активне навчання суттєво покращує розуміння природничо-наукових концептів.

Серед українських дослідників проблеми цифрової педагогічної освіти розробляли: В. Биков [39; 40] – питання хмарних платформ та цифрової трансформації освіти; Н. Морзе та О. Кузьмінська [44] – педагогічні аспекти хмарних обчислень; С. Семеріков зі співавторами [45] – мобільне навчання та AR/VR у підготовці STEM-учителів [28]; О. Будник [41; 3] – практикоорієнтовану підготовку майбутніх педагогів.

Питання sustainability education та компетентності сталого розвитку досліджували А. Вік зі співавторами [35], М. Ріккманн [25], ЮНЕСКО [33]. Цифрові компетентності педагога систематизовано у рамці DigCompEdu К. Редкер [24].

Окремо зазначимо, що емпіричне підґрунтя дослідження формувалося також у процесі участі автора у навчальному курсі міжнародного проєкту REBUILD (Renewable Energy for Bolstering Ukraine's Infrastructure by Learning and Design), присвяченому використанню платформи Aladdin для моделювання енергоефективних рішень та реалізації підходу навчання через проєктування. Участь у курсі сприяла поглибленню розуміння дидактичного потенціалу середовища Aladdin на основі моделювання STEAM-навчання та підготовки майбутніх педагогів. Проєкт REBUILD спрямований на впровадження інноваційних підходів до STEM/STEAM-освіти та використання платформи Aladdin у навчанні енергоефективності й відновлюваної енергетики (<https://clipr.cc/gZLx8>).

Незважаючи на значний масив досліджень, аналіз літератури показує, що: по-перше – платформа Aladdin практично не досліджена як дидактичний засіб підготовки майбутніх учителів; по-друге – методика організації на основі моделювання STEAM-навчання для педагогічних спеціальностей не розроблена; по-третє – педагогічні умови ефективності проєктно-дослідницької діяльності у цьому середовищі не обґрунтовані.

Мета статті – теоретично обґрунтувати та описати особливості організації проєктно-дослідницької діяльності майбутніх учителів у цифровому STEAM-середовищі Aladdin, визначити педагогічні умови ефективності такої діяльності.

STEAM-освіта – це модель навчання, що забезпечує змістову інтеграцію природничих наук (Science), технологій (Technology), інженерії (Engineering), мистецтва (Arts) і математики (Mathematics). Дж. Якман [38] запропонувала піраміду STEAM, де кожна складова виконує специфічну функцію, але всі вони взаємопов'язані навколо реальних проблем. На відміну від механічного поєднання предметів, STEAM передбачає глибоку змістову взаємодію дисциплін у процесі розв'язання автентичних задач. Р. Байбі [4] підкреслює, що STEAM відповідає потребам постіндустріальної економіки та суспільства знань.

Проєктно-дослідницька діяльність поєднує дві педагогічні стратегії. Project-based learning (PBL) передбачає розв'язання реальних комплексних задач із продуктивним результатом. Дж. Томас [31] та Дж. Крайчік і Н. Шін [17] визначають ключовими ознаками PBL: тривалість, автентичність задачі, спрямованість на дослідження й активне залучення студентів. Inquiry-based learning (IBL) ґрунтується на дослідницькому циклі. М. Педасте зі співавторами [21] виокремлюють такі його фази: орієнтація, концептуалізація, дослідження, висновки, обговорення. Поєднання PBL та IBL у проєктно-дослідницькій діяльності дозволяє охопити весь цикл наукового пізнання.

Під час проєктно-дослідницької діяльності у студентів формується комплекс компетентностей: критичне мислення – аналіз даних і оцінювання рішень; computational thinking – декомпозиція, абстрагування, виявлення закономірностей та алгоритмізація [2; 34; 36]; інженерне мислення – системний підхід до проєктування [18]; цифрова грамотність – відповідно до рамки DigCompEdu [24]; навички командної роботи – відповідно до принципів cooperative learning Д. Джонсона і Р. Джонсона [16].

Simulation-based learning (SBL) є технологічною основою проєктно-дослідницького навчання у цифровому середовищі. Т. Де Йонг [6] визначає SBL як підхід, що дозволяє вивчати складні системи через інтерактивні комп'ютерні симуляції. Н. Рютген зі співавторами [26] у систематичному огляді показали, що комп'ютерні симуляції забезпечують глибше розуміння природничо-наукових концептів порівняно з традиційними методами. С. Фрімен зі співавторами [10] метааналітично підтвердили, що активні форми навчання підвищують академічні результати студентів у природничих науках та математиці.

Aladdin – безкоштовна вебплатформа для тривимірного CAD/CAE-моделювання та аналізу енергетичної ефективності будівель. К. Сі зі співавторами [37] описали її як інструмент, що підтримує навчання інженерного проєктування через моделювання реальних об'єктів. Платформа не потребує встановлення й доступна через браузер, що знижує технічні бар'єри для студентів і викладачів.

Функціональні можливості платформи включають: тривимірне параметричне моделювання будівель; energy simulation – розрахунок теплових навантажень, втрат тепла та енергетичного балансу; аналіз сонячного опромінення й тіньових зон; моделювання систем відновлюваної енергетики (сонячні панелі, вітроустановки); generative design – алгоритмічну оптимізацію параметрів; інструменти візуалізації – теплові карти, графіки, таблиці.

З дидактичної точки зору Aladdin забезпечує природну STEAM-інтеграцію. Під час роботи з платформою студенти застосовують: фізику (теплопередача, термодинаміка); математику (обчислення, аналіз даних); інформатику (алгоритмічне мислення, обробка даних); технологію (CAD/CAE-проектування); природничі науки (кліматологія, екологія); дизайн-мислення (архітектурна композиція). Такий підхід відповідає баченню Л. Інгліш [9] щодо справжньої предметної інтеграції в STEM.

Платформа підтримує розвиток computational thinking: студенти декомпонують складні задачі (будівля – конструктивні елементи), абстрагують суттєві параметри, виявляють закономірності між параметрами та результатами симуляцій, формують алгоритмічну послідовність налаштування моделей. К. Бреннан і М. Ресник [2] та В. Шут зі співавторами [29] виокремлюють саме ці аспекти як ключові складники СТ. М. Медведева зі співавторами [43] та Л. Ковальов зі співавторами [42] підтвердили ефективність подібних симуляційних підходів у підготовці вчителів інформатики.

Важливою характеристикою Aladdin є sustainability-орієнтованість: усі задачі пов'язані з енергоефективністю, відновлюваною енергетикою та екологічністю будівель. Це відповідає компетентностям сталого розвитку за А. Віком зі співавторами [35], цілям ЮНЕСКО [33] та рамці М. Ріккманна [25]. Цифрові компетентності, що формуються під час роботи з Aladdin, відповідають рамці DigCompEdu К. Редкер [24].

На основі аналізу теоретичних джерел та практики впровадження запропоновано п'ятиетапну модель організації проектно-дослідницької діяльності, що інтегрує inquiry cycle М. Педасте зі співавторами [21] та принципи PBL Дж. Крайчіка і Н. Шін [17].

Етап 1 – постановка проблеми. Викладач разом зі студентами формулює реальну задачу: «Як конструктивні рішення навчального корпусу впливають на його тепловий баланс?»; «Яка площа вікон забезпечує оптимальне освітлення у класній кімнаті?»; «Який потенціал сонячних панелей для конкретної будівлі школи?». К. Хмело-Сілвер [14] підкреслює, що якість формулювання задачі безпосередньо визначає глибину навчальної діяльності. Студенти висувують гіпотези та складають план дослідження.

Етап 2 – проектування моделі. Студенти у малих групах (2–3 особи) будують тривимірну модель об'єкту в Aladdin: задають геометричні параметри, вибирають матеріали з їхніми теплофізичними характеристиками, налаштовують системи вентиляції та опалення. Командна організація роботи реалізує принципи cooperative learning Д. Джонсона і Р. Джонсона [16]. К. Сі зі співавторами [37] показали, що саме цей етап формує практичний досвід CAD/CAE-проектування.

Етап 3 – проведення дослідження. Студенти виконують серії симуляцій, варіюючи параметри та фіксуючи результати: розраховують тепловтрати, потребу в енергії, характер сонячного опромінення. Т. Де Йонг [6] та Н. Рюттен зі співавторами [26] показали, що маніпулювання параметрами симуляції розвиває аналітичні уміння та сприяє перевірці гіпотез. Студенти порівнюють результати між варіантами та з вихідною моделлю.

Етап 4 – інтерпретація результатів. На основі отриманих даних студенти аналізують ефективність різних технічних рішень, формулюють висновки щодо оптимального проєкту, розраховують економічний та екологічний ефект. К. Хмело-Сілвер і Р. Азеведо [15] звертають увагу на важливість розвитку здатності розуміти складні системи – саме цей аспект охоплює четвертий етап.

Етап 5 – презентація і рефлексія. Студенти захищають проєкт, представляючи проблему, методологію та результати. Проводиться peer assessment – взаємне оцінювання за заздалегідь визначеними критеріями. К. Топпінг [32] обґрунтовує педагогічну цінність взаємооцінювання для розвитку критичного мислення і рефлексії. Активний характер цього етапу відповідає даним С. Фрімена зі співавторами [10] про підвищення успішності через активне навчання.

Для перевірки даної моделі було запропоновано низку проєктів для реалізації на платформі Aladdin.

Проєкт «Енергоефективний навчальний кабінет». Студенти будують 3D-модель типового шкільного класу в Aladdin, розраховують тепловтрати через огорожувальні конструкції, досліджують вплив орієнтації та площі засклення на мікроклімат і витрати на опалення. Формулюють рекомендації з підвищення енергоефективності й розраховують термін окупності заходів. Проєкт інтегрує фізику, математику, інформатику та дизайн.

Проєкт «Smart School». Студенти моделюють цілу будівлю школи: аналізують загальний енергетичний баланс, потенціал сонячної енергетики та розробляють концепцію автоматизованого управління мікрокліматом. Цей проєкт відповідає підходу К. Сі зі співавторами [37] до навчання інженерного проєктування та концепції освіти для сталого розвитку ЮНЕСКО [33].

Проєкт «Сонячна енергетика для освітнього закладу». Студенти аналізують інсоляцію даху конкретного закладу освіти, розраховують оптимальну кількість і розташування сонячних панелей, визначають очікувану генерацію та економічний ефект. Проєкт безпосередньо пов'язаний з компетентностями сталого розвитку [25; 35].

Проєкт «Аналіз мікроклімату приміщення». Студенти досліджують тепловий комфорт у навчальних приміщеннях у різні сезони, моделюють температурний розподіл та аналізують вплив матеріалів і систем вентиляції. Цей проєкт активно розвиває computational thinking [2; 34; 43] через роботу з великими масивами числових даних.

На основі аналізу теоретичних джерел та апробації виявлено такі педагогічні умови ефективності проєктно-дослідницької діяльності у середовищі Aladdin:

1) міждисциплінарна інтеграція: задачі мають охоплювати кілька предметних галузей відповідно до принципу STEAM-інтеграції [9; 38];

2) автентичність задач: проблеми дослідження мають бути реальними та значущими – відповідно до підходів PBL [1; 17; 31] та sustainability education [33; 35];

3) колаборативне навчання: командна організація роботи з розподілом ролей за принципами cooperative learning [5; 16];

4) дослідницький характер завдань: повний inquiry cycle з постановкою та перевіркою гіпотез [6; 21];

5) розвиток computational thinking: структурування завдань відповідно до рамок СТ [2; 29; 34; 36; 43];

б) рефлексія і peer assessment: обов'язкова рефлексія по завершенні кожного проєкту [32];

7) відповідність DigCompEdu: формування цифрових компетентностей педагога за К. Редекер [24] та підготовка до STEAM-навчання за підходами О. Будник [3; 41].

Отже, STEAM-освіта є інтегративною моделлю, що об'єднує природничі науки, технології, інженерію, мистецтво та математику навколо реальних міждисциплінарних задач. У контексті підготовки майбутніх учителів вона формує як особисті STEAM-компетентності студентів, так і методичну готовність до реалізації STEAM-підходу у школі. Проєктно-дослідницька діяльність є доцільним підходом для STEAM-підготовки вчителів, оскільки синтезує PBL та IBL і забезпечує формування критичного мислення, computational thinking, інженерного та навичок командної роботи. Платформа Aladdin має конкретний дидактичний потенціал для організації simulation-based STEAM-навчання: вебдоступність, реальні інженерні задачі, вбудовані інструменти аналізу даних, природна STEAM-інтеграція та sustainability-орієнтованість. Платформа підтримує розвиток СТ та відповідає рамці DigCompEdu.

Запропонована п'ятиетапна модель – постановка проблеми, проєктування моделі, дослідження, інтерпретація результатів і презентація з peer assessment – забезпечує повний цикл наукового пізнання та відповідає принципам активного навчання. Визначені педагогічні умови ефективності охоплюють: міждисциплінарну інтеграцію, автентичність задач, колаборативне навчання, повний inquiry cycle, розвиток СТ та відповідність DigCompEdu. Їх дотримання забезпечує якість проєктно-дослідницької підготовки майбутніх учителів. Перспективами подальших досліджень є педагогічна апробація запропонованої методики з використанням діагностичних інструментів оцінювання СТ, а також вивчення можливостей VR/AR та AI-інструментів у контексті STEAM-навчання в Aladdin.

Конфлікт інтересів. Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування дослідження. Дослідження виконано без залучення зовнішнього фінансування.

Доступність даних. Дослідження не передбачало використання окремих наборів даних.

Використання інструментів штучного інтелекту. Під час підготовки цієї роботи інструменти штучного інтелекту не застосовувалися.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bell S. Project-Based Learning for the 21st Century: Skills for the Future. *The Clearing House*. 2010. Vol. 83, № 2. P. 39–43. DOI: <https://doi.org/10.1080/00098650903505415>.
2. Brennan K., Resnick M. New Frameworks for Studying and Assessing the Development of Computational Thinking. Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American Educational Research Association, 2012, Vol. 1, Vancouver, 13–17 April 2012, 25 p. URL: <http://scratched.gse.harvard.edu/ct/files/AERA2012.pdf>.
3. Budnyk O. B. Practice-oriented approach in the system of professional training of future teachers for socio-pedagogical activity. *Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University*. 2021. Vol. 8(1). P. 24–34. URL: <https://journals.pnu.edu.ua/index.php/jpnu/article/view/4937>.
4. Bybee R. W. Advancing STEM Education: A 2020 Vision. *Technology and Engineering Teacher*. 2010. Vol. 70, № 1. P. 30–35.

5. Cervantes B., Hemmer L., Kouzekanani K. The Impact of Project-Based Learning on Minority Student Achievement: Implications for School Redesign. *Education Leadership Review of Doctoral Research*. 2015. Vol. 2(2). P. 50–66. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1105713.pdf>.
6. De Jong T. Computer simulations: Technological advances in inquiry learning. *Science*. 2006 Apr 28. Vol. 312(5773). P. 532–533. DOI: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1127750>.
7. Dewey J. *Experience and Education*. New York : The Macmillan Company, 1938. 116 p. URL: https://dn720204.ca.archive.org/0/items/experienceeducat00dewe_0/experienceeducat00dewe_0.pdf.
8. Dori Y. J., Belcher J. How Does Technology-Enabled Active Learning Affect Undergraduate Students' Understanding of Electromagnetism Concepts. *Journal of the Learning Sciences*. 2004. Vol. 14(2). P. 243–279.
9. English L. D. STEM education K–12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*. 2016. Vol. 3, Article 3. URL: https://www.researchgate.net/publication/296626399_STEM_education_K-12_perspectives_on_integration.
10. Freeman S., Eddy S. L., McDonough M., Smith M. K., Okoroafor N., Jordt H., Wenderoth M. P. Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2014. Vol. 111(23). P. 8410–8415. DOI: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.1319030111>.
11. Gaba D. M. The future vision of simulation in health care. *Quality & Safety in Health Care*. 2004. Vol. 13 (Suppl 1). P. i2–i10. DOI: https://doi.org/10.1136/qhc.13.suppl_1.i2.
12. Han S. Y., Yalvac B., Capraro M. M., Capraro R. M. In-service teachers' implementation and understanding of STEM project-based learning. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*. 2015. Vol. 11(1). P. 63–76. DOI: <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1306a>.
13. Henriksen D., Henderson M., Creely E., Ceretkova S., Černochová M., Sendova E., Sointu E. T., Tienken C. H. Creativity and technology in education: An international perspective. *Technology, Knowledge and Learning*. 2018. Vol. 23(4). P. 409–424. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9380-1>.
14. Hmelo-Silver C. E. Problem-Based Learning: What and How Do Students Learn? *Educational Psychology Review*. 2004. Vol. 16. P. 235–266. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>.
15. Hmelo-Silver C. E., Azevedo R. Understanding complex systems: Some core challenges. *Journal of the Learning Sciences*. 2006. Vol. 15(1). P. 53–61. DOI: https://doi.org/10.1207/s15327809jls1501_7.
16. Johnson D. W., Johnson R. T. Cooperative learning and achievement. In: Sharan S. (ed.). *Cooperative Learning: Theory and Research*. New York: Praeger, 1990. P. 23–37.
17. Krajcik J. S., Shin N. Project-Based Learning. In: Sawyer R. K. (Ed.) *The Cambridge Handbook of the Learning Sciences*. Cambridge University Press. 2014. P. 275–297. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139519526.018>
18. Mentzer N., Becker K., Sutton M. Engineering Design Thinking: High School Students' Performance and Knowledge. *Journal of Engineering Education*. 2015. Vol. 104(4). P. 417–432. DOI: <https://doi.org/10.1002/jee.20105>.
19. Merchant Z., Goetz E. T., Cifuentes L., Keeney-Kennicutt W., Davis T. J. Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*. 2014. Vol. 70. P. 29–40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>.
20. Papert S. *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*. New York : Basic Books, 1980. 230 p. URL: https://worrydream.com/refs/Papert_1980_-_Mindstorms,_1st_ed.pdf/.
21. Pedaste M., Mäeots M., Siiman L. A., de Jong T., van Riesen S. A. N., Kamp E. T., Manoli C. C., Zacharia Z. C., Tsourlidaki E. Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*. 2015. Vol. 14. P. 47–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>.
22. Plass J. L., Homer B. D., Kinzer C. K. Foundations of game-based learning. *Educational Psychologist*. 2015. Vol. 50(4). P. 258–283. DOI: <https://doi.org/10.1080/00461520.2015.1122533>.
23. Radianti J., Majchrzak T. A., Fromm J., Wohlgenannt I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda.

- Computers & Education*. 2020. Vol. 147. Article 103778. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>.
24. Redecker C. European Framework for the Digital Competence of Educators: DigCompEdu. Publications Office of the European Union. Luxembourg, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2760/159770>.
 25. Rieckmann M. Learning to transform the world: key competencies in Education for Sustainable Development. In: Leicht A., Heiss J., Byun W. J. (eds.). *Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives*. Paris: UNESCO, 2017. P. 39–59. URL: https://www.researchgate.net/publication/323234910_Chapter_2_-_Learning_to_transform_the_world_key_competencies_in_ESD.
 26. Rutten N., van Joolingen W. R., van der Veen J. T. The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*. 2012. Vol. 58(1). P. 136–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>.
 27. Sanders M. STEM, STEM Education, STEM Mania. *Technology Teacher*, 2009, 68, P. 20–26. DOI: <https://doi.org/10.17763/haer.57.1.j463w79r56455411>.
 28. Semerikov S., Mintii M., Mintii I. Review of the course «Development of Virtual and Augmented Reality Software» for STEM teachers: implementation results and improvement potentials: implementation results and improvement potentials. *Proceedings of the 4th International Workshop on Augmented Reality in Education (AREdu 2021)*. Kryvyi Rih, Ukraine, May 11, 2021. CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 2898. P. 159–177. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2898/paper09.pdf>.
 29. Shute V. J., Sun C., Asbell-Clarke J. Demystifying computational thinking. *Educational Research Review*. 2017. Vol. 22. P. 142–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.003>.
 30. Smetana L. K., Bell R. L. Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*. 2012. Vol. 34(9). P. 1337–1370. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182>.
 31. Thomas J. W. A Review of Research on Project-Based Learning. San Rafael, CA: Autodesk Foundation, 2000. 48 p.
 32. Topping K. J. Peer Assessment. *Theory Into Practice*. 2009. Vol. 48, № 1. P. 20–27.
 33. UNESCO. *Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives*. Paris: UNESCO, 2017. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444>.
 34. Weintrop D., Beheshti E., Horn M. S., Orton K., Jona K., Trouille L., Wilensky U. Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9581-5>.
 35. Wiek A., Keeler L., Redman C. Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development. *Sustainability Science*. 2011. Vol. 6(2), P. 203–218. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6>.
 36. Wing J. M. Computational thinking. *Communications of the ACM*. 2006. Vol. 49(3). P. 33–35. DOI: <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>.
 37. Xie C., Schimpf C., Chao J., Nourian S., Massicotte J. Learning and teaching engineering design through modeling and simulation on a CAD platform. *Computer Applications in Engineering Education*. 2018. Vol. 26, Issue 4. P. 824–840. DOI: <https://doi.org/10.1002/cae.21920>.
 38. Yakman G. STEAM Education: An Overview of Creating a Model of Integrative Education. PATT-17 Conference Proceedings. 2008. P. 335–358.
 39. Биков В. Ю. Хмарна комп'ютерно-технологічна платформа відкритої освіти та відповідний розвиток організаційно-технологічної будови ІТ-підрозділів навчальних закладів. *Теорія і практика управління соціальними системами*. 2013. № 1. С. 81–98. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tipuss_2013_1_14.
 40. Биков В. Ю. Цифрова трансформація суспільства і розвиток комп'ютерно-технологічної платформи освіти і науки України. Матеріали методологічного семінару НАПН України «Інформаційно-цифровий освітній простір України: трансформаційні процеси і перспективи розвитку», 4 квітня 2019 р. / За ред. В. Г. Кременя, О. І. Ляшенка. Київ, 2019. С. 20–26.
 41. Будник О. Б. Професійна підготовка майбутніх учителів до соціально-педагогічної діяльності: результати експериментального дослідження. *Психологія і особистість*. 2016. № 1. С. 70–82. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Psios_2016_1_8.
 42. Ковальов Л. С., Медведєва М. О., Побережець І. І. Використання інтерактивного імітатора фізичних процесів STEP в освітньому процесі у закладах вищої освіти. *Фізико-математична*

- освіта. 2021. Випуск 3(29). С. 68–73. URL: <http://lib.udau.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/7744/1/2021-329-kovalovmedvedievapoberezhets-fmo.pdf>.
43. Медведєва М. О., Жмурко О. І., Криворучко І. І., Ковтанюк М. С. Елементи підготовки майбутніх учителів інформатики до застосування технології формування Computational Thinking. *Фізико-математична освіта*. 2021. № 1, № 27. С. 67–75. URL: <https://www.fmo-journal.org/index.php/fmo/article/view/26/15>.
44. Морзе Н. В., Кузьмінська О. Г. Педагогічні аспекти використання хмарних обчислень. *Інформаційні технології в освіті*. 2011. Вип. 9. С. 20–29. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/itvo_2011_9_4.
45. Семеріков С. О., Стрюк М. І., Моїсеєнко Н. В. Мобільне навчання: історико-технологічний вимір. *Теорія і практика організації самостійної роботи студентів вищих навчальних закладів*: монографія. Кривий Ріг, 2012. С. 188–242.

REFERENCES

1. Bell, S. (2010). Project-based learning for the 21st century: Skills for the future. *The Clearing House*, 83(2), 39–43. DOI: <https://doi.org/10.1080/00098650903505415>.
2. Brennan, K., & Resnick, M. (2012). *New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking*. In *Proceedings of the Annual Meeting of the American Educational Research Association*. URL: <http://scratched.gse.harvard.edu/ct/files/AERA2012.pdf>.
3. Budnyk, O. B. (2021). Practice-oriented approach in the system of professional training of future teachers for socio-pedagogical activity. *Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University*, 8(1), 24–34. URL: <https://journals.pnu.edu.ua/index.php/jpnu/article/view/4937>.
4. Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM education: A 2020 vision. *Technology and Engineering Teacher*, 70(1), 30–35.
5. Cervantes, B., Hemmer, L., & Kouzekanani, K. (2015). The impact of project-based learning on minority student achievement: Implications for school redesign. *Education Leadership Review of Doctoral Research*, 2(2), 50–66. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1105713.pdf>.
6. De Jong, T. (2006). Computer simulations: Technological advances in inquiry learning. *Science*, 312(5773), 532–533. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1127750>.
7. Dewey, J. (1938). *Experience and education*. The Macmillan Company.
8. Dori, Y. J., & Belcher, J. (2004). How does technology-enabled active learning affect undergraduate students' understanding of electromagnetism concepts. *Journal of the Learning Sciences*, 14(2), 243–279.
9. English, L. D. (2016). STEM education K–12: Perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3, Article 3. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>.
10. Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>.
11. Gaba, D. M. (2004). The future vision of simulation in health care. *Quality and Safety in Health Care*, 13(Suppl. 1), i2–i10. DOI: https://doi.org/10.1136/qhc.13.suppl_1.i2.
12. Han, S. Y., Yalvac, B., Capraro, M. M., & Capraro, R. M. (2015). In-service teachers' implementation and understanding of STEM project-based learning. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(1), 63–76. DOI: <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1306a>.
13. Henriksen, D., Henderson, M., Creely, E., Ceretkova, S., Černochová, M., Sendova, E., Sointu, E. T., & Tienken, C. H. (2018). Creativity and technology in education: An international perspective. *Technology, Knowledge and Learning*, 23(4), 409–424. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10758-018-9380-1>.
14. Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16, 235–266. DOI: <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>.
15. Hmelo-Silver, C. E., & Azevedo, R. (2006). Understanding complex systems: Some core challenges. *Journal of the Learning Sciences*, 15(1), 53–61. DOI: https://doi.org/10.1207/s15327809jls1501_7.
16. Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1990). Cooperative learning and achievement. In S. Sharan (Ed.), *Cooperative learning: Theory and research*, 23–37. Praeger.

17. Krajcik, J. S., & Shin, N. (2014). Project-based learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences*, 275–297. Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139519526.018>.
18. Mentzer, N., Becker, K., & Sutton, M. (2015). Engineering design thinking: High school students' performance and knowledge. *Journal of Engineering Education*, 104(4), 417–432. DOI: <https://doi.org/10.1002/jee.20105>.
19. Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K–12 and higher education: A meta-analysis. *Computers and Education*, 70, 29–40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>.
20. Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books.
21. Pedaste, M., Mäeots, M., Siiman, L. A., de Jong, T., van Riesen, S. A. N., Kamp, E. T., Manoli, C. C., Zacharia, Z. C., & Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>.
22. Plass, J. L., Homer, B. D., & Kinzer, C. K. (2015). Foundations of game-based learning. *Educational Psychologist*, 50(4), 258–283. DOI: <https://doi.org/10.1080/00461520.2015.1122533>.
23. Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers and Education*, 147, Article 103778. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>.
24. Redecker, C. (2017). European framework for the digital competence of educators: DigCompEdu. Publications Office of the European Union. DOI: <https://doi.org/10.2760/159770>.
25. Rieckmann, M. (2017). Learning to transform the world: Key competencies in education for sustainable development. In A. Leicht, J. Heiss, & W. J. Byun (Eds.), *Education for sustainable development goals: Learning objectives* (pp. 39–59). UNESCO.
26. Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers and Education*, 58(1), 136–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017>.
27. Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEM mania. *Technology Teacher*, 68, 20–26.
28. Semerikov, S., Mintii, M., & Mintii, I. (2021). Review of the course “Development of virtual and augmented reality software” for STEM teachers: Implementation results and improvement potentials. In *CEUR Workshop Proceedings* (Vol. 2898, pp. 159–177). URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2898/paper09.pdf>.
29. Shute, V. J., Sun, C., & Asbell-Clarke, J. (2017). Demystifying computational thinking. *Educational Research Review*, 22, 142–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.003>.
30. Smetana, L. K., & Bell, R. L. (2012). Computer simulations to support science instruction and learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337–1370. DOI: <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182>.
31. Thomas, J. W. (2000). A review of research on project-based learning. Autodesk Foundation.
32. Topping, K. J. (2009). Peer assessment. *Theory into Practice*, 48(1), 20–27.
33. UNESCO. (2017). Education for sustainable development goals: Learning objectives. UNESCO. URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247444>.
34. Weintrop, D., Beheshti, E., Horn, M. S., Orton, K., Jona, K., Trouille, L., & Wilensky, U. (2016). Defining computational thinking for mathematics and science classrooms. *Journal of Science Education and Technology*, 25(1), 127–147. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10956-015-9581-5>.
35. Wiek, A., Keeler, L., & Redman, C. (2011). Key competencies in sustainability: A reference framework for academic program development. *Sustainability Science*, 6(2), 203–218. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0132-6>.
36. Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33–35. DOI: <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>.
37. Xie, C., Schimpf, C., Chao, J., Nourian, S., & Massicotte, J. (2018). Learning and teaching engineering design through modeling and simulation on a CAD platform. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(4), 824–840. DOI: <https://doi.org/10.1002/cae.21920>.
38. Yakman, G. (2008). STEAM education: An overview of creating a model of integrative education. In *PATT-17 Conference Proceedings* (pp. 335–358).

39. Bykov, V. Yu. (2013). Khmarna kompiuterno-tekhnologichna platforma vidkrytoi osvity ta vidpovidnyi rozvytok orhanizatsiino-tekhnologichnoi budovy IT-pidrozdiliv navchalnykh zakladiv. *Teoriia i praktyka upravlinnia sotsialnyimi systemamy*, (1), 81–98 [in Ukrainian].
40. Bykov, V. Yu. (2019). Tsyfrova transformatsiia suspilstva i rozvytok kompiuterno-tekhnologichnoi platformy osvity i nauky Ukrainy. In V. H. Kremen & O. I. Liashenko (Eds.), *Informatsiino-tsyfrovyi osvittii prostir Ukrainy: Transformatsiini protsesy i perspektyvy rozvytku* (pp. 20–26) [in Ukrainian].
41. Budnyk, O. B. (2016). Profesiina pidhotovka maibutnykh uchyteliv do sotsialno-pedahohichnoi diialnosti: Rezultaty eksperymentalnoho doslidzhennia. *Psykhologhiia i osobystist*, (1), 70–82 [in Ukrainian].
42. Kovalov, L. Ye., Medvedieva, M. O., & Poberezhets, I. I. (2021). Vykorystannia interaktyvnoho imitatora fizychnykh protsesiv STEP v osvitnomu protsesi u zakladakh vyshchoi osvity. *Fizyko-matematychna osvita*, 3(29), 68–73 [in Ukrainian].
43. Medvedieva, M. O., Zhmurko, O. I., Kryvoruchko, I. I., & Kovtaniuk, M. S. (2021). Elementy pidhotovky maibutnykh uchyteliv informatyky do zastosuvannia tekhnologii formuvannia computational thinking. *Fizyko-matematychna osvita*, 27(1), 67–75 [in Ukrainian].
44. Morze, N. V., & Kuzminska, O. H. (2011). Pedahohichni aspekty vykorystannia khmarnykh obchyslen. *Informatsiini tekhnologii v osviti*, (9), 20–29 [in Ukrainian].
45. Semerikov, S. O., Striuk, M. I., & Moiseienko, N. V. (2012). Mobilne navchannia: Istoryko-tekhnologichni vymir. In *Teoriia i praktyka orhanizatsii samostiinoi roboty studentiv vyshchykh navchalnykh zakladiv* (pp. 188–242) [in Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції 19.04.2026 р.

Прийнята до друку 20.05.2026 р.

Опубліковано 26.05.2026 р.