

ВИКОРИСТАННЯ СИМУЛЯЦІЙ ТА ВІРТУАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРІЙ У STEM-ОСВІТІ: ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ

Яценко Оксана Іванівна,
асистент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій

Чайка Микола Володимирович,
кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри хімії

Яценко Олександр Сергійович,
асистент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій
Житомирський державний університет імені Івана Франка, Україна

STEM-освіта є одним із пріоритетних напрямів модернізації освітніх систем в усьому світі, адже вона спрямована на формування в здобувачів освіти не лише предметних знань, а й ключових компетентностей ХХІ століття: критичного мислення, креативності, вміння працювати в команді, здатності застосовувати знання на практиці, розв'язувати складні проблеми та розвиток наукової грамотності. У Саме тому все більшого значення набуває необхідність практико-орієнтованого навчання та інтеграції теорії з експериментальною діяльністю.

Однак використання традиційних лабораторій в освітньому процесі стикається з низкою обмежень, таких як: висока вартість обладнання та витратних матеріалів, ризики для здоров'я та безпеки учасників (особливо під час роботи з хімічними речовинами, електричними установками високої напруги, біологічними об'єктами), недостатня доступність в сільських школах та коледжах, а також значними часовими витратами на підготовку й проведення експериментів. Ці проблеми загострилися під час пандемії COVID-19 та в умовах воєнного стану в Україні, коли багато закладів освіти були змушені переїздити чи переходити на дистанційну або змішану форми навчання.

У цьому контексті комп'ютерні симуляції та віртуальні лабораторії дають можливість частково або повністю компенсувати зазначені вище обмеження. Вони дозволяють моделювати реальні фізичні, хімічні, біологічні та інженерні процеси в безпечному цифровому середовищі, забезпечувати візуалізацію явищ на мікро- та макрорівнях, проводити експерименти з будь-якою кількістю повторень та в зручний для здобувача час.

Симуляції в освіті являють собою моделі реальності, які відображають реальну ситуацію, надають користувачу контроль над процесом та опускають несуттєві змінні [1], тобто це комп'ютерні моделі реальних або гіпотетичних систем, процесів чи явищ, що дозволяють користувачеві взаємодіяти з ними, змінювати параметри та спостерігати наслідки. Віртуальні лабораторії є різновидом симуляцій, що орієнтовані на відтворення лабораторних

експериментів з використанням віртуальних приладів, реагентів, зразків та процедур. Вони можуть бути реалізовані у форматі 2D-інтерфейсів (веб-сторінки з інтерактивними елементами), 3D-середовищ або іммерсивних технологій віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR). Симуляції ефективні для візуалізації абстрактних понять (електричні поля, молекулярна динаміка, статистичні розподіли), процесів, що відбуваються занадто швидко або повільно, а також небезпечних або дорогих експериментів.

Сучасна наукова література містить переконливі докази ефективності використання симуляцій та віртуальних лабораторій в освітньому процесі. Мета-аналіз проведений науковцями Li та Liang, виявив значний позитивний вплив віртуальних лабораторій на результати навчання. Найбільший вплив зафіксовано на мотивацію та залученість. За результатами проведеного огляду автори зробили висновок, що віртуальні лабораторії не можуть повністю замінити реальні практичні заняття але є ефективним допоміжним інструментом, особливо коли інтегровані з реальними лабораторними роботами [2].

У дослідження Л. Р. Шехтер та ін. [3] показало, що впровадження віртуальної лабораторії Labster у курси біології у вищій освіті призвело до покращення результатів тестів, зменшення на 34% частки студентів, які не склали курс або отримали низькі оцінки, а також до значного зростання ймовірності вибору студентами подальшої STEM-кар'єри та додаткових STEM-курсів, коли віртуальні лабораторії використовувалися перед реальними практикумами. Студенти відзначали зростання впевненості та почуття приналежності до наукової спільноти.

Дослідження проведене Д. Фадда та ін. [4] показало, що використання віртуальних та дистанційних лабораторій у старших класах забезпечує результати навчання, порівнянні з традиційними, а в деяких випадках – кращі, особливо коли віртуальні лабораторії інтегровані в традиційну освітню практику (наприклад, використовуються як підготовка до проведення реальних експериментів) та в поєднанні з належним рівнем зворотного зв'язку з вчителем, а ефект є найбільш вираженим при засвоєнні змістовних знань.

В Україні також накопичується позитивний досвід впровадження віртуальних лабораторій та симуляцій в освітній процес. Дослідження проведене в Луцькому національному технічному університеті щодо використання Labster у для вивчення хімії засвідчило підвищення зацікавленості здобувачів, персоніфікацію навчання, зростання впевненості під час виконання лабораторних робіт, покращення знань та підвищення рівня цифрових навичок студентів [5].

Дослідження А. С. Дрокіної демонструє успішне застосування цифрових інструментів і віртуальних лабораторій у початковій школі та акцентує увагу на тому, що «використання віртуальних лабораторій та симуляторів в освітньому процесі початкової школи дозволяє учням безпечно «зануритися» у наукове дослідження без жодних ризиків для їхнього здоров'я...» [6].

Аналіз наукових праць дозволяє виділити ряд переваг, що надають симуляції та віртуальні лабораторії. Головними, на нашу думку, є безпека та доступність. У віртуальному середовищі можна проводити експерименти з токсичними речовинами, високими температурами, радіоактивними матеріалами або генетично модифікованими організмами без будь-якого ризику для здобувачів та викладачів. Це особливо актуально для закладів освіти з обмеженим бюджетом або в умовах, коли реальне обладнання пошкоджене чи недоступне.

Не менш важливою є і можливість повторення експерименту необмежену кількість разів, зміна параметрів у широкому діапазоні та спостереження за результатами в реальному часі. Це сприяє формуванню наукового мислення: вчить висувати гіпотези, планувати «експеримент», аналізувати його результати та робити висновки. Результати досліджень засвідчують, що студенти, які використовували віртуальні лабораторії як pre-lab підготовку перед реальними практикумами, демонстрували кращу готовність, припускалися меншої кількості помилок та показували вищий рівень розуміння процедур [4].

Ще одна перевага – можливість візуалізації. Симуляції дозволяють «побачити» невидиме: рух електронів, зіткнення молекул, поширення електромагнітних хвиль, еволюцію популяцій у екосистемі тощо. Це значно полегшує розуміння абстрактних понять, що традиційно викликають труднощі в учнів (електрика, термодинаміка, генетика, квантова механіка) [7]. Крім того, технологія забезпечує інклюзію: студенти та учні з обмеженими можливостями пересування або сенсорними порушеннями можуть повноцінно брати участь у «лабораторній» роботі [8].

Не менш важливою є можливість міждисциплінарної інтеграції. Віртуальні лабораторії та симуляції дозволяють поєднувати знання з хімії, біології, анатомії, фізіології та цифрових технологій в єдину систему, сприяючи формуванню цілісного природничо-наукового світогляду та розвитку системного мислення, необхідного для успішної професійної діяльності в майбутньому [9].

Ще однією перевагою є те, що віртуальні лабораторії дешевші ніж обладнання для реальних лабораторій, не потребують витратних матеріалів та обслуговування.

Аналіз показує, що попри значні переваги, впровадження симуляцій та віртуальних лабораторій, як і цифрових технологій загалом, стикається з низкою викликів:

1. Не всі заклади освіти в Україні мають достатню кількість комп'ютерів, стабільний інтернет та технічну підтримку. Це особливо актуально для сільських шкіл та регіонів, що постраждали від воєнних дій.

2. Недостатня цифрова компетентність вчителів. Частина педагогів потребує цілеспрямованої методичної підготовки щодо добору, інтеграції та оцінювання навчання з використанням симуляцій.

3. Віртуальні лабораторії добре розвивають когнітивні здібності та процедурні знання, але не можуть замінити досвід роботи з реальним обладнанням, розвиток дрібної моторики та навички роботи в реальній

лабораторній команді. Тому оптимальною є модель, що поєднує «віртуальне» та «реальне» навчання [2, 4].

4. Не всі доступні симуляції адаптовані до української навчальної програми та мають україномовний інтерфейс.

5. Комерційні платформи потребують фінансових витрат після закінчення пілотних проєктів, а безкоштовні альтернативи мають недостатній рівень методичної підтримки.

На основі проведеного аналізу можна сформулювати такі рекомендації щодо впровадження симуляцій та віртуальних лабораторій в освітній процес:

1. Інтегрувати симуляції та віртуальні лабораторії в освітні стандарти та типові навчальні програми з STEM-дисциплін на рівні НУШ та вищої освіти як обов'язковий компонент практичної підготовки в комбінації з реальними лабораторними роботами.

2. Надавати пріоритет безкоштовним та відкритим ресурсам для забезпечення рівного доступу, одночасно розвиваючи державно-приватне партнерство для доступу до високоякісних комерційних платформ.

3. Організувати систему підвищення кваліфікації вчителів та викладачів STEM-дисциплін з питань цифрової дидактики, добору та інтеграції симуляцій (включно з методикою «віртуальне як pre-lab»).

4. Розвивати створення або адаптацію українських симуляцій та віртуальних лабораторій, що відповідають національним навчальним програмам та культурному контексту.

6. Забезпечити технічну інфраструктуру (комп'ютерні класи, інтернет, технічну підтримку) та механізми подолання цифрового розриву, особливо в постраждалих від війни регіонах.

Симуляції та віртуальні лабораторії є ефективним та перспективним інструментом STEM-освіти, що підтверджується результатами численних емпіричних досліджень. Вони забезпечують значний позитивний вплив на академічну успішність, мотивацію та залученість здобувачів освіти, дозволяють проводити безпечні, доступні та повторювані експерименти, візуалізувати складні процеси та знижувати бар'єри доступу до якісної практичної підготовки.

В умовах України технологія має особливе значення для забезпечення безперервності освіти, інклюзії та подолання наслідків воєнного стану. Максимальна ефективність досягається при комбінованому підході, коли віртуальні лабораторії використовуються як підготовка та доповнення до реальних практикумів, у поєднанні з якісним педагогічним дизайном та зворотним зв'язком викладача. Симуляції та віртуальні лабораторії не замінять повністю реальні лабораторії, але можуть стати потужним каталізатором якісних змін у STEM-освіті України.

Список літератури

1. Gredler M. E. Games and simulations and their relationships to learning. *Handbook of research on educational communications and technology* / ed. by D. H. Jonassen. 2004. P. 571–581.
2. Li J., Liang W. Effectiveness of virtual laboratory in engineering education: A meta-analysis. *PLOS ONE*. 2024. Vol. 19, no. 12. 23 p. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0316269> (date of access: 24.06.2026)
3. Schechter R. L., Chase P. A., Shivaram A. Virtual Lab Implementation Model Predicts STEM Future Plans: Insights from Contemporary Science Courses in Higher Education, Updated November 2023. LXD RESEARCH Labster, 2023. 15 p.
4. Fadda D., Salis C., Vivanet G. About the Efficacy of Virtual and Remote Laboratories in STEM Education in Secondary School: A Second-Order Systematic Review. *Journal of Educational, Cultural and Psychological Studies (ECPS Journal)*. 2022. No. 26. URL: <https://doi.org/10.7358/ecps-2022-026-fadd> (date of access: 24.06.2026).
5. Використання віртуальної лабораторії Labster для вивчення хімії в технічному університеті / О. Гулай та ін. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2024. Т. 102, № 4. С. 95–107. URL: <https://doi.org/10.33407/itlt.v102i4.5737> (дата звернення: 24.06.2026).
6. Дрокіна А. С. Використання цифрових технологій для реалізації STEM-освіти в професійній діяльності майбутнього учителя початкової школи. *Педагогічна академія: наукові записки*. 2024. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14585460> (дата звернення: 24.06.2026).
7. Banda H. J., Nzabahimana J. The Impact of Physics Education Technology (PhET) Interactive Simulation-Based Learning on Motivation and Academic Achievement Among Malawian Physics Students. *Journal of Science Education and Technology*. 2022. Vol. 32, P. 127–141. URL: <https://doi.org/10.1007/s10956-022-10010-3> (date of access: 24.06.2026).
8. Reeves S. M., Crippen K. J. Virtual Laboratories in Undergraduate Science and Engineering Courses: a Systematic Review, 2009–2019. *Journal of Science Education and Technology*. 2020. URL: <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09866-0> (date of access: 25.06.2026).
9. Використання 3D-візуалізації та віртуального експерименту у підготовці фахівців природничого профілю / М. В. Чайка та ін. *4 Міжнародна науково-практична конференція «Innovative Approaches in Modern Science and Technology»*. Лісабон, Португалія, 2026. С. 276–279. URL: <https://doi.org/10.70286/isu-24.06.2026> (дата звернення: 25.06.2026).