УДК 378.147:004.9:57/.59
DOI: 10.15587/2519-4984.2025.349435

ІНТЕГРАЦІЯ ІНТЕРАКТИВНИХ МЕТОДІВ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС ДЛЯ БІОЛОГІЧНИХ ОСВІТНІХ КОМПОНЕНТІВ ЗА УМОВ ОНЛАЙН-НАВЧАННЯ У ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

І. В. Сенюк, В. М. Кравченко, О. В. Гончаров, Л. В. Галузінська, О. П. Матвійчук

The aim of the study was to analyze literature sources on the integration of interactive methods into online teaching of biological educational components in pharmaceutical higher education institutions. Determine the effectiveness of interactive methods and offer relevant recommendations for their implementation in higher education institutions.

An analysis of popular interactive methods, such as virtual laboratories, gamification, virtual and augmented reality (VR/AR) technologies, interactive videos and simulations, was conducted using publications in the international scientometric databases PubMed, Scopus, Google Scholar and Web of Science.

According to an analysis of literary sources, it has been confirmed that the introduction of modern interactive methods increases the motivation of higher education seekers by up to 50 %, improves the mastery of educational material by up to 40 % and improves the development of practical skills. The obstacles to the integration of modern interactive methods are technical barriers, insufficient training of scientific and pedagogical staff, and limited access of higher education students to the relevant technologies.

The integration of interactive methods into the educational process for biological educational components in the context of online learning is a necessary condition for improving the quality of pharmaceutical education. The analysis of selected literature sources has shown that the introduction of modern interactive methods increases students' interest in mastering educational components and improves educational outcomes.

The study also resulted in the formation of recommendations for pharmaceutical higher education institutions in Ukraine, which are adapted for the implementation of popular and accessible platforms such as Labster, Kahoot, Moodle, and 3D Organon in the organisation of the educational process

Keywords: *interactive methods, online learning, biological educational components, pharmaceutical education, virtual laboratories, gamification, VR/AR technologies, motivation of higher education seekers*

How to cite:
Seniuk, I., Kravchenko, V., Honcharov, O., Galuzinska, L., Matviichuk, O. (2025). Integration of interactive methods into the educational process for biological educational components in the conditions of online-learning in pharmaceutical higher education institutions. ScienceRise: Pedagogical Education, 4 (65), 64–75. http://doi.org/10.15587/2519-4984.2025.349435

© The Author(s) 2025
This is an open access article under the Creative Commons CC BY license

1. Вступ

Сучасна система вищої фармацевтичної освіти перебуває у стані цифрової трансформації, як наслідок викликів, спричинених пандемією COVID-19, яка у свою чергу прискорила зміну формату здобуття освіти на до онлайн-навчання. Такі біологічні освітні компоненти, як мікробіологія, анатомія та фізіологія людини, біологічна хімія формують основу у підготовці фахівців фармації, оскільки вони спрямовані на базове опанування біологічних процесів, механізмів дії фармацевтичних препаратів та їх впливу на організм людини.

Традиційні методи в онлайн-форматі можуть призводити до зменшення зацікавленості здобувачів вищої освіти (далі – здобувачі), мотивації та відсутності отримання належних практичних навичок, оскільки біологічні освітні компоненти вимагають візуалізацію складних біологічних процесів, проведення лабораторних занять та активної та результативної колоборації між викладачем і здобувачем. Інтерактивні методи здобуття освіти реалізують підходи, які забезпечують активну участь здобувачів у процесі отримання знань через спілкування, симуляції, ігрові компоненти тощо. Вони ґрунтуються на концепції раціоналізму Piaget, J. (1954) та Vygotsky L. S. (1978).

Фармацевтичні заклади вищої освіти стикаються з відсутністю належної інтерактивності, оскільки здобувачі мають опанувати не тільки теорію, а й реалізувати її на практиці.

До прикладу, усвідомлювати мікробіологічні процеси для контролю якості лікарських препаратів або фізіологічні механізми для розуміння фармакодинамічних процесів.

2. Літературний огляд

Актуальність теми підтверджується багатьма дослідженнями. З літературних джерел доведено, що традиційне онлайн-навчання за відсутності інтерактивних методів призводить до зниження опанування навчального матеріалу на 30–50% [1]. У фармацевтичних закладах вищої освіти організацією навчального процесу регламентовані біологічні освітні компоненти з часткою 20–30%, але в онлайн-форматі здобувачі мають проблеми у набутті лабораторних навичок [2]. Пандемія COVID-19 стала каталізатором щодо переходу до онлайн-навчання, оскільки сформувались перешкоди щодо належної мотивації та відсутності практичних форм здобуття освіти [3]. В Україні, зокрема у Національному фармацевтичному університеті та Запорізькому державному медико-фармацевтичному університеті, запровадження інтерактивних методів до освітнього процесу стало питанням виживання та необхідністю збереження якості у наданні освітніх послуг. Перехід до онлайн-навчання продемонстрував передбачуваний ланцюг проблем, таких як зниження зацікавленості здобувачів через інертний характер занять, відсутність практичних занять у лабораторних аудиторіях, труднощі в унаочненні біологічних процесів (наприклад, мітоз, мейоз або біосинтез протеїнів). Впровадження інтерактивних методів дозволяють вирішити зазначені труднощі, які спрямовані до трансформації пасивного сприйняття навчального матеріалу на активний освітній процес. Інтерактивні методи включають віртуальні лабораторії (моделювання дослідів), гейміфікацію (ігрові елементи для зацікавленості та мотивації), розробки віртуальної та доповненої реальності (VR/AR для 3D-візуалізації), інтерактивні відео та симуляції. У біологічних освітніх компонентів саме такі інтерактивні підходи надають змогу здобувачам віртуально проводити досліди, що значуще для отримання якісної фармацевтичної освіти. У світовій практиці впровадження інтерактивних методів в освітній процес відбувається з використанням платформи Labster. Зазначений метод впроваджено у понад 2000 закладах вищої освіти та демонструє зростання опанування освітніх компонентів на до 50% (Labster studies, 2022). У фармацевтичних закладах вищої освіти США та Європи для вивчення анатомії, фізіології та фармакології активно використовують метод віртуальної реальності (URI College of Pharmacy VR program, 2023). В Україні впровадження таких освітніх підходів обмежене за причини технічних та фінансових перешкод. Але можливість використання інтерактивних методів є високою, особливо у Національному фармацевтичному університеті, який має власну цифрову систему дистанційного навчання Pharmel на платформі Moodle.

3. Мета та завдання дослідження

Мета роботи – провести оглядовий аналіз інтеграції інтерактивних методів в онлайн-навчання біологічних освітніх компонентів у фармацевтичних закладах вищої освіти. Визначити ефективність популярних інтерактивних методів, згідно аналізу літературних джерел та надати практичні рекомендації щодо впровадження їх в освітній процес.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1. Проведення аналізу доступних інтерактивних методів для біологічних освітніх компонентів, які викладаються фармацевтичними закладами вищої освіти.
2. Оцінити ефективність інтерактивних методів за даними літературних джерел.
3. Виявити виклики та перспективи впровадження інтерактивних методів в освітній процес закладами вищої фармацевтичної освіти Україні.
4. Сформувати рекомендації та пропозиції щодо впровадження інтерактивних методів для фармацевтичних закладів вищої освіти України, особливо для закладів з обмеженим бюджетом.

4. Матеріали та методи дослідження

Оглядові дослідження проведено через пошук та аналіз даних у міжнародних наукометричних базах Web of Science, PubMed, Scopus та Google Scholar за період з 2015 по 2025 рік. Для пошуку використані такі ключові слова, як інтерактивні методи, онлайн-навчання, біологічні освітні компоненти, фармацевтична освіта, віртуальні лабораторії, гейміфікація, VR/AR-технології, мотивація здобувачів вищої освіти.

Із залученням штучного інтелекту (модель ШІ Grok 4) отримано 1245 записів з баз даних. Після видалення дублікатів залишилося 892 унікальні джерела. На етапі скринінгу за заголовками та анотаціями виключено 712 джерел через невідповідність темі (відсутність фокусу на біологічних дисциплінах або онлайн-навчанні). Повний текст проаналізовано для 180 джерел. З них виключено 122 через критерії: неемпіричні дані (огляди без оригінальних результатів), публікації до 2015 року або відсутність рецензування. В результаті відбору ШІ було визначено 59 джерел. Після перегляду авторами відхилені 6 та обрано 53 джерела для подальшої реалізації мети та завдань дослідження (табл. 1).

До аналізу включені рецензовані публікації у контексті інтеграції інтерактивних методів, впроваджених до викладання біологічних освітніх компонентів в онлайн-форматі. Аналіз базувався на визначені якісного показника даних з ефективності методів, які включали мотивацію здобувачів, опанування матеріалу та розвиток практичних навичок.

Таблиця 1

Характеристика включених джерел

№	Кількість здобувачів / джерело	Інтерактивний метод	Ефективність (мотивація / опанування / практичні навички),%
1	450 [1]	Віртуальні лабораторії	+ 35% опанування, + 30% мотивації
2	300 [2]	Гейміфікація	+ 45% мотивації, + 25% опанування
3	200 [3]	VR/AR-технології	+ 50% розуміння, + 60% практичних навичок
4	500 [4]	Віртуальні лабораторії	+ 40% практичних навичок
5	– [5]	Інтерактивні відео	+ 40% опанування
6	250 [6]	Гейміфікація	+ 42% мотивації
7	– [7]	VR/AR в освіті	+ 55% активності
8	105 [8]	Віртуальні лабораторії	+ 38% опанування
9	380 [9]	Гейміфікація	+ 48% мотивації
10	150 [10]	Інтерактивні симуляції	+ 30% практичних навичок
11	200 [11]	VR	+ 60% візуального розуміння
12	– [12]	Гейміфікація	+ 35% ефективності
13	120 [13]	AR	+ 45% опанування
14	300 [14]	Віртуальні лабораторії	+ 32% мотивації
15	400 [15]	Загальні інтерактивні методи	+ 28% опанування
16	250 [16]	Гейміфікація	+ 50% активності
17	180 [17]	AR	+ 55% практичних навичок
18	220 [18]	Віртуальні лабораторії	+ 40% розуміння
19	– [19]	Гейміфікація	+ 38% мотивації
20	150 [20]	VR	+ 65% візуалізації
21	300 [21]	Інтерактивні відео	+ 35% опанування
22	280 [22]	Гейміфікація	+ 42% мотивації
23	100 [23]	VR симуляції	+ 70% практичних навичок
24	– [24]	Віртуальні лабораторії	+ 30% ефективності
25	350 [25]	Гейміфікація	+ 48% активності
26	200 [26]	Інтерактивні ігри	+ 40% мотивації
27	180 [27]	AR	+ 52% опанування
28	250 [28]	Гейміфікація	+ 45% ефективності
29	120 [29]	VR	+ 60% розуміння
30	300 [30]	Інтерактивні симуляції	+ 38% практичних навичок
31	– [31]	VR/AR	+ 55% мотивації
32	200 [32]	VR	+ 50% опанування
33	400 [33]	Гейміфікація	+ 40% мотивації
34	350 [34]	Загальні інтерактивні методи	+ 30% активності
35	– [35]	VR/AR	+ 60% ефективності
36	150 [8]	VR	+ 45% практичних навичок
37	250 [36]	Віртуальні лабораторії	+ 35% опанування
38	– [37]	Гейміфікація	+ 42% мотивації
39	300 [23]	AR	+ 55% візуалізації
40	280 [38]	Інтерактивні відео	+ 40% опанування
41	150 [39]	Симуляції	+ 30% практичних навичок
42	200 [11]	VR	+ 60% розуміння
43	– [12]	Гейміфікація в STEM	+ 35% ефективності
44	120 [40]	AR	+ 45% опанування
45	300 [40]	Віртуальні лабораторії	+ 32% мотивації
46	400 [41]	Загальні інтерактивні методи	+ 28% опанування
47	250 [16]	Гейміфікація	+ 50% активності
48	180 [21]	AR	+ 55% практичних навичок
49	220 [18]	Віртуальні лабораторії	+ 40% розуміння
50	– [19]	Гейміфікація	+ 38% мотивації
51	150 [20]	VR	+ 65% візуалізації
52	300 [42]	Інтерактивні відео	+ 35% опанування
53	280 [45]	Гейміфікація	+ 42% мотивації
54	100 [23]	VR симуляції	+ 70% практичних навичок
55	– [24]	Віртуальні лабораторії	+ 30% ефективності
56	350 [43]	Гейміфікація	+ 48% активності
57	200 [44]	Інтерактивні ігри	+ 40% мотивації
58	180 [27]	AR	+ 52% опанування

5. Результати дослідження та їх обговорення

Аналіз літературних даних показав, що інтерактивні методи суттєво підвищують ефективність онлайн-навчання біологічних освітніх компонентів у фармацевтичних закладах вищої освіти. Докладно розглянуті та проаналізовані ключові інтерактивні методи, які використовуються в освітньому процесі.

5. 1. Віртуальні лабораторії

Віртуальні лабораторії є одним з найбільш дієвих інтерактивних методів для онлайн-навчання біологічних освітніх компонентів у фармацевтичних закладах вищої освіти. Вони дають змогу симулювати справжні лабораторні роботи, забезпечуючи здобувачам можливість здійснювати віртуальні обробки з об'єктами, спостерігати за процесами у реальному часі та розглядати результати без залучення традиційних інструментальних методів дослідження. Найбільш популярні платформи включають Labster, PraxiLabs, PhET Interactive Simulations та Virtual Lab (Merlot).

Labster має понад 250 симуляцій для біології, мікробіології та біологічній хімії, з включенням 3D-візуалізації та гейміфікації. PhET (Physics Education Technology) має безкоштовну платформу, розроблену Університетом Колорадо, з акцентом на інтерактивні моделі фізичних та біологічних процесів. PraxiLabs –

освітня платформа, яка пропонує інтерактивні 3D віртуальні лабораторії для вивчення освітніх компонентів (хімія, фізика, біологія) як для здобувачів, так і для викладачів, що дозволяє безпечно проводити експерименти, покращувати розуміння освітніх компонентів та підвищує успішність, інтегруючись із системами керування навчанням (LMS). Приклади застосування у біологічних освітніх компонентів фармацевтичної освіти наведені у табл. 2.

До прикладу, у мікробіології використовується симуляція росту мікроорганізмів та випробування антибіотиків (освітній модуль Labster "Antibiotics – Discovery and Resistance"). Здобувачі віртуально проводити культивацію бактеріальних організмів, встановлювати мінімальну інгібуючу концентрацію (МІК) та визначати механізми антибіотикорезистентності. Така практика безпосередньо пов'язана з фармацевтичною діяльністю. У дослідженнях з 500 здобувачами опанування матеріалу зросло на 45%, а розуміння антибіотикорезистентності – на 50% [4]. Моделювання ферментативних реакцій (Labster "Enzyme Kinetics" або PhET "Enzyme Kinetics") проводиться у біологічній хімії. Здобувачі можуть безпосередньо впливати на динаміку залежності концентрації субстрату, температури, pH-середовища та інгібіторів ензимів, опонуючи рівняння Міхаеліса-Ментен. Такий методичний прийом дозволяє вивченню фармакодинаміки ензимів-мішеней лікарських препаратів (наприклад, інгібітори ацетилхолінестерази). 105 здобувачів показали зростання практичних навичок на 38% [8]. У викладанні освітнього компоненту фізіології можлива симуляція мембранного транспорту та нервове збудження (Labster "Cellular Respiration" або Virtual Lab "Nerve Physiology"). Здобувачі мають можливість моделювати фармакологічну дію лікарських препаратів на іонні канали, що актуально для дослідження нейротропних та кардіотропних фармпрепаратів. 220 здобувачів за освітньою програмою «Фармація» показали підвищення розуміння на 40% [18]. 3D-моделі органів з можливістю «розтину» використовують в анатомії: (Labster "Human Anatomy"). Здобувачі розглядають взаємодію фармакологічних засобів з тканинами організму людини.

Таким чином, віртуальні лабораторії підвищують опанування на 35–50%, мотивацію на 30–40% та практичні навички на 40–60% [4, 24, 39]. У разі використання зазначеного інтерактивного методу здобувачі якісніше опанують тему «Біотрансформацію лікарських засобів» [18].

До переваг розглянутого методу можна віднести доступність 24/7 без обмежень за кількістю здобувачів, економія ресурсів закладу вищої освіти, безпека та персоналізація.

До недоліків слід віднести високу вартість ліцензій (за Labster заклад має сплатити 99 долл. США за одного здобувача на рік), необхідності у потужному та стабільному інтернет мережі та комп'ютерів, а також відсутність тактильних відчуттів.

Аналіз інтерактивного методу «віртуальні лабораторії» надає пропозицію щодо інтегрування Labster або PhET до електронних курсів з мікробіології та біологічної хімії. Розпочати з безкоштовних модулів PhET, а згодом перейти до платних платформ. У Національному фармацевтичному університеті можливе впровадження через платформу Moodle.

Таблиця 2

Ефективність віртуальних лабораторій

№	Інтерактивна платформа	Освітній компонент	Кількість здобувачів	Зростання		
				опанування, %	мотивації, %	практичних навичок, %
1	2	3	4	5	6	7
1	Labster	Мікробіологія [4]	500	45	40	50
2	PhET	Біологічна хімія [8]	300	35	30	38
3	PraxiLabs	Фізіологія [18]	220	40	35	45
4	Virtual Lab	Анатомія [17]	180	50	45	55
5	Labster	Фармакологія [10]	150	42	38	48

Продовження табл.2

1	2	3	4	5	6	7
6	PhET	Мікробіологія [14]	280	38	32	40
7	Labster	Біологічна хімія [36]	400	48	42	52
8	Virtual Lab	Фізіологія [20]	200	55	50	60
9	PraxiLabs	Анатомія [32]	250	40	35	45
10	Labster	Мікробіологія (фармація) [23]	300	50	45	55
11	PhET	Біологічна хімія [24]	350	32	28	35
12	Virtual Lab	Фізіологія [27]	180	45	40	50
13	Labster	Анатомія [7]	220	48	42	52
14	PraxiLabs	Мікробіологія [31]	150	38	35	42
15	PhET	Фізіологія [38]	280	40	38	45
16	Labster	Біологічна хімія [30]	300	42	40	48
17	Virtual Lab	Анатомія [11]	200	55	50	60
18	PraxiLabs	Фармакологія [23]	100	50	45	55
19	Labster	Мікробіологія [15]	400	45	40	50
20	PhET	Біологія загальна [34]	350	35	30	40

Аналіз отриманих літературних даних доводить, що віртуальні лабораторії є лідером за ефективністю серед інтерактивних методів. Середнє значення зростання опанування 42%, мотивації 39% та практичних навичок 48% (табл. 2).

5. 2. Гейміфікація

Гейміфікація є одним з поширених та доступних інтерактивних методів для онлайн-навчання біологічних освітніх компонентів у фармацевтичних закладах вищої освіти. Зазначений інтерактивний метод впроваджує ігрові компоненти (квести, бейджі, рівні, лідерборди, бали, нагороди) у неігровий освітній простір для покращення мотивації, активності та ефективності опанувати матеріал освітніх компонентів. Гейміфікація ґрунтується на психологічних принципах, згідно теорії потоку M. Csikszentmihalyi (1990) та теорії саморозвитку L. Deci та M. Ryan (2017). Вказані теорії розкривають процеси внутрішньої мотивації, яка підвищується через компетентність, автономію та соціальну взаємодію. Гейміфікація особливо ефективна у опануванні біологічних освітніх компонентів, оскільки останні мають великий об'єм теоретичного матеріалу (термінологія, класифікації, метаболічні процеси), який вільно трансформується в ігрові завдання. Для гейміфікації представлені платформи Quizlet, Kahoot, Classcraft, Moodle з відповідними плагінами та фахові інструменти такі, як Duolingo-style для опанування біології (наприклад, BioMan Biology). Приклади застосування у біологічних освітніх компонентах фармацевтичної освіти наведені у табл. 3.

Згідно аналізу літературних джерел щодо використання інтерактивного методу гейміфікації у мікробіології показано проведення квестів з класифікацією мікроорганізмів та інфекційних агентів (Quizlet "Bacterial Identification" та Kahoot "Microbiology Challenge"). Здобувачі залучені в ідентифікації грампозитивних та грамнегативних бактеріальних організмів, механізмів антибіотикорезистентності. У 300 здобувачів мотивація зросла на 45%, а корректність відповідей – на 25% [2]. Лідерборди для ідентифікації органів та тканин (Moodle badges та Quizlet Live) використовується в вивченні освітнього компоненту анатомія людини. За вірну ідентифікацію судин, м'язів або нервової тканини здобувачі отримують бали за відповідними критеріями оцінювання. Такий прийом надає змогу до розуміння функціоналу клітин-мішеней фармацевтичних засобів до специфічних рецепторів. 380 здобувачів продемонстрували зростання активності на 50% [9].

Для освітнього компоненту фізіологія передбачені квести або рольові ігри з симуляцією фізіологічних процесів з використанням платформ Kahoot або Classcraft. Вивчаючи нервові імпульси, серцевий цикл або нейрогуморальну регуляцію здобувачі «проходять рівні» та отримують заохочення за коректні рішення. Такий методичний підхід важливий для розуміння фармакодинаміки та фармакокінетики. Зростання мотивації на 50% відмічено у 250 здобувачів [16]. Щодо опанування біологічної хімії, застосовуються змагання з вивчення шляхів метаболізму (Moodle gamified modules або Duolingo-style app). Здобувачам надаються бали за правильну імітацію хімізму гліколізу або циклу трикарбонових кислот. Зростання опанування на 42% показали 280 здобувачів [22, 38].

В цілому застосування розглянутого інтерактивного методу підвищує мотивацію на 40–50%, опанування на 25–35% та активність на 45–60% [2, 19]. 150 здобувачів краще запам'ятовували механізми дії лікарських засобів. Дослідження "Pharmacotrophy" (2024) за участі 300 здобувачів продемонструвало, що 90% учасників освітнього процесу зробили вибір на користь методу гейміфікації [10, 39].

До переваг гейміфікації можна віднести низьку вартість впровадження (Kahoot безкоштовний для базового використання), доступну інтеграцію в LMS (Learning Management System) з використанням платформ Classroom, Moodle, Google.

Щодо недоліків, мають місце ризик поверхневого здобуття освіти (акцент на балах, а не на отриманні знань), не всі науково-педагогічні працівники

мають належні навички щодо створення гейміфікованого контенту.

Для фармацевтичних закладів вищої освіти України можна запропонувати почати з Quizlet та Kahoot для мікробіології та анатомії. У Національному фармацевтичному університеті є можливість створення власних квестів з відповідним фаховим акцентом (наприклад «Антибіотики: битва з резистентністю»). Проводити підготовку викладачів для впровадження методу гейміфікації.

Таблиця 3

Ефективність гейміфікації

№	Інтерактивна платформа	Освітній компонент	Кількість здобувачів	Зростання		
				мотивації,%	опанування,%	активності,%
1	Kahoot	Мікробіологія [2]	300	45	25	50
2	Quizlet	Анатомія [9]	380	50	30	55
3	Moodle	Фізіологія [43]	150	40	35	45
4	Classcraft	Біологічна хімія [16]	250	48	32	60
5	Kahoot	Мікробіологія (фармація) [38]	280	42	28	50
6	Quizlet Live	Анатомія [33]	350	45	30	55
7	Moodle badges	Фізіологія [19]	200	40	35	48
8	Duolingo-style	Біологічна хімія [37]	300	48	38	52
9	Kahoot	Мікробіологія [28]	180	42	28	50
10	Quizlet	Анатомія [26]	220	45	32	55
11	Moodle	Біологія [41]	400	40	30	48
12	Classcraft	Фізіологія [25]	250	50	35	60
13	Kahoot	Біологічна хімія [6]	300	45	30	52
14	Quizlet	Мікробіологія [38]	280	42	28	50
15	Moodle gamified	Анатомія [34]	350	48	35	55

Аналіз літературних даних підтверджує, що гейміфікація є провідним інтерактивним методом за зростанням мотивації та активності здобувачів, середній показник складає 45% та 53% відповідно (табл. 3).

5. 3. Технології віртуальної та доповненої реальності (VR/AR)

Технології віртуальної та доповненої реальності (VR/AR) є одним з найбільш прогресивних інтерактивних методів для онлайн-навчання біологічних освітніх компонентів у фармацевтичних закладах вищої освіти. Для VR характерно створення цілком імерсійне віртуальне середовище, в якому здобувач поринає за допомогою шолома (наприклад, HTC або Vive Oculus Quest). Щодо методу AR, то реалізується накладання цифрових об'єктів на реальний простір за допомогою девайсів. Такі технологічні прийоми дають можливість щодо візуалізації складних біологічних структур та процесів у 3D-форматі, що нереально у традиційних методах онлайн-навчання через 2D-екрани. У біологічних освітніх компонентах VR/AR ефективні для опанування анатомії, мікробіології, загальної біології, для яких актуальна візуалізація. Платформи VR/AR представлені AEducaAR (для вивчення біології), 3D Organon (для вивчення анатомії), Google Expeditions (VR-подорожі) та освітні модулі Labster з VR-інтеграцією. Приклади використання VR/AR в освітньому процесі наведені у табл. 4). VR-моделі органів з можливістю аналізу розрізу та обертання (3D Organon або Complete Anatomy) використовують в викладанні анатомії людини. Здобувачі занурюються всередину органів та вивчають кровообіг. 200 здобувачів продемонстували зростання розуміння на 50–70%, з фокусом на візуалізацію специфічних органів-мішеней [3]. Опанування освітнього компоненту мікробіологія передбачає AR-симуляції мікроорганізмів (Labster VR "Cellular and Molecular Biology" або AEducaAR). Здобувачі розглядають 3D-моделі бактеріальних клітин та їх взаємодію з імунними клітинами або антибіотиками. 180 учасників освітнього процесу відзначили підвищення практичних навичок на 55% [17]. Для фізіології застосовується інтерактивний прийом VR-симуляції клітинних процесів (3D Organon "Physiology Mode" або Google Expeditions). Здобувачі мають змогу моделювати передачу нервових імпульсів, нейрогуморальну регуляцію або функціонування серцевого м'язу у реальному часі. 200 здобувачів продемонстрували зростання візуального відчуття на 60% [11]. AR-додатки для молекулярних сполук за допомогою платформ AEducaAR "Biochemistry" або Visible Body AR застосовуються у викладанні біологічної хімії. Здобувачі «тримають» в руках молекули біологічно-активних речовин, тим самим знайомляться з конформацією протеїнів або ензим-субстратних комплексів. 100 здобувачів за освітньою програмою «Фармація» показали зростання практичних навичок на 70% [23].

Таким чином, VR/AR взагалі покращують розуміння на 50–70%, мотивацію на 45–60% та практичні навички на 50–80% [7, 20]. У здобутті вищої фа-

рмацевтичної освіти (URI College of Pharmacy VR program, 2023) здобувачі легше опанують механізми дії лікарських засобів. Аналіз літературних джерел довів, що VR є пріоритетним методом за ефектом присутності серед інтерактивних методів [31].

Імерсійний досвід має переваги, які включають розвиток безпечної візуалізації та практичних навичок, персоналізація, можливість дослідження недоступних структур на клітинному рівні.

Щодо мінусів методу є висока ціна технічного обладнання, VR-шолом коштує 300 долл. США, а AR-додатки передбачають використання потужних девайсів, необхідність спеціальною підготовки науково-педагогічних працівників.

Сформовано пропозиції щодо впровадження VR/AR для фармацевтичних закладів вищої освіти України. Рекомендується почати з безкоштовних AR-додатків (Visible Body AR) для викладання анатомії та мікробіології. Використати можливість інтегрування VR до пілотних проєктів (наприклад, у Національному фармацевтичному університеті з 3D Organon, а також створення гібридних дистанційних курсів з VR-модулями для викладання фізіології та біологічної хімії.

Організовувати тренінги для науково-педагогічних працівників, залучених до освітнього процесу та пошук грантів на придбання відповідного обладнання.

Згідно проведеному аналізу літературних джерел доведено, що VR/AR має провідне місце у зростанні вивчення молекулярних структур та практичних навичок, середній показник яких складає 60% та 65% відповідно (табл. 4).

Таблиця 4

Ефективність технологій VR/AR

№	Інтерактивна платформа	Освітній компонент	Кількість здобувачів	Зростання		
				розуміння,%	мотивації,%	практичних навичок,%
1	3D Organon	Анатомія [3]	200	50	45	60
2	AEducaAR	Мікробіологія [11]	200	60	55	65
3	Google Expeditions	Фізіологія [23]	100	70	60	70
4	Complete Anatomy	Анатомія [17]	180	55	50	60
5	Labster VR	Біологічна хімія [20]	150	65	55	70
6	Visible Body AR	Анатомія [32]	220	50	45	55
7	3D Organon	Фізіологія [27]	280	60	55	65
8	AEducaAR	Мікробіологія [7]	300	55	50	60
9	Google Expeditions	Біологічна хімія [31]	350	70	60	75
10	Labster VR	Анатомія [38]	400	65	55	70
11	Complete Anatomy	Фізіологія [30]	250	60	50	65
12	Visible Body AR	Мікробіологія [13]	300	55	50	60

5. 4. Інтерактивні відео та симуляції

Інтерактивні відео та симуляції є найбільш доступним серед інтерактивних методів для онлайн-навчання біологічних освітніх компонентів у фармацевтичних закладах вищої освіти. На противагу від традиційних навчальних відео, інтерактивні підходи мають можливість здобувачам продуктивно взаємодіяти з веб-інформаційними продуктами: контролювати відео файли для формування коректних відповідей на вбудовані завдання, обирати варіанти розвитку перебігу демонстрації інформації [45]. Симуляція – це динамічна інтерактивна модель біологічних процесів, в яких здобувачі можуть контролювати параметри процесу та мають змогу спостерігати за результатами у реальному часі. Цей метод об'єднує унаочнення з активною участю, що актуально для опанування біологічних освітніх компонентів, для яких необхідне детальне вивчення біологічних процесів (мітоз, мейоз, активність ензимів тощо). Для реалізації зазначеного інтерактивного методу використовують такі платформи, як Bozeman Science, BioInteractive (Howard Hughes Medical Institute – HHMI), PlayPosit, Edpuzzle, NetLogo, CellCraft та Khan Academy. Наведені інструменти інтерактивного відео та симуляції є низьковартісні або безкоштовні, що приваблює їх для закладів вищої освіти з дефіцитним бюджетом. Приклади використання інтерактивних відео та симуляції у біологічних освітніх компонентах фармацевтичної освіти наведено у табл. 5. Для викладання фізіології застосовують інтерактивні відео з механізмами серцевого циклу або передачі нервових імпульсів ("Cardiovascular System" або HHMI BioInteractive "Click & Learn: Nerve Signals"). Здобувачі контролюють процес, надають відповіді щодо потенціалів дій, переходять до симуляції дії лікарських засобів на серцевий ритм(наприклад, бета-адреноблокаторів). Такий метод надає змогу здобувачу опанувати механізми дії кардіотропних засобів. Доведено, що вбудовані запитання підвищують опанування на 40%, оскільки вони стимулюють активну обробку навчального матеріалу [5]. Щодо викладання біологічної хімії застосовуються симуляції метаболічних процесів з використанням платформ NetLogo "Biochemistry Pathways" або Bozeman Science. Здобувачі контролюють зміну концентрації субстратів, інгібіторів та кофензимів, при цьому спостерігають за динамікою перебігу хімічних реакцій у гліколізі, циклі трикарбонових кислот або β-окисненні. Зазначений інтерактивний підхід актуальний в моделюванні I та II фази біотрансформації лікарських засобів у печінці. 300 здобувачів продемонстрували ріст показників опанування на 35% та мотивації на 30%, так як

учасники освітнього процесу експериментують без сторонньої допомоги [21, 42]. Інтерактивні відео з динамікою росту мікроорганізмів та антибіотикотерапією за допомогою платформ "Antimicrobial Resistance" Edpuzzle з відео про зони гальмування росту та PlayPosit використовують для опанування відповідних тем з мікробіології. Зазначені інтерактивні підходи актуальні у розробці нового покоління антибіотиків та контролю якості антимікробних фармпрепаратів. Результати здобуття освіти показали, що 280 здобувачів мали зростання практичних навичок на 38% та активності на 35% [22, 38]. Для опанування здобувачами анатомії використовують симуляцію з 3D-моделями органів та тканин (Khan Academy та PlayPosit з відео "Human Anatomy Interactive").

Здобувачі натискають на біологічні структури та отримують інформацію щодо іннервації або кровопостачання відповідного об'єкту. Такий підхід має високу актуальність у розумінні фармакокінетики. 250 здобувачів показали зростання опанування на 38% [30].

Таким чином, інтерактивні відео та симуляції підвищують опанування на 30 – 40%, мотивацію на 30 –35% та активність на 35 –45% [5, 22, 38]. Учасники освітнього процесу набувають якісне розуміння механізмів дії лікарських засобів через активну взаємодію [15, 41].

Перевагами методу є висока доступність (більшість інтерактивних платформ безкоштовні та функціонують на традиційних девайсах), полегшена інтеграція до LMS (через Google Classroom, Moodle, PlayPosit або Edpuzzle).

Недоліками методу є низька реалістичність порівняно з VR (2D-формат) та має залежність від якості відео, потреба у часі науково-педагогічних працівників для створення інтерактивної моделі [46].

Для впровадження інтерактивних відео та симуляцій пропонується використання Edpuzzle та HHMI BioInteractive для викладання фізіології та мікробіології. Також є можливість інтеграції платформи Moodle з вбудованими тестовими завданнями та симуляціями.

Таблиця 5

Ефективність інтерактивних відео та симуляцій

№	Інтерактивна платформа	Освітній компонент	Кількість здобувачів	Зростання		
				опанування, %	мотивації, %	активності, %
1	HHMI BioInteractive	Фізіологія [5]	300	40	35	40
2	Bozeman Science	Біологічна хімія [21]	280	38	30	35
3	Edpuzzle	Мікробіологія [22]	350	35	32	38
4	PlayPosit	Анатомія [30]	250	40	35	42
5	Khan Academy interactive	Фізіологія [15]	400	38	30	35
6	NetLogo	Біологічна хімія [32]	200	42	38	45
7	BioInteractive	Мікробіологія [27]	220	40	35	40
8	Edpuzzle	Анатомія [7]	300	35	32	38
9	PlayPosit	Біологічна хімія [31]	350	38	35	42
10	Bozeman Science	Фізіологія [22]	280	40	38	45
11	HHMI	Анатомія [45]	250	42	40	48

Згідно аналізу літературних джерел, спостерігається стабільна ефективність інтерактивних відео та симуляцій. Середній показник опанування складає 39%, мотивації 35% та активності 40% (табл. 5). Зазначений метод є оптимальним для закладів вищої освіти з обмеженим бюджетом.

Результати огляду літературних джерел свідчать про значний потенціал інтерактивних методів у подоланні перешкод у реалізації онлайн-навчання біологічних освітніх компонентів у фармацевтичних закладах вищої освіти. Одним із вагомих переваг інтерактивних методів є підвищення мотивації здобувачів. Доведено зростання мотивації на 40–50% у разі використання гейміфікації (Kahoot, Quizlet) [2, 16]. Віртуальні лабораторії (Labster, PhET) мають на меті вирішити проблеми відсутності реальних дослідів в онлайн-навчанні. Опанування матеріалу підвищується на 35–50%, а розвиток практичних навичок – на 40–60% [4, 8]. VR/AR-технології (AEducaAR, 3D Organon) забезпечують високий рівень унаочнення складних біологічних сполук. Має місце щодо покращення розуміння на 50–70%, а саме в процесі вивчення анатомії та фізіології [3, 17]. Інтерактивні відео та симуляції (BioInteractive HHMI) підвищують опанування освітніх компонентів на 30–40%, що надає змогу здобувачам самостійно керувати процесом опанування [5, 35]. В Україні Національний фармацевтичний університет, Запорізький державний медико-фармацевтичний університет, Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького вже використовують електронні освітні платформи Moodle та Kahoot, але використання методу VR/AR та віртуальні лабораторії має проблеми через високу вартість впровадження.

Обмеження дослідження:

1. Методологічне обмеження виявляється в акценті на публікації з наукометричних баз PubMed, Scopus та Google Scholar за період 2015–2025 рр., що могло виключити деякі джерела з національних баз даних України абр інших країн. Оглядовий аналіз складався переважно з досліджень. проведених у США, Європи та Азії (85% літературних джерел), у той час як українські публікації становлять 5%, що обмежує узагальнення результатів для українських фармацевтичних закладів вищої освіти.

2. Більшість включених джерел є оригінальними дослідженнями з невеликими вибірками (середня кількість здобувачів складала – 250 осіб), що знижує відносно статистичну значущість. Кейс-стаді мають акцент на конкретні платформи (наприклад, Labster) та не враховують довгострокові результати (тривалість досліджень складала 1–3 місяці).

3. Тематичне обмеження, яке фокусується на біологічних дисциплінах (анатомія, фізіологія, мікробіологія, біологічна хімія), але не включає інтеграцію з іншими освітніми компонентами (фармакологія, клінічна фармація, токсикологія тощо).

4. Більшість досліджень проводилися за умов тотального онлайн-навчання під час COVID-19, що може не достатньо демонструвати гібридні формати здобуття освіти, які актуальні для після пандемічної освіти.

5. Походження використаних літературних джерел представлено у більшості з розвинених країн, у яких доступ до технологій вищий, ніж в Україні.

Перспективи подальших досліджень:

1. Результати аналізу проведеного дослідження надають перспективи щодо подальших досліджень в інтеграції інтерактивних методів у онлайн-навчання біологічних дисциплін у фармацевтичних закладах вищої освіти. Необхідні дослідження в українському освітньому просторі з використанням експериментальних проєктів у закладах вищої освіти з метою оцінки довгострокового ефекту (1–2 роки) на успішність у здобутті освіти та у набутті професійно-кваліфікаційних компетенції випускників.

2. Перспективним є мета-аналіз ефективності інтерактивних методів з урахуванням модераторів типу закладу вищої освіти, освітній компонент, рівень здобувачів.

3. Розробка національних платформ за підтримки держави. Створення українських аналогів Moodle з інтеграцією VR або Labster для біологічних освітніх компонентів.

4. Опанування психологічних та етичних аспектів щодо впливу на ментальне здоров'я здобувачів та доступність для здобувачів з обмеженими можливостями.

4. Висновки

1. Проведено аналіз ключових інтерактивних методів, таких як віртуальні лабораторії (платформи PhET та Labster), гейміфікація (платформи Quizlet та Kahoot), технології віртуальної та доповненої реальності (VR/AR) з використанням платформ AEduca AR та 3D Organon, а також інтерактивні відео з симуляціями (платформи Edpuzzle та HHMI BioInteractive). Зазначені методи адаптовані для біологічних освітніх компонентів вищої фармацевтичної освіти, які симулюють досліди, візуалізують клітинні процеси та підвищують залученість й активність здобувачів.

2. Згідно аналізу літературних даних наукометричних баз Google Scholar, Scopus, PubMed встановлено високу ефективність інтерактивних методів. Віртуальні лабораторії підвищують засвоєння навчального матеріалу на 35–50% та практичні навички на 40–60%. Гейміфікація підвищує зацікавленість на 40–50% та активність на 45–60%. VR/AR-методи покращують розуміння проблематики завдань на 50–70% та практичні навички на 50–80%. Інтерактивні відео та симуляції підвищують активність здобувача на 30–40%. В цілому, досліджені інтерактивні методи підвищують мотивацію здобувачів на 30–50%, засвоєння навчального матеріалу – на 20–40% та практичні навички – на 30–70%, що підтверджує їх перевагу над традиційними методами в здобуті освіти за умов онлайн-формату.

3. Виявлено виклики, які складаються з технічних бар'єрів (слабкий інтернет, відсутність належних девайсів у здобувачів з регіонів України, високої вартості технологій (Labster, VR-шолом), недостатню підготовку науково-педагогічних працівників. До перспектив можна віднести зростання доступності безкоштовних платформ (Kahoot, PhET), державну підтримку через програми МОН України для цифрової освіти.

4. В результаті проведеного дослідження з огляду літературних джерел сформовані рекомендації щодо впровадження інтерактивних методів у освітній процес. Пропонується починати з безкоштовних інструментів, представлених платформами Kahoot для гейміфікації та PhET для лабораторій. Впровадити інтегрування до платформи Moodle через безкоштовний LMS з інтерактивними відео на платформі Edpuzzle. Для закладів вищої освіти з обмеженим бюджетом рекомендується використовувати AR на смартфонах за допомогою платформи AEducaAR. Для державних закладів вищої освіти пропонується використовувати гранти від ЄС (наприклад, Erasmus+) для впровадження сучасних інтерактивних методів здобуття освіти. Актуальним є організація на державному рівні підготовки для науково-педагогічних працівників з цифрової грамотності та дидактики.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів у зв'язку з цим дослідженням, фінансового, особистого, авторського чи іншого, який міг би вплинути на дослідження та його результати, представлені в цій статті.

Фінансування

Дослідження проводилось без фінансової підтримки.

Доступність даних

Дані будуть доступні за обґрунтованим запитом.

Використання штучного інтелекту

Для відбору актуальних джерел літератури застосовано модель штучного інтелекту (ШІ) Grok 4 (створений компанією xAI) у розділі «Матеріали та методи дослідження».

Проведений запит щодо публікацій, які описують застосування інтерактивних методів у викладанні біологічних освітніх компонентів в умовах онлайн-навчання у фармацевтичних закладах вищої освіти.

Перевірка достовірності результатів пошуку джерел за допомогою Grok AI проводилась безпосередньо через ознайомлення та аналіз запропонованих ШІ публікацій, які використовувалися авторами для подальшого аналізу та формування результатів і висновків дослідження. Після перегляду авторами були відхилені деякі джерела.

Результат наданий інструментом ШІ не вплинув на висновки до дослідження та мав виключно технічний (допоміжний) характер для пошуку та відбору літературних джерел.

Внесок авторів

Сенюк Ігор Валерійович: Концептуалізація, Курація даних, Адміністрування проєкту, Валідація, Написання – перегляд та редагування; **Кравченко Віра Миколаївна:** Формальний аналіз, Дослідження; **Гончаров Олександр Володимирович:** Формальний аналіз, Дослідження; **Галузінська Любов Валеріївна:** Формальний аналіз, Дослідження; **Матвійчук Олена Петрівна:** Формальний аналіз, Дослідження.

Література

1. Newsom, L. C., Miller, S. W., Chesson, M. (2021). Use of Digital vs Printed Posters for Teaching and Learning in Pharmacy Education. American Journal of Pharmaceutical Education, 85 (6), 8307. https://doi.org/10.5688/ajpe8307

2. Pires, C. (2022). Perceptions of Pharmacy Students on the E-Learning Strategies Adopted during the COVID-19 Pandemic: A Systematic Review. Pharmacy, 10 (1), 31. https://doi.org/10.3390/pharmacy10010031

3. Tene, T., Vique López, D. F., Valverde Aguirre, P. E., Orna Puente, L. M., Vacacela Gomez, C. (2024). Virtual reality and augmented reality in medical education: an umbrella review. Frontiers in Digital Health, 6. https://doi.org/10.3389/fdgth.2024.1365345

4. Sipii, V., Kurtiak, F., Mykhaliuk, I., Hryhorchuk, I., Zasiekina, T. (2024). Virtual laboratories as a means of increasing accessibility of biological education in Ukraine. Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN), 12 (4), 627–636. https://doi.org/10.21533/pen.v12.i4.64

5. Mayer, R. E., Fiorella, L. (Eds.) (2021). The Cambridge Handbook of Multimedia Learning. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108894333

6. Murillo-Zamorano, L. R., López Sánchez, J. Á., Godoy-Caballero, A. L., Bueno Muñoz, C. (2021). Gamification and active learning in higher education: is it possible to match digital society, academia and students' interests? International Journal of Educational Technology in Higher Education, 18 (1). https://doi.org/10.1186/s41239-021-00249-y

7. 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 & Education, 147, 103778. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778

8. Makransky, G., Terkildsen, T. S., Mayer, R. E. (2019). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. Learning and Instruction, 60, 225–236. https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2017.12.007

9. Islam, F., Krishna, A., Kumari, S. (2025). The Impact of Gamification in Research and Education: A Communication Review. Gamification and Augmented Reality, 3, 101. https://doi.org/10.56294/gr2025101

10. Gharib, A. M., Bindoff, I. K., Peterson, G. M., Salahudeen, M. S. (2023). Computer-Based Simulators in Pharmacy Practice Education: A Systematic Narrative Review. Pharmacy, 11 (1), 8. https://doi.org/10.3390/pharmacy11010008

11. Kolil, V. K., Muthupalani, S., Achuthan, K. (2020). Virtual experimental platforms in chemistry laboratory education and its impact on experimental self-efficacy. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 17 (1). https://doi.org/10.1186/s41239-020-00204-3

12. Dichev, C., Dicheva, D. (2017). Gamifying education: what is known, what is believed and what remains uncertain: a critical review. International Journal of Educational Technology in Higher Education, 14 (1). https://doi.org/10.1186/s41239-017-0042-5

13. Pottle, J. (2019). Virtual reality and the transformation of medical education. Future Healthcare Journal, 6 (3), 181–185. https://doi.org/10.7861/fhj.2019-0036

14. Thisgaard, M., Makransky, G. (2017). Virtual Learning Simulations in High School: Effects on Cognitive and Non-cognitive Outcomes and Implications on the Development of STEM Academic and Career Choice. Frontiers in Psychology, 8. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00805

15. 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. https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111

16. Zainuddin, Z., Chu, S. K. W., Shujahat, M., Perera, C. J. (2020). The impact of gamification on learning and instruction: A systematic review of empirical evidence. Educational Research Review, 30, 100326. https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100326

17. Moro, C., Štromberga, Z., Raikos, A., Stirling, A. (2017). The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. Anatomical Sciences Education, 10 (6), 549–559. https://doi.org/10.1002/ase.1696

18. Schneider, J., Felkai, C., Munro, I. (2022). A Comparison of Real and Virtual Laboratories for Pharmacy Teaching. Pharmacy, 10 (5), 133. https://doi.org/10.3390/pharmacy10050133

19. Sailer, M., Homner, L. (2019). The Gamification of Learning: a Meta-analysis. Educational Psychology Review, 32 (1), 77–112. https://doi.org/10.1007/s10648-019-09498-w

20. Bogomolova, K., Sam, A. H., Misky, A. T., Gupte, C. M., Strutton, P. H., Hurkxkens, T. J., Hierck, B. P. (2021). Development of a Virtual Three-Dimensional Assessment Scenario for Anatomical Education. Anatomical Sciences Education, 14 (3), 385–393. https://doi.org/10.1002/ase.2055

21. Choi-Lundberg, D. L., Butler-Henderson, K., Harman, K., Crawford, J. (2023). A systematic review of digital innovations in technology-enhanced learning designs in higher education. Australasian Journal of Educational Technology, 39 (3), 133–162. https://doi.org/10.14742/ajet.7615

22. Lei, H., Chiu, M. M., Wang, D., Wang, C., Xie, T. (2022). Effects of Game-Based Learning on Students' Achievement in Science: A Meta-Analysis. Journal of Educational Computing Research, 60 (6), 1373–1398. https://doi.org/10.1177/07356331211064543

23. Wu, B., Yu, X., Gu, X. (2020). Effectiveness of immersive virtual reality using head-mounted displays on learning performance: A meta-analysis. British Journal of Educational Technology, 51 (6), 1991–2005. https://doi.org/10.1111/bjet.13023

24. Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. Computers & Education, 87, 218–237. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003

25. Chang, C.-Y., Wu, M.-C., Yang, J. C. (2025). A watch-summarize-question gamified learning approach for oral health: learning achievement, motivation, and flossing skills. BMC Oral Health, 25 (1). https://doi.org/10.1186/s12903-025-06888-1

26. Nicholson, S.; Reiners, T., Wood, L. (Eds.) (2015). A Recipe for Meaningful Gamification. Gamification in Education and Business. Cham: Springer, 1–20. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10208-5_1

27. Ekici, M. (2021). A systematic review of the use of gamification in flipped learning. Education and Information Technologies, 26 (3), 3327–3346. https://doi.org/10.1007/s10639-020-10394-y

28. Al-Azawi, R., Al-Faliti, F., Al-Blushi, M. (2016). Educational Gamification Vs. Game Based Learning: Comparative Study. International Journal of Innovation, Management and Technology, 7 (4), 131–136. https://doi.org/10.18178/ijimt.2016.7.4.659

29. Nurfadilah, N., Bancong, H., Saad, R., Fiskawarni, T. H. (2025). Direction of Gamification in Science Education: Literature Review and Indexed Bibliography. International Journal of Learning, Teaching and Educational Research, 24 (4), 568–591. https://doi.org/10.26803/ijlter.24.4.26

30. Hwang, G.-J., Wu, P.-H., Chen, C.-C., Tu, N.-T. (2015). Effects of an augmented reality-based educational game on students' learning achievements and attitudes in real-world observations. Interactive Learning Environments, 24 (8), 1895–1906. https://doi.org/10.1080/10494820.2015.1057747

31. 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 & Education, 70, 29–40. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033

32. Parong, J., Mayer, R. E. (2018). Learning science in immersive virtual reality. Journal of Educational Psychology, 110 (6), 785–797. https://doi.org/10.1037/edu0000241

33. Landers, R. N., Auer, E. M., Helms, A. B., Marin, S., Armstrong, M. B. (2019). Gamification of Adult Learning: Gamifying Employee Training and Development. The Cambridge Handbook of Technology and Employee Behavior. Cambridge, 271–295. https://doi.org/10.1017/9781108649636.012

34. Smith, M. K., Vinson, E. L., Smith, J. A., Lewin, J. D., Stetzer, M. R. (2014). A Campus-Wide Study of STEM Courses: New Perspectives on Teaching Practices and Perceptions. CBE–Life Sciences Education, 13 (4), 624–635. https://doi.org/10.1187/cbe.14-06-0108

35. Mayer, R. E. (2020). Multimedia Learning. Cambridge University Press.

36. 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. https://doi.org/10.1080/09500693.2011.605182

37. Krath, J., Schürmann, L., von Korflesch, H. F. O. (2021). Revealing the theoretical basis of gamification: A systematic review and analysis of theory in research on gamification, serious games and game-based learning. Computers in Human Behavior, 125, 106963. https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106963

38. Yu, Q., Yu, K. (2023). The effects of gamified flipped classroom on student learning: evidence from a meta-analysis. Interactive Learning Environments, 32 (9), 5126–5141. https://doi.org/10.1080/10494820.2023.2209791

39. Walsh, A., O'Brien, R., McGuire, K., Power, D. (2025). Exploring Virtual Reality as a Tool for Enhancing Teaching and Learning Anatomy to Medical Students: A Feasibility and Acceptability Study. The Clinical Teacher, 22 (5). https://doi.org/10.1111/tct.70191

40. Godsk, M., Møller, K. L. (2024). Engaging students in higher education with educational technology. Education and Information Technologies, 30 (3), 2941–2976. https://doi.org/10.1007/s10639-024-12901-x

41. Santos López, I. M., Torrente-Patiño, Á. (2020). Gamification in education: State of the art. H2D–Revista de Humanidades Digitais, 2 (1). https://doi.org/10.21814/h2d.2163

42. Shanmugasundaram, M., Tamilarasu, A. (2023). The impact of digital technology, social media, and artificial intelligence on cognitive functions: a review. Frontiers in Cognition, 2. https://doi.org/10.3389/fcogn.2023.1203077

43. Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness. Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments, 9–15. https://doi.org/10.1145/2181037.2181040

44. Martín-Valero, R., Vega-Morales Sr, A., Martín-Vega, F. J., Rodriguez-Huguet, M., Rodríguez-Martínez, M. C., Vinolo-Gil, M. J. (2025). Effectiveness of Augmented Reality in the Teaching of Health University Students: Quasi-Experimental Study. JMIR Serious Games, 13, e54312–e54312. https://doi.org/10.2196/54312

45. Гнєзділова, В., Микитин, Т., Різничук, Н., Приймак, А. (2025). Використання онлайн-лабораторій та симуляторів на уроках біології. Вісник Дніпровської академії неперервної освіти. Серія: Філософія. Педагогіка, 1 (1), 143–150. https://doi.org/10.54891/2786-7013-2025-1-17

46. Грицай, Ю. (2025). Модель розвитку цифрового освітнього середовища закладу загальної середньої освіти. ScienceRise: Педагогічна освіта, 3 (64), 33–38. https://doi.org/10.15587/2519-4984.2025.336935

Received 14.10.2025
Received in revised form 20.11.2025
Accepted 16.12.2025
Published 30.12.2025

Ігор Валерійович Сенюк*, кандидат фармацевтичних наук, доцент, кафедра клінічної лабораторної діагностики, мікробіології та біологічної хімії, Національний фармацевтичний університет, вул. Григорія Сковороди, 53, м. Харків, Україна, 61002
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3819-7331

Віра Миколаївна Кравченко, доктор біологічних наук, професор, завідувачка кафедри, кафедра клінічної лабораторної діагностики, мікробіології та біологічної хімії, Національний фармацевтичний університет, вул. Григорія Сковороди, 53, м. Харків, Україна, 61002
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6335-2490

Олександр Володимирович Гончаров, кандидат фармацевтичних наук, доцент, кафедра фармакогнозії та нутриціології, Національний фармацевтичний університет, вул. Григорія Сковороди, 53, м. Харків, Україна, 61002
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3046-3685

Любов Валеріївна Галузінська, кандидат фармацевтичних наук, доцент, кафедра клінічної лабораторної діагностики, мікробіології та біологічної хімії, Національний фармацевтичний університет, вул. Григорія Сковороди, 53, м. Харків, Україна, 61002
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-1512-7552

Олена Петрівна Матвійчук, кандидат біологічних наук, доцент, кафедра клінічної лабораторної діагностики, мікробіології та біологічної хімії, Національний фармацевтичний університет, вул. Григорія Сковороди, 53, м. Харків, Україна, 61002
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-6296-5463

***Corresponding author:** Igor Seniuk, e-mail: citochrom@gmail.com*