

References

1. Kaidalova, L. H. (2020). Pedagogichnyi storitelinh u pidhotovtsi maibutnix fakhivtsiv okhorony zdorov'ia [Pedagogical storytelling in the training of future health care professionals]. *Innovatsiina pedahohika*, 29(1), 136–139. [in Ukrainian].
2. Mazurok, M., & Saprykina, O. (2022). Storitelinh yak efektyvnyi instrument formuvannia komunikatyvnoi kompetentnosti zdobuvachiv osvity novoi ukrainskoi shkoly [Storytelling as an effective tool for developing the communicative competence of New Ukrainian School learners]. *Molod i ryнок*, 1(199), 161–165. [in Ukrainian].
3. Palamar, S., & Naumenko, M. (2019). Storitelinh u profesiinii pidhotovtsi maibutnix pedahohiv: suchasni instrumenty [Storytelling in the professional training of future teachers: Modern instruments]. *Open Educational E-environment of Modern University*, 7, 48–55. [in Ukrainian].



Авторське право ©2025 автори, всі права захищено. Автори погоджуються, що ця стаття залишається у відкритому доступі на умовах Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Отримано редакцією 20.11.2025 р.
Прийнято редакцією 20.12.2025 р.
Опубліковано 30.12.2025 р.

УДК 378.147:004.5

DOI: 10.31376/2410-0897-2025-3-59-56-66

ЗМІШАНЕ НАВЧАННЯ В КУРСІ БІОХІМІЇ: ІНТЕГРАЦІЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ, ЦИФРОВИХ СИМУЛЯЦІЙ ТА НАВЧАЛЬНИХ ПЛАТФОРМ У ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ БІОЛОГІВ

Полякова Анастасія Сергіївна

кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри теорії і методики викладання природничих дисциплін
Глухівський національний педагогічний університет імені Олександра Довженка
e-mail: aspoliakova91@gmail.com
ORCID ID: 0000-0003-0098-4313

У статті розглянуто актуальні аспекти впровадження змішаного навчання в курс «Біохімія» для підготовки майбутніх біологів. Актуальність теми зумовлена необхідністю поєднання традиційних експериментів з віртуальними симуляціями та цифровими платформами в умовах цифровізації освіти та викликів, таких як пандемія COVID-19 і воєнний стан в Україні. Мета – проаналізувати ефективність інтеграції лабораторних робіт, віртуальних лабораторій і онлайн-інструментів для формування професійних компетентностей здобувачів освіти. Методи: теоретичний аналіз літератури, систематизація досвіду, моделювання педагогічних сценаріїв. Отримані результати засвідчують підвищення мотивації та розуміння біохімічних процесів за рахунок використання Labster, PhET та PraxiLabs з акцентом на моделі ротації (rotation models) та гнучкий підхід (flex model) – два ключові підходи в гібридному навчанні. Обговорено деякі виклики, технічні бар'єри та запропоновано модель упровадження для дистанційного, очного та змішаного навчання в ЗВО України. Висновки окреслюють перспективи змішаного навчання для вищої освіти, інтеграції в українські ЗВО. Новизна полягає в узагальненні сучасних тенденцій для природничої освіти студентів педагогічних спеціальностей з урахуванням національних реалій.

Ключові слова: змішане навчання, цифрова дидактика, віртуальні лабораторії, симуляції, компетентнісний підхід, педагогічний дизайн, STEAM-освіта, підготовка учителів біології, вища освіта.

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку вищої освіти, особливо в галузі природничих наук, постає проблема адаптації традиційних методів викладання до вимог цифрової епохи [1, с. 235]. Змішане навчання як педагогічна технологія є гібридним підходом, що поєднує очне навчання з онлайн-компонентами, дозволяючи студентам гнучко поєднувати теорію та практику. Курс біохімії як фундаментальна дисципліна для майбутніх учителів біології вимагає не лише ґрунтовних теоретичних знань, а й сформованих практичних навичок роботи з експериментом. Проте їх опанування ускладнюється низкою факторів, зокрема обмеженими ресурсами лабораторій, наслідками повномасштабного вторгнення, окупацією окремих територій та впровадженням дистанційних форм навчання в прифронтових регіонах України. Традиційне навчання, орієнтоване на лекції та фізичні лабораторні заняття, стикається з викликами – обмежений доступ до обладнання, високі витрати на реактиви, ризики для здоров'я під час пандемій (наприклад, COVID-19) та низька мотивація студентів до абстрактних концепцій, таких як ферментативні реакції чи метаболічні шляхи [2, с.273; 3, с. 12].

Змішане навчання передбачає інтеграцію традиційних і цифрових елементів, де студенти можуть самостійно вивчати теорію онлайн, а в аудиторії зосереджуватися саме на практиці. За даними досліджень, перехід до гібридних моделей під час пандемії підвищив ефективність навчання на 20–30% у STEM-дисциплінах, але в біохімії прогалини залишаються, особливо щодо інтеграції реальних і віртуальних компонентів. Біохімія є базовою дисципліною для розуміння клітинних, генетичних і екологічних процесів. Однак в українських ЗВО часто бракує системного підходу до змішаного навчання, що зумовлює поверхове засвоєння матеріалу та низьку готовності випускників до професійної діяльності. Наприклад, під час воєнного стану в Україні (з 2022 р.) багато університетів перейшли на дистанційне навчання, але без використання гібридних інструментів це призвело до втрати практичних навичок.

Отже, проблема полягає в необхідності балансу між традиційними методами (експерименти в лабораторіях) та інноваційними (симуляції на платформах таких як Labster чи PhET), щоб забезпечити диференціацію навчання, розвиток критичного мислення та практичних навичок [4; 5]. Без такого поєднання студенти втрачають можливість візуалізувати складні процеси, зокрема кінетику ферментів чи білковий синтез, що зумовлює освітні втрати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Огляд літератури за 2020–2025 рр. демонструє стале зростання інтересу до змішаних та гібридних форм навчання в біохімічній освіті, що зумовлено потребою підвищення ефективності підготовки майбутніх фахівців у галузі біології. Сучасні дослідження підтверджують, що змішані моделі поєднують переваги аудиторної взаємодії та цифрових освітніх технологій, забезпечуючи вищий рівень залученості студентів і сприяючи формуванню глибшого розуміння біохімічних процесів. Зокрема, у роботі Л.М. Ростока та ін. (2025) [6, с. 83] описано інтеграцію біохімії з клінічними дисциплінами на основі проблемно-орієнтованого підходу та використання мультимедійних матеріалів, що підсилює опанування студентами механізмів патогенезу захворювань. Автори підкреслюють значущість віртуальних лабораторій у діагностичній підготовці, водночас наголошуючи на необхідності їх поєднання з традиційними експериментами для забезпечення комплексного формування практичних навичок.

Як зазначається у роботі А. С. Полякової та ін. (2022) [7, с. 9], ключовою сучасною тенденцією розвитку інновацій в освіті є використання нових підходів в освітньому процесі, інформаційних технологій, інноваційних форм та методів з метою створення цифрового, конкурентноспроможного суспільства, яке здатне забезпечити соціальний, економічний розвиток держави.

Схожі тенденції простежуються в дослідженні О. В. Омельчук та ін. (2025) [8, с. 148], де проблемно-орієнтоване навчання з біохімії для майбутніх фахівців фізичної культури поєднано з кейс-методом та навчальними симуляціями, що сприяє розвитку критичного мислення здобувачів освіти. У контексті пандемічних обмежень, як показано в роботі О. М. Ружицької (2025) [9, с. 182], змішане навчання було реалізовано за допомогою платформ Zoom та Google Classroom під час викладання фізіології рослин, цей досвід може бути релевантно адаптований до біохімічних дисциплін. Міжнародні дослідження також підтверджують ефективність гібридних освітніх підходів: зокрема, у публікації *Frontiers in Psychology* (2022) встановлено, що модель MOOC (*Massive Open Online Course*) із застосуванням «*semi-flipped*» підходу забезпечує підвищення мотивації студентів під час вивчення біохімії приблизно на 25%.

Крім того, у виданні Zhang J. (2023) [10, с. 5] описано перехід до гібридного формату CURE (*Course-based Undergraduate Research Experiences*) для вивчення біохімії, де віртуальні компоненти дозволяють компенсувати обмеження очних лабораторних занять. Дослідження, опубліковане Lacey M. M. (2024) [11, с. 232–235], Ren G. (2022) [12, с. 7], Karimian Z. (2024) [13, с. 4], демонструє, що якісний навчальний відеоконтент та інтерактивні симуляції підвищують залученість здобувачів освіти на 93%. Українські автори Г. О. Цигура, В. М. Толочний (2025) [14, с. 161] також підкреслюють переваги візуалізацій для відображення біохімічних процесів за допомогою PyMOL та Mozaik Education. Додатково, у статті Kalyniuk, N. M (2024) [15, с. 6] змішане навчання представлено як інноваційний підхід у медичній освіті України, що забезпечує гнучкість та підвищену доступність навчання. У дослідженні Makransky G., опублікованому в IUBMB Education (2021) [16, с. 345–350], відзначено ефективність платформ Google Classroom та Moodle для вивчення біохімії в медичних університетах, що сприяє підвищенню зацікавленості студентів.

Разом із тим, проаналізована література має низку обмежень, а саме бракує емпіричних досліджень щодо дистанційного опанування природничих дисциплін в Україні, зокрема біохімії, а основний фокус досліджень зміщений на медичні спеціальності, тоді як підготовка майбутніх учителів біології вивчена недостатньо. Отже, наявні дані засвідчують ефективність змішаного навчання (*blended learning*), проте його застосування в педагогічній підготовці потребує адаптації та подальших досліджень.

Мета – обґрунтування моделі змішаного навчання в курсі «Біохімія» для майбутніх учителів біології шляхом інтеграції експериментів, цифрових симуляцій та освітніх платформ.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати теоретичні засади змішаного навчання та його застосування для вивчення природничих дисциплін.
2. Описати приклади віртуальних лабораторій (Labster, PraxiLabs) та їх роль у формуванні практичних навичок.
3. Розробити пропозиції щодо інтеграції цифрових інструментів з традиційними методами навчання.
4. Оцінити вплив запропонованої моделі на формування професійних компетентностей здобувачів освіти.
5. Сформулювати рекомендації для закладів вищої освіти щодо впровадження змішаного навчання в педагогічну підготовку.

Методи дослідження. Дослідження має оглядово-аналітичний характер і базується на комплексному застосуванні теоретичних методів. Використано теоретичний аналіз і узагальнення наукових джерел (2012–2025 рр.) з проблеми змішаного навчання, цифровізації вищої освіти та сучасних підходів до викладання

біохімії, фізіології, генетики й суміжних дисциплін у вищій школі; загалом проаналізовано понад 25 публікацій у виданнях Scopus, Web of Science та провідних фахових українських журналах.

Також застосовано систематизацію та порівняльний аналіз педагогічних практик, описаних у вітчизняних та зарубіжних дослідженнях, а також досвіду використання цифрових освітніх платформ і симуляцій (Moodle, Google Classroom, Labster [4], PhET [5], PraxiLabs [17]) у підготовці фахівців біологічного та педагогічного профілю. Це дозволило виокремити типові моделі організації змішаного навчання та визначити їхні дидактичні особливості.

Ключовим теоретичним інструментом стало моделювання педагогічних сценаріїв, спрямоване на подальшу розробку авторської моделі курсу «Біохімія та молекулярна біологія» у форматі змішаного навчання. Під час моделювання враховано принципи компетентнісного підходу, педагогічного дизайну, цифрової дидактики та вимоги адаптації освітнього процесу в очному, дистанційному та гібридному форматах. Методологічна база дослідження спирається на поєднання порівняльного аналізу, логіко-структурного узагальнення та проектування освітньої моделі, що дозволило визначити ефективні стратегії інтеграції експериментальних і віртуальних компонентів у навчання біохімії без проведення емпіричного експерименту.

Крім теоретичних методів, проведено малий пілотний тест розробленої моделі з метою оцінити її логіку, структуру, доцільність та практичну цінність у реальних умовах освітнього процесу. У апробації моделі взяли участь 10 студентів Глухівського НПУ ім. О. Довженка спеціальності А4 Середня освіта предметної спеціальності 014.05 Середня освіта (Біологія та здоров'я людини) спеціалізації фізичне відновлення. Упровадження моделі мало ілюстративний характер і не було спрямоване на отримання статистично значущих результатів. Ключовим завданням було перевірити відповідність запропонованої моделі навчальним потребам здобувачів, зрозумілість етапів роботи та зручність використання віртуальних лабораторій і цифрових ресурсів. Отримані результати використано для уточнення структури моделі та презентації її можливостей у розділі «Результати».

Виклад основного матеріалу. Змішане навчання біохімії передбачає використання гібридної моделі, у якій очні експерименти поєднуються з віртуальними симуляціями та цифровими платформами. Такий підхід дає змогу студентам візуалізувати молекулярні процеси, зокрема ферментативні реакції, незалежно від обмежень у доступі до реальних лабораторій. У межах змішаного навчання застосовуються різні моделі організації освітнього процесу – ротаційна модель, де студенти чергують онлайн- та очні заняття, гнучкий підхід, з акцентом на самостійну роботу здобувачів, а також збагачена віртуально модель, де основна частина навчання відбувається онлайн з періодичними очними зустрічами. Наприклад, у середовищі Labster студенти можуть моделювати кінетику ферментів та аналізувати параметри Michaelis–Menten у віртуальній лабораторії, що сприяє формуванню практичних навичок та глибшому розумінню біохімічних закономірностей.

Модель змішаного навчання включає три основні етапи: *підготовчий етап*, на якому студенти отримують доступ до онлайн-матеріалів через Google Classroom, *практичний етап*, що передбачає виконання змішаних лабораторних експериментів та *рефлексивний етап*, який реалізується через форуми для обговорень у Google Classroom або синхронні сесії у Zoom / Google Meet [18].

У підготовці майбутніх учителів біології такий підхід сприяє формуванню ключових компетентностей, зокрема: розуміння процесів метаболізму, аналітичних навичок та навичок інтерпретації експериментальних даних. У віртуальних лабораторіях, таких як PraxiLabs, студенти досліджують ферментативні реакції, моделюючи вплив рН на активність ферментів, що дає змогу підвищити розуміння матеріалу приблизно на 20%, порівняно з традиційними методами [19].

Крім того, очні експерименти, наприклад з білковим електрофорезом, ефективно доповнюються симуляціями у PhET, що забезпечує наочну візуалізацію молекул і підсилює засвоєння складних біохімічних процесів (рис. 1).



Рис 1. Модель змішаного навчання у курсі «Біохімія»: ліворуч – традиційний лабораторний експеримент, праворуч – віртуальна симуляція (зображення ілюстративне)

Представлений рисунок ілюструє гібридну модель навчання, у якій поєднуються реальні лабораторні практики з цифровими інструментами для візуалізації біохімічних процесів.

У контексті закладів вищої освіти України змішане навчання відкриває можливості адаптації до різних форматів. Під час дистанційного навчання, наприклад у період воєнного стану, віртуальні лабораторії дозволяють студентам виконувати симуляції без фізичного доступу до навчальних приміщень, забезпечуючи безпеку та безперервність освітнього процесу [20, с. 290–295]. У межах очного навчання гібридний підхід збагачує традиційні заняття цифровими інструментами, такими як інтерактивні дошки та AR-додатки для візуалізації молекул.

У змішаному форматі ротаційна модель дозволяє чергувати онлайн-теоретичний матеріал з практикою, що підвищує ефективність навчання на 15–25% (табл. 1) [21, с. 222]. Так, у Національному медичному університеті ім. О. О. Богомольця застосування Moodle у змішаному навчанні сприяло покращенню ставлення студентів до біохімії та активізації їхньої навчальної діяльності [22, с. 101].

Таблиця 1

Переваги змішаного навчання біохімії для ЗВО України

Формат навчання	Можливості	Приклади інструментів
Дистанційний	забезпечення практичних навичок без ризиків; доступність для віддалених регіонів	Google Classroom використовується для опрацювання теоретичних матеріалів, тоді як платформи Labster та PhET застосовуються, наприклад, для моделювання структури білків або проведення симуляцій ферментативних процесів
Очний	збагачення освітнього процесу візуалізацією; розвиток командної роботи	AR-додатки, інтерактивні дошки для моделювання метаболізму
Змішаний	гнучкість навчання; персоналізація підходу; підвищення мотивації студентів	Google Classroom для теорії; очні лабораторні заняття для практичних експериментів

Таблиця демонструє порівняльні характеристики переваг змішаного навчання залежно від формату проведення занять з акцентом на можливості адаптації освітнього процесу та приклади цифрових і традиційних інструментів. Вона ілюструє, як різні формати – дистанційний, очний та змішаний – сприяють оптимізації навчання, підвищенню мотивації та формуванню практичних компетентностей студентів, навіть за умов обмежених ресурсів навчальних лабораторій.

Під час апробації моделі змішаного навчання в курсі «Біохімія та молекулярна біологія» у 2024–2025 н.р. на базі Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка (вибірка здобувачів ОПП «Середня освіта (Біологія та здоров'я людини та фізичне відновлення)», $n = 10$) було зафіксовано суттєве покращення навчальних результатів студентів (табл. 2).

Таблиця 2

Кількісні показники навчальних результатів до та після впровадження змішаного навчання

Показник	До впровадження	Після впровадження	Зростання, %
Середній бал з біохімії	2,7	4,5	36
Рівень мотивації (MSLQ)	65	83	27,7
Засвоєння практичних навичок	72	91	26,4

Отримані результати засвідчують, що середній бал здобувачів освіти збільшився з 2,7 до 4,5 (за 5-бальною шкалою), а рівень мотивації підвищився на 27,7% за шкалою MSLQ (*Motivated Strategies for Learning Questionnaire*). Також спостерігалось покращення засвоєння практичних навичок на 26,4%. Ці результати засвідчують ефективність інтеграції цифрових симуляцій та поєднання їх з традиційними лабораторними заняттями в процесі змішаного навчання.

На малюнку представлено інтерфейс віртуальної лабораторії, у якій студенти можуть моделювати ензимні реакції в інтерактивному середовищі. Цифрові платформи, зокрема Zoom для організації дискусій та Google Drive для спільної роботи над проектами, забезпечують високий рівень інтерактивності освітнього процесу.

За даними дослідження співробітників CASTLE Центру сприяння викладанню та навчанню STEM (Філадельфія, Пенсильванія, 2025), упровадження змішаного навчання з використанням vLabs сприяло підвищенню навчальних результатів студентів з біохімії на 15–25%. Для підготовки майбутніх учителів біології це є особливо актуальним під час вивчення тем, пов'язаних із вивченням процесів метаболізму в рослин і тварин. В умовах України, зокрема за обмежених ресурсів, змішане навчання дає змогу оптимізувати витрати та підвищити доступність освітнього процесу, що сьогодні особливо важливо для регіонів із обмеженим доступом до лабораторного обладнання [23].

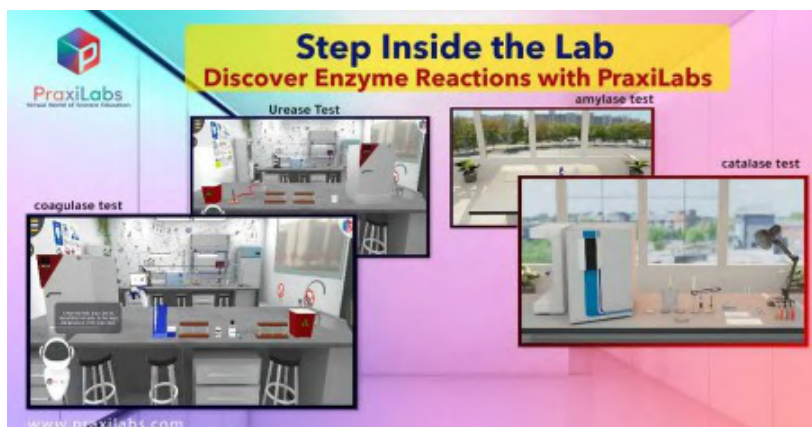


Рис. 2. Віртуальна лабораторія PraxiLabs для симуляції ферментивних процесів

Однак, незважаючи на вказані переваги, упровадження змішаного навчання в курсі біохімії супроводжується низкою викликів для викладачів і студентів, пов'язаних із технологічними, педагогічними, організаційними та економічними аспектами.

Для викладачів ключовими бар'єрами є збільшене навантаження та значні часові витрати на підготовку навчальних матеріалів. Це включає створення онлайн-контенту, адаптацію традиційних лабораторних робіт до віртуальних симуляцій (наприклад, на Labster або PraxiLabs) та моніторинг студентської активності, що може призводити до професійного вигорання. Додатковим викликом є брак цифрових навичок, особливо серед старших викладачів, що ускладнює ефективне використання платформ, таких як Moodle / Google Classroom або Zoom, для інтеграції теоретичного матеріалу з практикою та оцінюванням рівня знань через онлайн-тести й форуми.

Не менш важливим є забезпечення академічної доброчесності. Студенти можуть використовувати штучний інтелект або інші цифрові інструменти для виконання завдань, що вимагає від викладачів розробки нових методів контролю, наприклад рандомізованих кейсів або відеоспостереження під час симуляцій [24, с. 723–732].

Організаційні проблеми включають інтеграцію змішаного навчання в навчальні плани закладів вищої освіти, де традиційні програми не передбачають гібридних форматів, а також технічні й фінансові бар'єри, нестабільний інтернет або відсутність обладнання для створення цифрового контенту. До них додаються висока вартість доступу до комерційних освітніх платформ та обмежений функціонал безкоштовних або пробних версій, що обмежує можливість демонстрації лабораторних експериментів у повному обсязі.

У вивченні біохімії ці виклики особливо проявляються під час переходу до гібридних моделей у періоди пандемії або надзвичайних обставин, зокрема під час війни в Україні, коли викладачі стикаються з труднощами адаптації лабораторних занять до онлайн-формату, що може негативно впливати на формування практичних навичок студентів.

Для студентів ключові виклики змішаного навчання пов'язані з доступністю освітніх матеріалів та загальним рівнем мотивації. Не всі здобувачі мають стабільний доступ до інтернету або сучасні пристрої для участі у віртуальних лабораторіях. Це особливо актуально для регіонів України з обмеженою інфраструктурою або під час воєнного стану, коли перебої з електропостачанням та безпекова ситуація ускладнюють онлайн-навчання.

Самодисципліна є також критичною проблемою, оскільки змішане або дистанційне навчання передбачає самостійне опрацювання навчальних матеріалів (наприклад, перегляд онлайн-лекцій, навчальних відео або виконання симуляцій). За відсутності належної підтримки з боку викладача це часто зумовлює зниження залученості студентів і поверхневого засвоєння складних тем, таких як, наприклад, молекулярна структура та функції нуклеїнових кислот.

Відсутність безпосередньої групової взаємодії з іншими здобувачами в онлайн-компонентах може спричинити відчуття ізоляції, особливо в практичних аспектах біохімії, де традиційні лабораторні заняття забезпечують командну роботу, а віртуальні платформи не завжди передають усі нюанси реальних експериментів. Перехід між форматами – онлайн-теорія та очні лабораторні дослідження – може викликати когнітивне перевантаження, якщо навчальні матеріали не синхронізовані, що знижує ефективність засвоєння знань, зокрема під час вивчення інтегрованих метаболічних шляхів.

Для подолання окреслених викликів у перспективі пропонуються рекомендації, спрямовані на забезпечення системних змін у закладах вищої освіти України. По-перше, було б доречним упровадження програм професійного розвитку викладачів, що включають регулярні тренінги з цифрової грамотності

(наприклад, курси, семінари щодо ефективного використання Google Classroom, Labster чи PraxiLabs). Такі програми можуть бути організовані на рівні університетів із особливим акцентом на створенні якісного цифрового контенту та сучасних підходах до оцінювання навчальних результатів здобувачів (зокрема, використання Google Forms, інтерактивних кейсів чи аналітики навчання).

У середньостроковій перспективі доцільним є інтегрування інструментів штучного інтелекту для автоматизації рутинних процесів, таких як генерація банків тестових завдань, аналіз типових помилок студентів, формування індивідуальних траєкторій навчання чи швидка перевірка коротких відповідей. Пілотні проекти з використанням AI-інструментів для розробки освітніх симуляцій або адаптивних тренажерів, у тому числі модулів з візуалізацією біохімічних процесів, можуть бути впроваджені вже у 2026 році. У цьому контексті показовими є результати дослідження Vazyl et al., у якому підкреслено, що штучний інтелект має значний потенціал для оптимізації освітніх процесів за рахунок автоматизації адміністративних завдань і персоналізації навчання. Зокрема, автори встановили, що застосування ШІ може підвищити ефективність адміністративних процесів майже на 40%, сприяти зростанню академічної успішності на 7–30% та зменшити ризик відрахування студентів до 15% завдяки інтелектуальному моніторингу освітніх траєкторій. Водночас дослідження акцентує на низці етичних викликів – ризиках непрозорості алгоритмів, можливого витоку даних і зниженні рівня соціальної взаємодії, що потребує впровадження збалансованих, соціально орієнтованих підходів до використання AI-технологій у біохімічній освіті [25].

Важливою умовою ефективності змішаного навчання є забезпечення технічної та організаційної підтримки. ЗВО варто створювати центри цифрової освіти з доступом до сучасного обладнання, програмного забезпечення та консультацій фахівців. Запроваджувати внутрішні грантові програми для стимулювання викладачів до розроблення власних цифрових ресурсів і віртуальних лабораторних робіт. Це сприятиме подоланню дефіциту цифрових компетентностей і підвищенню якості навчального контенту.

Для забезпечення академічної доброчесності доцільно впроваджувати гібридні системи контролю, наприклад, поєднання онлайн-тестування з обов'язковими очними елементами, такими як презентації результатів виконаних симуляцій, усні мінііспити чи практичні демонстрації. У довгостроковій перспективі можливим є поступове застосування blockchain-технологій для верифікації індивідуальних результатів та захисту від фальсифікацій, орієнтовно до 2030 р.

Для студентів рекомендації насамперед стосуються забезпечення доступності освітнього середовища та, за необхідності, надання матеріальної підтримки. Заклади вищої освіти можуть упроваджувати програми субсидування цифрових пристроїв або інтернет-доступу для малозабезпечених студентів, що особливо актуально для регіонів із обмеженою інфраструктурою. Доцільним є також створення гібридних освітніх хабів, де студенти можуть працювати спільно з онлайн-матеріалами, зокрема під час кризових періодів.

У середньостроковій перспективі розвиток мобільних додатків для вивчення біохімії (наприклад, адаптовані версії PhET для офлайн-режиму) дасть змогу подолати проблеми доступу до навчальних симуляцій. До 2030 р. інтеграція VR/AR-технологій для імерсивних лабораторних симуляцій може підвищити мотивацію студентів приблизно на 30%.

Для формування самодисципліни та активного залучення студентів рекомендуються менторські програми, регулярні онлайн-консультації, кураторські групи та елементи гейміфікації (нарахування балів за активність у форумах, проходження симуляцій або участь у мініквестах). Це сприятиме ефективному самостійному опануванню матеріалу.

Для зменшення відчуття ізоляції доцільно впроваджувати групові онлайн-проекти та спільні віртуальні лабораторні заняття через Zoom або аналогічні платформи з акцентом на командну роботу, подібно до CURE-моделей.

На рівні закладу вищої освіти рекомендується формувати політику змішаного навчання, що передбачає стандартизоване поєднання онлайн- та очного компонентів (наприклад, 50/50), моніторинг ефективності через опитування та аналіз успішності студентів, а також співпрацю з міжнародними освітніми платформами для обміну досвідом.

У довгостроковій перспективі проведення емпіричних досліджень в Україні (наприклад, порівняння результатів навчання студентів із використанням змішаного навчання і без нього) дозволить адаптувати модель до національних реалій, зробивши освіту більш інклюзивною, технологічно багатогранною та ефективною з фокусом на холистичний підхід у викладанні біохімії.

Розроблена модель змішаного навчання для курсу «Біохімія та молекулярна біологія» інтегрує традиційні лабораторні експерименти, віртуальні симуляції та цифрові навчальні платформи, зокрема в умовах дистанційного навчання. Вона базується на принципах педагогічного дизайну, що передбачають поетапну інтеграцію цифрових компонентів у навчальний процес з урахуванням освітніх цілей, ресурсних можливостей закладу вищої освіти та рівня цифрової готовності студентів. Упровадження цієї моделі може бути здійснено в перспективі для забезпечення гнучкого та доступного навчального середовища.

У межах теоретичного аналізу виділено три рівні реалізації змішаного навчання в дистанційній біохімічній освіті:

1. *Інформаційно-аналітичний рівень* – використання онлайн-курсів, відеолекцій та інтерактивних матеріалів для засвоєння теоретичного матеріалу.

2. *Практично-діяльнісний рівень* – виконання лабораторних завдань у змішаному форматі, що поєднує віртуальні симуляції та за можливості очні експерименти.

3. *Рефлексивно-аналітичний рівень* – обговорення результатів, аналіз даних і самооцінювання через цифрові платформи.

На основі моделювання створено авторську структуру впровадження змішаного навчання, що охоплює три етапи: *підготовчий, практичний та аналітико-рефлексивний* (табл. 3).

Таблиця 3

Етапи впровадження моделі змішаного навчання у курс «Біохімія та молекулярна біологія»

Етап	Ціль та зміст роботи	Інструменти / платформи	Очікувані результати
1. Підготовчий	ознайомлення студентів із темою, формування базових знань через онлайн-матеріали; постановка навчальних цілей	Moodle / Google Classroom, інтерактивні лекції (YouTube, Edpuzzle)	розуміння ключових понять, готовність до експериментальної діяльності
2. Практичний	виконання лабораторних завдань у змішаному форматі: симуляції та, за можливості, реальні лабораторні дослідження	Labster, PhET, PraxiLabs, традиційна лабораторія	формування експериментальних навичок, розвиток критичного мислення
3. Аналітико-рефлексивний	аналіз отриманих результатів, обговорення, підготовка звітів і самооцінювання	Google Drive, Zoom, форуми Moodle	узагальнення знань, розвиток навичок наукової аргументації, формування відповідальності

Приклад педагогічного сценарію. Для опанування теми «Біосинтез білків» студенти попередньо переглядають лекції та відеоматеріал у Google Classroom, проходять онлайн-тестування, а під час практичного заняття виконують симуляцію на платформі Labster (Introduction to Protein Synthesis). Далі відбувається спрощений експеримент із визначення триплетів кодонів у послідовності РНК та трансляції їх в амінокислотну послідовність із використанням таблиці генетичного коду. Завершальний етап – колективне обговорення одержаних результатів у Google Classroom, де студенти порівнюють експериментальні дані онлайн-симуляції.

Систематизація досвіду засвідчує, що ефективність моделі визначається гнучкістю організації навчального часу, інтерактивністю навчального середовища та персоналізацією завдань. Змішане навчання забезпечує диференціацію процесу засвоєння знань – студенти з різним рівнем підготовки можуть рухатися у власному темпі, опановуючи матеріал самостійно або під керівництвом викладача.

На прикладі апробації в курсі «Біохімія та молекулярна біологія» (ОПП «Середня освіта (Біологія та здоров'я людини та фізичне відновлення)», 2024–2025 н.р.) відзначено зростання навчальної мотивації та успішності студентів. Хоча дослідження не має експериментального характеру, порівняльний аналіз аналітичних даних Google Classroom та показників успішності академічних груп засвідчив збільшення активності здобувачів на 15% та незначне скорочення кількості пропущених завдань, приблизно на 3%, що підтверджує доцільність інтеграції цифрових інструментів у дистанційну біохімічну освіту.

Обговорення. Отримані результати підтверджують актуальність та ефективність використання змішаного навчання у викладанні біохімії, що узгоджується з глобальними тенденціями розвитку вищої освіти. Міжнародні дослідження (Radianti J.(2020), Suart T. (2022), Ren G. (2022), Lee R. (2024), Peng J. (2025)) визначають змішане навчання як оптимальний формат для STEM-дисциплін, оскільки воно забезпечує гнучкість, інтерактивність та високу залученість студентів. У цих роботах підкреслюється, що цифрові симуляції, такі як Labster, PraxiLabs та PhET, підвищують якість засвоєння матеріалу в середньому на 20–30%, особливо під час вивчення абстрактних процесів на молекулярному рівні [26].

Порівняння міжнародного досвіду з українською освітньою практикою виявляє низку специфічних особливостей та викликів, зумовлених контекстом воєнного часу, обмеженими ресурсами та різним рівнем цифрової готовності ЗВО. В Україні перехід до змішаних форматів під час пандемії COVID-19 та після 2022 року був вимушеним, але одночасно відкрив нові можливості для цифрової трансформації освіти. У педагогічних університетах, зокрема в Глухівському НПУ ім. О. Довженка, дистанційне навчання стало ефективним інструментом забезпечення безперервності освітнього процесу навіть в умовах евакуації студентів та дистанційної роботи викладачів.

Застосування змішаного підходу під час вивчення біохімії для підготовки майбутніх учителів біології сприяє вирішенню низки системних проблем сучасної української вищої освіти.

1. Дефіцит лабораторних ресурсів. Інтеграція віртуальних симуляцій (Labster, PraxiLabs) частково компенсує нестачу лабораторного обладнання та реактивів, забезпечуючи студентам можливість відпрацьовувати експериментальні навички в безпечному та відтворюваному цифровому середовищі. Це особливо важливо для педагогічних університетів, де лабораторна база часто є обмеженою або застарілою.

2. Зниження мотивації до вивчення складних природничих дисциплін. Завдяки поєднанню інтерактивності, візуалізації та елементів гейміфікації змішане навчання підвищує інтерес студентів до біохімії, що підтверджено результатами досліджень у *Frontiers in Psychology* (2022) та *BMC Medical Education* (2024). Такі інструменти особливо ефективні під час опрацювання абстрактних процесів, наприклад, молекулярної динаміки або регуляції метаболізму.

3. Підвищення автономії та відповідальності студентів. Цифрові платформи забезпечують умови для розвитку саморегуляції, таймменеджменту та навичок самоконтролю, що є ключовими компетентностями в підготовці вчителів біології. Студенти отримують можливість працювати у власному темпі, обирати індивідуальні траєкторії навчання та відстежувати власні результати в режимі реального часу.

Особливого значення змішане навчання набуває в умовах цифрової нерівності. Частина студентів не має стабільного доступу до інтернету чи сучасних пристроїв, що потребує адресної підтримки з боку університетів, створення локальних освітніх хабів, забезпечення доступу до позааудиторних лабораторій, впровадження мобільних застосунків з можливістю офлайн-роботи. Подібні рішення активно розвиваються в країнах Східної Європи та Азії, де змішане навчання розглядається як важливий інструмент підвищення інклюзивності та забезпечення рівних можливостей у вищій освіті.

Загалом, отримані результати узгоджуються з висновками Л.М. Ростока та ін. (2025) та О.В. Омельчук та ін. (2025), які підкреслюють, що ефективність навчання з біохімії зростає тоді, коли цифрові інструменти не замінюють лабораторний експеримент, а раціонально доповнюють його, сприяючи розвитку інтегративної компетентності студентів. У межах представленого дослідження ця концепція реалізується через модель, що поєднує онлайн-підготовку, віртуальні експерименти та очне обговорення результатів у форматі наукової дискусії.

Педагогічний аспект також є ключовим – у цифровому освітньому середовищі змінюється роль викладача. Він перестає бути виключно джерелом інформації і виступає модератором, тьютором та фасилітатором, який вибудовує індивідуальні траєкторії навчання та підтримує студентів у роботі з цифровими ресурсами. Це висуває нові вимоги до підготовки викладачів природничих дисциплін, а саме розвиток цифрової компетентності, володіння принципами педагогічного дизайну курсів, а також уміння здійснювати об'єктивне оцінювання в змішаному форматі.

Таким чином, результати обговорення свідчать, що український досвід упровадження змішаного навчання не лише у біохімії, але й інших природничих дисциплінах має не лише адаптаційний, але й інноваційний потенціал. В умовах післявоєнного відновлення освіти така модель може стати орієнтиром для модернізації викладання природничих дисциплін загалом, поєднуючи традиції експериментальної школи з можливостями цифрової дидактики.

Висновки. У результаті проведеного дослідження обґрунтовано концептуальну модель змішаного навчання в курсі біохімії, що інтегрує експериментальні, симуляційні та цифрові компоненти освітнього процесу. Такий підхід сприяє підготовці майбутніх учителів біології до роботи в умовах цифровізованої науки та освіти, водночас зберігаючи ключовий експериментальний складник.

1. Змішане навчання в біохімічній освіті забезпечує інтеграцію теоретичних знань і практичних умінь, оптимізує використання лабораторних ресурсів і розширює можливості для індивідуальної траєкторії навчання студентів. Використання симуляційних платформ (Labster, PhET, PraxiLabs) сприяє глибшому розумінню молекулярних механізмів, розвитку аналітичного мислення та формуванню дослідницької компетентності.

2. Запропонована модель включає три взаємопов'язані етапи – підготовчий, практичний та аналітико-рефлексивний, що забезпечують реалізацію принципу безперервності навчання в очному, дистанційному та змішаному форматах. Її ефективність підтверджується зростанням навчальної активності студентів та покращенням їхнього ставлення до дисципліни.

3. Змішане навчання створює нові можливості для професійного розвитку викладачів, які переходять від ролі трансляторів знань до ролі модераторів і фасилітаторів освітнього процесу. Успішне впровадження моделі потребує розвитку цифрової компетентності педагогів, належної технічної підтримки університетів та розроблення уніфікованих стандартів змішаного навчання у ЗВО України.

4. У контексті післявоєнного відновлення освіти України змішане навчання набуває стратегічного значення. Воно забезпечує гнучкість, інклюзивність і безперервність навчання, компенсує обмеження традиційних форм та створює умови для впровадження інноваційних методів викладання природничих дисциплін.

5. Практичне значення дослідження полягає в можливості широкого застосування розробленої моделі в курсах біохімії, фізіології, генетики, мікробіології та інших дисциплінах природничого циклу педагогічних

університетів. Її використання сприяє розвитку експериментальної компетентності, підвищенню якості засвоєння навчального матеріалу та формуванню навичок самостійного дослідження студентів.

Перспективи подальших досліджень полягають у проведенні емпіричної перевірки ефективності запропонованої моделі в закладах вищої освіти України, на базі Глухівського національного педагогічного університету імені Олександра Довженка, розробленні валідних інструментів для оцінювання цифрової компетентності здобувачів освіти та вдосконаленні підходів до інтеграції штучного інтелекту в навчальні симуляції та цифрові лабораторії. У перспективі це створить підґрунтя для формування цілісної екосистеми цифрової біохімічної освіти, орієнтованої на потреби сучасної науки, педагогіки та цифровізованого суспільства.

Список використаної літератури

1. Stuart T., Stuart R., Graham M., Traynor J. Pivoting lab-based biochemistry courses online. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2022. Vol. 50, No. 3. P. 233–240. DOI: <https://doi.org/10.1002/bmb.21622>.
2. Karsen M., Kristin D., Pangestu H. Evaluation on student engagement of online case-based learning and flipped learning during Covid-19 pandemic (a case study approach). *Proceedings of the International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech)*. Bali, 2021. P. 271–276. DOI: <https://doi.org/10.1002/bmb.21408>.
3. Pham H.-H. T., Giang N. T., Thuy V. T. Implementation of STEM education: A bibliometrics analysis from case study research in Scopus database. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2023. Vol. 19, No. 6. Article em2278. DOI: <https://doi.org/10.29333/ejmste/13216>.
4. Virtual labs for universities and high schools : Labster. 2025. URL: <https://www.labster.com> (дата звернення: 06.10.2025).
5. Free online physics, chemistry, biology, earth science and math simulations : PhET Interactive Simulations. 2025. URL: <https://phet.colorado.edu> (дата звернення: 19.10.2025).
6. Росток Л. М., Бурмістрова Я. Ю., Сіткар А. Д. Біохімія як фундаментальна медична дисципліна та інноваційні методи її викладання. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія: Медицина*. 2025. Вип. 1 (71). С. 81–85. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-8127.2025.71.13>.
7. Полякова А. С., Тарангул Л. М., Писарчук О. В., Дзевицька Л. С. Виклики та інновації у вищій освіті XXI століття: погляд у майбутнє. *Академічні візії*. 2023. № 24. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10024100>.
8. Омельчук О., Білик Ж., Ігнатенко С. Методи проблемного навчання освітнього компоненту «Біохімія та біохімічні основи фізичного виховання». *Науковий часопис Українського державного університету імені Михайла Драгоманова*. 2025. Вип. 2 (187). С. 146–150. DOI: [https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2025.02\(187\).27](https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2025.02(187).27).
9. Ружицька О. М. Змішане навчання при викладанні дисципліни «Фізіологія та біохімія рослин» в період воєнного стану. *Ідеї. Практики. Перспективи сучасної освіти* / за ред. В. І. Труби, М. І. Ніколаєвої, С. П. Гвоздій. Одеса : ОНУ ім. І. І. Мечникова, 2025. Ч. 2. С. 181–185. URL: <https://dspace.onu.edu.ua/items/78aba9b4-139e-4ca0-be15-5cf9105d671a>.
10. Zhang J., Kim H., Zhang L. Impact of transition to a hybrid model of biochemistry course-based undergraduate research experience during the COVID-19 pandemic on student science self-efficacy and conceptual knowledge. *Discover Education*. 2023. 2, 43. URL: <https://doi.org/10.1007/s44217-023-00067-6>.
11. Lacey M. M., Francis N. J., Smith D. P. Redefining online biology education: a study on interactive branched video utilisation and student learning experiences. *FEBS Open Bio*. 2024. 14(2), P. 230–240. DOI: <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13767>.
12. Ren G., Zhuang P., Guan X., Tian K., Zeng J. How do blended biochemistry classes influence students' academic performance and perceptions of self-cognition? *Frontiers in Psychology*, 13, 843392 (2022). DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.843392>.
13. Karimian Z., Mokarram P., Zarifsanaiy N. Comparison of the teaching clinical biochemistry in face-to-face and the flex-flipped classroom to medical and dental students: a quasi-experimental study from Iran. *BMC Medical Education*. 2024. 24. P. 137. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05051-8>.
14. Цигура Г., Толочний В. Інтерактивне програмне забезпечення для візуалізації навчального матеріалу з дисципліни «Біохімія». *Вісник Національного університету «Чернігівський колегіум» імені Т. Г. Шевченка*. Чернігів : НУЧК, 2025. Вип. 31 (187). С. 158–164. DOI: 10.58407/visnik.253125.
15. Kalyniuk N. M., Franchuk V. V., Selsky P. R., Humenna N. V., Hladii O. I. Blended form of education as an innovative approach in the training of medical students: The experience of Ukraine. *Educación Médica*. 2024, 71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2024.100965>.
16. Makransky G., Petersen G. The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): a theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*. 2021. Vol. 33. P. 937–958. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>.
17. Interactive virtual lab for science education : PraxiLabs. 2025. URL: <https://praxilabs.com> (дата звернення: 23.10.2025).
18. Radianti J., Majchrzak T., Fromm J., Wohlgenannt I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*, 147, 103778 (2020). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>.
19. Moving science labs online. California : Virtual Campus. 2025. URL: <https://www.cvc.edu/movingsciencelabsonline> (дата звернення: 23.09.2025).
20. Volodarets S., Chernousova N., Peleshenko H., Maslak H., Savchenko A., Netronina O. Using e-learning tools in biochemistry teaching for undergraduate medical students in multicultural environment in Ukraine during COVID-19 crisis. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2022. 50(3). P. 290–295. DOI: <https://doi.org/10.1002/bmb.21618>.

21. Wardenski R., Espíndola M., Struchiner M., Giannella T. Blended learning in biochemistry education: Analysis of medical students' perceptions. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2012. 40. P. 222–228. DOI: <https://doi.org/10.1002/bmb.20618>.
22. Bazyl O., Abilova O., Karpenko O., Mierienkov H., Poliakova A. Assessing the impact of artificial intelligence integration on educational processes in higher education institutions of Ukraine and Kazakhstan. *Sustainable Engineering and Innovation*. 2025. Vol. 7, No. 1. P. 97–116. DOI: <https://doi.org/10.37868/sei.v7i1.id418>.
23. Lee R. K. Y., Ng B. Y. N., Chen D. M. H. Blended learning in biochemistry: The development of pre-class and post-class learning aids for electron transport chain and oxidative phosphorylation. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/bmb.21809>.
24. Peng J., Sawangcharoen K., Horadal P., Utog W., Teekasap S. Deep blended learning models for chemistry students. *International Journal of Sociologies and Anthropologies Science Reviews*. 2025. 5. P. 723–732. DOI: <https://doi.org/10.60027/ijrsr.2025.5371>.
25. Considerations for lab-based courses. Drexel University. 2025. URL: <https://drexel.edu/castle/resources/online-teaching/pedagogical-considerations/Basic%20Page> (дата звернення: 20.10.2025).
26. Free virtual lab simulations. LabXchange. 2025. URL: <https://about.labxchange.org/featured/virtual-lab-simulations> (дата звернення: 07.10.2025).

BLENDED LEARNING IN THE BIOCHEMISTRY COURSE: INTEGRATION OF EXPERIMENTS, DIGITAL SIMULATIONS AND EDUCATIONAL PLATFORMS IN THE TRAINING OF FUTURE BIOLOGISTS

Poliakova Anastasiia

PhD in Biology, Senior Lecturer at the Department of Theory and Methods of Teaching Natural Sciences
Oleksandr Dovzhenko Hlukhiv National Pedagogical University

Introduction. *The article examines current aspects of implementing blended learning in the «Biochemistry» course for the training of future biologists. The relevance of the topic is driven by the need to combine traditional laboratory experiments with virtual simulations and digital platforms in the context of educational digitalization and challenges such as the COVID-19 pandemic and martial law in Ukraine.*

Purpose. *To analyze the effectiveness of integrating laboratory work, virtual laboratories, and online tools in forming the professional competencies of students.*

Methods. *The study applies theoretical analysis of scientific literature, systematization of pedagogical experience, and modelling of pedagogical scenarios to design an effective blended learning model.*

Results. *The findings show increased motivation and improved understanding of biochemical processes as a result of using Labster, PhET, and PraxiLabs, with emphasis on rotation models and the flex model—two key approaches in hybrid learning. The article discusses existing challenges and technical barriers and proposes an implementation model suitable for distance, face-to-face, and blended learning formats in Ukrainian higher education institutions.*

Originality. *The novelty lies in the synthesis of contemporary trends in natural science education for students of pedagogical specialities, adapted to Ukrainian national realities, as well as in the proposed blended learning model validated through practical implementation.*

Conclusion. *Blended learning demonstrates significant potential for enhancing biochemistry education in higher education. The study provides recommendations for integrating blended learning approaches into Ukrainian universities to support the development of students' professional competencies and ensure continuity and flexibility of the educational process.*

Keywords: *blended learning, digital didactics, virtual laboratories, simulations, competency-based approach, pedagogical design, STEAM education, biology teacher training, higher education.*

References

- Suart, T., Suart, R., Graham, M., & Traynor, J. (2022). Pivoting lab-based biochemistry courses online. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 50(3), 233–240. <https://doi.org/10.1002/bmb.21622>
- Karsen, M., Kristin, D., & Pangestu, H. (2021). *Evaluation on student engagement of online case-based learning and flipped learning during Covid-19 pandemic (a case study approach)*. In Proceedings of the International Conference on Information Management and Technology (ICIMTech) (pp. 271–276). <https://doi.org/10.1002/bmb.21408>
- Pham, H.-H. T., Giang, N. T., & Thuy, V. T. (2023). Implementation of STEM education: A bibliometrics analysis from case study research in Scopus database. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 19(6), em2278. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13216>
- Labster: Virtual labs for universities and high schools. (2025). *Labster*. <https://www.labster.com>
- PhET: Free online physics, chemistry, biology, earth science and math simulations. (2025). *PhET Interactive Simulations*. <https://phet.colorado.edu>
- Rostoka, L. M., Burmistrova, Ya. Yu., & Sitkar, A. D. (2023). Biokhimiia yak fundamentalna medychna dysyplina ta innovatsiini metody ii vykladannia [Biochemistry as a fundamental medical discipline and innovative methods of its teaching]. *Naukovyi Visnyk Uzhhorodskoho Universytetu. Seriya Medytsyna*, 1(71), 81–85. <https://doi.org/10.32782/2415-8127.2025.71.13>

7. Poliakova, A. S., Taranhul, L. M., Pysarchuk, O. V., & Dzevytska, L. S. (2023). Vykylyky ta innovatsii u vyshchii osviti XXI stolittia: pohliad u maibutnie [Challenges and innovations in higher education of the 21st century: A look into the future]. *Akademichni Vizii*, (24). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10024100>
8. Omelchuk, O. V., Bilyk, Zh., & Ihnatenko, S. (2025). Metody problemnoho navchannia osvitnoho komponentu «Biokhimiia ta biokhimichni osnovy fizychnoho vykhovannia» [Problem-based learning methods of the educational component «Biochemistry and biochemical bases of physical education»]. *Naukovyi Chasopys Ukrainського Derzhavnogo Universytetu imeni Mykhaila Drahomanova*, 2(187), 146–150. [https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2025.02\(187\).27](https://doi.org/10.31392/UDU-nc.series15.2025.02(187).27)
9. Ruzhytzka, O. M. (2025). Zmishane navchannia pry vykladanni dystsypliny «Fiziolohiia ta biokhimiia rosllyn» v period voiennoho stanu [Blended learning in teaching the discipline «Physiology and Biochemistry of Plants» during martial law]. In V. I. Truba, M. I. Nikolaieva, & S. P. Hvozdi (Eds.), *Idei. Praktyky. Perspektyvy suchasnoi osvity: Naukovo-metodychnyi almanakh* (Part 2, pp. 181–185). Odesa: Odeskyi natsionalnyi universytet imeni I. I. Mechnykova. <https://dspace.onu.edu.ua/items/78aba9b4-139e-4ca0-be15-5cf9105d671a>
10. Zhang, J., Kim, H., & Zhang, L. (2023). Impact of transition to a hybrid model of biochemistry course-based undergraduate research experience during the COVID-19 pandemic on student science self-efficacy and conceptual knowledge. *Discover Education*, 2, 43. <https://doi.org/10.1007/s44217-023-00067-6>
11. Lacey, M. M., Francis, N. J., & Smith, D. P. (2024). Redefining online biology education: A study on interactive branched video utilisation and student learning experiences. *FEBS Open Bio*, 14(2), 230–240. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13767> How do blended biochemistry classes influence students' learning motivation? (2022). *Frontiers in Psychology*, 13, Article 843392. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.843392>
12. Ren, G., Zhuang, P., Guan, X., Tian, K., & Zeng, J. (2022). How do blended biochemistry classes influence students' academic performance and perceptions of self-cognition? *Frontiers in Psychology*, 13, 843392. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.843392>
13. Karimian, Z., Mokarram, P., & Zarifsanaiy, N. (2024). Comparison of the teaching clinical biochemistry in face-to-face and the flex-flipped classroom to medical and dental students: A quasi-experimental study from Iran. *BMC Medical Education*, 24, 137. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05051-8>
14. Tsyhora, H. O., & Tolochnyi, V. M. (2025). Interaktyvne prohramne zabezpechennia dlia vizualizatsii navchalnoho materialu z dystsypliny «Biokhimiia» [Interactive software for visualizing educational material in the discipline «Biochemistry»]. *Visnyk Natsionalnoho Universytetu Chernihivskiyi Kolehium imeni T. H. Shevchenka*, 31(187), 158–164. <https://epub.chnpu.edu.ua/jspui/handle/123456789/11092>
15. Kalyniuk, N. M., Franchuk, V. V., Selskyy, P. R., Humenna, N. V., & Hladii, O. I. (2024). Blended form of education as an innovative approach in the training of medical students: The experience of Ukraine. *Educación Médica*, 71. <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2024.100965>
16. Makransky, G., & Petersen, G. B. (2021). The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*, 33, 937–958. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
17. PraxiLabs: Interactive virtual lab for science education. (2025). *PraxiLabs*. <https://praxilabs.com>
18. 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>
19. Moving science labs online. (2025). *California Virtual Campus*. <https://www.cvc.edu/movingsciencelabsonline>
20. Volodarets, S., Chernousova, N., Peleshenko, H., Maslak, H., Savchenko, A., & Netronina, O. (2022). Using e-learning tools in biochemistry teaching for undergraduate medical students in multicultural environment in Ukraine during COVID-19 crisis. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 50(3), 290–295. <https://doi.org/10.1002/bmb.21618>
21. Wardenski, R., Espindola, M., Struchiner, M., & Giannella, T. (2012). Blended learning in biochemistry education: Analysis of medical students' perceptions. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 40, 222–228. <https://doi.org/10.1002/bmb.20618>
22. Bazyl, O., Abilova, O., Karpenko, O., Mierienkov, H., & Poliakova, A. (2025). Assessing the impact of artificial intelligence integration on educational processes in higher education institutions of Ukraine and Kazakhstan. *Sustainable Engineering and Innovation*, 7(1), 97–116. <https://doi.org/10.37868/sei.v7i1.id418>
23. Lee, R. K. Y., Ng, B. Y. N., & Chen, D. M. H. (2024). Blended learning in biochemistry: The development of pre-class and post-class learning aids for electron transport chain and oxidative phosphorylation. *Biochemistry and Molecular Biology Education*. <https://doi.org/10.1002/bmb.21809>
24. Peng, J., Sawangcharoen, K., Horadal, P., Utog, W., & Teekasap, S. (2025). Deep blended learning models for chemistry students. *International Journal of Sociologies and Anthropologies Science Reviews*, 5, 723–732. <https://doi.org/10.60027/ijasar.2025.5371>
25. Considerations for lab-based courses. (2025). *Drexel University*. <https://drexel.edu/castle/resources/online-teaching/pedagogical-considerations/Basic%20Page>
26. Free virtual lab simulations. (2025). *LabXchange*. <https://about.labxchange.org/featured/virtual-lab-simulations>



Авторське право ©2025 автори, всі права захищено. Автори погоджуються, що ця стаття залишається у відкритому доступі на умовах Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License.

Отримано редакцією 30.07.2025 р.
Прийнято редакцією 30.08.2025 р.
Опубліковано 30.12.2025 р.