



Наукові перспективи
Видавнича група

Перспективи та інновації науки



Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського

Видавнича група «Наукові перспективи»

Луганський державний медичний університет

Громадська наукова організація «Система здорового довголіття в мегаполісі»

Християнська академія педагогічних наук України

Всеукраїнська асоціація педагогів і психологів з духовно-морального виховання

*за сприяння КНП "Клінічна лікарня №15 Подільського району м.Києва",
Центру дієтології Наталії Калиновської*

«Перспективи та інновації науки»

№ 5(63) 2026

Київ – 2026

Ivan Horbachevsky Ternopil National Medical University

Publishing Group «Scientific Perspectives»

Luhansk State Medical University

Public scientific organization "System of healthy longevity in the metropolis"

Christian Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine

**All-Ukrainian Association of Teachers and Psychologists of Spiritual and
Moral Education**

*with the assistance of the KNP "Clinical Hospital No. 15 of the Podilsky District of Kyiv",
Nutrition Center of Natalia Kalinovska*

"Prospects and innovations of science"

№ 5(63) 2026

Kyiv – 2026

ISSN 2786-4952 Online

УДК 001.32:1/3](477)(02)

Ідентифікатор медіа - R40-05846

DOI: [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-5\(63\)](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-5(63))

«Перспективи та інновації науки»: журнал. 2026. № 5(63) 2026. С. 5440



**Згідно наказу Міністерства освіти і науки України від 27.09.2021
№ 1017 журналу присвоєно категорію "Б" із психології та педагогіки**

**Згідно наказу Міністерства освіти і науки України від 27.04.2023
№ 491 журналу присвоєно категорію "Б" із медицини: спеціальність 222**

*Рекомендовано до видавництва Президією громадської наукової організації
«Всеукраїнська Асамблея докторів наук з державного управління» (Рішення від 18.05.2026, № 7/5-26)*

*Журнал видається за підтримки КНП "Клінічна лікарня №15 Подільського району м.Києва", Центру дієтології Наталії
Калиновської*



Журнал включено до міжнародної наукометричної бази Index Copernicus (IC), Research Bible, міжнародної пошукової системи Google Scholar

Електронний науковий журнал «Перспективи та інновації науки» заснований з метою висвітлення актуальних питань теорії та практики медицини, біології, біотехнології та реабілітації в Україні, за кордоном. Видання розраховано на науковців, викладачів, педагогів-практиків, представників органів державної влади та місцевого самоврядування, здобувачів вищої освіти, громадсько-політичних діячів

Згідно Порядку формування Переліку наукових фахових видань України, затвердженого наказом МОН України від 15.01.2018 № 32, повнотекстовий доступ до наукових статей журналу представлений на платформі «Наукова періодика України» в Національній бібліотеці України імені В.І. Вернадського НАН України та в Національному репозитарії академічних текстів

Голова редакційної колегії:



Вадзюк Степан Несторович - доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри фізіології з основами біоетики та біобезпеки Тернопільського національного медичного університету імені І.Я.Горбачевського Міністерства охорони здоров'я України (Україна)

Заступник голови редакційної колегії: Торяник Інна Іванівна - доктор медичних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник лабораторії вірусних інфекцій Державної установи «Інститут мікробіології та імунології імені І.І. Мечникова Національної академії медичних наук України» (Харків, Україна)

Редакційна колегія:

1. **Алієв, Ельнур М.** доктор медичних наук, професор, професор Азербайджанського медичного університету (Азербайджан)
2. **Бабова Ірина Костянтинівна** - доктор медичних наук, професор, старший науковий співробітник відділу економічного регулювання природокористування ДУ "Інститут ринку і економіко-екологічних досліджень Національної академії наук України", лікар ФРМ (фізичної та реабілітаційної медицини) ДУ "Територіальне медичне об'єднання МВС України по Одеській області" (Одеса, Україна)

ISSN 2786-4952 Online

УДК 378.091.313:[606:615.15](477)

[https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-5\(63\)-1351-1362](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2026-5(63)-1351-1362)

Ніженковська Ірина Володимирівна доктор медичних наук, професорка, завідувачка кафедрою хімії ліків та лікарської токсикології НМУ імені О.О.Богомольця, <https://orcid.org/0000-0001-5065-3147>

Афанасенко Ольга Вікторівна кандидат фармацевтичних наук, доцентка кафедри хімії ліків та лікарської токсикології НМУ імені О.О.Богомольця, <https://orcid.org/0000-0003-0056-0668>

Глушаченко Ольга Олександрівна кандидат хімічних наук, доцентка кафедри хімії ліків та лікарської токсикології НМУ імені О.О.Богомольця, <https://orcid.org/0000-0002-7017-3914>

МОДЕРНІЗАЦІЯ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ БІОТЕХНОЛОГІВ В УКРАЇНІ ЧЕРЕЗ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНДУСТРІАЛЬНИХ ІННОВАЦІЙ

Анотація У статті розглянуто актуальні напрями модернізації професійної підготовки здобувачів вищої освіти за спеціальністю G21 «Біотехнології та біоінженерія» в Україні в умовах стрімкого розвитку індустріальних технологій, цифровізації освіти та викликів воєнного стану. Автори акцентують увагу на тому, що сучасна галузь біотехнології зазнає суттєвих трансформацій через впровадження автоматизованих систем контролю якості, цифрових платформ, технологій штучного інтелекту, безперервного виробництва та концепції Industry 4.0. У зв'язку з цим традиційні моделі підготовки фахівців уже не повною мірою відповідають реальним потребам біофармацевтичного виробництва, що зумовлює необхідність оновлення освітніх підходів.

На основі аналізу міжнародних і вітчизняних наукових джерел обґрунтовано доцільність переходу від фрагментарного викладання дисциплін до інтегрованого навчання, побудованого навколо повного життєвого циклу біотехнологічного продукту. Автори підкреслюють, що ефективна підготовка майбутніх спеціалістів повинна охоплювати всі ключові етапи виробничого процесу: роботу з клітинними лініями, культивування, очищення та виділення продукту, контроль якості, аналіз даних, дотримання вимог GMP та прийняття виробничих рішень. Такий підхід дозволяє сформулювати цілісне професійне мислення та забезпечити кращу адаптацію випускників до умов сучасного виробництва.

Особливу увагу приділено змішаному навчання як найбільш ефективній моделі організації освітнього процесу. Доведено, що оптимальне поєднання цифрових інструментів із традиційною лабораторною практикою забезпечує підвищення якості підготовки студентів, зменшує кількість технічних помилок

під час виконання експериментів та сприяє розвитку професійної впевненості. У статті проаналізовано потенціал використання віртуальної реальності, симуляційних платформ, відеодемонстрацій та онлайн-ресурсів для підготовки до лабораторних занять. Наголошено, що цифрові технології повинні доповнювати практичну підготовку, а не замінювати роботу з реальним обладнанням і власними експериментальними даними.

Окремо розглянуто питання інтеграції цифрової грамотності та штучного інтелекту у професійну освіту біотехнологів. Автори зазначають, що сучасний фахівець повинен володіти навичками роботи з електронною документацією, аналізу даних, цифрового моделювання виробничих процесів та критичної оцінки результатів роботи ШІ-систем. Водночас підкреслюється необхідність чіткої регламентації використання штучного інтелекту в навчальному процесі для запобігання академічній недоброчесності та зниженню рівня аналітичного мислення студентів. У статті також обґрунтовано необхідність трансформації системи оцінювання результатів навчання шляхом переходу від традиційних тестів до компетентнісного оцінювання, що враховує не лише теоретичні знання, а й практичні навички, професійне судження та здатність до аналізу виробничих ситуацій. Автори роблять висновок, що майбутнє біотехнологічної освіти полягає у створенні гібридної моделі навчання, яка поєднуватиме цифрові інновації, практикоорієнтовану підготовку та системне розуміння виробничих процесів.

Ключові слова. Біотехнології, цифрові технології, підготовка біофармацевтів, компетентнісне оцінювання, гібридна модель навчання

Nizhenkovska Iryna MD, Professor, head of the Department of Medicinal Chemistry and Toxicology, Bogomolet`s National Medical University, <https://orcid.org/0000-0001-5065-3147>

Afanasenko Olga PhD in Pharmacy, Associate Professor of the Department of Medicinal Chemistry and Toxicology, Bogomolet`s National Medical University, <https://orcid.org/0000-0003-0056-0668>

Glushachenko Olga PhD in Chemistry, Associate Professor of the Department of Medicinal Chemistry and Toxicology, Bogomolet`s National Medical University, <https://orcid.org/0000-0002-7017-3914>

MODERNIZATION OF TRAINING OF FUTURE BIOTECHNOLOGISTS IN UKRAINE THROUGH THE IMPLEMENTATION OF INDUSTRIAL INNOVATIONS

Abstract The article considers the current directions of modernization of professional training of higher education applicants in the specialty G21 "Biotechnology and Bioengineering" in Ukraine in the conditions of rapid development of

industrial technologies, digitalization of education and challenges of martial law. The authors emphasize that the modern biotechnology industry is undergoing significant transformations through the introduction of automated quality control systems, digital platforms, artificial intelligence technologies, continuous production and the concept of Industry 4.0. In this regard, traditional models of training specialists no longer fully meet the real needs of biopharmaceutical production, which necessitates the need to update educational approaches.

Based on the analysis of international and domestic scientific sources, the feasibility of the transition from fragmented teaching of disciplines to integrated training built around the full life cycle of a biotechnological product is substantiated. The authors emphasize that effective training of future specialists should cover all key stages of the production process: work with cell lines, cultivation, purification and isolation of the product, quality control, data analysis, compliance with GMP requirements and production decision-making. This approach allows for the formation of holistic professional thinking and ensures better adaptation of graduates to modern production conditions.

Particular attention is paid to blended learning as the most effective model of organizing the educational process. It is proven that the optimal combination of digital tools with traditional laboratory practice ensures an increase in the quality of student training, reduces the number of technical errors during experiments and contributes to the development of professional confidence. The article analyzes the potential of using virtual reality, simulation platforms, video demonstrations and online resources for preparing for laboratory classes. It is emphasized that digital technologies should complement practical training, and not replace work with real equipment and one's own experimental data.

The issue of integrating digital literacy and artificial intelligence into the professional education of biotechnologists is separately considered. The authors note that a modern specialist must have the skills to work with electronic documentation, data analysis, digital modeling of production processes and critical assessment of the results of AI systems.

At the same time, the need for clear regulation of the use of artificial intelligence in the educational process is emphasized to prevent academic dishonesty and reduce the level of analytical thinking of students. The article also substantiates the need to transform the system of assessing learning outcomes by moving from traditional tests to competency-based assessment, which takes into account not only theoretical knowledge, but also practical skills, professional judgment and the ability to analyze production situations.

The authors conclude that the future of biotechnological education lies in creating a hybrid learning model that will combine digital innovations, practice-oriented training and a systemic understanding of production processes.

Keywords. Biotechnology, digital technologies, biopharmaceutical training, competency assessment, hybrid learning model

Постановка проблеми. Сьогодні глобальна професійна підготовка біофармацевтів як і підготовка в Україні перебуває на етапі глибокої трансформації, що зумовлена як глобальними технологічними змінами, так і викликами воєнного стану. Стрімка трансформація пов'язана із впровадженням безперервного виробництва, цифрових двійників, автоматизованих систем контролю якості та технологій штучного інтелекту, які докорінно змінюють вимоги до підготовки фахівців. Водночас системи вищої фармацевтичної та біотехнологічної освіти, зокрема в Україні, значною мірою залишаються орієнтованими на класичні академічні моделі, що породжує зростаючий розрив між компетентностями випускників і реальними потребами виробництва. Це питання набуває особливої гостроти в умовах воєнного стану, коли українські університети змушені одночасно адаптуватися до дистанційного й змішаного форматів навчання та підтримувати якість практичної підготовки майбутніх спеціалістів.

Підготовку біофармацевтів в Україні доцільно будувати не навколо окремих дисциплін, а навколо повного життєвого циклу біофармацевтичного продукту: від клітинної лінії і культивування до очищення, контролю якості, GMP, аналізу даних і виробничого рішення. Саме такі моделі найкраще зближують навчання з реальною практикою та підвищують готовність випускників до роботи у виробництві й контролі якості [1-2]. Проте ці інновації потребують критичного осмислення та грамотної інтеграції в навчальні плани. Міжнародні дані показують, що найсильніший ефект дає не повна заміна лабораторії цифровими інструментами, а змішане навчання, де онлайн-компоненти готують студента до практики, а аудиторний час присвячений роботі з обладнанням, інтерпретації результатів і розв'язанню виробничих проблем [3-4].

Для викладачів біофармацевтичних дисциплін це означає простий висновок - інновація працює тоді, коли вона підсилює професійну дію студента: підготовку до лабораторії, безпечне виконання процедур, розуміння процесу, цифрову грамотність, контроль якості та професійний критичний аналіз. Дані щодо застосування штучного інтелекту в самій біофармацевтичній спеціалізації поки що обмежені, тому ШІ варто вводити насамперед як інструмент підтримки навчання, аналізу, зворотного зв'язку й оцінювання, а не як заміну викладача або практичної підготовки [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фундаментальним принципом сучасної підготовки біофармацевтів, підтвердженим низкою міжнародних досліджень, є перехід від фрагментованого викладання тем до цілісних виробничих кейсів. Gilleskie та ін. [1] показали, що насичені лабораторними роботами курси, побудовані навколо логіки очищення та виділення цільового продукту, суттєво підвищують готовність студентів до роботи в індустрії, адже студенти краще розуміють взаємозалежність технологічних стадій і причини вимог GMP. Lindsay та ін [2] свідчать, що вивчення повного циклу виробництва моноклонального антитіла дає відчутний приріст як теоретичних знань, так і практичних умінь, і що цей ефект значно перевищує результати традиційних

лекційно-семінарських курсів. Спільний висновок цих робіт доводить, що основа програми має бути побудована на цілісних виробничих сценаріях, а не на окремих дисциплінах без логічного зв'язку між ними.

Пандемія COVID-19 та умови воєнного стану стали каталізаторами масштабного переходу до змішаного й дистанційного навчання. Дослідження Pererepova та ін. [4,5] засвідчує, що платформа Moodle й інструменти відеоконференцій (Zoom, Google Meet) дозволяють зберігати регулярність освітнього процесу та забезпечувати зворотний зв'язок між викладачем і студентом навіть за умови фізичної розосередженості учасників. Автори підкреслюють, що цифрова трансформація навчання підвищує інтенсивність та індивідуалізацію роботи зі студентами, хоча потребує чіткої методичної організації та відповідної цифрової компетентності викладачів. Проте загальний рівень цифровізації навчання в Україні лишається нерівномірним: якщо медичні та педагогічні університети демонструють певний досвід у впровадженні цифрових інструментів, то системна інтеграція симуляцій біовиробничих процесів, VR-середовищ і моделювального програмного забезпечення в програми підготовки біофармацевтів ще перебуває на початковому етапі. Окремі успішні кейси, як-от використання Labster у Луцькому національному технічному університеті, залишаються поки що поодинокими і не набули системного поширення [6].

Реультати міжнародних досліджень застерігають від надмірного захоплення повним перенесенням навчання в онлайн. Peng та ін [7] та ін. показали, що гібридний біофармацевтичний курс загалом зберіг навчальні результати після переходу в дистанційний формат, однак виявили суттєві втрати якості там, де студенти позбавлялися можливості самостійно збирати реальні дані в лабораторії. Натомість Veiga та ін [8] продемонстрували, що онлайн-ресурси, розроблені для передлабораторної підготовки, зменшують кількість помилок під час виконання дослідів і підвищують впевненість студентів у своїх діях. Таким чином, оптимальна модель передбачає використання онлайн-середовища для підготовки та рефлексії, але не для заміни практичних занять.

Поряд із змішаним навчанням активно досліджується потенціал залучення віртуальної реальності (VR) і цифрових симуляцій. Chen et al. [9] довели, що VR-тренінг роботи з біореактором дає результати, порівнянні з традиційним очним заняттям та дозволяє студентам безпечно відпрацьовувати помилки та повторювати дії стільки разів, скільки потрібно. На думку Lin [10] гейміфіковані VR-середовища суттєво підвищують мотивацію та зацікавленість у навчанні. Систематичний огляд Cedeño [11] підтверджує корисність симуляцій для відпрацювання технічних і безпекових навичок, однак вказує на брак досліджень довгострокового перенесення набутих умінь у реальну практику.

Особливо цінними є українські дані в цьому напрямі. Гулай та ін. (Луцький національний технічний університет) дослідили використання вебплатформи Labster із віртуальними лабораторними симуляціями природничого спрямування

у викладанні хімічних дисциплін. З 146 зареєстрованих студентів першого курсу 67,8% завершили симуляцію повністю. Серед переваг студенти виокремили здобуття нового навчального досвіду, покращення знань і цифрових навичок, а також персоніфіковане навчання. Водночас авторами зафіксовано ключові перешкоди: недостатній рівень англійської мови (платформа не має українськомовного контенту) та невисокі цифрові навички навігації у віртуальному просторі. Автори дійшли висновку, що віртуальні симуляції слід застосовувати не як заміну очних практичних занять, а як сучасний інструмент їх доповнення. Цей висновок набуває особливого значення в контексті бойових дій, через які частина лабораторного обладнання в українських університетах недоступна або пошкоджена.

Окремим і стратегічно важливим напрямом є інтеграція цифрового моделювання виробничих процесів безпосередньо в навчальну програму. Laky et al. [12] доводять, що використання Jupyter Notebook разом із бібліотекою PharmaPy дозволяє навчати оптимізації та цифровому проектуванню фармацевтичного виробництва навіть студентів із різним рівнем програмістських навичок. Автори акцентують, що цифрове моделювання має бути органічно вбудоване в курс, а не залишатися факультативним чи другорядним елементом, адже саме цифрові компетентності стають базовою вимогою сучасного GMP-виробництва в рамках концепції Industry 4.0.

Традиційні форми оцінювання, такі як письмові іспити та залікові тести, все менше відповідають завданням підготовки фахівців. Дослідження Monestime et al. [13] демонструє, що включення імерсивного моделювання покращує результати OSCE (об'єктивного структурованого клінічного іспиту), фінальні оцінки та рівень інтеграції знань. Shadle [14] довели, що застосування чітких рубрик у лабораторних курсах підвищує прозорість і узгодженість оцінювання, знижує суб'єктивність викладача та зменшує стрес студентів, а наші попередні дослідження показали, що адаптивні стратегії оцінювання у фармацевтичній освіті, зокрема формувальне оцінювання з персоналізованим навчанням і використанням адаптивних симуляцій, розширюють можливості освітнього процесу, допомагають студентам зосередитися на ключових аспектах матеріалу та забезпечують індивідуальну підтримку, що зрештою підвищує їхню мотивацію, результати навчання і самоефективність [15]. Ці дані вказують на необхідність переходу від разової перевірки знань до системи рубрик, практичних станцій, відеофіксації виконання завдань і цифрових слідів навчальної активності.

Аналіз літератури дозволяє виокремити кілька наскрізних тенденцій, релевантних для модернізації підготовки біофармацевтів в Україні. По-перше, провідним принципом є практикоорієнтованість: навчальні програми мають будуватися навколо цілісних виробничих кейсів, а не розрізнених тем. По-друге, змішане навчання ефективне як структура, в якій онлайн-компонент готує студента до реального або симульованого лабораторного досвіду, але не замінює

його. По-третє, VR і цифрові симуляції є доцільними інструментами для розширення доступу до рідкісного обладнання та безпечного відпрацювання критичних операцій. По-четверте, цифрове моделювання процесів і компетентності Industry 4.0 мають бути інтегровані в ядро навчальної програми. По-п'яте, системи оцінювання потребують зміщення від одноразової перевірки знань до багаторівневих практичних форматів, а впровадження ШІ-рішень має спиратися на реальну педагогічну доцільність і відповідати вимогам доказової бази.

Мета статті. полягає у теоретичному обґрунтуванні та визначенні ефективних підходів до модернізації професійної підготовки біофармацевтів в Україні через інтеграцію індустріальних інновацій у освітній процес. Зокрема, дослідження спрямоване на: аналіз впливу сучасних технологій (імерсивних рішень, цифрових платформ, штучного інтелекту) на якість підготовки фахівців; обґрунтування доцільності переходу до навчальних моделей, орієнтованих на повний життєвий цикл біофармацевтичного продукту; визначення ролі змішаного навчання як оптимальної форми поєднання цифрових інструментів і практичної лабораторної підготовки.

Виклад основного матеріалу. Сучасна трансформація біофармацевтичної освіти потребує системного поєднання традиційних лабораторних практик із цифровими та імерсивними технологіями. Аналіз педагогічних підходів і міжнародного досвіду дозволяє сформулювати низку практичних рекомендацій щодо ефективної організації навчального процесу. Аналіз міжнародної літератури переконливо свідчить, що найефективніші освітні моделі у біофармацевтичній галузі ґрунтуються на принципі цілісного виробничого кейсу, а не на послідовному викладанні розрізнених дисциплін. Курси, насичені лабораторними роботами з логікою повного виробничого циклу включно зі стадіями культивування, виділення та очищення продукту і контролю якості суттєво підвищують готовність студентів до роботи безпосередньо в індустріальному середовищі.

З огляду на ці дані, доцільна логіка біофармацевтичного курсу має охоплювати роботу з клітинною лінією або біологічним продуцентом, культивування та моніторинг процесу, виділення та очищення продукту, аналіз чистоти, концентрації та критичних параметрів якості, інтерпретацію відхилень, а також оформлення кінцевого результату у формі технічного дос'є, виробничого звіту або обґрунтованого рішення.

Для українських програм, де курси з біотехнології, аналітичної хімії, фармацевтичної технології та управління якістю традиційно існують відокремлено, це означає принципову необхідність з'єднувати їх спільними наскрізними кейсами, що відображають реальну виробничу логіку:

- роботу з клітинною лінією або біологічним продуцентом;
- культивування та моніторинг процесу;
- виділення та очищення продукту;
- аналіз чистоти, концентрації та критичних параметрів якості;

- інтерпретацію відхилень;
- оформлення результату у формі технічного звіту або виробничого рішення.

Такий формат формує не лише технічні вміння, а й розуміння того, як кожен окремий етап впливає на якість кінцевого продукту. Також доцільно чітко структурувати змішане навчання, винісши підготовчий етап у цифрове середовище. Зокрема, до початку лабораторної роботи в онлайн-форматі варто реалізувати відеодемонстрації техніки виконання маніпуляцій, інструктажі з техніки безпеки з використанням візуальних підказок, мінітести для перевірки готовності студентів, а також теоретичні пояснення методик і шаблони для фіксації результатів. Такий підхід забезпечує когнітивну готовність студентів і зменшує кількість технічних помилок під час виконання експериментів. Водночас очна частина лабораторії повинна бути сфокусована на діяльності, яку неможливо повноцінно відтворити в цифровому середовищі. Йдеться про роботу з реальним обладнанням, збір і первинне осмислення власних експериментальних даних, аналіз причин помилок і обговорення відхилень. Саме така організація навчання сприяє формуванню професійного мислення та зберігає цінність «живого» експерименту. Важливим застереженням є уникнення надмірного використання архівних даних, оскільки це знижує розуміння студентами походження результатів і логіки експериментального процесу.

Суттєвий потенціал для розширення навчального досвіду мають симуляції та імерсивні технології. Вони є особливо ефективними у випадках обмеженого доступу до обладнання або наявності підвищених безпекових ризиків. Найбільш перспективними є VR-симуляції роботи з біореакторами, асептичними умовами та «чистими приміщеннями», а також помилкоорієнтовані сценарії, спрямовані на виявлення порушень у процесах чи документації. Ігрові модулі можуть додатково підсилювати запам'ятовування складних алгоритмів дій. Однак симуляції мають використовуватися як доповнення, а не заміна реальної практики, оскільки вони не забезпечують розвитку психомоторних навичок, зокрема точних маніпуляцій, таких як піпетування. Додатковим обмеженням залишається мовний бар'єр, адже значна частина навчального контенту представлена англійською мовою. Не менш важливим напрямом є інтеграція цифрової біофармацевтичної грамотності у навчальні програми. Сучасний фахівець повинен володіти навичками роботи з електронною документацією, аналізу даних і моделювання технологічних процесів. Навіть без глибокої ІТ-підготовки студенти можуть опанувати базові інструменти, такі як електронні лабораторні журнали, середовища для обробки даних (наприклад, notebook-рішення), а також моделювання окремих технологічних операцій. Ознайомлення з принципами Process Analytical Technology (PAT) і забезпечення цілісності даних є необхідною умовою підготовки конкурентоспроможних фахівців.

Окремої уваги потребує трансформація системи оцінювання результатів навчання. Традиційні іспити доцільно замінити багатокомпонентним компе-

ISSN 2786-4952 Online

тентнісним оцінюванням, яке враховує як когнітивні, так і практичні аспекти підготовки. Ефективними інструментами є інтеактивні тренувальні формати типу, відеофіксація виконання технік із подальшим зворотним зв'язком, а також розділення оцінювання мануальних і аналітичних компонентів. Такий підхід дозволяє більш об'єктивно оцінити рівень сформованості професійної компетентності. Важливим інноваційним ресурсом є використання генеративного штучного інтелекту. Його доцільно інтегрувати як допоміжний інструмент навчання, який сприяє поясненню складних концепцій і забезпечує оперативний зворотний зв'язок. Водночас застосування ШІ потребує чіткої регламентації, оскільки існують ризики академічної недоброчесності, поширення недостовірної інформації та зниження рівня критичного мислення. Ефективною практикою є постановка завдань на аналіз і виправлення відповідей ШІ, що стимулює розвиток аналітичних навичок студентів.

Ми розробили рекомендації для викладачів як зробити ефективно інтегрувати цифрові інновації у навчальний процес:

1) Не замініюйте лабораторію технологіями, а підсилюйте її практико-орієнтований фокус. Використовуйте віртуальні симуляції як передлабораторну підготовку. Це зменшує кількість технічних помилок і підвищує впевненість студентів під час роботи з реальним обладнанням.

2) Чітко регламентуйте використання ШІ. Прописуйте правила: де ШІ дозволено (наприклад, для структурування звіту), а де заборонено. Давайте завдання на критичну оцінку відповідей ШІ, щоб навчити студентів шукати помилки в алгоритмах.

3) Впроваджуйте цифрову грамотність як частину фаху. Навчайте студентів роботі з електронними лабораторними журналами та моделюванню процесів у середовищах на кшталт Jupyter Notebook. Сучасний біофармацевт - це фахівець, який розуміє дані так само добре, як і біологічні процеси.

4) Змініюйте систему оцінювання. Переходьте від простих тестів до компетентнісного оцінювання, де перевіряються знання, мануальні навички та професійне судження в комплексі.

5) Створюйте «помилкоорієнтовані» сценарії. У віртуальних тренажерах або кейсах пропонуйте студентам знайти порушення в документації або процесі. Це розвиває професійну пильність, необхідну в умовах реального виробництва.

Загалом модернізація освітнього процесу має базуватися на концепції навчання, орієнтованого на життєвий цикл біофармацевтичного продукту. Такий підхід передбачає інтеграцію етапів від створення клітинної лінії до контролю якості та відповідності стандартам GMP у межах єдиного навчального циклу. Це дозволяє студентам сформулювати цілісне розуміння виробничих процесів і взаємозв'язків між окремими технологічними стадіями.

Висновки. Таким чином, ефективна модернізація біофармацевтичної освіти не може ґрунтуватися на впровадженні окремих технологічних рішень, а

потребує комплексного підходу. Найбільш результативною є модель, що поєднує змішане навчання, практикоорієнтовану лабораторну діяльність, використання симуляційних технологій і розвиток цифрової грамотності. Ключовим принципом є не заміна традиційної лабораторії цифровими інструментами, а її підсилення за рахунок підготовчого онлайн-середовища та імерсивних технологій. Водночас збереження роботи з реальним обладнанням і власними даними є критично важливим для формування професійних навичок.

Запровадження компетентнісного оцінювання та інтеграція цифрових інструментів, включно з елементами штучного інтелекту, дозволяють підвищити якість підготовки фахівців і наблизити освітній процес до реальних умов біофармацевтичного виробництва. У контексті України оптимальною стратегією є поетапне впровадження інновацій із урахуванням локальних ресурсів і обмежень.

Отже, майбутнє біофармацевтичної освіти полягає у гібридній моделі, де поєднуються технологічні інновації, практичний досвід і системне розуміння виробничих процесів.

Література:

1. Gilleskie, G., Rutter, C., & McCuen, B. (2021). *Biopharmaceutical manufacturing: Principles, processes, and practices*. Walter de Gruyter GmbH & Co. KG.
2. Lindsay, A. (2019). *Monoclonal Antibody Production: A Project-Based Laboratory Program for Final Year Biotechnology Undergraduate Students*. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00024>
3. Gungor, A., Kool, D., Lee, M., Avraamidou, L., Eisink, N., Albada, B., van der Kolk, K., Tromp, M., & Bitter, J. H. (2022). *The Use of Virtual Reality in A Chemistry Lab and Its Impact on Students' Self-Efficacy, Interest, Self-Concept and Laboratory Anxiety*. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(3), em2090. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11814>
4. Perepelova T. V. et al. (2024). *Use of Digital Technologies in the Process of Teaching Educational Disciplines*. *Вісник проблем біології і медицини*, 3(174), 229–235. DOI: 10.29254/2077-4214-2024-3-174-229-235
5. I Nizhenkovska, O Kuznetsova, V Narokha *Organising distance learning for Master's in Pharmacy in Ukraine during COVID-19 quarantine Pharmacy Education Vol. 20 No. 2 (2020): COVID-19 Special Collection p.59-60 DOI: https://doi.org/10.46542/pe.2020.202.5960*
6. Гулай О., Шемет В., Мороз І., Саварин П., Кабак В. (2024). *Використання віртуальної лабораторії Labster для вивчення хімії в технічному університеті. Інформаційні технології і засоби навчання*, 102(4). DOI: 10.33407/itlt.v102i4.5737
7. Peng, P., Barham, G. R., Hunnicutt, W., Li, L., & Moment, A. J. (2020). *Designing a hybrid biopharmaceutical laboratory course to enhance content flexibility and access*. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 3121–3128. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00564>
8. Veiga, N., Luzardo, F., Irving, K., Rodríguez-Ayán, M. N., & Torres, J. (2019). *Online pre-laboratory tools for first-year undergraduate chemistry course in Uruguay: Student preferences and implications on student performance*. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(1), 229–245. <https://doi.org/10.1039/C8RP00204E>
9. Chen, Q., Low, S.-E., Yap, J. W. E., Sim, A. K. X., Tan, Y.-Y., Kwok, B. W. J., Lee, J. S. A., Tan, C. T., Loh, W.-P., Loo, L. W. B., & Wong, A. (2020). *Immersive Virtual Reality Training*

ISSN 2786-4952 Online

of Bioreactor Operations (Version 1). Singapore Institute of Technology. <https://doi.org/10.1109/TALE48869.2020.9368468>

10. Lin, J. Immersive experience in virtual reality gamification teaching: analysis of the mediating effect on educational learning outcomes. *Scientific Reports* 16, 2267 (2026). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-32176-7>

11. Loo Cedeño, L. A., Delgado Bernal, D. S., Delgado Molina, J. B., Gavilanes Carrión, Y. A., Tonguino Rodríguez, M. D., Chila Reina, R. M., & Bravo Bonoso, D. G. (2018). Impact of clinical simulation on the learning of technical skills in health professionals. *The Review of Diabetic Studies*, 14(1), 8–14.

12. Laky, D. J., Casas-Orozco, D., Abdi, M., Feng, X., Wood, E., Reklaitis, G. V., & Nagy, Z. K. (2023). Using PharmaPy with Jupyter Notebook to teach digital design in pharmaceutical manufacturing. *Computer applications in engineering education*, 31(6), 1662–1677. <https://doi.org/10.1002/cae.22660>

13. Monestime, S., Thomas, D., Hooper, C. D., Day, T., Suzuki, S., & Martin, R. D. (2020). Instructional and Assessment Redesign of a Sterile Compounding Course Using Immersive Simulation. *American journal of pharmaceutical education*, 84(2), 7473. <https://doi.org/10.5688/ajpe7473>

14. Shadle, S. (2012). A Rubric for Assessing Students' Experimental Problem-Solving Ability. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/ED2000704>

15. Nizhenkovska I., Afanasenko O., Nizhenkovskiy A. (2024). Adaptivne testuvannia v farmatsevychnii osviti: stratehii ta perevahy [Adaptive testing in pharmaceutical education: strategies and benefits]. *Fitoterapiia. Chasopys – Phytotherapy. Journal*, 2, 119–124, doi: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2024-2-119>

References:

1. Gilleskie, G., Rutter, C., & McCuen, B. (2021). *Biopharmaceutical manufacturing: Principles, processes, and practices*. Walter de Gruyter GmbH & Co. KG.

2. Lindsay, A. (2019). Monoclonal Antibody Production: A Project-Based Laboratory Program for Final Year Biotechnology Undergraduate Students. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00024>

3. Gungor, A., Kool, D., Lee, M., Avraamidou, L., Eisink, N., Albada, B., van der Kolk, K., Tromp, M., & Bitter, J. H. (2022). The Use of Virtual Reality in A Chemistry Lab and Its Impact on Students' Self-Efficacy, Interest, Self-Concept and Laboratory Anxiety. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(3), em2090. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11814>

4. Perepelova T. V. et al. (2024). Use of Digital Technologies in the Process of Teaching Educational Disciplines. *Вісник проблем біології і медицини*, 3(174), 229–235. DOI: 10.29254/2077-4214-2024-3-174-229-235

5. I Nizhenkovska, O Kuznetsova, V Narokha Organising distance learning for Master's in Pharmacy in Ukraine during COVID-19 quarantine *Pharmacy Education* Vol. 20 No. 2 (2020): COVID-19 Special Collection p.59-60 DOI: <https://doi.org/10.46542/pe.2020.202.5960>

6. Hulai O., Shemet V., Moroz I., Savaryn P., & Kabak V. (2024). Vykorystannia virtualnoi laboratorii Labster dlia vyvchennia khimii v tekhnichnomu universyteti [Using the Labster virtual laboratory to study chemistry at a technical university]. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia*, 102(4) [in Ukrainian]. DOI: 10.33407/itlt.v102i4.5737

7. Peng, P., Barham, G. R., Hunnicutt, W., Li, L., & Moment, A. J. (2020). Designing a hybrid biopharmaceutical laboratory course to enhance content flexibility and access. *Journal of Chemical Education*, 97(9), 3121–3128. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00564>

8. Veiga, N., Luzardo, F., Irving, K., Rodríguez-Ayán, M. N., & Torres, J. (2019). Online pre-laboratory tools for first-year undergraduate chemistry course in Uruguay: Student preferences and implications on student performance. *Chemistry Education Research and Practice*, 20(1), 229–245. <https://doi.org/10.1039/C8RP00204E>
9. Chen, Q., Low, S.-E., Yap, J. W. E., Sim, A. K. X., Tan, Y.-Y., Kwok, B. W. J., Lee, J. S. A., Tan, C. T., Loh, W.-P., Loo, L. W. B., & Wong, A. (2020). Immersive Virtual Reality Training of Bioreactor Operations (Version 1). Singapore Institute of Technology. <https://doi.org/10.1109/TALE48869.2020.9368468>
10. Lin, J. Immersive experience in virtual reality gamification teaching: analysis of the mediating effect on educational learning outcomes. *Scientific Reports* 16, 2267 (2026). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-32176-7>
11. Loor Cedeño, L. A., Delgado Bernal, D. S., Delgado Molina, J. B., Gavilanes Carrión, Y. A., Tonguino Rodríguez, M. D., Chila Reina, R. M., & Bravo Bonoso, D. G. (2018). Impact of clinical simulation on the learning of technical skills in health professionals. *The Review of Diabetic Studies*, 14(1), 8–14.
12. Laky, D. J., Casas-Orozco, D., Abdi, M., Feng, X., Wood, E., Reklaitis, G. V., & Nagy, Z. K. (2023). Using PharmaPy with Jupyter Notebook to teach digital design in pharmaceutical manufacturing. *Computer applications in engineering education*, 31(6), 1662–1677. <https://doi.org/10.1002/cae.22660>
13. Monestime, S., Thomas, D., Hooper, C. D., Day, T., Suzuki, S., & Martin, R. D. (2020). Instructional and Assessment Redesign of a Sterile Compounding Course Using Immersive Simulation. *American journal of pharmaceutical education*, 84(2), 7473. <https://doi.org/10.5688/ajpe7473>
14. Shadle, S. (2012). A Rubric for Assessing Students' Experimental Problem-Solving Ability. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/ED2000704>
15. Nizhenkovska I., Afanasenko O., Nizhenkovskiy A. (2024). Adaptivne testuvannia v farmatsevtichnii osviti: stratehii ta perevahy [Adaptive testing in pharmaceutical education: strategies and benefits]. *Fitoterapiia. Chasopys – Phytotherapy. Journal*, 2, 119–124, doi: <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2024-2-119>

Дата першого надходження статті до видання: 05.05.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 20.05.2026