

БІОІНФОРМАТИКА ТА ЦИФРОВА ГРАМОТНІСТЬ ЯК ЧИННИКИ ОНОВЛЕННЯ ПІДХОДІВ ДО ВИКЛАДАННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ

Нароха Віолетта Петрівна,

кандидатка фармацевтичних наук,

доцентка кафедри хімії ліків та лікарської токсикології,

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця

ORCID: 0000-0001-7676-0223

Ніженковська Ірина Володимирівна,

докторка медичних наук, професорка,

завідувачка кафедри хімії ліків та лікарської токсикології,

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця

ORCID: 0000-0001-5065-3147

Сучасні тенденції розвитку освітнього процесу в напрямі фармацевтичної біотехнології демонструють необхідність залучення в навчальні плани студентів цифрових інструментів, тоді як робота з даними, прогностичне моделювання та підходи *in silico* лишаються на периферії навчального процесу. Міжнародні огляди показують, що цифрова грамотність, електронні системи, телемедицина, аналіз даних і симуляційні формати вже стали частиною професійного середовища фармацевта та фармацевтичного біотехнолога, однак у більшості програм вони викладаються фрагментарно або не викладаються взагалі. Водночас фармацевтична біотехнологія і біофармація дедалі активніше спираються на моделювання, симуляції, цифрові лабораторні середовища та відтворювані цифрові процеси, що дає змогу оптимізувати розроблення лікарських засобів та застосовувати персоналізовані підходи фармакотерапії. Сучасна фармація дедалі більше переходить від класичних хімічно синтезованих препаратів до біотехнологічних лікарських засобів, створених із використанням живих клітин, рекомбінантної ДНК та методів генної інженерії. До таких препаратів належать моноклональні антитіла, рекомбінантні білки, вакцини та генотерапевтичні засоби, які забезпечують більш таргетовану й персоналізовану терапію. За даних умов фармацевтична біоінформатика постає не як вузька вибіркова тема, а як продуктивний спосіб інтегрувати в навчальні плани роботу з даними, цифрове моделювання і принципи відкритої науки. Для України це означає потребу переходу від епізодичної цифровізації навчання до конструктивно узгодженої моделі, де цифрові компетентності, *in silico*-методи та елементи відкритої науки стають обов'язковими складниками підготовки майбутнього фармацевта та фармацевтичного біотехнолога.

Ключові слова: фармацевтична біоінформатика, цифрова компетентність, біотехнологія, моделювання, навчальна програма.

Narokha Violetta, Nizhenkovska Iryna. Bioinformatics and digital literacy as factors in renewing approaches to teaching pharmaceutical biotechnology

Current trends in the development of pharmaceutical biotechnology education highlight the need to integrate digital tools into student curricula, while data handling, predictive modeling, and *in silico* approaches remain largely on the periphery of the educational process. International reviews indicate that digital literacy, electronic systems, telemedicine, data analysis, and simulation-based approaches have already become integral to the professional environment of pharmacists and pharmaceutical biotechnologists; however, in most educational programs, they are taught only fragmentarily or are absent altogether. At the same time, pharmaceutical biotechnology and biopharmaceutical sciences increasingly rely on modeling, simulation, digital laboratory environments, and reproducible digital workflows to optimize drug development and support personalized pharmacotherapy approaches. Modern pharmacy is increasingly shifting from classically chemically synthesized drugs towards biotechnological medicines produced using cell cultures, recombinant DNA technology, and genetic engineering techniques. Such medicines include monoclonal antibodies, recombinant proteins, vaccines, and gene therapy agents, offering more targeted and personalized therapeutic approaches. Under these conditions, pharmaceutical bioinformatics appears not as a narrow elective topic, but as an effective framework for integrating data analysis, digital modeling, and open science principles into educational curricula. For Ukraine, this implies the need to move from episodic digitalization of education towards a systematically coordinated model, in which digital competencies, *in silico* methods, and elements of open science become a mandatory component of training for future pharmacists and pharmaceutical biotechnologists.

Key words: pharmaceutical bioinformatics, digital competence, biotechnology, modeling, curriculum.



Вступ. Сучасна фармацевтична діяльність не обмежується знанням лікарських форм, технологічних операцій чи фармакотерапії у їх традиційному викладі. У практиці й науці фармацевт та фармацевтичний біотехнолог щодо розроблення, створення та всіх етапів життєвого циклу лікарського засобу працює з електронними системами, цифровими слідами пацієнта, моделями розподілу препарату, програмами для оцінки біофармацевтичних параметрів, автоматизованими виробничими платформами, віртуальними середовищами навчання і дедалі частіше з великими масивами даних [1; 2]. Якщо навчальна програма не передбачає формування цих умінь, випускник входить у професію з неповним набором базових знань та засобів мислення.

Саме тому актуальною є необхідність зміни освітньої логіки. Аналіз джерел із цифрової грамотності майбутніх фармацевтів доводить, що формування цифрової компетентності має відбуватися системно разом із конструктивним узгодженням цілей, методів навчання та оцінювання [3]. У цій ситуації фармацевтична біоінформатика є особливо цінною не лише як окрема дисципліна, а й як інтегративна освітня компонента, яка поєднує бази даних, біофармацію, моделювання, алгоритмічне мислення, електронне документування, репродуктивність та ключові засади відкритої науки в одному навчальному полі [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковці та викладачі провідних фармацевтичних наукових шкіл зазначають, що цифрова компетентність у фармації більше не може бути додатковою навичкою. Вона охоплює теоретичне розуміння аналізу даних, знайомство з електронними системами, віртуальні симуляції та завдання на критичне оцінювання цифрових інструментів [5]. Отже, йдеться не про комп'ютерну грамотність у побутовому сенсі, а про професійну здатність діяти у цифровому середовищі.

Наукові джерела засвідчують спільну тенденцію: цифрові технології стали невід'ємним складником фармацевтичної професії, а отже, формування відповідної компетентності має бути системним і всеосяжним [6]. У праці [1] підкреслено, що кожен фармацевт є користувачем фахових цифрових засобів, тому основи цифрової підготовки повинні бути універсальними для всіх студентів, а не лише для окремих спеціалізацій. Цю думку підтверджує дослідження [7], яке демонструє, що використання цифрових інструментів охоплює весь процес застосування лікарських засобів – від електронного призначення та

систем підтримки клінічних рішень до автоматизованих систем і електронного обліку введення препаратів та подальшого клінічного нагляду. Отже, цифрова підготовка не може залишатися ізольованим елементом навчальної програми, оскільки вона пронизує усі аспекти професійної діяльності.

Важливим доповненням є запропонований педагогічний підхід [8], який передбачає поетапну організацію навчання. Згідно з ним, базові комп'ютерні вміння слід розглядати як початкову передумову, тоді як власне інформатику у сфері охорони здоров'я доцільно розподіляти між обов'язковим і поглибленим рівнями. Така структура є особливо актуальною для освіти, де навчальні програми вже є перевантаженими. Вона дає змогу не просто механічно додати новий зміст, а вибудувати послідовний розвиток – від початкової цифрової грамотності до обов'язкових фахових компетентностей і далі до спеціалізованої підготовки, що узгоджується з висновками, запропонованими [9].

Аналіз досліджень також виявляє низку системних розривів між вимогами практики та станом освіти. По-перше, цифрові технології уже інтегровані в повсякденну діяльність фахівців, які працюють на виробництві лікарських засобів, а також з електронними медичними записами, дистанційними формами взаємодії, системами підтримки рішень і мобільними застосунками [10]. Це зумовлює необхідність визначення цифрової компетентності як обов'язкового результату навчання. По-друге, освітні програми часто відстають від практики: у багатьох закладах відсутнє цілісне навчання цифровим технологіям, а їх упровадження має фрагментарний характер [11]. Це свідчить про потребу не в додаванні окремих тем, а в глибокій перебудові навчальних планів.

По-третє, ефективність навчання значною мірою залежить від узгодженості між цілями, змістом і оцінюванням. Як доводять учені [3], найкращі результати досягаються за умов такої узгодженості, що вимагає чіткого формулювання та окремого оцінювання цифрових результатів навчання. Нарешті, дослідження підкреслюють необхідність розмежування базової цифрової грамотності та фахової інформатичної компетентності: остання значно виходить за межі загального користування комп'ютером і потребує спеціалізованої підготовки [12].

Отже, сучасна біофармацевтична освіта стоїть перед завданням системної інтеграції цифрової підготовки, що має охоплювати всі рівні

навчання, бути педагогічно впорядкованою та узгодженою з реальними потребами професійної практики.

Мета статті – обґрунтувати необхідність інтеграції фармацевтичної біоінформатики та цифрових технологій у навчальні програми фармацевтичної та біофармацевтичної освіти в Україні. Мета дослідження розкривається через такі ключові завдання:

- 1) подолання фрагментарності освіти;
- 2) презентація покрокової моделі оновлення навчальної програми з біофармацевтики;
- 3) формування цифрової компетентності фармацевтів.

Виклад основного матеріалу. Найсильніший аргумент на користь оновлення навчальних програм із навчання біофармацевтики дає не лише практика, а й сама логіка сучасної науки. У біофармації, фармацевтичній технології та біотехнології моделювання і симуляція вже стали інструментами розуміння процесів, а не лише допоміжними програмами.

Навчання з використанням *in silico*-симуляцій, де студент не просто отримує готовий результат, а вивчає послідовність від ознайомлення з інтерфейсом і параметрами до дослідницького використання моделі та критики її обмежень. Важливо, що навчання має бути побудоване так, щоб зменшити ефект раптового результату. Студент має бачити логіку моделі, параметри і наслідки власних рішень, а не лише натискати кнопки. Саме така робота і формує науковий стиль мислення, який потрібен сучасному фахівцеві.

Серед успішних прикладів зазначимо програмне середовище GastroPlus, яке використовується для навчання біофармацевтики, фізіологічно обґрунтоване фармакокінетичне моделювання (PBPK) та моделювання абсорбції, розподілу, метаболізму та виведення (ADMET). Ці середовища важливі тим, що поєднують науковий зміст і цифровий інструмент в одному освітньому акті. Студент одночасно вивчає фармацевтичну науку і вчиться працювати з моделлю, яка давно є частиною сучасної дослідницької та індустріальної практики. Отже, *in silico*-середовище тут не замінює зміст, а робить його ближчим до реальної логіки розроблення ліків – від технологічних процесів їх виробництва до доклінічних і клінічних досліджень.

Сьогодні віртуальні та симуляційні формати навчання не виглядають екзотикою. Віртуальна лабораторія з технологій безперервного біовиробництва дає змогу студентам проходити масштабування культури, збирати обладнання, контр-

олювати водневий показник (pH), температуру та розчинений кисень, а також режим оцінювання з фіксацією дій і часу виконання. Новіше віртуальне середовище для очищення біологічних препаратів переносить студентів у масштабний виробничий комплекс, орієнтований на належну виробничу практику, де вони проєктують процес очищення, оптимізують параметри й виконують технологічний цикл на великомасштабному обладнанні, фактично недоступному в університетській лабораторії. Такі приклади свідчать, що комп'ютерне навчання у фармації потрібне не через данину моді, а тому, що без нього неможливо педагогічно відтворити значну частину сучасної науки і виробництва.

Якщо цифрову трансформацію фармацевтичної та біофармацевтичної освіти розкласти лише на окремі сервіси, симуляції чи програми, навчальна програма може перетворитися на набір навчальних фрагментів. Натомість фармацевтична біоінформатика забезпечує цілісну рамку. Вона дає змогу в межах одного курсу або навчального кластера об'єднати кілька напрямів, які в сучасній освіті мають існувати разом:

– робота з даними. Навчати аналізу даних та біоінформатики можна навіть студентів без попередньої підготовки з програмування, якщо використовувати завдання у середовищі *Jupyter* із поступовим ускладненням наборів даних та хмарні середовища, наприклад *Google Colab*. У цій моделі студенти працюють із практичними фармацевтичними застосуваннями даних, а аспіранти глибше занурюються в методологію досліджень. Для освітньої політики це дуже важливий етап, адже залучення до цифрової культури не потребує перетворення кожного студента на програміста, потрібна грамотна педагогічна побудова;

– моделювання живих і фармацевтичних систем. Навіть коли курс стосується не геноміки у вузькому сенсі, а фізіологічно обґрунтованої фармакокінетики, показників всмоктування, розподілу, метаболізму та виведення, моделювання процесів чи системної фармакології, він навчає студента мислити через дані, параметри, моделі, припущення й перевірку результату. У цьому сенсі фармацевтична біоінформатика надає дані не лише про послідовності, а й про холістичне опанування цифрових умінь;

– етика, відтворюваність і відкрита наука. Зараз відкритий доступ до даних, принципи FAIR та відкрита наука у моделювання й симуляції у фармацевтичних науках тісно пов'язують цифрові навички з відтворюваністю та прозорістю дослі-

джень [13]. Отже, відкрита наука тут не є факультативною ідеологічною надбудовою, а становить логічне продовження навчання роботи з даними, кодом, моделями та прозорими процесами.

На основі вищезазначених результатів аналізу ми пропонуємо систему навчальних етапів формування цифрових та аналітичних компетентностей у межах інтегративного курсу, що базується на кількох взаємопов'язаних компонентах. По-перше, робота з даними та середовище електронних блокнотів формує базову цифрову грамотність, навички відтворюваних процесів, а також уміння читати та обробляти дані. По-друге, комп'ютерне моделювання у біофармації, фармацевтичній біотехнології та фармакокінетичних дослідженнях розвиває розуміння параметрів, припущень, прогнозування та критичного аналізу моделі. По-третє, біотехнологічні симуляції та віртуальна реальність забезпечують перенесення теоретичних знань у виробничий контекст, логіку GMP та розвивають процесне мислення. По-четверте, електронне документування відповідає за облік даних, їх відстежуваність та підтримання зв'язку між експериментом і цифровим слідом. Нарешті, відкрита наука та вільно поширювані інструменти сприяють прозорості, повторюваності досліджень та розвитку культури спільної наукової праці.

Важливо зазначити, що для фармацевтичної та фармакобіотехнологічної освіти відкрита наука важлива не лише як наукова етика, а й як конкретний спосіб навчити студента працювати якісніше. Принципи FAIR у фармацевтичній освіті означають, що дані мають бути значущими, доступними, сумісними та придатними для повторного використання. Якщо перекласти це мовою навчального плану, студент має уміти не лише отримати результат, а й організувати дані, описати їх, зберегти контекст, передати іншим і відтворити власний шлях аналізу. Саме тут електронні лабораторні журнали, аналіз на основі електронних блокнотів, контроль версій та обмінні процеси набувають освітнього змісту. Використання електронних портфоліо, зокрема під час проведення практичних занять, показало поліпшення підготовленості у мотивованих студентів, рефлексії над методом і взаємодії між студентом та викладачем. Отже, відкрита наука в навчальній програмі підготовки фармацевта та фармацевтичного біотехнолога має викладатися не як абстрактне гасло, а як набір повсякденних звичок роботи з даними, кодом і моделями.

Український контекст робить цей аргумент ще гострішим. Праця українських дослідників

[14] вже на рівні назви формулює наявність прогалин у вітчизняних програмах підготовки фармацевтів та фармацевтичних біотехнологів щодо цифрових компетентностей. Пізніші вітчизняні наукові публікації також описують цифрову компетентність та інформаційні технології як основу майбутньої професійної діяльності магістра фармації [10].

Отже, потребу в цифровому ядрі програми вже виявлено, а великий обсяг актуальних літературних даних дає змогу зробити наступний крок: перейти від загальної тези про цифровізацію до конкретної моделі реформи навчального плану. Для України це особливо важливо з трьох причин:

1. Оновлення освітніх програм не може обмежитися лише переведенням занять у цифровий формат. Міжнародні огляди наголошують, що сам по собі онлайн-формат не дорівнює цифровій компетентності.

2. Фармацевтична освіта має орієнтуватися не лише на поточну аптечну практику, а й на розвиток біофармації, фармацевтичної біотехнології, моделювання та досліджень, що спираються на дані.

3. Саме інтеграція відкритого та відтворюваного робочого процесу може допомогти зробити навчання ближчим до європейських стандартів дослідницької культури.

Найпереконливішим виглядає не сценарій, де фармацевтична біоінформатика просто додається як вибіркова дисципліна, а сценарій подвійної інтеграції. З одного боку, потрібен обов'язковий курс або модуль, що вводить студентів у роботу з даними, моделювання, електронні системи, відтворюваність та цифрове мислення. З іншого боку, ці вміння мають бути вбудовані в біофармацію, фармакокінетику, фармацевтичну технологію, клінічну фармацію та фармацевтичну біотехнологію. Для впровадження цих компонентів пропонується дворівнева модель інтеграції, яка складається з кількох етапів:

1. **Вхідний рівень:** спрямований на забезпечення базової цифрової грамотності як передумови для подальшого навчання. Основними форматами на цьому етапі є діагностичне тестування та короткий вступний модуль.

2. **Основний рівень:** включає інформатику у сфері охорони здоров'я, роботу з даними, електронні лабораторні журнали, основи відтворюваності та цифрову етику. Оптимальним форматом є змішаний курс із навчанням на прикладах та симуляціями.

– **Науково-технологічний блок:** охоплює комп'ютерне розчинення, фармакокінетику, сис-

темну фармакологію та базову біоінформатику. Навчання реалізується через завдання в середовищі *Jupyter*, семінари з моделювання та програмні лабораторії.

– **Біотехнологічний блок:** фокусується на симуляції біовиробництва, віртуальній реальності та процесному навчанні, орієнтованому на GMP, за допомогою віртуальних лабораторій та завдань із проєктування процесів.

– **Підсумкове оцінювання:** передбачає застосування цифрових інструментів до реальної задачі через виконання проєкту, цифрового портфоліо, захисту кейсу чи складання структурованого практичного іспиту.

Така модель дає змогу уникнути двох крайнощів. Перша полягає у тому, щоб обмежити цифрову компетентність до технічного користування сервісами. Друга полягає у тому, щоб перетворити комп'ютерне навчання на суто програмний тренінг без фахового змісту. Освітньо-продуктивною є лише та конфігурація, де цифрові інструменти слугують розумінню сучасних процесів у фармації та фармацевтичній біотехнології, а не підміняють його.

Висновки. Міжнародна та вітчизняна література переконливо свідчить, що сучасна фармацевтична освіта є неповною, якщо комп'ютерні підходи, цифрова грамотність, медична інформатика та робота з даними залишаються факультативними або випадковими компонентами. Це неповнота не лише технологічна, а насамперед педагогічна, бо студент не отримує мови, якою вже мислять сучасна практика, біофармація, фармацевтична біотехнологія та комп'ютерні фармацевтичні науки.

Фармацевтична біоінформатика в такій перспективі заслуговує на статус базової або принаймні ядрової дисципліни не тому, що вона охоплює модну тематику, а тому, що вона найкраще поєднує дані, моделі, цифрові інструменти, відкриті науку та професійне мислення в єдиному освітньому просторі. Для України стратегічне завдання полягає не у формальній цифровізації окремих курсів, а у створенні навчального плану, де цифрова та комп'ютерна компетентності стають нормативною частиною підготовки майбутніх фахівців у фармації та фармацевтичній біотехнології.

Список літератури:

1. Fox I., Flynn A., Clauson K., Seaton T., Breeden E. An approach for all in pharmacy informatics education. *American Journal of Pharmaceutical Education*. 2017. 81(2), 38. doi: 10.5688/ajpe81238
2. Mantel-Teeuwisse A., Meilanti S., Khatri B., Yi W., Azzopardi L., Acosta Gómez J., Gülpınar G., Bennara K., Uzman N. Digital health in pharmacy education: preparedness and responsiveness of pharmacy programmes. *Education Sciences*. 2021;11(6):296. <https://doi.org/10.3390/educsci11060296>
3. Alowais M., Rudd G., Besa V., Nazar H., Shah T., Tolley C. Digital literacy in undergraduate pharmacy education: a scoping review. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2024;31(3):732–745. doi: 10.1093/jamia/ocad223
4. Lippert J., Burghaus R., Edginton A., Frechen S., Karlsson M., Kovar A., Lehr T., Milligan P., Nock V., Ramusovic S., Riggs M., Schaller S., Schlender J., Schmidt S., Sevestre M., Sjögren E., Solodenko J., Staab A., Teutonico D. Open systems pharmacology community – an open access, open source, open science approach to modeling and simulation in pharmaceutical sciences. *CPT Pharmacometrics Syst. Pharmacol.* 2019; 8:878–882. doi: 10.1002/psp4.12473
5. Nizhenkovska I., Afanasenko O., Nizhenkovskiy A. Adaptive testing in pharmaceutical education: strategies and benefits. *Phytotherapy. Journal* 2024;2:119–124. doi: 10.32782/2522-9680-2024-2-119
6. Silva R., de Araújo D., dos Santos Menezes P., Neves E., de Lyra D. Digital pharmacists: the new wave in pharmacy practice and education. *International Journal of Clinical Pharmacy*. 2022;44:775–780. doi: 10.1007/s11096-021-01365-5
7. Ronkowski C., Deshpande D., Sharma N., Vahed M., Patel Y., Gukasyan H., Wu M., Peng K., Church T., Kim R., Mirzaian E., Padula W., Tomaszewski D., Ng T., Wong-Beringer A., Zaro J., Qato D., Davies D., Papadopoulos V., Mangul S. Pioneering computational culture within pharmacy schools by empowering students with data science and bioinformatics skills. *American Journal of Pharmaceutical Education*. 2025;89(2):101341. doi: 10.1016/j.ajpe.2024.101341
8. Martin L., Warholak T., Hincapie A., Gallo T., Kjos A., AACP Joint Task Force on Informatics. Health informatics competencies for pharmacists in training. *American Journal of Pharmaceutical Education*. 209;83(2): 6512. doi: 10.5688/ajpe6512
9. Breeden E., Clauson K. Development and implementation of a multitiered health informatics curriculum in a college of pharmacy. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2016; 23(4):844–847. doi: 10.1093/jamia/ocw023
10. Reva T., Kucherenko I., Nizhenkovska I., Stuchynska N., Konovalova L., Burmaka O., Chkhalo O., Koval A. Digital component of professional competence of masters of pharmacy in the framework of blended learning. *Archives of Pharmacy Practice*. 2021;12(1):98–102. doi: 10.51847/avsEptmZsN
11. Clauson K., Breeden E., Fingado A., Kaing L., Flynn J., Cutler T. A progress report on the state of pharmacy informatics education in US pharmacy schools and colleges. *American Journal of Pharmaceutical Education*. 2018;82(7):6332. doi: 10.5688/ajpe6332
12. Kuchyn I., Reva T., Stuchynska N., Mykytenko P., Kucherenko I., Chkhalo O. Digital competence and information technology in pharmacy as foundations of professional competence in distance learning for master of pharmacy. *Annals of Pharmacy Education, Safety, and Public Health Advocacy*. 2023;3:50–57. doi: 10.51847/5Q3yJiWkQG

13. McLaughlin J, Tropsha A, Nicolazzo J, Crescenzi A, Brouwer K. Moving towards FAIR data practices in pharmacy education. *American Journal of Pharmaceutical Education*. 2022;86(3):8670. doi: 10.5688/ajpe8670
14. Kryshchyshyn A, Kaminsky D, Atamanyuk D, Lesyk. Computer technologies in pharmacy: Filling in the gaps in Ukrainian PharmD curriculum. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*. 2015;7(4):556–559. doi: 10.1016/j.cptl.2015.04.008

References:

1. Fox I, Flynn A, Clauson K, Seaton T, Breeden E. An approach for all in pharmacy informatics education. *American Journal of Pharmaceutical Education*. 2017;81(2):38. doi: 10.5688/ajpe81238
2. Mantel-Teeuwisse A, Meilanti S, Khatri B, Yi W, Azzopardi L, Acosta Gómez J, Gülpınar G, Bennara K, Uzman N. Digital health in pharmacy education: preparedness and responsiveness of pharmacy programmes. *Education Sciences*. 2021;11(6):296. <https://doi.org/10.3390/educsci11060296>
3. Alowais M, Rudd G, Besa V, Nazar H, Shah T, Tolley C. Digital literacy in undergraduate pharmacy education: a scoping review. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2024;31(3):732–745. doi: 10.1093/jamia/ocad223
4. Lippert J, Burghaus R, Edginton A, Frechen S, Karlsson M, Kovar A, Lehr T, Milligan P, Nock V, Ramusovic S, Riggs M, Schaller S, Schlender J, Schmidt S, Sevestre M, Sjögren E, Solodenko J, Staab A, Teutonico D. Open systems pharmacology community—an open access, open source, open science approach to modeling and simulation in pharmaceutical sciences. *CPT Pharmacometrics Syst. Pharmacol*. 2019; 8:878–882. doi: 10.1002/psp4.12473
5. Nizhenkovska I, Afanasenko O, Nizhenkovskiy A. Adaptive testing in pharmaceutical education: strategies and benefits. *Phytotherapy. Journal* 2024;2:119–124. doi: 10.32782/2522-9680-2024-2-119
6. Silva R, de Araújo D, dos Santos Menezes P, Neves E, de Lyra D. Digital pharmacists: the new wave in pharmacy practice and education. *International Journal of Clinical Pharmacy*. 2022;44:775–780. doi: 10.1007/s11096-021-01365-5
7. Ronkowski C, Deshpande D, Sharma N, Vahed M, Patel Y, Gukasyan H, Wu M, Peng K, Church T, Kim R, Mirzaian E, Padula W, Tomaszewski D, Ng T, Wong-Beringer A, Zaro J, Qato D, Davies D, Papadopoulos V, Mangul S. Pioneering computational culture within pharmacy schools by empowering students with data science and bioinformatics skills. *American Journal of Pharmaceutical Education*. 2025;89(2):101341. doi: 10.1016/j.ajpe.2024.101341
8. Martin L, Warholak T, Hincapie A, Gallo T, Kjos A, AACP Joint Task Force on Informatics. Health informatics competencies for pharmacists in training. *American Journal of Pharmaceutical Education*. 2019;83(2): 6512. doi: 10.5688/ajpe6512
9. Breeden E, Clauson K. Development and implementation of a multitiered health informatics curriculum in a college of pharmacy. *Journal of the American Medical Informatics Association*. 2016; 23(4):844–847. doi: 10.1093/jamia/ocw023
10. Reva T, Kucherenko I, Nizhenkovska I, Stuchynska N, Konovalova L, Burmaka O, Chkhalo O, Koval A. Digital component of professional competence of masters of pharmacy in the framework of blended learning. *Archives of Pharmacy Practice*. 2021;12(1):98–102. doi: 10.51847/avsEptmZsN
11. Clauson K, Breeden E, Fingado A, Kaing L, Flynn J, Cutler T. A progress report on the state of pharmacy informatics education in US pharmacy schools and colleges. *American Journal of Pharmaceutical Education*. 2018;82(7):6332. doi: 10.5688/ajpe6332
12. Kuchyn I, Reva T, Stuchynska N, Mykytenko P, Kucherenko I, Chkhalo O. Digital competence and information technology in pharmacy as foundations of professional competence in distance learning for master of pharmacy. *Annals of Pharmacy Education, Safety, and Public Health Advocacy*. 2023;3:50–57. doi: 10.51847/5Q3yJiWkQG
13. McLaughlin J, Tropsha A, Nicolazzo J, Crescenzi A, Brouwer K. Moving towards FAIR data practices in pharmacy education. *American Journal of Pharmaceutical Education*. 2022;86(3):8670. doi: 10.5688/ajpe8670
14. Kryshchyshyn A, Kaminsky D, Atamanyuk D, Lesyk. Computer technologies in pharmacy: Filling in the gaps in Ukrainian PharmD curriculum. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning*. 2015;7(4):556–559. doi: 10.1016/j.cptl.2015.04.008

Дата першого надходження статті до видання: 01.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.07.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 14.09.2026