

DOI 10.11603/m.2414-5998.2024.1.14582  
УДК 615:004.8:378:005.336.4(15)

**Т. М. Потапова**

ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0184-3571>

**В. Ю. Слесарчук**

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8777-1243>

**Н. В. Логвиненко**

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3694-7234>

*Дніпровський державний медичний університет, Дніпро*

## СВІТОВИЙ ДОСВІД І ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ ТА У ФАРМАЦЕВТИЧНІЙ ПРАКТИЦІ

**T. M. Potapova, V. Yu. Sliesarchuk, N. V. Lohvynenko**

*Dnipro State Medical University, Dnipro*

## GLOBAL EXPERIENCE AND PROSPECTS OF THE APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE EDUCATIONAL PROCESS AND IN PHARMACEUTICAL PRACTICE

**Анотація.** Фармацевтична галузь сучасної України посідає значне місце в економіці країни та відрізняється значною наукоємністю і стабільними темпами зростання. Реалії фармацевтичного ринку сьогодення охоплюють усе більше різноманіття надання послуг, які реалізуються в специфічній організації роботи аптеки та набувають клінічну направленість і потребують додаткової спеціальної підготовки фармацевтів. Для підтримки та розвитку галузі важливим фактором є високий професіоналізм і досвідченість фахівців. При цьому професіоналізм повинен бути й у фінансово-економічному підрозділі ведення підприємства, і в елементах фармацевтичного менеджменту та маркетингу організації роботи аптеки, а також і в технологічних інноваціях, які дуже активно впроваджуються в систему охорони здоров'я.

Впровадження штучного інтелекту у фармацевтичну галузь змінило процеси відкриття, розробки, виробництва, клінічних випробувань і маркетингу ліків. Можливості штучного інтелекту варіюються від підвищення точності та мінімізації помилок до реалізації раніше неможливих нових ідей. За останнє десятиліття фармацевтичні дослідження змінили свою парадигму в бік досліджень на основі штучного інтелекту. Фармацевтична індустрія використовує штучний інтелект у розробці ліків, оптимізації дизайну ліків тощо, заощаджуючи час, гроші та зменшуючи ризики у вигляді ускладнень, небажаних побічних дій для пацієнтів під час вживання нових лікарських засобів. Автоматизація на виробництві на основі штучного інтелекту спрощує процес, покращує контроль якості та оптимізує параметри виробництва. Застосування алгоритмів штучного інтелекту для верифікації захворювань і прогнозування результатів випробувань є дуже перспективними для лікування пацієнта.

Таким чином, у нову еру фармацевтичної практики та освіти, навчальні програми вищої фармацевтичної школи повинні сприяти розвитку конкретних компетенцій для когнітивного, свідомого та ефективного використання цифрових інструментів.

**Ключові слова:** штучний інтелект; фармацевтичні науки; освіта; ліки.

**Abstract.** The pharmaceutical industry of modern Ukraine occupies a significant place in the country's economy and is characterised by significant research intensity and stable growth rates. The realities of the pharmaceutical market today include an increasing variety of services that are provided in a specific pharmacy organisation and are becoming clinically oriented and require additional specialised training of pharmacists. High professionalism and experience of specialists is an important factor in maintaining and developing the industry. Moreover, professionalism should be present in the financial and economic department of the company, in the elements of pharmaceutical management and marketing of the pharmacy, as well as in technological innovations, which are being actively introduced into the healthcare system.

The introduction of artificial intelligence (AI) into the pharmaceutical industry has changed the processes of drug discovery, development, manufacturing, clinical trials and marketing. The capabilities of AI range from increasing accuracy and minimizing errors to realizing previously impossible new ideas. Over the last decade, pharmaceutical research has shifted its paradigm towards artificial intelligence-based research. The pharmaceutical industry uses AI in drug development, drug design optimization and many other processes, saving time, money and reducing risks in the form of complications, unwanted side effects for patients during administration new medicines. AI-based manufacturing automation simplifies the process, improves quality control, and optimizes production parameters. The application of AI algorithms to verify diseases and predict test results is very promising for patient treatment.

© Т. М. Потапова, В. Ю. Слесарчук, Н. В. Логвиненко

Thus, in the new era of pharmaceutical practice and education, the curricula of higher pharmacy schools should promote the development of specific competencies for the cognitive, conscious and effective use of digital tools.

**Key words:** artificial intelligence; pharmaceutical sciences; education; medicine.

**Вступ.** Фармацевтична індустрія – одна з найдинамічніших галузей, і перша реагує на всі зміни ринку, у тому числі технологічні. Тому інновації, здатні оптимізувати вартісні процеси випуску, просування та збуту товарів, майже миттєво опиняються на фармринку. У фармацевті доводиться працювати з величезними обсягами даних: починаючи від процесу розробки лікарських засобів [4, 22], тестування лікарських препаратів [18], аналізу токсичності та безпеки [7] і до придбання пацієнтом в аптеці. Інформація про лабораторну діагностику, моніторинг стану пацієнтів, пости на форумах та в соціальних мережах про ефективність препарату – це все корисні відомості для фармацевтичної компанії. Однак через їх кількість і розрізненість фірма-виробник не встигає обробити й засвоїти ці знання, а тим більше застосувати. У вирішенні цього та інших завдань можуть допомогти штучний інтелект (ШІ), розробка комп'ютерних систем, здатних виконувати завдання, які зазвичай потребують людського інтелекту, наприклад візуальне сприйняття, розпізнавання мови, прийняття рішень і переклад між мовами. Завдяки величезній кількості інформації ШІ може надати справжню допомогу в аналізі цих даних і представленні результатів, які допоможуть у прийнятті рішень, зберігаючи людські зусилля, час і гроші, а отже, допоможе зберегти здоров'я та життя.

На сьогодні ШІ у фармацевті застосовується в різних сферах, від відкриття ліків та секвенування генома до розробки персоналізованої медицини. Загалом, ШІ – це новітні технології, які за допомогою комп'ютера можуть імітувати мозок людини та, як наслідок, використовуватися на всьому шляху відкриття і розробки нових лікарських засобів. Крім того, ШІ застосовується для оптимізації молекулярної структури потенційних ліків та для розуміння того, як точні форми білків визначають їх функції для здоров'я та дисфункцію у разі захворювання [10].

На даний момент на ринку представлено багато спеціалістів з обробки даних або IT-фахівців. Однак без попереднього знання фармакологічних наук IT-фахівці можуть зіткнутися з труднощами під час розробки фармацевтичних досліджень на основі ШІ. З іншого боку, більшість сучасних фармацевтів не має достатніх знань та комп'ютерного досвіду,

через що розробка ШІ здається їм невіддільною.

Тому дуже актуальною стає потреба у фармацевтах із відповідними навичками та знаннями, пов'язаними із ШІ. Але сучасні традиційні навчальні програми фармацевтичної освіти не охоплюють курси вивчення та використання ШІ.

**Мета статті** – мета-аналіз наукових робіт щодо використання штучного інтелекту у фармацевтичній галузі та доведення важливості включення в освітню програму вищої фармацевтичної школи дисциплін, що пов'язані зі штучним інтелектом (artificial intelligence), таких як статистика (statistics), науки про дані (data sciences), алгоритми (algorithms) та машинне навчання (machine learning).

Було проаналізовано 22 опублікованих роботи зі Scopus, PubMed, Science Direct, які описували фармакологічні дослідження, проведені за допомогою ШІ.

**Теоретична частина.** Як відомо, за останні два десятиліття дуже активно використовуються методи machine learning у раціональному процесі розробки лікарських засобів [10, 12]. Так, у січні 2020 р. британська фармацевтична компанія Exscientia повідомила, що її сполука DSP-1181, яка призначена для лікування обсесивно-компульсивного розладу, починає клінічні випробування фази 1. DSP-1181 було створено з використанням платформи штучного інтелекту. DSP-1181 є першим подібним препаратом, який почав клінічні випробування. Exscientia, у партнерстві з японською компанією Sumitomo Dainippon Pharma, зазначила, що від початку скринінгу до кінця доклінічного тестування минуло менше 12 місяців [15]. В той час як глобальний середній показник становить 4–6 років, причому тільки 1 з 1000 перевірених молекул проходить клінічні випробування. Тим не менш, немає гарантії, що DSP-1181 отримає дозвіл регулятора. За даними T. Burki [8], 90 % сполук, які починають випробування фази 1, не потрапляють на ринок.

Аналіз 12 провідних біофармацевтичних компаній, проведений Deloitte у 2018 р., показав, що кожна компанія витрачає в середньому близько 3 млрд доларів США на дослідження та розробки кожного препарату, який виходить на ринок, приблизно третина з яких йде на розробку ліків [16]. Від відкриття молекули до виходу її як лікарського засобу проходить 10–12 років [9, 14].

Зрозуміло, що як для фармацевтичної компанії, так і для пацієнта на сьогодні актуальною проблемою постають скорочення строків розробки і випуску нового препарату, а також зниження витрат на дослідження.

У своїй роботі Schneider та співавтори (2020) продемонстрували значну ефективність цифрових методів у розробці ліків, а також надали плідну думку про різні аспекти фармакотерапії. Таким чином, залучення ШІ стає потужною та перспективною технологією фармацевтики [20].

Наразі прориви в цьому напрямі однозначно показали нам, як ШІ продемонструє свій величезний потенціал у прискоренні відкриття нових ліків, удосконаленні досліджень генетичних варіантів і застосуванні в персоналізованій медицині. Деякі з таких досліджень наведено в таблиці 1.

Оскільки ШІ продовжує інтегруватися як у клінічні, так і у фармацевтичні процеси, медична освіта повинна мати такий вектор розвитку, щоб могла за-

довольняти виклики сьогодення. Для спрощення інтеграції ШІ в існуючі навчальні програми медична освіта для фармацевтів має бути більш доступною. У своїй роботі Aungst зі співавторами визначив одну із потенційних стратегій – включення тем цифрової охорони здоров'я (artificial intelligence, statistics, data sciences, algorithms, machine learning) у навчальну програму фармацевтичних шкіл і посилення навчання цифрової охорони здоров'я через курси за вибором та освітні напрями або сертифікаційні програми. Післядипломна освіта також повинна включати такі програми для продовження освіти [6].

У травні 2021 р. Міжнародна фармацевтична федерація (FIP) опублікувала вичерпний звіт про Глобальну структуру цифрової освіти в галузі охорони здоров'я. Цей звіт є першим у своєму роді, який демонструє глобальні ініціативи, які інтегрують цифрове здоров'я у фармацевтичну освіту та в роботу аптеки, використовуючи опитування, щоб зрозуміти, які можливості вже були [21].

**Таблиця 1.** Наукові дослідження у фармації із застосуванням штучного інтелекту

№ з/п	Автор, публікація	Опис дослідження
1	A Deep Learning Approach to Antibiotic Discovery. M. Stokes et al. [3]	Розширили арсенал антибіотиків, завдяки Deep Learning, шляхом відкриття структурно відмінних антибактеріальних молекул, які зупиняють ріст <i>Escherichia coli</i> , <i>Clostridioides difficile</i> та панрезистентні <i>Acinetobacter baumannii</i> на моделях мишей
2	Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. Jumper et al. [13].	Науковці використали ШІ для прогнозування тривимірної структури білків, заснованих на їхніх одновимірних амінокислотних послідовностях
3	Accurate prediction of protein structures and interactions using a 3-track neural network. Baek et al. [2]	
4	Modeling the Bioactivation and Subsequent Reactivity of Drugs. Hughes et al. [17]	Автори описали процес біоактивації до реакційноздатних метаболітів, які призводять до взаємодії з макромолекулами і, як наслідок, до токсичності. Ця модель описує як метаболізм, так і реактивність і дозволяє швидко оцінити претендентів на ліки на предмет ризику токсичності, який не спостерігається під час доклінічних випробувань
5	Precision Medicine and Artificial Intelligence: A Pilot Study on Deep Learning for Hypoglycemic Events Detection based on ECG. M. Porumb et al. [19]	Автори провели пілотне дослідження Deep Learning для виявлення гіпоглікемічних подій на основі ЕКГ. Результати цього дослідження показали, що гіпоглікемічні події можна автоматично виявляти за допомогою кількох серцевих скорочень ЕКГ, записаних переносними пристроями в умовах вільного життя з використанням персоналізованих класифікаторів на основі алгоритмів Deep Learning ШІ
6	Artificial intelligence in cancer research and precision medicine. Cancer Discovery. B. Bhinder et al. [5]	Автори досліджують використання ШІ в персоналізованій медицині та дослідженнях раку. Ці програми охоплюють широкий спектр предметів, включаючи молекулярну характеристику зл�акісних новоутворень та їх мікрооточення, відкриття та перепрофілювання ліків, а також прогнозування результатів лікування

Основні висновки анкетування значною мірою віддзеркалювали пошук навчальних програм США, підкреслюючи обмежену кількість фармацевтичних шкіл, які пропонують цифрову медичну освіту. Проблеми, які виявилися з впровадженням цифрової медичної освіти, полягали в обмежених ресурсах і наявності фахівців-експертів, які керували цим процесом. Незважаючи на ці висновки, виявилася перспективна тенденція в тому, що приблизно половина учасників погодилася, що їхня школа зможе включити нові цифрові інструменти охорони здоров'я в навчальні програми, коли вони з'являться, і що їхні учні будуть готові надавати цифрові медичні послуги. Висновки цього звіту висвітлили прогалини в знаннях і навичках фармацевтів [11].

Щоб стати фахівцем із ШІ у фармації, потрібно оволодіти кількома галузями науки. Ці галузі включають інформатику, біологію, комп'ютерні науки, математику та статистику, а також самі фармакологічні науки. Проте, без попередніх знань із фармацевтичних наук, ці ІТ-фахівці можуть зіткнутися з труднощами в розробці досліджень на основі ШІ. З іншого боку, більшість сучасних фахівців-фармацевтів не має певного комп'ютерного досвіду та навичок, через що розробка ШІ здається їм не під силу.

Для того щоб усунути ці бар'єри, необхідно включити до навчальної програми з фармації курси, пов'язані зі ШІ, такі як artificial intelligence, statistics, data sciences, algorithms, machine learning.

На прикладі нашого університету ми покажемо та проаналізуємо навчальну програму відповідно до нових стандартів освітньо-професійної програми спеціальності «Фармація. Промислова фармація» (за новим затвердженням «Стандартом вищої освіти зі спеціальності 226 Фармація, промислова фармація» [1]) (табл. 2). Освітня програма базується на

сучасних наукових досягненнях у галузі фармації та засадах доказової медицини. Вона дозволяє здобути ґрунтовні знання щодо використання лікарських засобів у медичній практиці, а також первинний організаційний (управлінський) досвід. Передбачає можливість проходження практик на виробничих підприємствах. Орієнтована на застосування спеціальних інформаційних технологій.

Як можна побачити з таблиці 2, дуже незначний відсоток (2,6 %) із загальної кількості кредитів за 4 роки 10 місяців навчання припадає на вивчення інформаційних технологій. Подібна ситуація спостерігається не тільки в університетах України, але і в багатьох країнах світу. Тому що більшість магістерських програм з фармації приділяє значну увагу фундаментальним компетенціям у фармацевтичних науках, а опанування дисциплін із цифрової грамотності в галузі охорони здоров'я залишаються майже поза увагою.

Майбутні фахівці, магістри-фармацевти, набувають знання в середньому протягом 5 років. Але в програмах не закладено достатньої кількості кредитів для опанування інформаційних технологій у такому обсязі, щоб було можливо працювати із ШІ. Є необхідність переоглянути силабуси та, або, доповнити, наситити програму курсами, пов'язаними із ШІ, або організувати додаткові курси, факультативи, де студенти зможуть інтенсивно вивчати ШІ протягом декількох місяців, як в університеті, так і за його межами.

Можливо, таких базових курсів, пов'язаних із ШІ, а також додаткових дисциплін та факультативів не буде достатньо для задоволення мінімальних вимог для розвитку ШІ, але може стати підґрунтям для розуміння фармацевтом основних принципів ШІ та його потенціалу у фармакологічних науках. Фахівці-фармацевти, які зацікавлені в здобутті таких знань, продовжують своє навчання після закінчен-

**Таблиця 2.** Навчальні кредити з дисциплін у підготовці фармацевтів у Дніпровському державному медичному університеті

Нормативні навчальні дисципліни	Кредити
Цикл загальної підготовки	12,5
Цикл професійної підготовки (серед них):	170,5
інформаційні технології у фармації	4
комп'ютерне моделювання у фармації	4
Вибіркові навчальні дисципліни	75
Практики	33,0
Агестація	9
Загальна кількість кредитів за 4 роки 10 місяців навчання	300

ня університету, оскільки не всі студенти фармацевтичних факультетів мають високий інтерес до розвитку штучного інтелекту у фармації.

У той час як більшість великих університетів має фармацевтичні факультети, жоден з них не має основної спеціалізації зі штучного інтелекту у фармації. Звичайно після проходження базових курсів, протягом 5 років навчання, пов'язаних із ШІ, подальший розвиток у здобутті знань можна продовжити в складнику освіти післядипломної підготовки зі спрямованою спеціалізацією, направленою на оволодіння методикою ШІ. Так, робочі програми інтернатури, метою яких є набуття фармацевтами-інтернами компетентностей, необхідних для отримання кваліфікації фармацевта-спеціаліста, для здійснення практичної діяльності, підвищення їх професійних знань та практичних умінь і навичок, також можна зорієнтувати на курс спеціалізації ШІ, що, у свою чергу, дає відмінний старт до проведення наукових досліджень і таким чином провести підготовку спеціаліста як науковця. Враховуючи сучасні тенденції застосування штучного інтелекту у фармакологічних науках і той факт, що не вистачає кваліфікованих фармацевтів з відповідною підготовкою в галузі штучного інтелек-

ту, важливо, щоб і фармацевтичні університети, з одного боку, і спеціалісти із ШІ – з іншого, почали спільно діяти – створювати курси, платформи для навчання та підвищення кваліфікації фармацевтів у сфері штучного інтелекту.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Підсумовуючи, можна дійти висновку, що впровадження ШІ у фармацевтичну галузь відкриває нову еру можливостей. Вплив ШІ є багатограним і трансформуючим: від відкриття та розробки нових ліків до клінічних випробувань і маркетингу. Він має потенціал для прискорення розробки ліків та оптимізації виробничих процесів (управління доходами, ведення медичної документації, аналіз даних про відвідування, призначені препарати, лабораторні аналізи та процедури, що проводилися пацієнту в минулому). Однак для того щоб штучний інтелект справді реалізував свої можливості, необхідно впровадити та вдосконалити систему освіти фармацевтів, систему керування даними. Оскільки ШІ продовжує розвиватися та змінювати фармацевтичне середовище, він є ключем до відкриття нових рішень, підвищення ефективності та, зрештою, зміни нашого підходу до охорони здоров'я та медичних досягнень.

### Список літератури

1. Про затвердження стандарту вищої освіти зі спеціальності 226 Фармація, промислова фармація для другого (магістерського) рівня вищої освіти : наказ Міністерства освіти і науки України від 04.11.2022 р. № 981.
2. Accurate prediction of protein structures and interactions using a 3-track neural network / M. Baek, F. DiMaio, I. Anishchenko [et al.] // *Science*. – 2021. – Vol. 373 (6557). – P. 871–876.
3. A Deep Learning Approach to Antibiotic Discovery / M. Stokes, K. Yang, K. Swanson [et al.] // *Science Direct*. – 2020. – Vol. 180, Issue 4. – P. 688–702.
4. Advancing drug discovery via artificial intelligence / H. S. Chan, H. Shan, T. Dahoun [et al.] // *Trends in pharmacological sciences*. – 2019. – Vol. 40 (8). – P. 592–604.
5. Artificial intelligence in cancer research and precision medicine / B. Bhinder, C. Gilvary, N. S. Madhukar, O. Elemento // *Cancer Discovery*. – 2021. – Vol. 11 (4). – P. 900–915.
6. Aungst T. D. Integrating Digital Health into the Curriculum-Considerations on the Current Landscape and Future Developments / T. D. Aungst, R. Patel // *Journal of Medical Education and Curricular Development*. – 2020. – Vol. 7.
7. Basile A. O. Artificial intelligence for drug toxicity and safety / A. O. Basile, A. Yahi, N. P. Tatonetti // *Trends in pharmacological sciences*. – 2019. – Vol. 40 (9). – P. 624–635.
8. Burki T. A new paradigm for drug development / T. Burki // *The Lancet Digital Health*. – 2020. – Vol. 2 (5). – P. e226-e227.
9. Discovering Anti-Cancer Drugs via Computational Methods / W. Cui, A. Aouidate, Sh. Wang [et al.] // *Frontiers in Pharmacology*. – 2020. – Vol. 11 (733). – Access mode : <https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2020.00733/full>.
10. Farghali H. The Potential Applications of Artificial Intelligence in Drug Discovery and Development / H. Farghali, N. Kutinová Canová, M. Arora // *Physiol. Res*. – 2021. – Vol. 70 (Suppl. 4). – P. S715–S722.
11. FIP Digital Health in Pharmacy Education / International Pharmaceutical Federation (FIP). – 2021. – Access mode : <https://www.fip.org/file/4958>.
12. From machine learning to deep learning: progress in machine intelligence for rational drug discovery / L. Zhang, J. Tan, D. Han, H. Zhu // *Drug discovery today*. – 2017. – Vol. 22 (11). – P. 1680–1685.
13. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold / J. Jumper, R. Evans, A. Pritzel [et al.] // *Nature*. – 2021. – Vol. 596 (7873). – P. 583–589. – Access mode :

<https://www.nature.com/articles/s41586-021-03819-2%3C>.

14. Hinkson I. V. Accelerating Therapeutics for Opportunities in Medicine: A Paradigm Shift in Drug Discovery / I. V. Hinkson, B. Madej, E. A. Stahlberg // *Frontiers in Pharmacology*. – 2020. – Vol. 11. – P. 770. – Access mode : <https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2020.00770/full>.

15. Integrated Report / Sumitomo Dainippon Pharma. – 2020. – Access mode : <https://www.ds-pharma.com/ir/library/annual/pdf/2020/eng114.pdf>.

16. Intelligent drug discovery. A report from the Deloitte Centre for Health Solutions. – 2019. – Access mode : <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/life-sciences-health-care/deloitte-ch-en-intelligent-drug-discovery.pdf>.

17. Modeling the Bioactivation and Subsequent Reactivity of Drugs / T. B. Hughes, N. Flynn, N. L. Dang, S. J. Swamidass // *Chem. Res. Toxicol.* – 2021. – Vol. 34 (2). – P. 584–600.

18. Najafi S. The use of AI on drug testing / S. Najafi // *International Journal of Modern Engineering Technologies*. – 2020. – Vol. 2 (1).

19. Precision medicine and artificial intelligence: a pilot study on deep learning for hypoglycemic events detection based on ECG / M. Porumb, S. Stranges, A. Pescapè, L. Pecchia // *Scientific reports*. – 2020. – Vol. 10 (1). – P. 1–16.

20. Rethinking drug design in the artificial intelligence era / P. Schneider, W. P. Walters, A. T. Plowright [et al.] // *Nat. Rev. Drug Discov.* – 2020. – Access mode : [https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10089268/3/Fisher%20RETHINK\\_manuscript\\_14Sep2019\\_final.pdf](https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10089268/3/Fisher%20RETHINK_manuscript_14Sep2019_final.pdf).

21. Sangave N. A. Artificial Intelligence Applications in Education and Pharmacy Practice / N. A. Sangave, Ch. Cheung. – 2020. – Access mode : <https://www.pharmacytimes.com/view/artificial-intelligence-applications-in-education-and-pharmacy-practice>.

22. Smalley E. AI-powered drug discovery captures pharma interest / E. Smalley // *Nature Biotechnology*. – 2017. – Vol. 35 (7). – P. 604–606.

## References

1. Nakaz Ministerstva osvity i nauky Ukrainy Pro zverdzhenia standartu vyshchoi osvity zi spetsialnosti 226 Farmatsiia, promyslova farmatsiia dlia druhoho (mahisterskoho) rivnia vyshchoi osvity vid 04.11.2022 r. № 981 [Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine On Approval of the Standard of Higher Education in the Specialty 226 Pharmacy, Industrial Pharmacy for the Second (Master's) Level of Higher Education dated 04.11.2022 No. 981] [in Ukrainian].

2. Baek, M., DiMaio, F., Anishchenko, I., Dauparas, J., Ovchinnikov, S., Lee, G.R., ... Baker, D. (2021). Accurate prediction of protein structures and interactions using a 3-track neural network. *Science*, 373(6557), 871-876.

3. Stokes, M., Yang, K., Swanson, K., Jin, W., Cubillos-Ruiz, A., Donghia, N.M., ... Collins, J.J. (2020). A Deep Learning Approach to Antibiotic Discovery. *Science Direct*, 180(4), 688-702.

4. Chan, H.S., Shan, H., Dahoun, T., Vogel, H., & Yuan, S. (2019). Advancing drug discovery via artificial intelligence. *Trends in pharmacological sciences*, 40(8), 592-604.

5. Bhinder, B., Gilvary, C., Madhukar, N.S., & Elemento, O. (2021). Artificial intelligence in cancer research and precision medicine. *Cancer Discovery*, 11(4), 900-915.

6. Aungst, T.D., & Patel, R. (2020). Integrating Digital Health into the Curriculum—Considerations on the Current Landscape and Future Developments. *Journal of Medical Education and Curricular Development*, 7.

7. Basile, A.O., Yahi, A., & Tatonetti, N.P. (2019). Artificial intelligence for drug toxicity and safety. *Trends in pharmacological sciences*, 40(9), 624-635.

8. Burki, T. (2020). A new paradigm for drug development. *The Lancet Digital Health*, 2(5), e226-e227.

9. Cui, W., Aouidate, A., Wang, S., Qiuliyang, Yu., Li, Y., & Yuan, S. (2020). Discovering Anti-Cancer Drugs via Computational Methods. *Frontiers in Pharmacology*, 11, 733. Retrieved from: <https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2020.00733/full>.

10. Farghali, H., Canová, N.K., & Arora, M. (2021). The Potential Applications of Artificial Intelligence in Drug Discovery and Development. *Physiol. Res.*, 70(4), S715-S722.

11. International Pharmaceutical Federation (FIP) (2021). FIP Digital Health in Pharmacy Education. Retrieved from: <https://www.fip.org/file/4958>.

12. Zhang, L., Tan, J., Han, D., & Zhu, H. (2017). From machine learning to deep learning: progress in machine intelligence for rational drug discovery. *Drug discovery today*, 22(11), 1680-1685.

13. Jumper, J., Evans, R., Pritzel, A., Green, T., Figurnov, M., Ronneberger, O., ... Hassabis, D. (2021). Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature*, 596(7873), 583-589. Retrieved from: <https://www.nature.com/articles/s41586-021-03819-2%3C>.

14. Hinkson, I.V., Madej, B., & Stahlberg, E.A. (2020). Accelerating Therapeutics for Opportunities in Medicine: A Paradigm Shift in Drug Discovery. *Frontiers in Pharmacology*, 11, 770. Retrieved from: <https://www.frontiersin.org/journals/pharmacology/articles/10.3389/fphar.2020.00770/full>.

15. Sumitomo Dainippon Pharma (2020). Major products under development. Retrieved from: <https://www.ds-pharma.com/ir/library/annual/pdf/2020/eng114.pdf>.

16. (2019). Intelligent drug discovery. A report from the Deloitte Centre for Health Solutions. Retrieved from: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Docu>

ments/life-sciences-health-care/deloitte-ch-en-intelligent-drug-discovery.pdf.

17. Hughes, T.B., Flynn, N., Dang, N.L., & Swamidass, S.J. (2021). Modeling the Bioactivation and Subsequent Reactivity of Drugs. *Chem. Res. Toxicol.*, 34(2), 584-600.

18. Najafi, S. (2020). The use of AI on drug testing. *International Journal of Modern Engineering Technologies*, 2(1).

19. Porumb, M., Stranges, S., Pescapè, A., & Pecchia, L. (2020). Precision medicine and artificial intelligence: a pilot study on deep learning for hypoglycemic events detection based on ECG. *Scientific reports*, 10(1), 1-16.

20. Schneider, P., Walters, W.P., Plowright, A.T., Sieroka, N., Listgarten, J., Goodnow Jr., R.A., ... Schneider, G. (2020). Rethinking drug design in the artificial intelligence era. *Nat. Rev. Drug Discov.* Retrieved from: [https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10089268/3/Fisher%20RETHINK\\_manuscript\\_14Sep2019\\_final.pdf](https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10089268/3/Fisher%20RETHINK_manuscript_14Sep2019_final.pdf).

21. Sangave, N.A., & Cheung, Ch. (2022). Artificial Intelligence Applications in Education and Pharmacy Practice. Retrieved from: <https://www.pharmacytimes.com/view/artificial-intelligence-applications-in-education-and-pharmacy-practice>.

22. Smalley, E. (2017). AI-powered drug discovery captures pharma interest. *Nature Biotechnology*, 35(7), 604-606.

Отримано 23.01.2024.  
Рекомендовано 04.03.2024.

Електронна адреса для листування: tanpotarova777@gmail.com