

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХЕРСОНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Медичний факультет
Кафедра хімії та фармації

**АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ
ВДОСКОНАЛЕННЯ ТА АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗРОБЛЕННЯ
МЕТОДИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З БІОЛОГІЧНОЇ ХІМІЇ У
ДИСТАНЦІЙНОМУ НАВЧАННІ**

Кваліфікаційна робота (проект)

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

Виконав: здобувач 2 курсу, 06-241-м групи

Спеціальності 014 Середня освіта

Спеціалізація 014.06 Хімія

Освітньо-професійної програми

Середня освіта (хімія)

Климчук Ілля Геннадійович

Керівник: к.пед.н., доцентка

кафедри хімії та фармації ХДУ

Решнова Світлана Федорівна студент II курсу

Рецензент: директор Херсонської

гімназії 14 Херсонської міської

ради, вчитель хімії

Савченко Тетяна Сергіївна

Івано-Франківськ, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. РОЛЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЯХ: ОСНОВИ, ІСТОРІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ	8
1.1. Поняття штучного інтелекту та його технологій	8
1.2. Історія розвитку застосування штучного інтелекту в освітніх технологіях.....	10
1.3. Переваги та виклики застосування штучного інтелекту у сфері освіти	13
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ХІМІЇ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ: ВИКЛИКИ ТА РІШЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	17
2.1. Проблеми створення методичного забезпечення для біологічної хімії в умовах дистанційного навчання.....	17
2.2. Застосування систем штучного інтелекту для вирішення проблем дистанційного навчання біологічної хімії	20
2.3. Еволюція генеративного штучного інтелекту OpenAI: від GPT до GPT-4 і його потенціал у розробці освітніх матеріалів	22
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ CHATGPT-4 ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ СТВОРЕННЯ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПРИКЛАДІ ТЕМИ "ОБМІН ЛІПІДІВ"	26
3.1. Аналіз можливостей штучного інтелекту ChatGPT-4 для генерації плану лекцій та розробки лекційного матеріалу для дистанційних занять на тему "Обмін ліпідів".	26
3.2. Розробка тестових завдань відповідно до запропонованого лекційного матеріалу.....	36

3.3. Аналіз можливостей штучного інтелекту в розробці глосарію до запропонованої теми.....	44
ВИСНОВКИ.....	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛЮ	50

шибка! Закладка не определена.

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний світ стикається з низкою викликів, що потребують гнучких підходів до освітнього процесу. Одним із таких викликів є війна, що призводить до масового переміщення населення, психологічних навантажень та неможливості забезпечити навчання у традиційному форматі. В умовах збройного конфлікту освітній процес має зберігати доступність, послідовність та якість, і технології штучного інтелекту стають невід'ємним інструментом для підтримки цих вимог.

Штучний інтелект – це міждисциплінарна галузь, що поєднує знання з комп'ютерних наук, математики, статистики та інших напрямів, зосереджена на створенні систем, здатних імітувати певні людські дії. Завдяки можливості навчатися з даних, самостійно обробляти інформацію та пристосовуватися до змін, такі системи можуть виконувати завдання, які раніше вимагали людського втручання [1, с. 217].

В Україні питанням застосування штучного інтелекту в освітній сфері активно займаються науковці з різних галузей, серед яких Наталія Бобро [2], Сергій Ягодзінський [3] та Мая Мар'єнко [4]. У своїх дослідженнях науковці показали, що штучний інтелект може стати важливим інструментом, значно полегшуючи та автоматизуючи процес створення навчальних матеріалів. Використовуючи штучний інтелект, можна розробляти контент, адаптований до індивідуальних потреб студентів, що має особливе значення для складних теоретичних дисциплін. Крім того, штучний інтелект здатний генерувати матеріали, придатні як для умов стабільного інтернет-зв'язку, так і для ситуацій з обмеженим доступом, що є надзвичайно важливим у кризових обставинах, наприклад, під час війни.

Особливої уваги у цьому контексті потребує біологічна хімія – складна дисципліна, яка вимагає системного підходу до викладання

матеріалу. Важливими аспектами для успішного засвоєння цієї теми є високий рівень інтерактивності навчальних ресурсів, а також наявність зрозумілих пояснень та практичних завдань. Отже, дослідження можливостей штучного інтелекту для автоматизації створення методичних матеріалів з біологічної хімії в умовах дистанційного навчання є надзвичайно актуальним. Це дослідження відповідає сучасним освітнім викликам і сприяє підвищенню якості навчального процесу, роблячи його доступнішим та гнучким навіть у складних умовах, що й стало основою вибору теми: “Аналіз можливостей штучного інтелекту для вдосконалення та автоматизованого розроблення методичного забезпечення з біологічної хімії в умовах дистанційного навчання”.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Кваліфікаційна робота виконувалась у відповідності до тематики роботи проблемної групи кафедри хімії та фармації Херсонського державного університету, а саме: “Методичні дослідження та змістово-методичне забезпечення процесу навчання хімії у загальноосвітніх і вищих навчальних закладах”.

Мета роботи: проаналізувати можливості штучного інтелекту для вдосконалення та автоматизованого розроблення методичного забезпечення з біологічної хімії в умовах дистанційного навчання.

Відповідно до мети були поставлені наступні *завдання*:

1. Розкрити поняття штучного інтелекту та історію розвитку застосування штучного інтелекту в освітніх технологіях
2. Описати переваги та виклики впровадження штучного інтелекту у сфері освіти.
3. Дослідити способи застосування систем штучного інтелекту для подолання викликів дистанційного навчання з біологічної хімії.
4. Здійснити огляд еволюції генеративного штучного інтелекту OpenAI, від GPT до GPT-4, та оцінити його потенціал для розробки освітніх матеріалів.

5. Проаналізувати потенціал штучного інтелекту для автоматизації створення методичних матеріалів з біологічної хімії.

Об'єкт роботи: можливості штучного інтелекту в процесі навчання.

Предмет роботи: процес автоматизованого створення за допомогою штучного інтелекту методичних матеріалів для викладання біологічної хімії.

Для реалізації поставленої мети та завдань використовувались наступні наукові *методи дослідження*:

- Аналіз літератури – для вивчення теоретичних основ штучного інтелекту, його еволюції в освітніх технологіях, а також сучасних підходів до автоматизації навчальних матеріалів.
- Порівняльний аналіз – для оцінки різних моделей штучного інтелекту (зокрема, генеративних моделей, таких як GPT-4) та їхнього потенціалу для створення методичних матеріалів з біологічної хімії.
- Експертне оцінювання – для визначення основних проблем дистанційного навчання в біологічній хімії та вимог до методичних матеріалів для цієї дисципліни.
- Моделювання – для створення зразків навчальних матеріалів на основі ChatGPT-4 з теми «Обмін ліпідів» включаючи лекційний план, тестові завдання та глосарій.
- Оцінка результатів – аналіз ефективності використання навчальних матеріалів, створених за допомогою штучного інтелекту, їхньої відповідності освітнім стандартам та адаптивності, що сприятиме формулюванню обґрунтованих висновків.

Наукова новизна одержаних результатів. Проведено комплексне дослідження можливостей генеративного штучного інтелекту, зокрема ChatGPT-4, для автоматизованої розробки навчальних матеріалів із

біологічної хімії в умовах дистанційного навчання. Розкрито потенціал цієї технології у створенні адаптивних методичних ресурсів, таких як лекційні плани, тестові завдання та глосарії, які відповідають специфіці дисципліни.

Практичне значення одержаних результатів. Виконаний аналіз може слугувати основою для викладачів у розробці методичних рекомендацій щодо застосування генеративного штучного інтелекту, зокрема ChatGPT-4, для автоматизації створення навчально-методичних матеріалів для хімічних дисциплін.

Апробація результатів дослідження. Результати роботи було оприлюднено на міжнародній науковій конференції «Інтелектуальний ресурс сьогодення: наукові задачі, розвиток та запитання» (20 вересня 2024 р., м. Одеса). Підтверджено сертифікатом ICSR № 24/2009-035.

Публікації. Теза – Климчук І.Г., Огієвич К.С., Решнова С.Ф.

“Аналіз та оцінка потенціалу штучного інтелекту для вдосконалення та автоматизації створення методичного забезпечення з біоорганічної хімії і біохімії в умовах дистанційного навчання”: *Інтелектуальний ресурс сьогодення: наукові задачі, розвиток та запитання*: збірник наукових праць з матеріалами III Міжнародної наукової конференції, м. Одеса, 20 вересня, 2024 року/ Міжнародний центр наукових досліджень [5, с. 231-234].

Структура роботи. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків та списку використаних джерел (34 найменування). Повний обсяг роботи становить 58 сторінок, з них 51 сторінка основного тексту. Робота містить 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1. РОЛЬ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТНІХ ТЕХНОЛОГІЯХ: ОСНОВИ, ІСТОРІЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

1.1. Поняття штучного інтелекту та його технологій

Штучний інтелект – це міждисциплінарна галузь науки, яка поєднує різні методи та технології для створення систем, здатних виконувати завдання, що зазвичай вимагають людського інтелекту. Серед таких завдань – розпізнавання образів, обробка природної мови, прийняття рішень та навчання на основі попереднього досвіду. Основою штучного інтелекту є здатність системи імітувати або моделювати процеси мислення і вирішення проблем, характерні для людини [6, с. 71].

Штучний інтелект можна поділити на кілька ключових підходів і підгалузей:

1. *Машинне навчання (Machine Learning, ML)* – це підгалузь штучного інтелекту, яка базується на здатності комп'ютерів вчитися на основі даних без програмування. Модель ML здатна аналізувати велику кількість вхідних даних і вдосконалювати свої прогнози чи рішення на основі результатів попередніх навчальних сесій [6, с. 72].

2. *Нейронні мережі (Neural Networks)* – основа сучасних систем глибокого навчання, що складаються з великої кількості взаємопов'язаних штучних нейронів, імітуючи роботу людського мозку. Нейронні мережі використовуються з метою розв'язання складних завдань, таких як наприклад розпізнавання зображень, переклад тексту та генерація мови. Глибоке навчання дозволяє автоматично вивчати багатопарові представлення даних, що підвищує ефективність у завданнях з великими даними [7, с. 25].

3. *Обробка природної мови (Natural Language Processing, NLP)* – це одна з галузей штучного інтелекту, яка займається взаємодією між

людською мовою та комп'ютерами. Метою NLP є створення систем, здатних розуміти, інтерпретувати та генерувати текст і мовлення на природних мовах. NLP використовується в чат-ботах, машинному перекладі, автоматичному резюмуванні тексту, аналізі настроїв і голосових помічниках. Сучасні NLP-технології базуються на великих мовних моделях (наприклад, GPT), що дозволяє спілкуватися природною мовою та виконувати складні завдання [7, с. 26].

4. Комп'ютерний зір (Computer Vision) – технологія, яка дозволяє комп'ютерам розпізнавати та інтерпретувати візуальні дані з навколишнього середовища, такі як зображення та відео. Основою комп'ютерного зору є алгоритми для аналізу пікселів і виявлення об'єктів, руху та інших характеристик зображення. Ці технології широко застосовуються у розпізнаванні облич, автономних автомобілях, медичних зображеннях та промислового спостереженні [7, с. 27].

5. Експертні системи (Expert Systems) – комп'ютерні програми для розв'язання складних завдань у вузькоспеціалізованих галузях, що базуються на знаннях експертів та здатні приймати рішення чи давати поради, подібні до експертних. Експертні системи включають базу знань та механізм виведення, що дозволяє знаходити відповідні рішення. Вони застосовуються в медицині, діагностиці технічних систем, фінансовому аналізі та юридичних консультаціях [7, с. 28].

6. Робототехніка та автономні системи – штучний інтелект є ключовою складовою робототехніки, яка об'єднує програмне та апаратне забезпечення для створення автономних систем, здатних виконувати завдання у фізичному світі. Завдяки штучному інтелекту роботи можуть навчатися новим задачам, реагувати та адаптуватись до зміни в навколишньому середовищі та різних умов. Ці системи широко використовуються в промисловості, медицині, логістиці та побуті (наприклад, роботизовані пілососи або дрони) [7, с. 29].

1.2. Історія розвитку застосування штучного інтелекту в освітніх технологіях

Історія розвитку штучного інтелекту в освіті бере свій початок із середини ХХ століття, коли перші концепції інтелектуальних систем почали формуватися в науковому середовищі. Перші дослідження у цій сфері були спрямовані на створення систем, здатних моделювати людське мислення та автоматизувати процеси прийняття рішень [8, с. 1785].

Перші успішні приклади впровадження штучного інтелекту в освітні технології з'явилися в 1960-1970-х роках із розробкою експертних систем. Це були програми, здатні приймати рішення на основі заданих правил та баз знань. У навчальному контексті такі системи застосовувалися для створення інтелектуальних репетиторів, здатних надавати студентам індивідуальні поради та рекомендації. Наприклад, у 1970-х роках була створена система SCHOLAR, яка використовувала базу знань для навчання географії та могла відповідати на запитання студентів на основі введених фактів [9, с. 431].

З появою комп'ютерних технологій у 1980-х роках було створено перші інтелектуальні системи навчання (Intelligent Tutoring Systems, ITS). Ці системи були здатні аналізувати відповіді студентів у режимі реального часу і коригувати навчальні матеріали відповідно до рівня знань і прогресу студента. Однією з таких ранніх систем була SOPHIE, яка застосовувалася для навчання електроніці, пропонуючи студентам практичні завдання та аналізуючи їхні дії для надання миттєвого зворотного зв'язку.

Протягом 1990-х років, завдяки появі Інтернету та збільшенню обчислювальних потужностей комп'ютерів, можливості штучного інтелекту в освітніх технологіях значно розширилися. У цей час почали розроблятися адаптивні системи навчання, які дозволяли налаштовувати матеріали під індивідуальні потреби студентів. Одним із прикладів таких

систем є Cognitive Tutor, яка використовувала моделі штучного інтелекту для навчання студентів математики. Ця система аналізувала дії студентів і адаптувала завдання відповідно до їхніх сильних і слабких сторін, що підвищувало ефективність навчання.

У 2000-х роках технології штучного інтелекту в освіті отримали новий поштовх завдяки машинному навчанню та алгоритмам, які могли самонавчатися на основі аналізу великих обсягів даних. Ці алгоритми дозволили створювати більш складні моделі взаємодії зі студентами, прогнозувати їхні результати, а також автоматично генерувати нові навчальні матеріали. Адаптивні освітні платформи, такі як Knewton, почали активно використовувати штучний інтелект для надання студентам персоналізованих рекомендацій та планів навчання [10, с. 225].

Одним із найпомітніших досягнень останніх десятиліть у сфері застосування штучного інтелекту в освіті стало створення систем автоматизованого оцінювання, що здатні не лише перевіряти правильність відповідей на тести, але й оцінювати відкриті завдання, такі як есе. Наприклад, система PEG (Project Essay Grade), розроблена в 1960-х роках і вдосконалена з часом, аналізує стиль, граматику та зміст тексту для автоматизованого оцінювання.

У 2010-х роках почали активно розвиватися технології обробки природної мови (Natural Language Processing, NLP), що дало можливість створювати інтелектуальні навчальні платформи, які можуть взаємодіяти зі студентами за допомогою текстових або голосових інтерфейсів. Наприклад, такі платформи, як Duolingo, використовують технології штучного інтелекту для навчання іноземним мовам, адаптуючи завдання залежно від успішності користувача та надаючи миттєвий зворотний зв'язок [11, с. 85].

Одним із важливих напрямів розвитку штучного інтелекту в освіті стало застосування масових відкритих онлайн-курсів (MOOCs), таких як

Coursera і edX. Ці платформи активно використовують алгоритми штучного інтелекту для персоналізації навчання, аналізу поведінки студентів та автоматизації оцінювання завдань. Крім того, ШІ застосовується для виявлення проблемних тем і надання додаткових матеріалів для їх вивчення [12, с. 25].

Сучасний розвиток штучного інтелекту в освіті включає впровадження чат-ботів та віртуальних асистентів, що можуть відповідати на питання викладачів та студентів у реальному часі, допомагати з завданнями або навіть проводити консультації з навчальних питань. Такі системи, як Siri, Alexa та спеціалізовані освітні асистенти, роблять процес навчання більш інтерактивним і доступним.

На сьогодні, інтелектуальні системи в освіті є однією з найбільш перспективних областей розвитку. Вони не тільки підвищують ефективність навчання, але й надають можливості для глибшого аналізу даних про студентів, прогнозування їх успішності та розробки індивідуальних траєкторій навчання. Перспективи застосування штучного інтелекту в освітніх процесах ще далеко не вичерпані, і нові дослідження в цій сфері обіцяють значні зміни в підходах до навчання та викладання в майбутньому [13, с. 1055].

Штучний інтелект є інструментом, який все більше впливає на всі аспекти нашого життя, зокрема на освітні процеси. Завдяки інтеграції технологій ШІ в освіту, можна значно покращити як якість навчальних матеріалів, так і загальну ефективність навчання. Сучасні системи навчання на основі штучного інтелекту дозволяють розробляти динамічні курси, аналізувати індивідуальні потреби студентів та автоматизувати рутинні завдання, такі як перевірка знань та створення тестових завдань.

1.3. Переваги та виклики застосування штучного інтелекту у сфері освіти

Застосування штучного інтелекту в освіті стає все більш популярним завдяки його можливостям вдосконалювати навчальний процес. Попри це, впровадження штучного інтелекту супроводжується певними викликами, які важливо враховувати для ефективного використання цієї технології в освітній сфері [14, с. 47].

Переваги застосування штучного інтелекту в освіті:

1. *Персоналізація навчального процесу.* Однією з найважливіших переваг штучного інтелекту є можливість персоналізації навчання. Традиційний підхід до навчання часто орієнтується на середньостатистичного студента, ігноруючи індивідуальні відмінності в темпах навчання, стилях сприйняття інформації та рівні підготовки. Штучний інтелект здатен адаптувати навчальні матеріали під кожного студента на основі його поточних знань, сильних та слабких сторін. Це дозволяє забезпечити більш ефективний та гнучкий процес навчання, який сприяє кращому засвоєнню матеріалу [15, с.523].

Наприклад, платформи, що використовують штучний інтелект, можуть аналізувати успішність студента та автоматично пропонувати додаткові матеріали або коригувати складність завдань, що стимулює розвиток навичок саме там, де це необхідно.

2. *Автоматизація рутинних процесів.* Викладачі часто витрачають значну частину свого часу на виконання рутинних завдань, таких як перевірка тестів, підготовка матеріалів або надання зворотного зв'язку. Штучний інтелект дозволяє автоматизувати ці процеси, що звільняє час для більш складних і креативних завдань, як-от індивідуальні консультації зі студентами чи розробка нових навчальних програм. Наприклад, алгоритми можуть автоматично перевіряти роботи студентів, надавати

аналіз помилок і навіть пропонувати індивідуальні поради для подальшого покращення результатів.

3. *Доступність навчальних матеріалів.* Штучний інтелект може сприяти створенню інтерактивних навчальних платформ, які дозволяють студентам мати доступ до матеріалів у будь-який момент та з будь-якої локації. Це особливо важливо для дистанційного навчання, де студентам необхідно мати змогу самостійно опановувати матеріал. Системи, що працюють на основі штучного інтелекту, можуть створювати навчальні курси, які бути мати можливість автоматично оновлюватись або адаптуватись до нових потреб своїх користувачів. Така гнучкість робить освітні ресурси більш доступними для студентів із різних регіонів та з різними можливостями [16, с. 277].

3. *Покращений зворотний зв'язок.* Штучний інтелект здатен надавати студентам миттєвий зворотний зв'язок щодо їхніх досягнень. Наприклад, під час проходження тестів чи виконання завдань система на основі штучного інтелекту може негайно вказати на допущені помилки, пояснити їх і запропонувати навчальні матеріали для повторного опрацювання теми. Це робить процес навчання інтерактивним та ефективнішим, оскільки студенти отримують рекомендації в реальному часі, що дозволяє швидше виправляти помилки і засвоювати матеріал.

4. *Аналіз великих обсягів даних.* Штучний інтелект здатен аналізувати освітні дані, зібрані від сотень або тисяч студентів, щоб виявити загальні проблеми, тенденції та патерни. Це може бути корисним не тільки для студентів, але й для викладачів та адміністрації освітніх установ. Наприклад, аналіз навчальних результатів може показати, які теми викликають найбільші труднощі, що дозволяє коригувати навчальні програми. Також можна виявляти студентів, які потребують додаткової підтримки, ще до того, як вони почнуть відставати [17, с. 245].

Виклики застосування штучного інтелекту в освіті:

1. *Етичні питання та конфіденційність даних.* Одним із найбільш суперечливих аспектів використання штучного інтелекту є питання конфіденційності даних студентів. Системи штучного інтелекту збирають і обробляють великі обсяги інформації про студентів, враховуючи їхні досягнення, поведінкові моделі та індивідуальні характеристики. Ці дані можуть бути використані для покращення навчального процесу, але вони також можуть бути вразливими для зловживань або неправомірного використання. Забезпечення безпеки та конфіденційності таких даних є важливим завданням при впровадженні штучного інтелекту в освітні процеси [18, с. 117].

2. *Залежність від технологій.* Ще один виклик – це надмірна залежність від технологій. Викладачі та студенти можуть поступово втратити навички живої комунікації та взаємодії через постійне використання цифрових платформ. Це може негативно позначитися на розвитку соціальних і комунікативних навичок, особливо серед студентів молодшого віку, для яких важливо отримувати досвід безпосередньої взаємодії з однолітками та викладачами [19, с. 15].

3. *Неповна точність систем штучного інтелекту.* Попри вражаючий потенціал штучного інтелекту, ці системи можуть бути недосконалими та припускатися помилок. Системи штучного інтелекту, особливо ті, що базуються на машинному навчанні, можуть іноді робити неправильні висновки або надавати неточні рекомендації. Наприклад, при аналізі результатів тестів штучний інтелект може не враховувати індивідуальних особливостей учня або контексту його відповідей, що може призвести до неадекватної оцінки його знань. Крім того, навчальні алгоритми часто працюють на основі попередніх даних, які можуть бути неповними або неточними [19, с. 14].

4. *Технологічні та фінансові бар'єри.* Для ефективного використання штучного інтелекту в освіті потрібні значні інвестиції в інфраструктуру,

обладнання та програмне забезпечення. Не всі навчальні заклади мають достатні фінансові ресурси для впровадження передових технологій. Крім того, навіть якщо технології доступні, не всі викладачі та студенти мають необхідні навички для їх ефективного використання. Це може створювати нерівність у доступі до якісної освіти.

5. *Нестача людського фактора.* Одним із ключових викликів застосування штучного інтелекту в освіті є можливість зменшення ролі людини у навчальному процесі. Системи штучного інтелекту здатні надавати студентам індивідуальний зворотний зв'язок і рекомендації, але вони не можуть замінити реальну взаємодію між викладачем і студентом. Спілкування з викладачем часто сприяє формуванню мотивації, розвитку критичного мислення та креативних навичок, що не завжди може бути досягнуто через використання автоматизованих систем.

Отже, використання штучного інтелекту в освіті має великий потенціал для підвищення якості навчання, проте його впровадження потребує ретельної уваги до викликів, пов'язаних з етикою, точністю, технологічною доступністю та необхідністю збереження рівноваги між автоматизацією і людською взаємодією.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ХІМІЇ В УМОВАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ: ВИКЛИКИ ТА РІШЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

2.1. Проблеми створення методичного забезпечення для біологічної хімії в умовах дистанційного навчання

Дистанційне навчання стає невід'ємною складовою сучасної освіти, проте його впровадження вимагає ретельної адаптації методичного забезпечення до особливих умов такої форми навчання. Біологічна хімія як дисципліна має специфічні особливості, пов'язані з комплексністю та великою кількістю абстрактних понять, візуалізація яких є надзвичайно важливою для засвоєння матеріалу. Ця дисципліна потребує детально розроблених навчальних матеріалів, включаючи ілюстрації молекулярних структур, опис хімічних реакцій, схеми метаболічних шляхів та інші елементи, які важко пояснити лише текстом. В умовах дистанційного навчання виникає низка проблем, які ускладнюють процес створення ефективного методичного забезпечення [20, с. 8445].

Однією з ключових проблем є складність візуалізації та інтерактивності навчального процесу. Біологічна хімія охоплює вивчення складних молекул, біохімічних реакцій та метаболічних шляхів, які важко пояснити без допомоги наочних матеріалів. У традиційному навчанні студенти мають доступ до лабораторних занять, практичних демонстрацій і живого пояснення викладача, тоді як у дистанційній формі навчання забезпечення інтерактивності є значно складнішим. Викладачам доводиться використовувати різноманітні платформи для створення анімацій, відеолекцій та інтерактивних симуляцій, що потребує додаткового часу та технічних навичок. Ще одна важлива проблема – обмежений зворотний зв'язок і взаємодія зі студентами. Важливою

складовою навчального процесу є зворотний зв'язок від викладача, який допомагає студентам розуміти свої помилки та отримувати пояснення до складних тем. У дистанційній формі навчання взаємодія обмежена, що впливає на якість зворотного зв'язку. Студенти потребують додаткових пояснень і допомоги в опануванні складного матеріалу, зокрема у виконанні лабораторних робіт, що часто неможливо реалізувати у повній мірі в онлайн-форматі [21, с. 137].

Наступною проблемою є недостатня технічна підготовка викладачів, адже процес розробки дистанційного методичного забезпечення передбачає володіння різними цифровими інструментами. Створення інтерактивних матеріалів, симуляцій та візуалізацій вимагає знання спеціальних програм і платформ, а також навичок проведення онлайн-занять. Не всі викладачі мають достатню технічну підготовку для розробки навчальних матеріалів, адаптованих до дистанційної форми навчання, що створює додаткові бар'єри для забезпечення високої якості освітнього процесу. Окрім того, важливою складовою навчання біологічної хімії є лабораторні заняття, які дозволяють студентам застосувати теоретичні знання на практиці та здобути необхідні навички. Дистанційне навчання обмежує можливість проведення повноцінних лабораторних робіт, що створює проблеми для студентів, які не можуть отримати безпосереднього досвіду роботи з лабораторним обладнанням і хімічними реактивами. Хоча існують онлайн-симуляції лабораторних робіт, вони не можуть повністю замінити практичні заняття і потребують додаткових ресурсів для впровадження [22, с. 551].

Постійне оновлення методичних матеріалів є необхідністю, адже біологічна хімія, як і інші наукові дисципліни, динамічно розвивається. Це ставить перед викладачами завдання регулярно оновлювати матеріали відповідно до найновіших наукових досягнень. У дистанційному форматі потреба в актуалізації матеріалів стає ще більш нагальною, адже доступ студентів до нових знань обмежений відсутністю фізичного контакту з

викладачем. Постійне оновлення методичного забезпечення є складним завданням, оскільки вимагає часу, ресурсів та технічних навичок для адаптації матеріалів до цифрового формату.

Ще одна важлива проблема полягає у питанні доступу до ресурсів та технологій. Ефективне дистанційне навчання біологічної хімії потребує наявності у студентів та викладачів доступу до якісного інтернет-з'єднання, комп'ютерів, спеціалізованих програм для візуалізації та симуляції, а також онлайн-платформ для навчання. На практиці забезпечення такого рівня доступу не завжди можливе, особливо для студентів із регіонів з обмеженим доступом до технологій. Відсутність необхідних технічних ресурсів створює додаткові труднощі в процесі навчання та обмежує можливості студентів повноцінно засвоювати матеріал [23, с. 161].

Не слід забувати і про психологічні аспекти дистанційного навчання. Перехід на дистанційну форму може мати психологічний вплив на студентів, які можуть відчувати ізоляцію та втрату мотивації. Біологічна хімія – це складна дисципліна, яка потребує значних зусиль та концентрації для успішного засвоєння матеріалу. В умовах обмеженого контакту з викладачами та одногрупниками студентам може бути важче залишатися зосередженими і підтримувати інтерес до навчання, що може негативно вплинути на якість засвоєння матеріалу.

Отже, створення методичного забезпечення для дистанційного навчання біологічної хімії стикається з численними викликами, які потребують комплексного підходу до їх вирішення. Необхідно поєднувати використання сучасних технологій, адаптацію матеріалів до дистанційного формату та враховувати психологічні аспекти навчання, щоб забезпечити високу якість освітнього процесу й сприяти успішному засвоєнню складного матеріалу студентами.

2.2. Застосування систем штучного інтелекту для вирішення проблем дистанційного навчання біологічної хімії

Системи штучного інтелекту мають великий потенціал для вирішення широкого спектра проблем, що виникають у процесі дистанційного навчання біологічної хімії. Проблеми, обговорені в попередньому розділі, включають труднощі з візуалізацією матеріалів, нестачу індивідуального зворотного зв'язку, необхідність частого оновлення навчальних матеріалів, адаптацію завдань під рівень знань студентів і підтримку мотивації та емоційного добробуту. Використання штучного інтелекту може значно полегшити подолання цих перешкод, забезпечуючи ефективні рішення для підвищення якості навчального процесу. Нижче наведено конкретні приклади застосування штучного інтелекту для подолання таких проблем у контексті дистанційного навчання біологічної хімії.

1. *Мовні моделі для створення інтерактивних матеріалів.* Використання мовних моделей, таких як ChatGPT, дозволяє викладачам легко й швидко створювати навчальні матеріали, адаптовані під рівень підготовки студентів. Наприклад, ChatGPT може згенерувати чіткі пояснення складних тем, таких як структура ферментів чи біохімічні цикли, спрощуючи розуміння важливих концепцій. Крім того, модель здатна автоматично створювати тести та практичні завдання, що економить час викладачів на підготовку і дає студентам більше можливостей для перевірки своїх знань [24, с.161]

2. *Розширена реальність (AR) для візуалізації молекул.* AR-технології, такі як Labster або MEL Chemistry VR, дозволяють студентам досліджувати молекулярні структури в тривимірному форматі, що значно покращує якість візуалізації та розуміння складних біохімічних процесів. Завдяки AR-інструментам студенти можуть взаємодіяти з молекулярними

структурами й аналізувати їх у динаміці, що дозволяє краще зрозуміти складні процеси та взаємозв'язки.

3. *Чат-боти для підтримки зворотного зв'язку.* Застосування чат-ботів на базі штучного інтелекту, таких як Hubert або Botpress, дозволяє студентам отримувати миттєві відповіді на запитання в будь-який час. Наприклад, бот може допомогти студенту, пояснивши етапи циклу Кребса або відповідаючи на запитання щодо умов активності ферментів. Це сприяє швидкому зворотному зв'язку, що підвищує залученість студентів у навчальний процес [25, с. 137].

4. *Симуляції лабораторних експериментів.* Інструменти, такі як Labster або Beyond Labz, використовують штучний інтелект для створення реалістичних симуляцій біохімічних експериментів, що дозволяє студентам відпрацьовувати навички у віртуальному середовищі. Наприклад, студенти можуть досліджувати вплив різних значень рН на активність ферментів або моделювати біохімічні реакції обміну речовин. Штучний інтелект допомагає автоматично оцінювати результати роботи студентів у симуляціях, надаючи корисний зворотний зв'язок щодо можливих помилок і правильних рішень [26, с. 4221].

5. *Автоматичне оновлення матеріалів.* За допомогою систем штучного інтелекту для аналізу наукових публікацій, таких як Iris.ai або Semantic Scholar, викладачі можуть автоматично збирати та інтегрувати новітні дослідження в навчальні матеріали. Наприклад, штучний інтелект здатний проаналізувати тисячі наукових статей, виокремити новітні дані і інтегрувати їх у навчальні модулі, що дозволяє студентам отримувати актуальну інформацію, зокрема про нові методи дослідження ферментативних процесів.

6. *Адаптивні платформи для індивідуального навчання.* Платформи на основі штучного інтелекту, такі як Coursera або Knewton, здатні адаптувати складність навчальних матеріалів під рівень знань кожного студента. Якщо студент стикається з труднощами у вивченні

певної теми, як-от ферментативна кінетика, штучний інтелект запропонує додаткові завдання або пояснення для покращення розуміння матеріалу. Це допомагає уникнути фрустрації та забезпечити більш персоналізований підхід до навчання [27, с. 267].

7. *Аналіз емоційного стану та підтримка мотивації.* Інструменти на основі штучного інтелекту, такі як Woebot або Replika, мають можливість допомагати студентам підтримувати мотивацію та зберігати емоційну стабільність. Завдяки аналізу емоційного стану студентів, штучний інтелект здатний надавати індивідуальні рекомендації для підтримки мотивації та подолання психологічних бар'єрів. Студенти, які відчувають труднощі з навчанням або втратили мотивацію, можуть отримати підтримку у вигляді чат-розмов або порад для поліпшення емоційного стану [28, с. 582].

Отже, завдяки таким прикладам системи штучного інтелекту забезпечують комплексну підтримку у вирішенні різноманітних проблем дистанційного навчання, підвищуючи його якість і залученість студентів. Кожен із цих інструментів робить навчання більш адаптивним, наочним і ефективним, створюючи умови для глибшого розуміння матеріалу та полегшуючи викладачам завдання створення сучасних методичних матеріалів.

2.3. Еволюція генеративного штучного інтелекту OpenAI: від GPT до GPT-4 і його потенціал у розробці освітніх матеріалів

Генеративний штучний інтелект, розроблений OpenAI, став значним проривом у сфері обробки природної мови та автоматичного створення текстів на основі запитів користувачів. Від перших версій GPT до сучасної GPT-4 ці моделі пройшли довгий шлях розвитку, перейшовши від простих генерацій тексту до багатофункціональних систем, які підтримують

комплексні освітні завдання, створюють адаптивний контент і підлаштовуються під індивідуальні потреби студентів. Такий поступ є особливо актуальним у сучасних умовах дистанційного навчання, де важливим є забезпечення гнучкості та індивідуального підходу до кожного учасника освітнього процесу [29 с. 613].

Перший значний крок до сучасних генеративних моделей був зроблений у 2019 році з випуском GPT-2, яка налічувала 1,5 мільярда параметрів і могла генерувати зв'язні тексти за запитом користувачів. Ця модель формувала логічні текстові структури, наближені до природної мови. Незважаючи на обмеження, GPT-2 стала першим вагомим інструментом для автоматизації створення навчальних матеріалів, таких як короткі пояснення, конспекти та базові тести. В контексті біоорганічної хімії GPT-2 могла бути корисною для викладачів, допомагаючи їм у створенні теоретичних матеріалів та глосаріїв, що полегшувало підготовку до занять [30, с. 127].

У 2020 році з'явилася модель GPT-3 з 175 мільярдами параметрів, що значно розширила можливості штучного інтелекту. GPT-3 виконувала широкий спектр завдань — від складної текстової генерації та перекладів до кодування та аналізу даних. Це робило її корисною для створення навчальних матеріалів, адаптованих під різні рівні знань студентів, і вирішення міждисциплінарних завдань, наприклад, у біоорганічній хімії, яка поєднує знання з хімії та біології. GPT-3 стала популярною серед викладачів, адже вона допомагала створювати навчальні програми та тести, що підвищило ефективність дистанційного навчання [31, с. 58].

Наступний прорив стався у 2023 році, коли OpenAI представила модель GPT-4, яка здатна працювати з різними типами даних — текстом, зображеннями та числовими показниками, що робить її універсальною в освітньому контексті. GPT-4 може генерувати текст, аналізувати зображення, обробляти числові дані й навіть кодувати, що відкриває широкі можливості для створення адаптивних навчальних матеріалів. У

біоорганічній хімії GPT-4 може автоматизувати підготовку глосаріїв, практичних завдань та мультимедійних матеріалів. Це дозволяє студентам краще засвоювати складні поняття через інтерактивні тести та вправи, що допомагає самоперевірці й забезпечує різні рівні складності, підлаштовані під потреби викладачів і студентів [32, с. 290].

Однією з ключових переваг GPT-4 у навчанні біоорганічної хімії є здатність моделювати лабораторні експерименти та хімічні реакції. В умовах дистанційного навчання, коли доступ до лабораторій обмежений, GPT-4 здатна забезпечувати студентам віртуальні лабораторні роботи, дозволяючи проводити моделювання хімічних реакцій онлайн. Це дає студентам змогу набувати практичних навичок і глибше розуміти біохімічні процеси без необхідності фізичної присутності. GPT-4 також може пояснювати механізми реакцій, візуалізувати молекулярні структури й описувати принципи біохімічних процесів, що полегшує засвоєння складного матеріалу.

GPT-4 також застосовується для аналізу навчальних досягнень студентів. Обробляючи дані про успішність, GPT-4 може надавати викладачам рекомендації щодо вдосконалення навчальних матеріалів і методів викладання. Наприклад, якщо модель визначить, що студенти мають труднощі з певною темою, вона автоматично запропонує додаткові матеріали чи вправи, адаптуючи процес навчання відповідно до потреб студентів. Це допомагає викладачам отримувати точнішу інформацію про навчальні успіхи студентів і швидко коригувати навчальні методи [33, с. 5].

Отже, розширені можливості GPT-4 дозволяють автоматизувати велику частину роботи з підготовки матеріалів, надаючи викладачам більше часу для виконання інших завдань. GPT-4 здатна не лише генерувати текст, але й допомагати у створенні контенту, який відповідає вимогам інтерактивності та адаптивності, що полегшує навчання навіть у дистанційному форматі [34, с. 2].

Отже, генеративний штучний інтелект від OpenAI, особливо модель GPT-4, відкриває нові можливості для освітнього процесу, автоматизуючи створення навчальних матеріалів, тестів і віртуальних лабораторій. Це сприяє адаптації освітнього процесу до умов дистанційного навчання, забезпечуючи індивідуальний підхід до кожного студента та підвищуючи ефективність навчання навіть без фізичної присутності.

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ГЕНЕРАТИВНОГО ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ CHATGPT-4 ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ СТВОРЕННЯ НАВЧАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПРИКЛАДІ ТЕМИ "ОБМІН ЛІПІДІВ"

3.1. Аналіз можливостей штучного інтелекту ChatGPT-4 для генерації плану лекцій та розробки лекційного матеріалу для дистанційних занять на тему "Обмін ліпідів"

Для розгляду даної теми використано підручник з біологічної хімії Ю.І. Губського [31, с. 416]. Хоча штучний інтелект не має доступу до повного тексту цього джерела, він може знаходити доступні уривки та оглядові матеріали з інтернету, які висвітлюють основні аспекти теми.

Розробка плану лекції

Запит для штучного інтелекту: "Розроби план лекцій (4 лекції) на тему "Обмін ліпідів" для студентів 3-го курсу з предмету "Біологічна хімія." Тривалість кожної лекції – 1 година та 20 хвилин. Лекції мають охопити наступні теми: катаболізм триацилгліцеролів та жирних кислот, біосинтез вищих карбонових кислот, біосинтез триацилгліцеролів; розпад і синтез складних ліпідів, обмін холестеролу та транспорт ліпідів.».
Результат запиту відображений у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

План лекцій, згенерований за допомогою штучного інтелекту

Лекція 1: Катаболізм триацилгліцеролів і жирних кислот

- **Тривалість:** 1 година 20 хвилин
- **Мета лекції:** Розглянути шляхи розщеплення триацилгліцеролів і жирних кислот, а також їх енергетичну роль.
- **План:**
 1. Мобілізація жиру: гідроліз триацилгліцеролів (ліполіз).
 2. Транспорт жирних кислот у мітохондрії (карнітиновий транспорт).
 3. Бета-окиснення жирних кислот:
 - Основні етапи: дегідрогенізація, гідратація, окиснення, тіоліз.
 - Енергетичний вихід бета-окиснення.

4. Окиснення ненасичених жирних кислот.
5. Альтернативні шляхи окиснення жирних кислот (пероксисомне окиснення).
6. Взаємозв'язок між катаболізмом жирних кислот і циклом трикарбонових кислот.

Лекція 2: Біосинтез триацилгліцеролів і складних ліпідів

- **Тривалість:** 1 година 20 хвилин
- **Мета лекції:** Пояснити процеси синтезу триацилгліцеролів і складних ліпідів.
- **План:**
 1. Джерела ацетил-КоА для синтезу жирних кислот.
 2. Біосинтез жирних кислот:
 - Роль ацетил-КоА карбоксилази.
 - Функція жирнокислотного синтазного комплексу.
 3. Елонгація і десатураторні шляхи синтезу довголанцюгових і ненасичених жирних кислот.
 4. Біосинтез триацилгліцеролів.
 5. Роль інсуліну та інших гормонів у регуляції синтезу жирних кислот.

Лекція 3: Розпад і синтез складних ліпідів

- **Тривалість:** 1 година 20 хвилин
- **Мета лекції:** Пояснити процеси розпаду і синтезу складних ліпідів.
- **План:**
 1. Розпад лецитину.
 2. Синтез лецитину.
 3. Фосфоліпіди: розпад.
 4. Фосфоліпіди: синтез.

Лекція 4: Обмін холестеролу та транспорт ліпідів

- **Тривалість:** 1 година 20 хвилин
- **Мета лекції:** Пояснити шляхи обміну холестеролу та механізми транспорту ліпідів у крові.
- **План:**
 1. Синтез холестеролу:
 - Джерела ацетил-КоА.
 - Ключові етапи біосинтезу холестеролу (ГМГ-КоА редуктаза).
 2. Регуляція синтезу холестеролу: роль інсуліну, глюкагону, статинів.
 3. Транспорт холестеролу:
 - ЛПНЩ і ЛПВЩ (ліпопротеїни низької та високої щільності).
 - Роль апопротеїнів.
 4. Екскреція холестеролу: жовчні кислоти.

Патології обміну холестеролу: атеросклероз, гіперхолестеринемія.

Аналізуючи розроблений план, можна відзначити такі **позитивні аспекти:**

1. *Комплексне охоплення теми.* Лекції охоплюють усі ключові аспекти обміну ліпідів, від базових теоретичних понять до детального розгляду катаболічних і анаболічних процесів. Такий підхід дозволяє студентам

глибоко зрозуміти, як ліпіди функціонують в організмі, їхнє значення в клітинних мембранах, енергетичному обміні та гормональній регуляції. Послідовність викладу матеріалу сприяє легшому засвоєнню знань і розвитку глибокого розуміння біохімічних процесів.

2. *Гормональна регуляція.* Важливе місце у плані лекцій займають механізми регуляції ліпідного обміну через гормони, такі як інсулін і глюкагон. Цей аспект надає студентам розуміння того, як організм керує рівнями ліпідів і як порушення цієї регуляції можуть призвести до серйозних метаболічних захворювань. У лекціях також підкреслюється важливість гормональної регуляції в синтезі і розщепленні ліпідів, що допомагає зрозуміти механізми метаболічної інтеграції.

3. *Транспорт ліпідів і холестеролу.* Розгляд ліпопротеїнів і механізмів транспорту ліпідів у крові є критично важливим аспектом, оскільки він дозволяє студентам зрозуміти, як ліпіди переміщуються в організмі і як порушення цього транспорту можуть спричинити захворювання, такі як атеросклероз. Окремо розкрито роль ЛПНЩ і ЛПВЩ, що дозволяє студентам зрозуміти їхній вплив на метаболізм холестеролу та серцево-судинну систему.

Пропозиції щодо покращення:

1. *Розширення інформації про регуляцію обміну ліпідів.* Більший акцент можна зробити на гормональній і ферментній регуляції, зокрема на ролі ключових ферментів у метаболізмі жирних кислот та холестеролу, таких як ацетил-КоА карбоксилаза і HMG-КоА редуктаза. Це забезпечить студентів детальнішим розумінням того, як ферменти і гормони інтегруються у складний механізм регуляції обміну ліпідів.

2. *Інтеграція з іншими метаболічними шляхами.* Доцільно додати більше інформації про взаємозв'язки між обміном ліпідів і іншими метаболічними процесами, такими як цикл трикарбонних кислот, глюконеогенез та обмін вуглеводів. Це допоможе студентам краще зрозуміти інтеграцію ліпідного обміну в загальну метаболічну мережу

організму, що є важливим для розуміння енергетичного балансу організму.

Висновок. План лекцій з обміну ліпідів є добре структурованим і охоплює всі важливі аспекти теми, забезпечуючи студентам глибокі знання з біохімічних процесів обміну ліпідів. Проте варто доповнити матеріал інформацією про сучасні методи лікування порушень обміну ліпідів та глибше інтегрувати його з іншими метаболічними шляхами.

Використання штучного інтелекту значно полегшує процес підготовки лекційних планів, забезпечуючи створення структурованих і змістовних матеріалів на основі конкретних запитів. Штучний інтелект має здатність швидко аналізувати великі обсяги даних і навчальних ресурсів, формуючи логічні та послідовні плани, що включають всі необхідні теми, основні поняття і приклади.

Завдяки цьому, викладачі можуть витратити менше часу на технічну підготовку матеріалів і більше зосереджуватися на деталях викладання, роблячи матеріали максимально релевантними до програмних вимог. У дистанційному навчанні особливо важливим є те, що штучний інтелект може адаптувати плани під специфічні потреби студентів, швидко генеруючи завдання та плани, які можна модифікувати відповідно до індивідуальних потреб кожного курсу чи навіть окремих студентів.

Більше того, штучний інтелект дозволяє легко коригувати створені плани через додаткові запити, розширюючи або скорочуючи окремі аспекти за необхідністю. Це забезпечує гнучкість і адаптивність навчального процесу, що є критично важливим для сучасної системи онлайн-освіти, де навчальні матеріали мають швидко змінюватися та відповідати вимогам динамічного навчального середовища. Таким чином, поєднання технологій штучного інтелекту з творчим підходом до викладання значно підвищує якість та ефективність освітнього процесу.

Розробка лекційного матеріалу

Запит для штучного інтелекту: " Розроби лекційний матеріал для лекції, спираючись на план лекції № 1". Результат запиту відображені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Згенерований штучним інтелектом матеріал для лекції №1

Лекційний матеріал до Лекції №1: Катаболізм триацилгліцеролів і жирних кислот

Тривалість: 1 година 20 хвилин

Мета лекції: Огляд механізмів катаболізму триацилгліцеролів і жирних кислот, а також їхньої ролі у забезпеченні організму енергією під час голодування, фізичних навантажень та дефіциту вуглеводів.

Вступ

Катаболізм ліпідів є одним з найважливіших процесів енергетичного обміну в організмі. Жири зберігаються переважно у вигляді триацилгліцеролів (ТАГ) у жировій тканині, що слугує резервом енергії. Коли організм потребує енергії, особливо у випадку тривалого голодування або інтенсивних фізичних навантажень, мобілізація жирів стає життєво важливою. Триацилгліцероли розщеплюються до гліцеролу і жирних кислот, які далі окислюються до ацетил-КоА у мітохондріях. Це дозволяє організму отримувати АТФ, необхідну для підтримки життєвих функцій.

1. Мобілізація жиру: Гідроліз триацилгліцеролів (ліполіз)

Триацилгліцероли (ТАГ) є основною формою зберігання жирів в організмі і складаються з гліцеролу, до якого приєднані три жирні кислоти. Процес мобілізації жирів починається з ліполізу — ферментативного процесу, під час якого ТАГ розщеплюються до вільних жирних кислот і гліцеролу.

Ключові моменти:

Гормональна регуляція ліполізу: Ліполіз активується гормонами стресу, такими як адреналін, норадреналін, а також глюкагоном. Вони стимулюють підвищення рівня цАМФ (циклічного аденозинмонофосфату), що активує фермент гормонозалежну ліпазу (HSL). Інсулін, навпаки, пригнічує ліполіз, знижуючи рівень цАМФ.

Ферментативні етапи: Гормонозалежна ліпаза каталізує перетворення триацилгліцеролів на вільні жирні кислоти і гліцерол. Ці продукти потім використовуються як енергетичні субстрати.

Транспорт гліцеролу: Гліцерол транспортується до печінки, де він бере участь у глюконеогенезі (синтезі глюкози з не-вуглеводних джерел) або ресинтезі ТАГ.

Транспорт жирних кислот: Вільні жирні кислоти зв'язуються з альбуміном у крові для транспортування до тканин, де вони будуть окислюватися у мітохондріях для утворення АТФ.

2. Транспорт жирних кислот у мітохондрії (карнітиновий транспорт)

Жирні кислоти з довгим ланцюгом самостійно не можуть проникати через внутрішню мембрану мітохондрій. Для їх транспорту використовується спеціальний механізм за участю карнітину, який забезпечує доставку жирних кислот у мітохондрії для бета-окиснення.

Етапи транспорту:

Активация жирних кислот: У цитоплазмі жирні кислоти активуються за допомогою ферменту ацил-КоА-синтетази, що призводить до утворення ацил-КоА. Ця реакція вимагає витрати енергії у вигляді АТФ.

Карнітиновий переносник:

На зовнішній стороні мембрани мітохондрії фермент карнітин-ацилтрансфераза I (СРТ I) заміщує коензим А на карнітин, утворюючи ацил-карнітин.

Ацил-карнітин проникає через внутрішню мембрану мітохондрії за допомогою специфічного переносника.

На внутрішній стороні мембрани фермент карнітин-ацилтрансфераза II (СРТ II) відновлює ацил-КоА, відокремлюючи карнітин. Карнітин повертається назад у цитоплазму для подальшого використання.

Цей механізм є критично важливим для забезпечення доступу жирних кислот до мітохондрій, де відбувається їх подальше окиснення.

3. Бета-окиснення жирних кислот

Бета-окиснення – це ключовий процес розщеплення жирних кислот у мітохондріях. Жирні кислоти поетапно скорочуються з утворенням ацетил-КоА, який вступає у цикл трикарбонових кислот для подальшого окиснення.

Етапи бета-окиснення:

Дегідрогенізація: У цьому етапі жирна кислота окислюється, при цьому два атоми водню передаються на FAD, утворюючи FADH₂. Цей етап каталізується ферментом ацил-КоА-дегідрогеназою.

Гідратація: До ненасиченої жирної кислоти додається вода, що утворює бета-гідроксиацил-КоА.

Окиснення: Бета-гідроксиацил-КоА окислюється до бета-кетואцил-КоА, при цьому NAD⁺ відновлюється до NADH.

Тіоліз: Бета-кетואцил-КоА розщеплюється на молекулу ацетил-КоА і скорочену жирну кислоту, яка проходить через наступні цикли бета-окиснення.

Енергетичний вихід бета-окиснення:

Кожен цикл бета-окиснення виробляє одну молекулу ацетил-КоА, одну FADH₂ і одну NADH.

Ацетил-КоА далі вступає у цикл трикарбонових кислот (Кребса), що забезпечує утворення 10 молекул АТФ.

FADH₂ та NADH переносять електрони на дихальний ланцюг, утворюючи додатково 1.5 і 2.5 молекули АТФ відповідно.

Таким чином, бета-окиснення є високоефективним джерелом енергії.

4. Окиснення ненасичених жирних кислот

Окиснення ненасичених жирних кислот відрізняється від окиснення насичених жирних кислот через наявність одного або кількох подвійних зв'язків у вуглецевому ланцюзі. Ці подвійні зв'язки створюють перешкоди для стандартного бета-окиснення, яке потребує насичених вуглецевих ланцюгів. Тому для їх метаболізму залучаються додаткові ферменти, зокрема ізомераза і редуктаза, які модифікують ненасичені жирні кислоти для участі в бета-окисненні.

Механізм окиснення ненасичених жирних кислот:

Ізомераза: Подвійні зв'язки в положенні між 3 і 4 атомами вуглецю в ненасичених жирних кислотах не можуть бути окиснені звичайними ферментами бета-окиснення. Ізомераза перетворює ці подвійні зв'язки в положення між 2 і 3 атомами вуглецю, що дозволяє жирній кислоті вступити в стандартний шлях бета-окиснення.

Редуктаза: Коли в ненасичених жирних кислотах є кілька подвійних зв'язків, вони можуть бути послідовно перетворені за допомогою редуктази. Цей фермент видаляє зайві подвійні зв'язки, що дозволяє продовжити бета-окиснення.

Вплив подвійних зв'язків на енергетичний вихід: Наявність подвійних зв'язків робить окиснення ненасичених жирних кислот менш енергетично ефективним у порівнянні з насиченими жирними кислотами. Це пов'язано з тим, що під час окиснення таких жирних кислот на деяких етапах не утворюється $FADH_2$, що знижує загальний вихід АТФ. Для прикладу, окиснення ненасичених жирних кислот типу лінолевої кислоти потребує більше ферментативних реакцій і призводить до меншої кількості молекул АТФ, порівняно з насиченими жирними кислотами того ж розміру.

5. Альтернативні шляхи окиснення жирних кислот (пероксисомне окиснення)

У разі довголанцюгових жирних кислот, які мають більше 20 атомів вуглецю, окиснення відбувається в пероксисомах, а не в мітохондріях. Це пов'язано з тим, що дуже довгі жирні кислоти не можуть бути ефективно окиснені в мітохондріях через їхній великий розмір.

Особливості пероксисомного окиснення:

Пероксисоми — це органели, що відповідають за початкове окиснення дуже довголанцюгових жирних кислот, які згодом скорочуються до такого розміру, що можуть бути транспортовані в мітохондрії для подальшого бета-окиснення.

Початкове окиснення: В пероксисомах жирні кислоти піддаються окисненню, яке супроводжується утворенням пероксиду водню (H_2O_2) замість безпосередньої генерації АТФ. Пероксид водню є побічним продуктом, який далі нейтралізується ферментом каталазою.

Низька енергетична ефективність: На відміну від мітохондрій, окиснення в пероксисомах не забезпечує прямого синтезу АТФ. Основне завдання пероксисом — скоротити довгі ланцюги жирних кислот, які потім передаються в мітохондрії для продовження їх окиснення через стандартний шлях бета-окиснення.

Приклади жирних кислот, що підлягають пероксисомному окисненню: Жирні кислоти з довгими ланцюгами, такі як лінолева кислота або арахідонова кислота, є типовими субстратами для пероксисомного окиснення. Після того, як жирні кислоти окиснюються до коротших ланцюгів, вони транспортуються до мітохондрій для подальшого катаболізму.

6. Взаємозв'язок між катаболізмом жирних кислот і циклом трикарбонових кислот

Ацетил-КоА, який утворюється під час бета-окиснення, вступає в цикл трикарбонових кислот (цикл Кребса) для подальшого окиснення і утворення енергії у формі АТФ. Проте цей процес залежить від достатньої кількості оксалоацетату — ключової сполуки, яка взаємодіє з ацетил-КоА для початку циклу Кребса.

Ключові моменти:

Оксалоацетат як обмежуючий фактор: Якщо в клітині рівень оксалоацетату низький (що може бути через обмежене споживання вуглеводів або голодування), ацетил-КоА не може вступити в цикл Кребса. Це блокує нормальний енергетичний метаболізм і призводить до накопичення ацетил-КоА.

Синтез кетонових тіл: Коли цикл Кребса не може ефективно працювати через нестачу оксалоацетату, надлишковий ацетил-КоА перетворюється в печінці на кетонові тіла. Кетонові тіла (ацетоацетат, бета-гідроксибутират і ацетон)

утворюються в печінці і транспортуються до периферичних тканин, таких як м'язи і мозок, де вони використовуються як альтернативне джерело енергії.

Кетоз: Процес накопичення кетонівих тіл в крові називається кетозом. Кетоз — це природний стан, що виникає під час тривалого голодування або на кетогенній дієті, коли організм використовує жирові запаси як основне джерело енергії, замість вуглеводів.

Важливість кетонівих тіл:

Кетоніві тіла є ефективним джерелом енергії для мозку та інших тканин у станах голодування або низьковуглеводного харчування.

Накопичення кетонівих тіл у надмірній кількості може призвести до кетозу, що є нормальним фізіологічним станом, або до кетонемії (підвищений рівень кетонівих тіл у крові), яка може спричинити кетонурію (виділення кетонівих тіл із сечею).

Висновок

Катаболізм жирних кислот і триацилгліцеролів є центральною частиною енергетичного метаболізму, особливо під час голодування або при обмеженому споживанні вуглеводів. Основні процеси катаболізму включають ліполіз, транспорт жирних кислот через карнітиновий переносник, бета-окиснення в мітохондріях і альтернативне пероксисомне окиснення. Ацетил-КоА, який утворюється під час бета-окиснення, вступає в цикл Кребса для отримання АТФ, проте в умовах нестачі оксалоацетату надлишок ацетил-КоА перетворюється на кетоніві тіла, що служать альтернативним джерелом енергії для організму.

Розроблений лекційний матеріал структурований і послідовно висвітлює ключові етапи катаболізму триацилгліцеролів і жирних кислот, що дозволяє студентам отримати глибоке розуміння процесів енергетичного метаболізму. Лекція детально охоплює всі основні аспекти: від ліполізу і транспорту жирних кислот до їх подальшого окиснення в мітохондріях та пероксисомах, а також взаємозв'язок цих процесів з циклом трикарбонівих кислот.

Позитивні аспекти:

1. *Чітка структура.* Лекція розбита на логічні етапи, що полегшує сприйняття складної інформації. Кожен розділ містить зрозуміле пояснення процесів, що відбуваються на кожному з етапів катаболізму жирних кислот.

2. *Огляд гормональної регуляції.* Включення інформації про гормональну регуляцію ліполізу (вплив адреналіну, норадреналіну, глюкагону та інсуліну) підкреслює важливість взаємодії метаболічних

процесів із сигналами організму, особливо під час голодування або фізичних навантажень.

3. *Детальний опис бета-окиснення.* Етапи бета-окиснення представлені чітко і зрозуміло, з поясненням ролі ключових ферментів та продуктів кожного етапу (FADH₂, NADH, ацетил-КоА). Це допомагає студентам зрозуміти, як жирні кислоти розщеплюються і перетворюються в енергію.

4. *Аналіз ненасичених жирних кислот і пероксисомного окиснення.* Матеріал охоплює специфічні особливості окиснення ненасичених жирних кислот і довголанцюгових жирних кислот, що важливо для студентів, щоб зрозуміти відмінності між типами жирних кислот та їх катаболізмом.

5. *Взаємозв'язок з циклом трикарбонових кислот і кетозом.* Окремий розділ про роль ацетил-КоА в циклі Кребса і його можливе перетворення на кетоніві тіла в умовах дефіциту вуглеводів демонструє глибокий зв'язок між різними шляхами метаболізму.

Пропозиції щодо покращення:

1. *Деталізація хімічних реакцій.* Рекомендується включити до лекції хімічні рівняння, що описують основні етапи катаболізму ліпідів, такі як активація жирних кислот, реакції бета-окиснення (включаючи дегідрогенізацію, гідратацію, окиснення і тіоліз), а також транспортування жирних кислот через мембрани за допомогою карнітину. Це допоможе студентам краще зрозуміти молекулярні основи цих процесів.

2. *Аналіз механізмів дії ферментів.* Доцільно додати більш глибоке пояснення механізмів дії ферментів, залучених у ліполіз та бета-окиснення, таких як ацил-КоА синтетаза, ацил-КоА дегідрогеназа, карнітин-ацилтрансфераза та інші. Окрему увагу можна приділити ролі коферментів (FAD, NAD⁺), пояснюючи їх участь в окисно-відновних

реакціях, що підкреслить важливість ферментативної активності у метаболізмі жирів.

3. *Механізми ферментативних реакцій.* Включення механізмів хімічних перетворень на рівні ферментів, зокрема гідратації та дегідрогенізації під час бета-окиснення, дозволить студентам краще зрозуміти хімічні зміни, які відбуваються з молекулами жирних кислот і коферментів.

4. *Візуалізація процесів.* Використання графічних схем для візуалізації структури жирних кислот, їх транспорту через мембрани, етапів бета-окиснення та утворення ацетил-КоА значно полегшить сприйняття матеріалу. Схеми можуть слугувати наочним посібником для студентів у вивченні складних біохімічних процесів.

5. *Регуляція ферментативної активності.* Доцільно додати розділ, присвячений регуляції ферментів у метаболізмі жирних кислот, із акцентом на алостеричну регуляцію та механізми фосфорилування/дефосфорилування. Це допоможе студентам зрозуміти, як регулюються біохімічні процеси в організмі залежно від фізіологічних потреб.

6. *Вплив факторів на метаболізм ліпідів.* Варто доповнити лекцію інформацією про те, як зовнішні фактори, такі як рН, температура, концентрація субстратів і коферментів, впливають на активність ферментів, залучених у катаболізм жирів. Це дозволить студентам краще розуміти, як фізіологічні умови можуть впливати на швидкість метаболічних реакцій.

Висновок. Штучний інтелект, попри свої численні переваги, не може повністю замінити викладача у створенні повноцінної лекції. Його можливості зосереджені на автоматизації розробки планів лекційного матеріалу, базуючись на чітких запитах і готових шаблонах. Штучний інтелект може допомогти викладачам структурувати інформацію, виділяти ключові концепції та організовувати матеріал у зручний формат.

Проте для викладання складних дисциплін, таких як хімія, необхідна участь фахівця, який додасть до лекцій відповідні хімічні формули, реакції та забезпечить індивідуальні пояснення, що полегшують розуміння складних процесів.

Викладачі відіграють важливу роль в адаптації матеріалу до рівня знань студентів, враховуючи їхні потреби, відповідаючи на питання та уточнення. Така взаємодія створює індивідуальне навчальне середовище, стимулює активне засвоєння знань. Штучний інтелект може бути ефективним інструментом для підтримки викладача, спрощуючи підготовку матеріалів і організацію курсу, але не здатен забезпечити ту глибину навчального досвіду, яку може надати лише викладач. Таким чином, штучний інтелект є помічником, але не заміною, коли йдеться про створення якісних і змістовних лекцій для складних дисциплін.

3.2. Розробка тестових завдань відповідно до запропонованого лекційного матеріалу

Запит для штучного інтелекту: «Розроби комплексні тестові завдання для тесту з лекції № 1 **«Катаболізм триацилгліцеролів і жирних кислот»** Результат запиту відображений у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Згенеровані штучним інтелектом тестові завдання на запит

Тест «Обмін ліпідів» який включає різні рівні складності та додаткові питання для глибшої перевірки знань студентів.

Частина 1: Тести з вибором однієї правильної відповіді

1. Який із наведених ферментів відповідає за перетворення жирної кислоти на ацил-КоА?

- a) Гліцеролкіназа
- b) Ацил-КоА синтетаза
- c) Ліпаза
- d) Фосфатидилхолін

2. Який з наступних гормонів гальмує процес ліполізу в жировій тканині?

- a) Адреналін
- b) Інсулін
- c) Глюкагон
- d) Кортизол

3. Який фермент активується при підвищеному рівні адреналіну для запуску ліполізу?

- a) Глюкозо-6-фосфатаза
- b) Піруваткіназа
- c) Гормонозалежна ліпаза
- d) Цитратліаза

4. Яка з наведених сполук є кінцевим продуктом бета-окиснення жирних кислот?

- a) Піруват
- b) Ацетил-КоА
- c) Ацетоацетат
- d) Лактат

5. Яка з наведених сполук безпосередньо бере участь у циклі Кребса після бета-окиснення жирних кислот?

- a) Глюкоза
- b) Цитрат
- c) Ацетил-КоА
- d) Лактат

6. Що є основною функцією ліпопротеїнів низької щільності (ЛПНЩ)?

- a) Транспорт триацилгліцеролів до клітин
- b) Транспорт холестеролу з клітин до печінки
- c) Транспорт холестеролу до периферичних тканин
- d) Розщеплення жирних кислот у крові

7. Який процес найбільше активується під час голодування для підтримки рівня енергії?

- a) Глюконеогенез
- b) Синтез глікогену
- c) Ліполіз
- d) Синтез триацилгліцеролів

8. Який із процесів перетворює ацетил-КоА в енергію для клітин?

- a) Глюконеогенез
- b) Цикл Кребса
- c) Гліколіз

d) Глікогеноліз

9. Який процес відбувається після того, як жирні кислоти активуються в цитоплазмі і транспортуються в мітохондрію?

- a) Окислення глюкози
- b) Синтез ацетил-КоА
- c) Бета-окиснення
- d) Фосфорилування

10. Яка з наступних молекул є важливим регулятором синтезу жирних кислот?

- a) Малоніл-КоА
- b) Фосфоенолпіруват
- c) Цитрат
- d) Піруват

11. Що з перерахованого є основним джерелом енергії для м'язової тканини під час тривалого фізичного навантаження?

- a) Глюкоза
- b) Ацетил-КоА
- c) Кетоніві тіла
- d) Триацилгліцероли

12. Яка з наведених сполук є первинним продуктом ліполізу?

- a) Ацетил-КоА
- b) Гліцерол
- c) Лактат
- d) Цитрат

13. Який із ферментів є ключовим регулятором синтезу жирних кислот?

- a) Ацетил-КоА карбоксилаза
- b) Ацил-КоА синтетаза
- c) Карнітин-ацилтрансфераза
- d) Піруваткіназа

14. Яка з наведених молекул використовується для синтезу кетонівих тіл у печінці під час голодування?

- a) Лактат
- b) Ацетил-КоА
- c) Глюкоза
- d) Цитрат

15. Що відбувається при недостатності карнітину в організмі?

- a) Порушується транспорт глюкози в клітини

- b) Знижується ефективність транспорту жирних кислот у мітохондрії
- c) Збільшується синтез жирних кислот
- d) Зменшується швидкість гліколізу

16. Який процес є основним шляхом виробництва енергії у мітохондріях із жирних кислот?

- a) Гліколіз
- b) Окислювальне фосфорилування
- c) Бета-окиснення
- d) Ферментативна гідролізація

17. У якому метаболічному стані найактивніше синтезуються кетоніві тіла?

- a) Стан насичення після їжі
- b) Під час голодування або на низьковуглеводній дієті
- c) Під час тривалих фізичних навантажень
- d) При підвищеному рівні інсуліну

18. Яка з наведених молекул безпосередньо пригнічує бета-окиснення жирних кислот?

- a) Ацетил-КоА
- b) Малоніл-КоА
- c) NADH
- d) FADH₂

19. Що з перерахованого є основною причиною накопичення кетонівих тіл в організмі?

- a) Підвищена глікогенолізація
- b) Знижений рівень інсуліну
- c) Підвищена активність глюконеогенезу
- d) Підвищене окиснення жирних кислот

20. Який із процесів сприяє синтезу триацилгліцеролів у печінці?

- a) Бета-окиснення
- b) Глюконеогенез
- c) Ліпогенез
- d) Фосфорилування

Частина 2: Тести з вибором кількох правильних відповідей

1. Які з наведених молекул можуть бути кінцевими продуктами катаболізму ліпідів? (оберіть всі правильні варіанти).

- a) Ацетил-КоА
- b) Гліцерол
- c) Лактат
- d) Кетоніві тіла
- e) CO₂

2. Які фактори можуть активувати ліполіз у жировій тканині? (оберіть всі правильні варіанти).

- a) Адреналін
- b) Глюкагон
- c) Інсулін
- d) Кортизол

3. Які з наступних процесів включені в катаболізм жирних кислот? (оберіть всі правильні варіанти).

- a) Активація жирних кислот
- b) Гідроліз фосфоліпідів
- c) Перетворення жирних кислот у ацил-КоА
- d) Глюконеогенез

4. Які з наведених факторів можуть знизити активність бета-окиснення жирних кислот? (оберіть всі правильні варіанти).

- a) Високий рівень ацетил-КоА
- b) Низький рівень карнітину
- c) Високий рівень інсуліну
- d) Високий рівень адреналіну

Частина 3: Заповнення пропусків

1. Заповніть пропуски:

Перший етап бета-окиснення жирних кислот — це _____, під час якого фермент ацил-КоА дегідрогеназа відокремлює атоми водню і передає їх на _____, утворюючи _____.

2. Заповніть пропуски:

Жирні кислоти активуються в цитоплазмі шляхом утворення _____ за допомогою ферменту _____, а потім переносяться у мітохондрії за допомогою _____.

3. Заповніть пропуски:

В результаті катаболізму триацилгліцеролів утворюються _____ і _____, які далі використовуються в енергетичних і синтетичних процесах організму.

Частина 4: Аналітичні питання

1. Поясніть, чому бета-окиснення жирних кислот є більш енергетично вигідним процесом порівняно з окисненням глюкози. Які фактори впливають на енергетичну ефективність бета-окиснення?

2. Опишіть механізм транспорту жирних кислот через мембрану мітохондрії та поясніть, як карнітинова система впливає на ефективність цього процесу.
3. Як дефіцит карнітину може вплинути на метаболізм жирів в організмі? Які наслідки цього для клітинного енергетичного метаболізму?
4. Визначте роль коферментів (FAD і NAD⁺) у процесі бета-окиснення. Як їх регенерація впливає на подальші етапи метаболізму жирних кислот?

Частина 5: Практичне завдання

Дано пальмітинову кислоту (C16). Розрахуйте кількість молекул АТФ, що утворяться в результаті повного катаболізму однієї молекули пальмітинової кислоти через бета-окиснення і цикл Кребса. (Відповідь повинна включати опис всіх етапів, на яких утворюється АТФ).

Аналіз розроблених тестових завдань тесту «Обмін ліпідів.» показує, що завдання добре охоплюють основні нові поняття теми та відповідають ключовим навчальним цілям.

Позитивні аспекти:

1. *Різноманітність типів завдань.* Тест складається з різних типів питань, що забезпечує повний спектр оцінки знань студентів. До нього входять питання з вибором однієї правильної відповіді, що перевіряють базові знання, питання з вибором кількох правильних варіантів, що вимагають від студентів глибшого розуміння теми, заповнення пропусків, що акцентує увагу на ключових термінах та процесах, а також аналітичні питання, які перевіряють здатність студентів до критичного мислення і пояснення складних біохімічних процесів. Практичні завдання додають ще один рівень складності, вимагаючи від студентів застосовувати отримані знання на практиці.

2. *Широке охоплення теми.* Тест охоплює всі ключові аспекти обміну ліпідів, зокрема класифікацію та функції різних типів ліпідів, катаболічні процеси (ліполіз, бета-окиснення), енергетичний вихід з метаболічних шляхів та регуляцію гормональних і ферментативних процесів. Студенти отримують запитання, що стосуються як основних понять (триацилгліцероли, ліпопротеїни), так і складніших тем, таких як

транспортування жирних кислот через мембрану мітохондрій та роль карнітину в цьому процесі. Окрім того, тест добре охоплює енергетичний аспект, оскільки включає питання про кількість молекул АТФ, що утворюються під час бета-окиснення та циклу Кребса.

3. *Складність завдань.* Тест містить завдання різного рівня складності. Питання з одним правильним варіантом відповіді дозволяють швидко перевірити базові знання, а заповнення пропусків і питання з кількома правильними відповідями вимагають від студентів глибшого розуміння теми і здатності до аналізу. Аналітичні питання підвищують рівень складності, оскільки студенти мають пояснювати механізми та взаємозв'язки між процесами, що дозволяє перевірити їхню здатність до логічного мислення та інтеграції знань. Практичні завдання, такі як розрахунок кількості АТФ при катаболізмі пальмітинової кислоти, спрямовані на застосування теорії до реальних біохімічних задач.

4. *Аналітичні і практичні завдання.* Аналітичні питання дозволяють студентам глибше аналізувати біохімічні процеси, наприклад, порівняння енергетичної ефективності бета-окиснення та гліколізу, або аналіз впливу гормонів на ліполіз. Практичні завдання, такі як розрахунок АТФ або аналіз порушення транспорту жирних кислот при дефіциті карнітину, сприяють розвитку навичок практичного використання знань. Такі завдання важливі для формування здатності студентів до застосування теоретичних знань у клінічних та лабораторних ситуаціях.

Пропозиції щодо покращення:

1. *Додати більше питань з регуляції метаболічних процесів.* Включити питання про роль малоніл-КоА, оксалоацетату та інших метаболічних регуляторів у контролі катаболізму та синтезу жирних кислот.

2. *Збільшити кількість питань про ферментативну регуляцію.* Розширити питання щодо механізмів дії ферментів, що беруть участь у

процесах ліполізу, бета-окиснення та транспорту жирних кислот у мітохондрії.

3. *Додати питання з візуалізацією.* Включити запитання, які потребують заповнення або пояснення схем метаболічних шляхів, наприклад, схеми бета-окиснення або синтезу триацилгліцеролів.

4. *Додати питання з міжметаболічними взаємозв'язками.* Включити питання про зв'язки між обміном жирів, вуглеводів і білків, щоб підкреслити, як порушення в одному з метаболічних шляхів можуть впливати на інші.

5. *Посилити акцент на роль коферментів.* Додати більше питань, що стосуються ролі коферментів (FAD, NAD⁺) у процесах бета-окиснення та регенерації цих молекул для подальших етапів метаболізму.

Висновок. Розроблений комплексний тест з теми "Обмін ліпідів" добре охоплює ключові аспекти, зокрема класифікацію, катаболізм і регуляцію ліпідів. Він дає можливість перевірити різні рівні знань студентів – від базових понять до аналітичних завдань. Завдяки різноманітним типам завдань, тест комплексно оцінює як знання, так і вміння застосовувати їх на практиці.

Штучний інтелект здатен значно спростити створення тестових завдань, автоматично генеруючи питання різних форматів на основі проаналізованого матеріалу. Це економить час викладача і дозволяє зосередитися на підвищенні якості навчання. Особливо корисною ця функція є у дистанційній освіті, де важливо швидко адаптувати та оновлювати тестові матеріали для кращого засвоєння.

Попри автоматизацію, викладачі можуть доповнювати створені завдання складнішими елементами, такими як хімічні схеми або конкретні приклади, що сприяє глибшому розумінню теми студентами. Такий підхід поєднує технологічну ефективність і педагогічну гнучкість, створюючи оптимальні умови для навчання.

3.3. Аналіз можливостей штучного інтелекту в розробці глосарію до запропонованої теми

Запит для штучного інтелекту: «Розроби глосарій для студентів з предмету біологічна хімія з теми «Обмін ліпідів». Результат запиту відображений у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Результат, згенерований штучним інтелектом за запитом розробки глосарію

Глосарій з теми "Обмін ліпідів"

1. **Ліпіди** – клас біомолекул, до яких належать жири, олії, фосфоліпіди, стероїди та інші речовини. Вони виконують енергетичні, будівельні та регуляторні функції.
2. **Триацилгліцероли (ТАГ)** – основна форма запасу енергії у тварин та людей. Складаються з однієї молекули гліцеролу і трьох молекул жирних кислот.
3. **Жирні кислоти** – органічні кислоти з довгим вуглецевим ланцюгом, що входять до складу ліпідів. Можуть бути насиченими або ненасиченими.
4. **Насичені жирні кислоти** – жирні кислоти, вуглецевий ланцюг яких не містить подвійних зв'язків. За кімнатної температури є твердими.
5. **Ненасичені жирні кислоти** – жирні кислоти, які мають один або більше подвійних зв'язків. Поділяються на мононенасичені та поліненасичені.
6. **Омега-3 жирні кислоти** – поліненасичені жирні кислоти, що важливі для здоров'я серцево-судинної системи і мають протизапальні властивості.
7. **Омега-6 жирні кислоти** – поліненасичені жирні кислоти, що підтримують імунну систему і відіграють роль у регуляції запальних процесів.
8. **Ліполіз** – процес гідролізу триацилгліцеролів до гліцеролу і вільних жирних кислот.
9. **Гліцерол** – спирт, що входить до складу триацилгліцеролів. Може використовуватися у глюконеогенезі або для синтезу ліпідів.
10. **Ацил-КоА** – активована форма жирної кислоти, що утворюється перед їхнім транспортуванням до мітохондрії для бета-окиснення.
11. **Бета-окиснення** – процес розщеплення жирних кислот у мітохондріях, під час якого відбувається послідовне видалення двовуглецевих фрагментів (ацетил-КоА).
12. **Ацетил-КоА** – метаболіт, що утворюється в процесі бета-окиснення і бере участь у циклі Кребса та синтезі кетонів тіл.
13. **Карнітин** – сполука, що забезпечує транспортування довголанцюгових жирних кислот через внутрішню мембрану мітохондрії.
14. **Ліпопротеїни** – комплекси ліпідів і білків, що транспортують жири в крові. Поділяються на кілька класів: ЛПНЩ, ЛПВЩ, ЛПДНЩ тощо.
15. **ЛПНЩ (ліпопротеїни низької щільності)** – відомі як "поганий" холестерол. Транспортують холестерол до тканин, можуть сприяти розвитку атеросклерозу.
16. **ЛПВЩ (ліпопротеїни високої щільності)** – відомі як "хороший" холестерол. Виводять холестерол з тканин до печінки.

17. **ЛПДНЩ (ліпопротеїни дуже низької щільності)** – транспортують триацилгліцероли з печінки до периферичних тканин.
18. **Кетонові тіла** – сполуки (ацетоацетат, бета-гідроксибутират, ацетон), що утворюються в печінці при дефіциті вуглеводів.
19. **Фосфоліпіди** – основні компоненти клітинних мембран, що складаються з гліцеролу, двох жирних кислот та фосфатної групи.
20. **Холестерол** – стероїдний ліпід, що є компонентом мембран і попередником стероїдних гормонів та жовчних кислот.
21. **Цикл Кребса (цикл трикарбонових кислот)** – центральний шлях катаболізму, де ацетил-КоА окислюється до CO₂, утворюючи АТФ, NADH і FADH₂.
22. **Ліпогенез** – процес синтезу жирних кислот і триацилгліцеролів з вуглеводів, що відбувається переважно в печінці.
23. **Гормонозалежна ліпаза (ГЗЛ)** – фермент, що розщеплює триацилгліцероли під дією гормонів, таких як адреналін і глюкагон.
24. **Малоніл-КоА** – метаболіт, що бере участь у синтезі жирних кислот і є важливим регулятором бета-окиснення.
25. **Оксалоацетат** – метаболіт циклу Кребса, що взаємодіє з ацетил-КоА для утворення цитрату. Його дефіцит може призвести до кетозу.
26. **Кетоз** – метаболічний стан, коли організм використовує кетонові тіла як основне джерело енергії через недостатню кількість вуглеводів.
27. **Атеросклероз** – захворювання судин, при якому відбувається відкладення ліпідів на стінках артерій, що може призвести до серцево-судинних захворювань.
28. **Фосфатидилхолін** – один з основних фосфоліпідів мембран, який бере участь у регуляції клітинної проникності та сигнальних процесах.
29. **Простагландини** – група ліпідних медіаторів, що беруть участь у регуляції запалення, болю та інших фізіологічних процесів.
30. **Ейкозаноїди** – біологічно активні ліпіди, які синтезуються з арахідонової кислоти і виконують регуляторні функції в запальних реакціях.
31. **Ліпоксигеназа** – фермент, що окислює поліненасичені жирні кислоти, утворюючи лейкотрієни, які є важливими медіаторами запалення.
32. **Арахідонова кислота** – поліненасичена жирна кислота, що є попередником простагландинів та інших ейкозаноїдів.
33. **Стероїдні гормони** – гормони, що синтезуються з холестеролу (наприклад, кортизол, естроген, тестостерон) і мають важливі регуляторні функції.
34. **Пероксисоми** – органели клітини, де відбувається окислення довголанцюгових жирних кислот та інших метаболітів.
35. **Цитратліаза** – фермент, що каталізує розщеплення цитрату для утворення ацетил-КоА в цитоплазмі, який використовується для синтезу жирних кислот.

Аналізуючи розроблений глосарій, можна виділити наступні **позитивні аспекти:**

1. *Повнота та широта охоплення.* Глосарій містить 35 ключових термінів, але половина з них – це поняття з біоорганічної хімії від базових

понять, таких як триацилгліцероли і жирні кислоти, до більш складних, включаючи простагландини, ейкозаноїди та пероксисоми. Поняття обміну ліпідів представлені не всі. Це не дозволяє студентам отримати всебічне уявлення про метаболізм ліпідів.

2. *Логічна структура.* Терміни подані в логічному порядку, від процесів ліполізу, бета-окиснення і регуляторних механізмів, таких як роль карнітину та малоніл-КоА до синтезу ліпідів. Це сприяє поступовому освоєнню матеріалу, забезпечуючи системний підхід до розуміння теми.

3. *Включення регуляторних процесів та гормонів.* Глосарій також охоплює важливі регуляторні аспекти, такі як гормонозалежна ліпаза, малоніл-КоА, стероїдні гормони, що дозволяє студентам зрозуміти, як ліпідний обмін контролюється на гормональному і клітинному рівнях. Це важливо для розуміння того, як організм регулює енергетичний баланс.

4. *Інтеграція з іншими метаболічними шляхами.* Терміни, такі як ацетил-КоА, цикл Кребса, оксалоацетат, показують взаємозв'язок обміну ліпідів з іншими метаболічними шляхами, такими як обмін вуглеводів та білків. Це допомагає студентам побачити, як ліпіди інтегруються в загальний метаболізм організму.

5. *Включення клінічно значущих термінів.* Глосарій містить терміни, які мають значення для клінічної практики, такі як ЛПНЩ, ЛПВЩ, атеросклероз, кетоніві тіла, кетоз. Це допомагає студентам зрозуміти практичне значення обміну ліпідів у здоров'ї та захворюваннях, таких як серцево-судинні хвороби і метаболічний синдром.

Не завжди терміни представлені чіткими і точними визначеннями, що робить глосарій незрозумілим для студентів на будь-якому етапі навчання. Не кожне визначення містить основну інформацію про структуру, функцію або роль ліпідів і пов'язаних з ними метаболітів.

Штучний інтелект демонструє ряд переваг у створенні глосарію для теми "Обмін ліпідів". Він може швидко генерувати базові визначення, структурувати інформацію та забезпечити загальне уявлення про

ключові терміни, що сприяє зручності у використанні такого глосарію для швидкого ознайомлення з темою. Це дозволяє зекономити час на початкових етапах навчання і сформувати базу для подальшого вивчення.

Проте, ці визначення можуть бути недостатньо деталізованими для студентів, які вивчають біохімію на глибокому рівні. Наприклад, визначення "бета-окиснення", запропоноване штучним інтелектом, може звучати як: "процес катаболізму жирних кислот у мітохондріях, що призводить до утворення ацетил-КоА". Хоча це визначення правильне, воно є спрощеним і не включає всі ключові аспекти процесу, такі як етапи дегідрогенізації, гідратації, окиснення і тіоліз. Повніше визначення має звучати так: "Бета-окиснення – це багатоступеневий процес катаболізму жирних кислот у мітохондріях, що включає дегідрогенізацію, гідратацію, окиснення і тіоліз з скороченням ланцюгу карбонових кислот на два атоми у формі ацетил-КоА, який потім входить у цикл Кребса для виробництва енергії у формі АТФ". Така деталізація є важливою для студентів, які вивчають обмін ліпідів.

Інший приклад – термін "кетонові тіла". Штучний інтелект може визначити їх як "продукти, що утворюються в печінці під час голодування або тривалого фізичного навантаження". Це визначення базове, але не враховує ключові кетонові сполуки, такі як ацетоацетат, бета-гідроксибутират і ацетон, та їх функції в організмі. Більш детальне визначення може звучати так: "Кетонові тіла (ацетоацетат, бета-гідроксибутират) – це сполуки, які утворюються в печінці під час голодування і використовуються м'язами та іншими тканинами як альтернативне джерело енергії". Це дозволить студентам краще зрозуміти, як організм адаптується до нестачі вуглеводів.

Висновок. Штучний інтелект може бути ефективним інструментом для автоматизації створення базових навчальних матеріалів, зокрема глосаріїв. Він забезпечує швидке генерування структурованих визначень, корисних для первинного ознайомлення з темою. Однак, для дисциплін,

таких як біохімія, де важливо враховувати нюанси термінології та глибоке розуміння процесів, ці визначення потребують суттєвого доопрацювання. Попередні визначення, створені штучним інтелектом, можуть не враховувати важливі аспекти функціонування та взаємозв'язків у складних біохімічних системах.

Фінальне створення якісного глосарію залежить від участі фахівця, який доповнить матеріал деталями, важливими для повноцінного розуміння теми студентами. Саме викладач відповідає за адаптацію матеріалів, забезпечуючи наукову точність і відповідність потребам навчального процесу. Тому штучний інтелект може служити лише стартовим етапом у підготовці навчальних матеріалів, тоді як кінцева якість залишається на відповідальності фахівця, який забезпечить поглиблене розуміння та логічну послідовність навчального контенту.

Підсумовуючи цей розділ, можна зазначити, що штучний інтелект є потужним інструментом, здатним автоматизувати підготовку навчальних матеріалів, що допомагає викладачам ефективніше організовувати лекційні плани, тестові завдання та інші освітні ресурси. Завдяки можливості швидкого аналізу та структурування інформації відповідно до заданих критеріїв, штучний інтелект дає викладачам змогу заощаджувати час на створенні базових структур, залишаючи більше можливостей для творчої та індивідуальної адаптації. Штучний інтелект також є цінним інструментом у дистанційному навчанні, де швидка корекція планів і завдань підвищує гнучкість процесу та полегшує викладачам адаптацію до змін.

Штучний інтелект не може повністю замінити викладача в процесі розробки навчальних матеріалів, особливо в таких складних дисциплінах, як біоорганічна хімія, де важливо забезпечити точність термінології та врахувати структурні нюанси. Штучний інтелект може слугувати інструментом для попередньої підготовки контенту, але ключова роль у створенні якісного навчального матеріалу залишається за

викладачем. Досвідчений фахівець може адаптувати матеріал відповідно до рівня та потреб студентів, гарантуючи наукову точність, логічну послідовність і глибину, необхідні для ефективного засвоєння знань. Викладач, використовуючи свій досвід, може задавати штучному інтелекту конкретні запити та коригувати результати відповідно до потреб навчального процесу. Завдяки гнучкості, штучний інтелект добре підлаштовується до індивідуальних вимог освітнього середовища.

ВИСНОВКИ

1. Розкрито поняття штучного інтелекту як міждисциплінарної наукової галузі, що об'єднує методи і технології для створення систем, здатних виконувати завдання, котрі зазвичай потребують інтелекту людини. Також простежено історію його застосування в освітніх технологіях, де встановлено, що розвиток штучний інтелект відкрив нові можливості для підвищення ефективності навчання, покращуючи доступ до знань і сприяючи персоналізації навчального процесу.

2. Здійснено аналіз переваг та викликів впровадження штучного інтелекту в освіті, що дозволило виявити його позитивний вплив на адаптацію навчальних програм, індивідуалізацію навчального процесу та забезпечення віддаленого доступу до освітніх ресурсів. Використання штучного інтелекту в освітньому середовищі сприяє більш ефективному засвоєнню матеріалу, оскільки технологія дозволяє адаптувати завдання під конкретні потреби студентів, підвищуючи мотивацію та залученість у навчання. Водночас слід відзначити, що поряд із перевагами існують обмеження й ризики, такі як необхідність забезпечення конфіденційності даних, важливість дотримання етичних стандартів і потреба у кваліфікованій технічній підтримці.

3. Проаналізовано способи застосування систем штучного інтелекту для подолання викликів дистанційного навчання з біологічної хімії. Установлено, що інтеграція штучного інтелекту дозволяє вирішувати проблеми, пов'язані з нестабільним доступом до ресурсів, обмеженням практичних занять і забезпеченням адаптивного підходу в умовах дистанційного формату.

4. Здійснено огляд еволюції генеративного штучного інтелекту OpenAI від моделі GPT до GPT-4, що дало змогу оцінити можливості цих моделей для розробки освітніх матеріалів. Виявлено, що GPT-4 є

найпотужнішою з розглянутих версій, оскільки забезпечує глибше розуміння складних запитів та підтримує створення інтерактивного контенту.

5. На прикладі теми «Обмін ліпідів» досліджено можливості штучного інтелекту для автоматизації створення методичних матеріалів з біологічної хімії. Встановлено, що штучний інтелект може ефективно використовуватися для автоматизованого створення лекційних планів, навчальних матеріалів, тестів та глосаріїв, що дозволяє викладачам значно заощадити час на початкових етапах підготовки. Однак матеріали, створені за допомогою штучного інтелекту, потребують уважного аналізу та доопрацювання фахівцем, який може вдосконалити їх на основі свого професійного досвіду. У таких дисциплінах, як біологічна хімія, важливими є точність термінології та глибоке розуміння структурних особливостей. Тому найбільшу ефективність штучний інтелект може досягти у поєднанні з роботою викладача, що дозволяє покращити якість та результативність навчального процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ahmad T. Scenario based approach to re-imagining the future of higher education which prepares students for the future of work. *Higher Education, Skills and Work-Based Learning*. 2019. Volume 10, Issue 1. P. 217-238.
URL: <http://surl.li/bdponq> (дата звернення 28.09.2024)
2. Бобро Н. Ефективність використання штучного інтелекту в освітньому процесі. *Наука і техніка сьогодні*. 2023. № 14(28). С. 168-174.
URL: <http://perspectives.pp.ua/index.php/nts/article/view/8222> (дата звернення 01.10.2023)
3. Ягодзінський С. М. Антропоморфні інформаційні мережі та конвергуючі технології: виклик людству чи крок вперед? *Штучний інтелект*. 2023. № 1. С. 29-35.
URL: <http://surl.li/cvoqjv> (дата звернення 01.10.2024)
4. Мар'єнко М., Коваленко В. Штучний інтелект та відкрита наука в освіті. *Фізико-математична освіта*. 2023. № 38(1). С. 48-53
URL: <http://surl.li/ovjrkn> (дата звернення 29.09.2024)
5. Климчук І.Г., Огієвич К.С., Решнова С.Ф. Аналіз та оцінка потенціалу штучного інтелекту для вдосконалення та автоматизації створення методичного забезпечення з біоорганічної хімії і біохімії в умовах дистанційного навчання: *Інтелектуальний ресурс сьогодні: наукові задачі, розвиток та запитання: збірник наукових праць з матеріалами III Міжнародної наукової конференції, м. Одеса, 20 вересня, 2024 року. Міжнародний центр наукових досліджень. Вінниця: ТОВ “УКРЛОГОС Груп”, 2024. С. 231-234.*
ISBN 978-617-8440-13-8

DOI 10.62731/mcnd-20.09.2024

URL: <http://surl.li/wbzgyw> (дата звернення 20.09.2024)

6. Bostrom N. The superintelligent will: Motivation and instrumental rationality in advanced artificial agents. *Minds and Machines*. 2012. Volume 22, Issue 2. P. 71-85.
URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11023-012-9281-3> (дата звернення 27.09.2024)
7. Katarzyna A., Savvidou C., Chris A. Who wrote this essay? Detecting AI-generated writing in second language education in higher education. *Teaching English with Technology*. 2023. Volume 23, Issue 2. P. 25-43.
URL: <https://www.cceol.com/search/article-detail?id=1167849> (дата звернення 02.09.2024)
8. Chen C.H., Law V., Huang K. Adaptive scaffolding and engagement in digital game-based learning. *Educational Technology Research and Development*. 2023. Volume 71, Issue 4. P. 1785-1798.
URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11423-023-10244-x> (дата звернення 05.09.2024)
9. Akgun S., Greenhow C. Artificial intelligence in education: Addressing ethical challenges in K-12 settings. *AI and Ethics*. 2022. Volume 2, Issue 3. P. 431-440.
URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43681-021-00096-7> (дата звернення 06.09.2024)
10. Green T.D., Donovan L.C. Learning anytime, anywhere through technology. In *The Wiley Handbook of Teaching and Learning*. 2018. P. 225-256.
URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781118955901.ch9> (дата звернення 06.09.2024)
11. Barash Y., Klang E., Konen E., Sorin V. ChatGPT-4 assistance in optimizing emergency department radiology referrals and imaging selection. *Journal of the American College of Radiology*. 2023. P. 85-96.

- URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37423350/> (дата звернення 08.09.2024)
12. Hao K. What is ChatGPT? What to know about the AI Chatbot. *The Wall Street Journal*. 2023. P. 25-36.
URL: <http://surl.li/mujsnx> (дата звернення 02.10.2024)
13. Ivanov S. The dark side of artificial intelligence in higher education. *The Service Industries Journal*. 2023. Volume 43, Issue 15-16. P. 1055-1082.
URL: <https://doi.org/10.1080/02642069.2023.2258799> (дата звернення 03.10.2024)
14. Guilherme A. AI and education: The importance of teacher and student relations. *AI & SOCIETY*. 2019. Volume 34, Issue 1. P. 47-54.
URL: <https://doi.org/10.1007/s00146-017-0693-8> (дата звернення 03.09.2024)
15. Garg S., Sharma S. Impact of artificial intelligence in special need education to promote inclusive pedagogy. *International Journal of Information and Education Technology*. 2020. Volume 10, Issue 7. P. 523-527.
URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2309.02029> (дата звернення 04.09.2024)
16. Fui-Hoon Nah F., Zheng R., Cai J., Siau K., Chen L. Generative AI and ChatGPT: Applications, challenges, and AI-human collaboration. *Journal of Information Technology Case and Application Research*. 2023. Volume 25, Issue 3. P. 277-304.
URL: <https://doi.org/10.1080/15228053.2023.2233814> (дата звернення 05.09.2024)
17. Bembridge E., Levett-Jones T., Jeong S.Y. S. The transferability of information and communication technology skills from university to the workplace: A qualitative descriptive study. *Nurse Education Today*. 2011. Volume 31, Issue 3. P. 245-252.

- URL: <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2010.10.020> (дата звернення 05.09.2024)
18. Malik A. R., Pratiwi Y., Andajani K., Numertayasa I. W., Suharti S., Darwis A. Exploring artificial intelligence in academic essay: Higher education student's perspective. *International Journal of Educational Research Open*. 2023. Volume 5. P. 117-138.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2023.100296> (дата звернення 05.09.2024)
19. Muthmainnah U., Ibna Seraj P. M., Oteir I. Playing with AI to Investigate Human-Computer Interaction Technology and Improving Critical Thinking Skills to Pursue 21st Century Age. *Education Research International*. 2022. P. 1-17.
URL: <https://doi.org/10.1155/2022/6468995> (дата звернення 06.09.2024)
20. Ng D. T. K., Lee M., Tan R. J. Y., Hu X., Downie J. S., Chu S. K. W. A review of AI teaching and learning from 2000 to 2020. *Education and Information Technologies*. 2023. Volume 28, Issue 7. P. 8445-8501.
URL: <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11491-w> (дата звернення 15.09.2024)
21. Ng D. T. K., Leung J. K. L., Su J., Ng R. C. W., Chu S. K. W. Teachers' AI digital competencies and twenty-first century skills in the post-pandemic world. *Educational Technology Research and Development*. 2023. Volume 71, Issue 1. P. 137-161.
URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11423-023-10203-6> (дата звернення 15.09.2024)
22. Locsin R. C., Soriano G. P., Juntasopeepun P., Kunaviktikul W., Evangelista L. S. Social transformation and social isolation of older adults: *Digital technologies, nursing, healthcare. Collegian*. 2021. Volume 28, Issue 5. P. 551-558.
URL: [https://www.collegianjournal.com/article/S1322-7696\(21\)00018-4/fulltext](https://www.collegianjournal.com/article/S1322-7696(21)00018-4/fulltext) (дата звернення 21.09.2024)

23. Pontual Falcão T., Mendes de Andrade e Peres F., Sales de Morais D.C., Oliveira G.S. Participatory methodologies to promote student engagement in the development of educational digital games. *Computers & Education*. 2017. Volume 116. P. 161-175.
URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360131517302105?via%3Dihub> (дата звернення 21.09.2024)
24. Tapalova O., Zhiyenbayeva N. Artificial Intelligence in education: AIED for personalised learning pathways. *Electronic Journal of E-Learning*. 2022. Volume 20. P. 639-653.
URL: <https://academic-publishing.org/index.php/ejel/article/view/2597> (дата звернення 22.09.2024)
25. Ng D. T. K., Leung J. K. L., Su J., Ng R. C. W., Chu S. K. W. Teachers' AI digital competencies and twenty-first century skills in the post-pandemic world. *Educational Technology Research and Development*. 2023. Volume 71, Issue 1. P. 137-161.
URL: <https://doi.org/10.1007/s11423-023-10203-6> (дата звернення 22.09.2024)
26. Nguyen A., Ngo H. N., Hong Y., Dang B., Nguyen B.P.T. Ethical principles for artificial intelligence in education. *Education and Information Technologies*. 2023. Volume 28, Issue 4. P. 4221-4241.
URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-022-11316-w> (дата звернення 22.09.2024)
27. Ottenbreit-Leftwich A., Glazewski K., Jeon M., Jantaraweragul K., Hmelo-Silver C. E., Scribner A., Lee S., Mott B., & Lester J. Lessons Learned for AI Education with Elementary Students and Teachers. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2023. Volume 33, Issue 2. P. 267-289.
URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40593-022-00304-3> (дата звернення 23.09.2024)

28. Roll I., Wylie R. Evolution and revolution in artificial intelligence in education. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2016. Volume 26, Issue 2. P. 582-599.
URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40593-016-0110-3> (дата звернення 25.09.2024)
29. Serholt S., Barendregt W., Vasalou A., Alves-Oliveira P., Jones A., Petisca S., Paiva A. The case of classroom robots: Teachers' deliberations on ethical tensions. *AI & SOCIETY*. 2017. Volume 32, Issue 4. P. 613-631.
URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00146-016-0667-2> (дата звернення 24.09.2024)
30. Taylor M. E., Boyer W. Play-based learning: Evidence-based research to improve children's learning experiences in the kindergarten classroom. *Early Childhood Education Journal*. 2020. Volume 48, Issue 2. P. 127-133.
URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10643-019-00989-7> (дата звернення 16.09.2024)
31. Tegousi N., Drakopoulos V. Educational social networking services: The case of edmodo in the teaching practice. *Trends in Computer Science and Information Technology*. 2020. Volume 5, Issue 1. P. 58-64.
URL: <https://www.engineegroup.us/articles/TCSIT-5-124.php> (дата звернення 16.09.2024)
32. Zhang H., Lee I., Ali S., DiPaola D., Cheng Y., Breazeal C. Integrating ethics and career futures with technical learning to promote AI literacy for middle school students: An exploratory study. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 2023. Volume 33, Issue 2. P. 290-324.
URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40593-022-00293-3> (дата звернення 13.09.2024)
33. Cox A. M. Exploring the impact of Artificial Intelligence and robots on higher education through literature-based design fictions. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 2021. Volume 18, Issue 3. P. 1-19.

URL: <http://surl.li/hxtgrm> (дата звернення 18.09.2024)

34. Dimitriadou E., Lanitis A. A critical evaluation, challenges, and future perspectives of using artificial intelligence and emerging technologies in smart classrooms. *Smart Learning Environments*. 2023. Volume 10, Issue 12. P. 1-26.

URL: <http://surl.li/fnxxtm> (дата звернення 18.09.2024)