

Міністерство освіти і науки України
Державний заклад
«Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»

Навчально-науковий інститут математики та інформаційних технологій


Кафедра математики та інформатики


Стахов Юрій Георгійович

**МЕТОДИКА ВИКЛАДАННЯ МАТЕМАТИКИ В СТАРШІЙ
ШКОЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

**кваліфікаційна робота
здобувача вищої освіти другого (магістерського) рівня
освітньої програми «Математика»
за спеціальністю 014.04. Середня освіта (Математика)**

Особистий підпис  Юрій СТАХОВ

Науковий керівник  Валерій ХМЕЛЬ,
кандидат педагогічних наук, доцент
кафедри математики та інформатики

В.о. завідувача кафедри  Юрій КОЗУБ,
доктор технічних наук, професор
кафедри математики та інформатики

Лубни – 2026

АНОТАЦІЯ

Стахов Ю. Г.

Тема: Методика викладання математики в старшій школі з використанням штучного інтелекту

Спеціальність: 014.04 «Середня освіта (Математика)».

Установа: ЛНУ імені Тараса Шевченка, 2026р.

Магістерська робота містить: 118 с., 25 рис., 60 джерел.

Об'єктом дослідження є процес навчання математики в старшій школі.

Предметом дослідження є методика викладання математики з використанням інструментів штучного інтелекту.

Мета роботи полягає в розробці методики викладання математики в старшій школі з використанням штучного інтелекту, спрямовану на підвищення ефективності навчального процесу та покращення навчальних результатів учнів.

Результати роботи - у роботі здійснено комплексне дослідження методики викладання математики в старшій школі з урахуванням сучасних технологічних змін та можливостей, які надають інструменти штучного інтелекту. Розроблено структурно-функціональну модель методики викладання теми «Інтеграли та їх застосування» з інтеграцією ШІ-інструментів на різних етапах уроку. Проаналізовано результати підсумкового тестування, здійснено оцінювання рівня мотивації, індивідуалізації навчання, якості рефлексії, цифрової грамотності, побудовано таблиці та гістограми, які ілюструють позитивну динаміку індивідуального прогресу завдяки впровадженню адаптивного підходу.

Ключові слова: МАТЕМАТИКА, МЕТОДИКА ВИКЛАДАННЯ МАТЕМАТИКИ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, СТАРША ШКОЛА, ЕЛЕКТРОННІ ОСВІТНІ ПЛАТФОРМИ, ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ОСВІТІ, АДАПТИВНЕ НАВЧАННЯ, ІНДИВІДУАЛІЗАЦІЯ ОСВІТНЬОГО ПРОЦЕСУ, ЕФЕКТИВНІСТЬ НАВЧАННЯ МАТЕМАТИКИ.

ANNOTATION

Stakhov Yurii.

Topic: Methods of Teaching Mathematics in High School Using Artificial Intelligence.

Speciality: 014.04 "Secondary Education (Mathematics)".

Institution: Luhansk Taras Shevchenko National University (LTSNU), 2026 year.

Master's work of: 118 p., 25 im, 60 sources.

Object of research - the process of teaching mathematics in high school.

Subject of research - the methodology of teaching mathematics using artificial intelligence tools.

The purpose of the work is to develop a methodology for teaching mathematics in high school using artificial intelligence, aimed at increasing the efficiency of the educational process and improving students' academic outcomes.

Results of work. The work presents a comprehensive study of the methodology of teaching mathematics in high school, taking into account modern technological changes and the opportunities provided by artificial intelligence tools. A structural and functional model for teaching the topic "Integrals and Their Applications" was developed, integrating AI tools at various stages of the lesson. The results of the final assessment were analyzed, including evaluations of motivation, individualization of learning, quality of reflection, and digital literacy. Tables and histograms illustrating the positive dynamics of individual progress due to the implementation of an adaptive approach were constructed.

Keywords: MATHEMATICS, METHODS OF TEACHING MATHEMATICS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, HIGH SCHOOL, DIGITAL LEARNING PLATFORMS, EDUCATIONAL TECHNOLOGIES, ADAPTIVE LEARNING, INDIVIDUALIZATION OF THE EDUCATIONAL PROCESS, EFFECTIVENESS OF TEACHING MATHEMATICS.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1	8
ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТІ.....	8
1.1. Поняття штучного інтелекту, сучасні можливості та досвід застосування ІІ у сфері освіти.....	8
1.2. Огляд інструментів і платформ ІІ які використовуються у сфері освіти	14
1.3. Психолого-педагогічні аспекти використання ІІ у навчанні	19
Висновки до розділу 1	25
РОЗДІЛ 2	27
МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОРИСТАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВИКЛАДАННІ МАТЕМАТИКИ	27
2.1. Аналіз впливу інтеграції ІІ на зміст, форми, методи та принципи викладання математики	27
2.2. Переосмислення ролі та відповідальності вчителя у викладанні математики з використанням ІІ у сучасному освітньому середовищі.....	32
2.3. Визначення підходів до інтеграції ІІ у структуру уроку	39
2.4. Аналіз ефективності застосування платформ і інструментів ІІ для викладання математики у старших класах	45
Висновки до розділу 2	60
РОЗДІЛ 3	62
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДИКИ ВИКЛАДАННЯ МАТЕМАТИКИ У СТАРШІЙ ШКОЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ІІ	62
3.1. Організація та проведення педагогічного експерименту.....	62
3.2. Розробка уроків з інтеграцією інструментів ІІ	65
3.3. Аналіз результатів та оцінка ефективності методики	94
3.4. Методичні рекомендації впровадження методики викладання математики з використанням штучного інтелекту у старших класах	103
Висновки до розділу 3	109
ВИСНОВКИ.....	111
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	113

ВСТУП

У сучасну епоху стрімкий розвиток технологій, зокрема штучного інтелекту (ШІ), суттєво трансформує різні аспекти людської діяльності, в тому числі й сферу освіти. В освітній процес все більше впроваджуються цифрові інструменти, які не лише полегшують доступ до інформації, а й створюють нові можливості для індивідуалізації навчання, зокрема в рамках нової української школи, яка орієнтована на компетентнісний підхід.

Особливо актуальним є використання ШІ у викладанні математики в старшій школі, оскільки цей предмет сприяє розвитку логічного мислення та підготовки учнів до майбутніх професій у STEM-галузях. Традиційні методики викладання часто не забезпечують належного рівня залученості та мотивації учнів, що призводить до зниження інтересу до предмета та недостатнього засвоєння навчального матеріалу. Така ситуація підкреслює необхідність створення сучасних методик викладання, які б відповідали викликам ХХІ століття.

Штучний інтелект має значний потенціал для підвищення ефективності процесу навчання математики. Він здатен адаптувати навчальний контент до рівня кожного учня, швидко виявляти прогалини в знаннях, надавати зворотний зв'язок у реальному часі, а також автоматизувати рутинні завдання вчителя, звільняючи більше часу для творчої та індивідуальної роботи з класом. Такі можливості створюють передумови для формування більш ефективного, гнучкого та орієнтованого на учня освітнього середовища.

Водночас методика використання ШІ у шкільній математичній освіті в Україні залишається недостатньо розробленою. Існує потреба в науково обґрунтованих підходах до інтеграції сучасних цифрових рішень у практику викладання з урахуванням вікових особливостей учнів, освітніх стандартів і технічних можливостей закладів загальної середньої освіти.

Актуальність обраної теми зумовлена не лише технологічним прогресом, а й практичною необхідністю пошуку методів навчання, які б

сприяли підвищенню мотивації школярів до вивчення математики та покращенню якості математичної освіти в цілому.

Мета дослідження: розробити методику викладання математики в старшій школі з використанням штучного інтелекту, спрямовану на підвищення ефективності навчального процесу та покращення навчальних результатів учнів.

Об'єкт дослідження: процес навчання математики в старшій школі.

Предмет дослідження: методика викладання математики з використанням інструментів штучного інтелекту.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасний стан використання штучного інтелекту в освіті та його потенціал для викладання математики.
2. Виявити існуючі інструменти та платформи на основі штучного інтелекту, які можуть бути використані у викладанні математики в старшій школі.
3. Визначити педагогічні можливості та обмеження використання ШІ у навчальному процесі з математики.
4. Розробити методичні рекомендації щодо використання конкретних інструментів ШІ на різних етапах уроку математики (пояснення нового матеріалу, закріплення знань, контроль і оцінювання).
5. Експериментально перевірити ефективність розробленої методики в умовах реального освітнього процесу.
6. Розробити практичні рекомендації для вчителів математики щодо впровадження ШІ у свою педагогічну діяльність.

Методи дослідження:

А). Теоретичні: аналіз психолого-педагогічної, навчально-методичної літератури, змісту навчальних програм підручників і посібників з курсу «Алгебри і початків аналізу» для профільного рівня;

Б). Емпіричні: спостереження за навчально-пізнавальною діяльністю учнів у процесі використання цифрових інструментів та засобів ШІ;

анкетування і тестування: збір даних від вчителів щодо стану впровадження та ефективності використання ІІІ-інструментів в освітньому процесі; моделювання освітнього процесу: розробка сценаріїв використання ІІІ на уроках для підвищення ефективності навчання; критичний аналіз: оцінка результатів впровадження ІІІ в освітній процес на основі зібраних даних.

Наукова новизна дослідження полягає у створенні інтерактивної методики, яка дозволяє ефективно поєднати традиційні підходи до викладання математики з використанням інструментів ІІІ.

Практична значущість роботи полягає у розробці рекомендацій для вчителів, які сприятимуть впровадженню ІІІ в освітню практику, підвищуючи її ефективність та актуальність.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ОСВІТІ

1.1. Поняття штучного інтелекту, сучасні можливості та досвід застосування ШІ у сфері освіти

Штучний інтелект (ШІ) - це розділ комп'ютерних наук, що займається розробкою алгоритмів і систем, здатних виконувати завдання, які вимагають людського інтелекту [5, с. 3].

Відповідно до Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні [12]: Штучний інтелект - це організована сукупність інформаційних технологій, із застосуванням якої можливо виконувати складні комплексні завдання шляхом використання системи наукових методів досліджень і алгоритмів обробки інформації, а також створювати та використовувати власні бази знань, моделі прийняття рішень, алгоритми роботи з інформацією та визначати способи досягнення поставлених завдань. До таких завдань відносяться: обробка природної мови, розпізнавання образів, планування, прийняття рішень, здатність до навчання та адаптації та інше. Одними з ключових складових AI (англ. artificial intelligence, AI) є машинне навчання (Machine Learning, ML), глибоке навчання та нейронні мережі.

Машинне навчання (ML) - це підхід, за якого система здатна навчатися на основі даних, удосконалювати свої алгоритми та робити прогнози чи приймати рішення без прямого програмування [41].

Глибоке навчання - підгалузь машинного навчання, що базується на багаторівневих (глибоких) нейронних мережах, які імітують роботу людського мозку та ефективно працюють із великими обсягами даних (зображення, мова, текст).

Нейронні мережі – математичні моделі, побудовані за принципом роботи біологічних нейронів, що лежать в основі глибокого навчання. Вони

дозволяють системам розпізнавати складні закономірності та здійснювати високоточну класифікацію даних [41].

Програми та пристрої зі штучним інтелектом можуть приймати рішення, розв'язувати проблеми, розуміти та імітувати природну мову і самонавчатися.

Це значно прискорює продуктивні процеси і дозволяє передати рутинні завдання ШІ, звільняючи робочий час. Створення контенту, фотографій і відео значно прискорює і полегшує процес навчання [39, с.20]. Застосування штучного інтелекту в освітньому середовищі має великий потенціал для покращення ефективності навчання та персоналізації освітнього процесу [16].

ЮНЕСКО у 2024 році розробила два рамки - для студентів та вчителів, які мають на меті підготувати їх до безпечного, етичного і людино-орієнтованого впровадження штучного інтелекту в освіту [59].

В рамках компетенцій у галузі ШІ для учнів вона має на меті надати учням необхідні навички, знання та цінності для ефективної взаємодії зі ШІ і приділяє увагу чотирьом ключовим компетенціям (людино-орієнтований підхід, етика ШІ, технічні знання, проєктування систем ШІ). ЮНЕСКО закликає розглядати студентів як активних співтворців AI, здатних критично мислити й діяти етично [59].

У рамках компетенцій у галузі ШІ для вчителів це є глобальним орієнтиром для формування політик, тренінгів учителів і систем оцінювання і включає п'ять напрямків компетенцій для вчителів: людино-центричне мислення; етика ШІ; основи та застосунки ШІ; педагогіка ШІ; ШІ для професійного розвитку. На думку ЮНЕСКО, інструменти ШІ мають доповнювати, а не замінювати роль та обов'язки вчителів у освітньому процесі.

У грудні 2020 року Кабміном України було затверджено концепцію розвитку штучного інтелекту до 2030 року. Для нашої країни концепція розвитку ШІ - це великий крок, який допоможе інтегрувати інноваційні технології в економічно важливі сектори держави [12]. Концепція охоплює 9 галузей застосування штучного інтелекту включаючи освіту.

Сучасні загальноосвітні навчальні заклади прагнуть підвищити індивідуалізацію навчального процесу. Це передбачає створення індивідуальних навчальних планів, використання ШІ для аналізу великих обсягів даних (для відстеження прогресу) та адаптації навчального процесу до потреб кожного учня [39, с. 22-23].

Веб-платформи для навчання мають великий потенціал для реалізації цієї концепції, оскільки вони пропонують гнучкість доступу до поточних навчальних матеріалів з різних пристроїв [50, с. 2]. Основна цінність навчальних платформ зводиться до таких речей, як адаптивність, орієнтованість на користувача, інтерактивність, оновлення та розширення, а також безпека і доступність даних.

Найбільш поширеними напрямками у розвитку технологій ШІ в освітньому середовищі є:

1. Адаптивні навчальні платформи. Такі освітні технології, як Carnegie Learning і Knewton проводять аналіз даних для персоналізованих рекомендацій і розробки адаптивних систем навчання. Не менш важливим напрямком у цьому сегменті є підтримка інклюзивної освіти [54].

2. Автоматизовані системи оцінювання та зворотного зв'язку є основою для індивідуального навчання. Автоматизуючи оцінювання, планування та адміністративну роботу, системи ШІ звільняють час і енергію вчителів для роботи з учнями, зменшується суб'єктивність в оцінюванні. Негайний зворотний зв'язок допомагає у адаптивному навчанні, яке охоплює широкий спектр підходів, від базових систем, заснованих на правилах, до складних алгоритмів машинного навчання [49].

3. Розробки навчальних програм спрямовані на узгодження навчальної програми з стандартними і відповідність за персоналізовані навчальні плани.

4. Віртуальні асистенти для викладачів та підтримки учнів: чат-боти та віртуальні асистенти на базі ШІ використовуються для надання учням підтримки та порад, вирішення організаційних питань, поширення інформації,

організації зустрічей та проведення опитувань. Чат-бот також допомагає у підтримці професійного розвитку вчителів пропонуючи додаткові ресурси.

5. Гейміфікація в освіті на базі ШІ. Використання ігрових механік у навчанні сприяє підвищенню мотивації та залученості учнів, а також формує позитивне ставлення до освітнього процесу. Технології ШІ дозволяють персоналізувати ігрові сценарії, адаптуючи завдання до рівня знань і темпу навчання кожного здобувача освіти. Це забезпечує індивідуальний підхід, знижує рівень тривожності та сприяє розвитку навичок критичного мислення, співпраці та вирішення проблем [2, с. 23].

6. Прогностична аналітика та превентивні заходи.

Аналіз великих обсягів освітніх даних ШІ сприяє виявленню закономірностей у навчальній поведінці учнів [2, с. 23]. Це дає можливість надати необхідну підтримку тим учням, які схильні до ризику низької успішності, визначати, які теми викликають найбільші труднощі у учнів, для оптимізації навчальних програм і впровадження превентивних заходів щодо цільової підтримки, формування індивідуальних траєкторій навчання.

Інтеграція ШІ в освіту надає можливості для створення динамічного та інтерактивного освітнього контенту для підвищення залученості учнів. Інтеграція ШІ з VR/AR дозволяє створювати захоплюючі симуляції та віртуальні лабораторії, де можна досліджувати такі складні поняття, як квантова механіка, теорія ймовірностей, біологічні процеси [39, с. 263].

Крім того, штучний інтелект може допомагати учням з особливими потребами. Діти з вадами слуху чи зору можуть скористатися технологічною підтримкою для полегшення навчання (автоматичний переклад мов, розпізнавання мови для учнів із порушеннями слуху, генерація субтитрів або аудіозаписів тощо). Дослідження показали, що адаптивні платформи ефективно задовольняють різноманітні потреби учнів, тим самим сприяючи створенню інклюзивного навчального середовища. [2, с. 23].

Китай є одним із світових лідерів у масштабах впровадження ШІ в освіту, особливо в адаптивному навчанні. Їхні локальні моделі Squirrel AI,

EdTech з адаптивним навчанням активно впроваджуються у школах по всьому Китаю. Вони можуть змінювати послідовність подачі матеріалу, спрямовувати увагу на необхідні для засвоєння базові концепції, брати на себе рутинні завдання (перевірка, діагностика), дозволяючи вчителям зосередитися на менторстві, мотивації учнів, розвитку критичного мислення та креативності [56]. Китай зробив освіту зі штучного інтелекту обов'язковою для учнів, включаючи учнів початкової школи.

На другому місці - Сполучені Штати Америки, де ШІ перестав бути експериментом - він швидко стає частиною навчальної практики. За даними Microsoft Education: використання ШІ серед учнів у США зросло на 26%, а серед педагогів - на 21 % за останній рік [24]. В університетах та деяких школах впроваджуються курси з «fluency in AI» - підготовка студентів та учнів до роботи зі ШІ [42]. Інтеграція ШІ в освіту у цій країні перейшла у фазу масового впровадження, особливо в К-12. Зростає ефективність освітнього процесу: учителі, які використовують ШІ, повідомляють про значну економію часу (близько 6 годин на тиждень) [44].

На противагу китайському підходу, який зосереджений на швидкому та широкомасштабному впровадженні, європейські країни роблять акцент на відповідальному та етичному застосуванні ШІ. Це відображає цінності Європейського Союзу щодо прав людини, захисту даних та прозорості. Ініціатива AI4T ("AI for Teachers") [47] фокусується на підготовці вчителів до ефективного та етичного використання ШІ в класі. Ключові аспекти AI4T:

- Навчання вчителів - розробка навчальних програм та ресурсів для підвищення цифрової компетентності вчителів у сфері ШІ.
- Етичні рамки - розробка керівних принципів та етичних норм щодо використання ШІ в освіті.
- Відповідальний дизайн - сприяння розробці освітніх ШІ-інструментів.
- Співпраця та діалог - заохочення до діалогу між розробниками вчителями та батьками.

Європейський підхід прагне не просто автоматизувати освіту, а використовувати ШІ як інструмент для посилення можливостей людини [53].

В Україні існує "Концепція розвитку штучного інтелекту в Україні", яка визначає пріоритети та напрямки розвитку ШІ, включаючи сферу освіти [12; 27]. Існують державні програми та ініціативи щодо цифровізації освіти ("Дія. Освіта", "Всеукраїнська школа онлайн"), які створюють інфраструктурне підґрунтя для інтеграції ШІ.

Такі Українські платформи онлайн-курсів, як Prometheus, EdEra, iLearn, використовують елементи ШІ для:

- рекомендаційних систем, які пропонують курси на основі інтересів користувачів або попередньої навчальної історії;
- автоматичної перевірки тестів більшості онлайн-курсів, що дозволяє миттєво оцінювати знання;
- аналітики даних про активність користувачів для покращення курсів.

Використання таких глобальних інструментів ШІ для створення контенту, як ChatGPT, Photomath, GeoGebra з елементами ШІ, підтримується переважно на рівні ініціатив вчителів [22].

В Україні процес інтеграції ШІ в освіту лише набирає обертів [23, 39], однак уже можна виокремити низку ініціатив:

Цифрові освітні ресурси з елементами ШІ - на платформах «Всеукраїнська школа онлайн», Moodle, Human, Classtime тощо запроваджуються інструментами, які аналізують відповіді учнів, адаптують рівень складності завдань або формують індивідуальні траєкторії навчання.

На платформі «Мрія», у рамках ініціативи Президента України щодо створення сучасного освітнього середовища, обговорюється впровадження ШІ для моніторингу якості освіти та підтримки педагогів [24].

STEM-освіта з елементами штучного інтелекту - у закладах освіти впроваджуються STEM-лабораторії, де учні працюють з робототехнікою, алгоритмами та основами ШІ.

Серед ключових переваг варто виокремити персоналізацію навчання, підвищення ефективності освітніх процесів та використання аналітики [16].

Розробка проєкту «Стратегії розвитку штучного інтелекту в Україні на 2022-2030 рр.» була здійснена з урахуванням стратегії розвитку ШІ різних країн світу. Цей проєкт передбачає розвиток основних напрямів ШІ як окремих наукових напрямів. До цих напрямів віднесено: нечіткі множини та нечітка логіка, штучні нейронні мережі, гібридні нейронечіткі та нечітко нейронні мережі, біоінспіровані метаевристичні алгоритми оптимізації, біоінформатика, машинне навчання [32, 33]. Цей проєкт передбачає також впровадження інтерактивних методів і технологій ШІ в інших сферах науки та освіти, а також, розвиток міждисциплінарних зв'язків.

Планується поступово впроваджувати навчальні дисципліни, спрямовані на вивчення технологій штучного інтелекту, на всіх рівнях освіти, включаючи середні, професійні та вищі навчальні заклади [3, 12].

1.2. Огляд інструментів і платформ ШІ які використовуються у сфері освіти

Інструменти та платформи зі штучним інтелектом - це програмні рішення, які використовують алгоритми машинного навчання, обробки природної мови (NLP), комп'ютерного зору та інших технологій для автоматизації, аналізу даних і покращення навчального процесу.

Інструменти зі штучним інтелектом можуть «думати» подібно до людини: вони аналізують інформацію, навчаються з прикладів, здатні адаптуватися до потреб користувача, та надавати індивідуалізовані рекомендації [39, с. 95]. Платформи штучного інтелекту - це інтегровані цифрові середовища, які об'єднують багато таких інструментів. Вони дозволяють за допомогою «розумних» технологій створювати навчальні матеріали, керувати процесом навчання й оцінювати знання учнів.

Мета цього підрозділу - виявити потенціал використання штучного інтелекту та показати сфери його застосування в освітньому середовищі.

Класифікація інструментів і платформ ШІ в освіті.

1. За функціональним призначенням:

1.1. Персоналізоване навчання та адаптивні системи - інструменти, які підлаштовують навчальний матеріал під індивідуальні потреби учня [16].

Приклади: Khan Academy: онлайн-платформа з відеоуроками, вправами та тестами на основі ШІ, який допомагає пояснювати матеріал, ставити запитання та супроводжувати навчання; Century Tech - платформа, яка комбінує адаптивне навчання та аналітику, формує персоналізовані шляхи для учнів і надає вчителям детальну статистику прогресу [45, 48].

1.2. Автоматизація оцінювання та зворотного зв'язку: платформи для автоматичної перевірки завдань, есе, надання миттєвого фідбеку.

Приклади: Grammarly - сервіс для перевірки граматики, стилю та орфографії текстів, що використовує NLP та ШІ для пропозицій з покращення письма; Gradescope – для перевірки письмових робіт, тестів і коду з автоматичним виставленням балів [48, 58].

1.3. Управління навчальним процесом (LMS з аналітикою): системи, що використовують ШІ для оптимізації адміністрування, моніторингу прогресу та прогнозування ризиків.

Приклади: Canvas LMS - хмарна система управління навчанням з інструментами аналітики, інтеграцією тестів, календарів і модулів зворотного зв'язку; D2L Brightspace LMS із вбудованими адаптивними навчальними модулями, аналітикою та персоналізованими рекомендаціями для учнів [51].

1.4. Створення навчального контенту та розробка програм: інструменти для генерації навчальних матеріалів, тестових завдань.

Приклади: Synthesia - платформа для створення відео з аватарами та озвученням; Kahoot! - сервіс для створення інтерактивних вікторин і опитувань з елементами гейміфікації; Labster – віртуальні лабораторії з симуляціями для біології, хімії, фізики та інших наук [48].

1.5. Навчальні помічники та чат-боти: віртуальні асистенти для відповідей на запитання, надання підтримки та допомоги у навчанні.

Приклади: ChatGPT - генеративний чат-бот для пояснення матеріалу, створення завдань, адаптації контенту та відповіді на запитання; Gemini - асистент ШІ для пошуку, пояснення та створення навчальних матеріалів із інтеграцією в Google Workspace; Duolingo Bots [16].

1.6. Аналітика навчальних даних: платформи для збору, аналізу та візуалізації даних про навчання з метою покращення освітнього процесу.

Приклади: Microsoft Education Insights - для аналізу активності учнів, виконання завдань та відвідуваності у Teams, Assignments та інших додатках Microsoft 365, що використовуються в навчальному процесі [16;48].

2. За рівнем інтеграції.

2.1. Вбудовані функції ШІ в існуючі платформи.

Приклад: Moodle + IntelliBoard. Тип інтеграції: аналітика та прогнозування. Для виявлення студентів у «групі ризику» (ймовірність неспішності), візуалізація прогресу, генерація рекомендацій для викладача. Google Classroom + Gemini. Тип інтеграції: AI-помічник у створенні завдань, автоматизація оцінювання, генерація навчальних матеріалів [41].

2.2. Окремі ШІ-інструменти та мікросервіси: спеціалізовані рішення для конкретних завдань.

Приклади: Speechify - озвучення текстів. Перетворює будь-який навчальний матеріал у аудіо. Допомога учням з порушеннями зору, або для слухового навчання; WolframAlpha - обчислення, побудова графіків, вирішення рівнянь з поясненням [58].

2.3. Комплексні платформи ШІ: широкі екосистеми, що пропонують набір функцій ШІ для освіти.

Приклади: Squirrel - адаптивна платформа для персоналізованого навчання з акцентом на STEM-дисципліни; Coursera AI Coach – персональний помічник, що адаптує навчання під потреби користувача.

2.4. Спеціалізовані освітні платформи.

Matific - інтерактивна гейміфікована платформа з початкової математики; Математика.Naurok.ua - Українська платформа для тренування навичок з математики: автоматична перевірка, адаптивні тести [9].

3. За технологіями ІІІ.

3.1. Обробка природної мови (NLP): чат-боти (ChatGPT), перекладачі (DeepL).

А). Чат-боти ChatGPT, Gemini, Claude відповідають на запитання студентів у реальному часі, допомагають із написанням есе, поясненням складних тем, генерують ідеї для навчальних проєктів.

Б). Перекладачі (DeepL, Google Translate) - перекладають лекції, статті та навчальні матеріали, підтримують академічний стиль [51].

3.2. Машинне навчання (ML).

Приклади: Duolingo - адаптивна система, аналізує успішність користувача, помилки, час реакції, добирає наступні вправи на основі слабких місць; Coursera - використовує дані про попередні навчальні дії користувача, пропонує курси, оптимізує траєкторії навчання [48].

3.3. Комп'ютерний зір: автоматична перевірка рукописних робіт.

Приклади: Gradescope - автоматизована перевірка, розпізнає рукописні відповіді за допомогою OCR (оптичного розпізнавання символів); Evalyzer - автоматичний аналіз рукописних робіт, використовує комп'ютерний зір та NLP для розпізнавання письма, визначає логічність, орфографію, граматику; Photomath - розпізнає рукописні, друковані математичні задачі.

3.4. Генеративні моделі (LLM, GPT).

Приклади: ChatGPT, Gemini, Claude - генерація вправ (створюють завдання за темою з відповідями); Canva - генерує візуальні вікторини з формулами та графіками; Wayground - генератор тестів та вікторин; MathGPT - генерація математичних задач; Mathly - генерує завдання на основі помилок.

4. За цільовою аудиторією.

4.1. Для викладачів: планування занять, оцінювання, зворотний зв'язок.

Інструмент: Gradescope - автоматизована перевірка письмових і рукописних робіт [45]; MagicSchool - допомагає автоматизувати створення уроків, тестів, індивідуальних завдань.

4.2. Для учнів: персоналізоване навчання.

Приклади: Khan Academy - платформа пропонує персоналізовані рекомендації, інтерактивні вправи та миттєвий зворотний зв'язок, що дозволяє кожному учневі прогресувати у власному темпі; Carnegie Learning's MATHia - надає індивідуальні підказки, імітує роботу персонального репетитора, аналізуючи кожен крок учня під час розв'язання математичних задач.

4.3. Для адміністраторів: аналітика, управління ресурсами, прогнозування ризиків.

Приклад: Panorama Education - платформа для аналізу академічних даних учнів за допомогою AI-звітів та рекомендацій; IBM Watson Education - персоналізації навчання, прогнозування успішності студентів та автоматизації адміністративних завдань у освіті.

5. За типом освітньої діяльності.

5.1. Формальне навчання (у школі, університеті).

Приклад: Carnegie Learning's MATHia - адаптивна платформа для математики. Аналізує помилки учнів та автоматично підлаштовує складність завдань. Інтегрується з класними заняттями (Blended Learning).

5.2. Неформальна освіта (онлайн-курси, самоосвіта).

Приклад: Memrise - використовує ШІ для запам'ятовування слів.

5.3. Допоміжне навчання (репетиторство, позашкільна підготовка).

Інструменти: Photomath, Khanmigo.

6. За форматом.

6.1. Онлайн-платформи. (Coursera, Duolingo, Khan Academy).

6.2. Вбудовані інструменти (плагіни, LTI-інтеграції). (Gradescope, Turnitin, Zoom AI Companion).

6.3. Мобільні застосунки (Photomath, Kahoot!).

В Україні існують державні та регіональні освітні платформи, які підтримують цифрову трансформацію освіти.

Загальнодержавні освітні платформи: Єдина школа (E-school) - <https://e-school.ua.com>; Всеукраїнська школа онлайн (ВШО) - <https://lms.e-school.ua.com> - найбільш масштабна державна платформа дистанційного навчання, містить понад 1000 відеоуроків, тестів та завдань; Дія.Освіта – <https://osvita.diia.gov.ua>.

Регіональні освітні платформи: Освітній простір Львівщини; Освітній простір Полтави.

Приватні загальноукраїнські освітні платформи: На Урок (naurok.com.ua); Всеосвіта (vseosvita.com.ua).

Ці платформи використовуються як для дистанційного, так і для самостійного навчання.

Успішність впровадження будь-якого з цих інструментів безпосередньо залежить від комплексного підходу, який поєднує технічну інфраструктуру, підготовку педагогічних кадрів та методичне забезпечення. Кожна категорія інструментів вимагає відповідної педагогічної стратегії та чіткого визначення дидактичних цілей. Інструменти штучного інтелекту сьогодні виступають не лише технологічним, а й методологічним ресурсом модернізації освіти [22].

Більшість платформ з інтеграцією ШІ орієнтовані на підвищення ефективності освітнього процесу, персоналізацію навчання, оптимізацію роботи педагогів і розвиток цифрових компетентностей здобувачів освіти. Водночас зростає потреба у формуванні єдиних критеріїв оцінювання якості та безпечності таких інструментів, а також у забезпеченні педагогічного супроводу їх використання [10].

1.3. Психолого-педагогічні аспекти використання ШІ у навчанні

Для успішного впровадження штучного інтелекту в освітній процес необхідно враховувати не лише технічні та дидактичні аспекти використання

сучасних технологій, а й психолого-педагогічні умови. Використання ІІІ у сфері освіти значною мірою змінює форми взаємодії між учнем, вчителем і навчальним контентом. І тому з'являється потреба глибше дослідити, як саме ці зміни впливають на пізнавальну діяльність, мотивацію, емоційний стан та соціальні й етичні питання [60].

Використання ІІІ може допомогти зробити освіту якіснішою, кращою та вивести її на принципово новий рівень. Вчителі мають змогу використовувати його як асистента, який може виконуватиме за них рутинну роботу і залишати більше часу для творчості, індивідуальної роботи з учнями. А учні зможуть отримувати персоналізований підхід, розвивати критичне мислення, креативність [37]. Також, учні мають можливість отримати допомогу в опановуванні складних концепцій через імітаційні моделі, миттєвий зворотний зв'язок та різні формати навчання. Усе це разом сприяє створенню такого освітнього середовища, де технології посилюють людський потенціал, а не замінюють його [57].

Головне питання полягає в тому, чи зможуть діти отримати користь від взаємодії зі штучним інтелектом у процесі навчання так само, як вони отримують користь від взаємодії з іншими людьми. Останні дослідження на цю тему показують, що діти можуть ефективно навчатися за допомогою ІІІ, якщо ІІІ розроблено з урахуванням принципів навчання [57].

Мета цього підрозділу - показати як ІІІ може впливати на мислення учнів, їхню мотивацію та емоції, соціальну взаємодію, етичні питання. Також тут буде розглянуто, як ІІІ може збагатити, так само, як і створити нові виклики для навчального процесу та всіх його учасників [40]. Цей аналіз був зосереджений на двох ключових напрямках: психолого-педагогічних аспектах впливу використання ІІІ на учня та на вчителя у освітньому процесі.

1. Для учня. Позитивним аспектом є можливість персоналізації.

Адаптивні алгоритми допомагають учням відчувати себе успішними та компетентними, регулюючи складність завдань. Тьютори ІІІ здатні адаптувати навчальні програми під індивідуальні потреби кожного здобувача,

аналізуючи їхні сильні та слабкі сторони, темп засвоєння матеріалу, пропонуючи завдання відповідного рівня складності. ШІ вміє регулювати когнітивне навантаження: ускладнювати або полегшувати завдання (щоб уникнути нудьги), змінювати темп подачі нової інформації, чергувати типи завдань, використовувати інтерактивні елементи (бали, досягнення, візуалізація прогресу). Це підвищує мотивацію, знижує рівень тривожності та створює відчуття успіху [31].

Платформи штучного інтелекту можуть чітко показувати учням що їм потрібно вивчити, розбивати великі теми на менші та показувати, які навички чи знання їм потрібно опанувати на кожному кроці.

Важливим є також розвиток уміння самотійно навчатися [25]: взаємодія з інтелектуальними системами формує здатність ставити запитання, аналізувати відповіді та управляти власним навчальним процесом. Миттєвий зворотний зв'язок сприяє виявленню та виправленню помилок, підтримує пізнавальну активність і дозволяє глибше засвоювати навчальний матеріал. Штучний інтелект може також допомогти подолати комунікативні бар'єри, оскільки взаємодія з чат-ботами створює безпечне середовище для учнів, які соромляться ставити запитання у класі. Крім того, робота з автоматизованими системами формує навички критичного мислення, оскільки учень має перевіряти достовірність та якість отриманих відповідей [15].

Генерування суперечливих або неправдивих твердження зобов'язує учнів виявляти ці помилки та обґрунтовувати свою позицію, спираючись на достовірну інформацію. Це вчить розвивати навички оцінювати достовірність інформації та аргументувати свою позицію [60].

ШІ здатен заохочувати творчість і нові ідеї. Якщо учням потрібно створити власний продукт (наприклад, есе, проєкт), ШІ може допомогти, пропонуючи різні ідеї та підходи. Це допомагає учням розпочати роботу.

Інтерактивні чат-боти та навчальні асистенти можуть вести діалоги які задають учням уточнювальні запитання, тим самим спонукаючи їх до

глибшого обмірковування теми, виправлення помилок у своїх міркуваннях та самостійного пошуку висновків, а не простого надання кінцевої відповіді [36].

ІІІ може допомогти учням аналізувати величезні обсяги інформації, узагальнювати довгі тексти, виділяти ключові поняття і знаходити зв'язки між різними джерелами, дозволяючи їм зосередитися на інтерпретації та оцінці, замість рутинного пошуку [40].

Разом з тим існують певні ризики. Застосування ІІІ без ретельного аналізу його наслідків може перешкоджати розвитку навичок критичного мислення та здатності приймати обґрунтовані рішення. Пасивність передбачає отримання учнями готових відповідей замість самостійного вирішування проблем [57].

Надмірне використання цифрових систем може призвести до зменшення живого спілкування, обмеження проявів емпатії та педагогічної підтримки. Вчитель має організовувати колективні заходи (дебати, групові завдання), де ІІІ лише допомагає (генерує теми для обговорення).

Також у навчанні може з'явитися звичка підлаштовуватися під вимоги системи, що гальмує розвиток творчості та самостійності. Важливою проблемою є й академічна нечесність, оскільки легкий доступ до готових відповідей формує ліню у мисленні, сприяє плагіату та поверхневому засвоєнню знань.

Постійне використання підказок штучного інтелекту здатне знижувати впевненість у власних силах, формуючи залежність від ІІІ, коли учень починає сумніватися у власній здатності до самостійного розв'язання навчальних завдань.

Для мінімізації цих ризиків треба змінювати педагогічні підходи:

1. Доцільно переходити до завдань, які вимагають аналізу, синтезу, оцінки та створення нового знання, де ІІІ може бути інструментом, а не готовим рішенням.
2. Заохочувати учнів перевіряти інформацію та аргументувати свої відповіді, посилаючись на достовірні джерела.

3. Допомогати учням усвідомлювати власні процеси мислення, аналізувати свій процес навчання і самостійно оцінювати свій прогрес.

Деякі освітні адаптивні платформи, такі як Emotionai, IBM Watson Education та Wooclap, оснащені можливостями розрізняти емоційний стан учня через аналіз за темпами роботи, емоціями у голосі, мімікою. Потім вони коригують рівень складності навчального матеріалу. Такий підхід зменшує стрес і нудьгу, посилюючи позитивний досвід навчання.

Але, в цілому, системи ШІ не здатні надавати емоційну підтримку, враховувати психологічний стан та виявляти емпатію так, як це роблять люди-викладачі [7].

Існують певні ризики від використання ШІ у цьому аспекті. Постійний моніторинг (камери, мікрофони) може викликати тривожність або дискомфорт. Втручання в свій особистий простір емоційна частина людини може сприймати як вторгнення.

ШІ може допомагати в створенні соціально-педагогічній підтримки. Він може виявити ізольованих або неактивних учнів, спрямувати допомогу, запропонувати залучення в групову діяльність [2].

Водночас, надмірне використання ШІ може спричинити зниження потреби у співпраці з іншими людьми, що обмежує розвиток емпатії та соціальних навичок [57]. У процесі спілкування з ШІ змінюється соціальний етикет, де інтелектуальні алгоритми не завжди заохочують використання ввічливої мови.

2. Для вчителя. Психолого-педагогічні аспекти використання штучного інтелекту у навчанні для вчителя пов'язані як із новими можливостями, так і з певними викликами.

До позитивних аспектів належить насамперед звільнення від рутинної роботи, оскільки інтелектуальні системи можуть виконувати перевірку тестових завдань, створювати базові вправи та здійснювати аналітику успішності класу. Це дозволяє педагогу більше зосереджуватися на творчій, виховній та методичній складових своєї діяльності [5, 6].

Штучний інтелект також виступає потужним інструментом для глибшого аналізу навчального процесу, оскільки здатний виявляти закономірності у засвоєнні матеріалу, визначати теми, що викликають найбільші труднощі, та виділяти учнів, які потребують додаткової підтримки. Це створює передумови для більш цілеспрямованого та ефективного планування уроків.

Використання інноваційних технологій сприяє і розвитку професійних компетентностей вчителя: його роль трансформується від простого транслятора знань до фасилітатора та наставника, який формує в учнів уміння орієнтуватися в інформаційному середовищі, критично її оцінювати та творчо застосовувати [29].

Разом з тим існують і ризики. Частина педагогів може відчувати професійну невпевненість, або загрозу власному авторитету через побоювання, що інтелектуальні системи здатні їх замінити, яке може зумовлювати психологічний опір впровадженню інновацій. Крім того, існує ризик перекладання відповідальності на алгоритми, що може знизити педагогічну цінність і зруйнувати індивідуальний підхід до учнів.

Важливим викликом є також необхідність постійного підвищення кваліфікації та оволодіння новими цифровими інструментами, що вимагає значних часових і психологічних ресурсів, а у деяких педагогів може призводити до емоційного виснаження та професійного стресу [16].

Взаємодія між учнями та вчителями залишається невід'ємним компонентом освітнього процесу. Використання ШІ повинно доповнювати, а не замінювати живе спілкування та колективну діяльність. Психолого-педагогічний успіх використання ШІ залежить не від самої технології, а від того, як ми її інтегруємо в освітній процес, зберігаючи людський фактор як центральний.

Етичні аспекти використання штучного інтелекту в освіті.

Стрімкий розвиток технології ШІ та їхня інтеграція в освітній процес випереджає розробку відповідних етичних постанов і нормативно-правих

рамок [11]. Останні дослідження в цій сфері виявили цілу низку проблем, пов'язаних із ШІ в аналізі даних, зокрема упередженість, конфіденціальність, підзвітність і прозорість (таблиця 1.1). Основне занепокоєння викликає і потенціал систем штучного інтелекту зберігати і навіть посилювати наявні упередження, присутні в даних, отримані під час навчання. Відсутність прозорості та підзвітності може зруйнувати довіру до систем ШІ.

Таблиця 1.1

Етичні проблеми використання ШІ в освіті

Етичні проблеми	Характеристика
Конфіденційність	Збір та обробка персональних даних учнів може порушувати їхнє право на приватність.
Академічна доброчесність та плагіат	ШІ може генерувати тексти або відповіді, які учні можуть використовувати без розуміння.
Прозорість та 'чорна скринька'	Алгоритми ШІ часто непрозорі для користувачів, що ускладнює розуміння механізмів ухвалення рішень.
Формування споживацького підходу до знань	Учні можуть розглядати ШІ як джерело готових відповідей, а не інструмент для самостійного мислення та навчання.
Емоційна маніпуляція	Системи з елементами емоційного впливу можуть впливати на рішення учнів, не завжди усвідомлено.
Залежність від систем	Надмірне використання ШІ може призводити до втрати навичок самостійного мислення та навчання.
Відповідальність	Невизначеність щодо того, хто відповідає за помилки або наслідки рішень, прийнятих за участі ШІ.
Прийняття етичних рішень	ШІ не має моральних орієнтирів і не здатен повною мірою враховувати етичні контексти освітніх ситуацій.

Джерело: Журнал Техніка і Наука сьогодні №6(34) 2024

Алгоритми аналізу даних ШІ мають бути розроблені відповідно до етичних норм з урахуванням потенційних наслідків, виправлення упереджень та постійного моніторингу [35].

Висновки до розділу 1

У першому розділі було розкрито сутність поняття «штучний інтелект», охарактеризовано основні етапи його розвитку та класифікацію, що дозволило зрозуміти передумови його впровадження в освіту.

Також були представлені сучасні можливості ІІІ в освітньому процесі, проаналізовано міжнародний і вітчизняний досвід його застосування, здійснено огляд актуальних інструментів і платформ на базі ІІІ, які використовуються в освіті, висвітлено психолого-педагогічні аспекти застосування ІІІ. Було розглянуто вплив ІІІ на мотивацію учнів, когнітивні процеси, а також етичні та соціальні наслідки його застосування. Підкреслено важливість балансу між технологічними інноваціями та педагогічною доцільністю. Окремо підкреслено необхідність підготовки педагогів до роботи з інтелектуальними системами. та формування в учнів навичок критичного мислення й цифрової грамотності, що є запорукою безпечного та ефективного використання ІІІ в навчанні.

Загалом, перший розділ створив комплексну теоретичну базу, яка дозволяє глибше зрозуміти роль ІІІ в модернізації освітнього процесу, його потенціал та виклики, що стоять перед українською освітою.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИКОРИСТАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ВИКЛАДАННІ МАТЕМАТИКИ

2.1. Аналіз впливу інтеграції ШІ на зміст, форми, методи та принципи викладання математики

Інтеграція штучного інтелекту в освітній процес стала невід'ємним компонентом сучасного освітнього середовища. Особливо перспективною є інтеграція ШІ в математичну освіту. У старших класах учні все частіше зустрічаються зі складними математичними концепціями та завданнями. ШІ може стати потужним інструментом для оптимізації навчання, розвитку критичного мислення та поліпшення успішності.

Особливо актуальним є впровадження методик і технологій навчання, які сприятимуть формуванню особистості учня, його умінь самостійно вчитися, критично мислити та розвитку здатності до самореалізації у різних видах діяльності [38]. Це сприяє формуванню нових освітніх практик, які поєднують традиційні методи з інноваційними підходами. Використання інтелектуальних технологій у навчанні змінює не тільки організацію освітнього процесу, а й ролі учня, вчителя і батьків. Це потребує системного науково-педагогічного осмислення. Застосування ШІ в освіті змінює не лише технічні засоби навчання, а й саму логіку побудови освітнього процесу.

Метою даного підрозділу є аналіз впливу технологій штучного інтелекту на трансформацію змісту, форм, методів і принципів викладання математики в сучасному освітньому середовищі. Це дослідження спрямоване на виявлення того, як штучний інтелект сприяє оновленню змісту математичної освіти, оптимізації навчально-пізнавальної діяльності, розвитку критичного й алгоритмічного мислення учнів.

Завдяки інтелектуальним системам, викладання математики набуває нових форм інтерактивності, адаптивності та персоналізації. Методи подачі

матеріалу стають гнучкішими, орієнтованими на індивідуальні освітні потреби, а традиційні принципи навчання доповнюються новими [17].

Зміст математичної освіти у традиційному підході визначається законодавчими актами, концепціями, навчальними планами, програмами, підручниками та методичними матеріалами. Застосування ІІІ дозволяє розширити його межі, створювати нові форми організації навчального процесу, персоналізовані завдання та інтелектуальні системи підтримки навчання.

Сучасний інноваційний підхід до викладання математики у школі передбачає інтеграцію штучного інтелекту для полегшення побудови складних математичних моделей та засвоєння знань на різних рівнях завдяки впровадженню адаптивних алгоритмів. ІІІ може розбивати складні завдання на простіші кроки, поєднувати аналітичні та графічні методи вирішення, а також створювати алгоритми навчання, які роблять процес навчання більш ефективним. Крім того, ІІІ може візуалізувати перетворення різних математичних моделей, роблячи процес їх розв'язування більш наочним та інтуїтивно зрозумілим для учнів [15].

Однією із найбільш перспективним напрямком застосування штучного інтелекту є адаптивне навчання. Цей підхід полегшує розуміння змісту та складності навчального матеріалу відповідно до рівня підготовки, когнітивного стилю та темпу навчання кожного окремого учня.

Адаптивні платформи з ІІІ відкривають нові можливості для персоналізованого навчання. Вони автоматично аналізують відповіді учнів, підбирають найкращі завдання, створюють навчальні маршрути та надають миттєвий зворотній зв'язок. Такий підхід дозволяє уникнути ситуацій, коли матеріал є надто складним або занадто простим, може підвищити мотивацію учнів до навчання, допомогти їм стати більш самостійними та краще розуміти математичні поняття [15].

У зміст математичної освіти вводяться нові інтерактивні компоненти завдяки можливостям ІІІ автоматично генерувати задачі з різними рівнями

складності та створювати візуалізації математичних понять. Такий підхід розширює навчальний матеріал, дозволяє будувати симуляції та віртуальні експерименти і забезпечує його практичну орієнтованість. Це, у свою чергу, дозволяє поєднувати математику з інформатикою, фізикою, економікою та соціальними науками, демонструючи реальні приклади застосування математичних моделей [21].

За допомогою інструментів ШІ з'являється можливість оновлення та актуалізації навчального матеріалу. Платформи зі штучним інтелектом дозволяють постійно адаптувати навчальний контент до нових викликів, та тенденцій розвитку науки [30].

Вплив ШІ на зміст навчання математики проявляється у його індивідуалізації, інтерактивності, міждисциплінарності та актуалізації. У цьому контексті йде формування нової моделі математичної освіти, яка відповідає потребам учнів XXI століття.

Впровадження інструментів штучного інтелекту трансформує також традиційні форми організації навчання математики, роблячи їх більш гнучкими, варіативними та інноваційними. Якщо класно-урочна система історично була основною моделлю викладання, то сьогодні за допомогою ІКТ відбувається перехід до змішаних і персоналізованих форматів навчання.

Використання адаптивних платформ дозволяє учням працювати у власному темпі, отримуючи завдання, які відповідають їхнім знанням та прогресу. Це підвищує ефективність самостійної роботи та розвиває навички самоконтролю і сприяє умовам для змішаного та дистанційного навчання. Уроки з математики можна організовувати у комбінованому форматі: частина матеріалу опрацьовується учнями самостійно в онлайн-середовищі, а під час очних занять відбувається аналіз складних задач, обговорення та закріплення знань. Це дозволяє більш ефективно використовувати навчальний час [30].

Інтеграція ШІ в освітній процес впливає на створення та укріплення колективних форм навчання. Спільна робота у цифрових середовищах, інтегрованих із ШІ, дозволяє організовувати групові дослідження,

математичні вікторини та дискусії. Це сприяє формуванню комунікативних навичок і розвитку критичного мислення [52].

Інтеграція інструментів штучного інтелекту у викладанні математики поєднує традиційні підходи із новими цифровими можливостями. Це дозволяє зробити навчання більш адаптивним, дослідницьким та орієнтованим на практичне застосування знань.

ІІІ розширює можливості пояснювально - ілюстративного методу. Сучасні платформи (Wolfram Alpha, GeoGebra AI, MathGPT) автоматично генерують розв'язки та візуалізації, що дозволяє вчителю наочно продемонструвати учням різні способи розв'язування задач, будову графіків чи алгоритм виконання обчислень.

Суттєво трансформується також практичний метод. Адаптивні середовища (ALEKS, IXL Math) з автоматичною перевіркою надають учням індивідуалізовані завдання. Це підсилює мотивацію до виконання тестових та домашніх завдань.

Завдяки генеративним можливостям ІІІ розвивається дослідницький метод: учні можуть аналізувати нестандартні задачі, будувати власні моделі та перевіряти гіпотези за допомогою комп'ютерних експериментів. Використання GeoGebra AI та симуляційних платформ (PhET) дозволяє моделювати математичні об'єкти, виявляючи закономірності через експериментування.

З впровадженням ІІІ в освітній процес більш інтенсивно використовуються ігровий та проблемно-пошуковий методи. Інтерактивні платформи (Kahoot!, ClassPoint AI, MATHia) створюють умови для навчання через змагання, вікторини та вирішення проблемних ситуацій. Це посилює мотивацію учнів та робить процес навчання більш динамічним.

Дидактичні принципи викладання математики поступово трансформуються з урахуванням можливостей штучного інтелекту. Інтеграція інструментів зі штучним інтелектом сприяє формуванню нових тенденцій, які поєднуються з інноваційними підходами [15].

Принцип наочності трансформується через інтерактивні візуалізації, динамічні моделі та симуляції (GeoGebra AI, WolframAlpha). Учні мають можливість спостерігати за змінами математичних об'єктів у реальному часі.

Принцип наочності трансформується через інтерактивні візуалізації, динамічні моделі та симуляції. Завдяки безкоштовному доступу, зрозумілому інтерфейсу та підтримки української мови таких адаптивних платформ, як: Khan Academy, ALEKS, Wayground, розширюється принцип доступності.

Принцип систематичності й послідовності реалізується за допомогою автоматизованого відстеження прогресу. Системи адаптивного навчання аналізують виконані завдання, фіксують типові помилки й на цій основі пропонують індивідуальну траєкторію навчання.

Принцип індивідуалізації виходить на новий рівень завдяки тому, що навчальні платформи пристосовують зміст, темп і форму подання матеріалу до конкретних потреб учня.

Принцип інтерактивності реалізується більшою мірою і учні не просто отримують інформацію, а вступають у активний діалог із системою. Платформи (MathGPT, Photomath, MATHia) генерують зворотний зв'язок у реальному часі, пропонують підказки, варіанти рішень і пояснення. Така взаємодія стимулює пізнавальну активність і робить навчання динамічним.

Принцип практичної спрямованості стає більш ефективним завдяки створенню практико-орієнтованих завдань, моделюванню прикладних ситуацій та застосуванню інтерактивних симуляцій (WolframAlpha, GeoGebra AI,). Учні можуть відразу бачити користь математичних знань у житті та професійній діяльності [39].

Отже, інтеграція інструментів штучного інтелекту у викладанні математики зумовлює суттєві трансформації у змісті, формах, методах і принципах навчання. Навчання стає більш індивідуалізованим, інтерактивним. Використання ШІ у викладанні математики робить зміст більш динамічним, забезпечує його актуалізацію та прикладну спрямованість.

Форми організації навчання змінюються у бік гнучких і комбінованих моделей (змішане навчання, дистанційні форми навчання, індивідуальні траєкторії).

Методи навчання набувають нових характеристик завдяки інтерактивності, автоматизованій перевірці, наданню миттєвого зворотного зв'язку, що сприяє підвищенню ефективності самостійної роботи та розвитку критичного мислення учнів.

Принципи навчання математики збагачуються інноваційними підходами: посилюється їхня практична спрямованість, з'являється новий рівень індивідуалізації та інтерактивності, а також забезпечується системність і послідовність навчання за рахунок автоматизованому аналізу даних.

Все це підвищує ефективність освітнього процесу та наближує його до сучасних освітніх потреб.

2.2. Переосмислення ролі та відповідальності вчителя у викладанні математики з використанням ІІІ у сучасному освітньому середовищі

На сучасному етапі розвитку освіти значно зростає роль вчителя як активного учасника педагогічного процесу. Все більше уваги приділяється особистісним та професійним якостям. Вчителі все частіше виступають кураторами, які мотивують учнів і допомагають інтерпретувати інформацію, отриману від систем штучного інтелекту [4].

Цей розділ аналізує ключові аспекти трансформації професійної діяльності вчителя математики під впливом ІІІ, зокрема: появу нових компетентностей, зміну педагогічних функцій та виклики, що виникають у сучасному освітньому середовищі.

Поява нових інструментів ІІІ, таких як адаптивні навчальні платформи, інтелектуальні системи оцінювання та персоналізовані помічники, вимагає від вчителя математики опанування нових компетентностей. На перший план виходять цифрова компетентність, що передбачає вміння ефективно

використовувати AI-інструменти, розуміння їх функціоналу для покращення навчального процесу. Не менш важливою стає інформаційна компетентність - критична оцінка даних, які отримані від штучного інтелекту. Сюди відноситься: перевірка коректності математичних алгоритмів у автоматизованих системах і прийняття обґрунтованих педагогічних рішень.

Зміна технологій в освітньому середовищі призводить до зміни педагогічних функцій вчителя. Традиційна модель, де вчитель виступав основним джерелом знань, поступається новими соціально-професійними ролями вчителя: коуча, фасилітатора, тьютора, модератора та ментора [8]. Як координатор навчання: вчитель проектує індивідуальні траєкторії, використовуючи рекомендації ШІ і адаптуючи їх під потреби конкретних учнів. Як модератор дискусій: вчитель зміщує акцент на розвиток логічного мислення та обговорення помилок які можуть виникати при роботі з AI. Як тьютор: він впроваджує супровід учнів у роботі з інтерактивними системами (пояснення результатів, отриманих за допомогою ШІ) [8].

Ключові компетенції вчителя математики в епоху ШІ включають:

- Технологічну грамотність (вміння працювати з AI-інструментами - генераторами задач, платформами для аналізу помилок).
- Професійне зростання вчителя.
- Критичне мислення: оцінка достовірності результатів які надає ШІ.
- Запобігання залежності від алгоритмів.
- Розвиток "м'яких навичок" - мотивація учнів у цифровому середовищі, керування дискусіями.

Використання ШІ як допоміжного інструменту для досягнення освітніх цілей зумовлює важливість адаптування педагога до змін та новацій. Однак, трансформація ролі вчителя в цих умовах несе з собою низку викликів. Один із них - це необхідність постійного професійного розвитку, зокрема освоєння новітніх інструментів, сервісів і платформ на базі ШІ. Іншим викликом є забезпечення етичних аспектів використання ШІ, включаючи

конфіденційність даних учнів, протидію плагіату та формування відповідального ставлення до технологій. Важливо також навчити учнів критично оцінювати інформацію, яка згенерована штучним інтелектом, і розуміти його обмеження [44].

В процесі впровадження штучного інтелекту в освітню практику зростає не лише роль, а й відповідальність учителя, зокрема у викладанні математики - дисципліни, де логічне мислення, точність і аналітика мають ключове значення. Застосування сучасних технологій створює нові можливості для індивідуалізації навчання, оперативної оцінки знань, візуалізації складних понять. Це вимагає від учителя високого рівня обізнаності, критичного мислення та відповідального підходу до вибору і використання цифрових інструментів. Саме вчитель несе відповідальність за якість викладання, етичність використання ШІ та безпеку його застосування в освітньому процесі. У цьому контексті важливо проаналізувати основні сфери відповідальності сучасного вчителя математики - педагогічну, етичну, цифрову, методичну та соціальну - та визначити нові виклики, з якими він стикається в умовах інтеграції ШІ в освітній процес [26].

1. Дидактична та методична відповідальність.

Вчителі несуть відповідальність за дидактичний та методичний підходи до використання інструментів ШІ у навчальному процесі. Вони повинні ретельно обирати технології та способи використання інструментів ШІ, щоб вони допомагали учням розвивати математичні навички, а не замінювали їхнє власне мислення. Також важливо, щоб вчителі контролювали зміст навчального матеріалу, створений або рекомендований ШІ, забезпечуючи їхню точність і відповідність встановленим освітнім стандартам. Персоналізація навчання є ще одним важливим аспектом: вчитель має впевнитися, що інструменти ШІ враховують індивідуальні потреби учнів, а не пропонують уніфіковані рішення [13].

2. Етична відповідальність.

Вчителі також повинні зберігати баланс між можливостями технологій і живим педагогічним супроводом, адже особистий контакт з учнями залишається першочерговим. Запобігання залежності від ШІ є ще одним важливим аспектом: учні не повинні втрачати здатність самостійно мислити, коли ШІ постійно пропонує готові відповіді на питання [46]. Вчителі також відповідають за академічну доброчесність, запобіганням списуванню та плагіату.

3. Технічна та цифрова відповідальність.

Вчителі повинні дбати про безпечне використання технологій, особливо коли використовуються платформи, що зберігають персональну інформацію. Вони також несуть відповідальність за технічну грамотність учнів і за створення безпечного, керованого та інклюзивного цифрового простору [13].

4. Методична відповідальність.

Методична відповідальність вчителів полягає в адаптації навчальних програм. Наслідком інтеграції ШІ в навчальний процес може бути оновлення змісту уроків, методів оцінювання та форм діяльності учнів. Вчитель також має підвищувати свою професійну кваліфікацію, займаючись самонавчанням і впровадженням інновацій у своєму предметі.

5. Соціальна і психологічна відповідальність.

Соціальна і психологічна відповідальність вчителів полягає в формуванні в учнів критичного ставлення до інформації. Вчителі повинні навчити учнів усвідомлено користуватися ШІ та аналізувати отримані результати. Також важливими є медіаграмотність і цифрова етика. Вчителі мають виховувати свідомих і відповідальних користувачів ШІ. Крім того, підтримка мотивації учнів і подолання "технологічної залежності" є важливими завданнями для вчителів.

Штучний інтелект доцільно розглядати як інструмент підтримки та розвитку педагогічної діяльності. Можна окреслити такі напрями використання цього інструменту:

- Інтелектуальні пошукові системи на базі ШІ дають змогу швидко знаходити високоякісні матеріали для уроків, а також пропонують і альтернативи залежно від методики та навчальних цілей.
- Автоматична генерація уроків - для створення навчальних програм, сценаріїв уроків та інтерактивних вправ. Моніторинг наукових новин і тенденцій для вчасного коригувати навчальний матеріалу та оновлення уроків.
- Адаптація навчання - адаптація завдань відповідно до рівня знань, інтересів і темпу навчання здобувачів освіти.
- Освітня аналітика та прогнозування академічної успішності, виявлення ризиків та своєчасне надання рекомендацій, створення більш гнучкого та інтерактивного освітнього простору.

Також, необхідно відзначити трансформацію функції та ролі вчителя завдяки впливу штучного інтелекту у таких напрямках:

А. В удосконаленні традиційних методів навчання.

Вчитель із транслятора знань перетворюється на модератора, який використовує інструменти зі ШІ для створення інтерактивних симуляцій, адаптивних вправ та імітацій реальних ситуацій.

Б. В персоналізації навчання.

ШІ дозволяє перейти від уніфікованого навчання до індивідуального. Вчитель аналізує дані, зібрані AI-системами, та визначає освітні траєкторії для кожного учня. Його роль зміщується від навчання групи до тьюторства: він координує індивідуальні плани, працює з мотивацією та допомагає долати складні теми.

В. Інтелектуальний аналіз даних.

Вчитель отримує інструменти для аналізу успішності, прогнозування ризиків та визначення тенденцій у навчанні. Замість інтуїтивних оцінок, він приймає рішення на основі даних: які теми потребують повторення, які учні

потребують додаткової допомоги. Це перетворює його на аналітика та стратега.

Г. Автоматизація адміністративних завдань.

Завдяки ШІ відбувається автоматизація рутинних процесів (перевірка робіт, ведення журналів, складання звітів). Це звільняє час вчителя для безпосередньої взаємодії з учнями та вдосконалення методики викладання.

Г. Дистанційне навчання та підключені класи.

Вчитель стає організатором віртуального освітнього середовища. Використовуючи AI-платформи, він створює адаптивні курси, проводить онлайн-уроки з автоматизованим перекладом та аналізує активність учнів у реальному часі. Його роль - бути медіатором між технологіями та учнями.

Д. Підтримка спеціалізованих програм.

ШІ забезпечує вчителів інструментами для впровадження спеціалізованих програм, таких як курси для учнів з особливими потребами або програми STEM. Це дозволяє вчителям ефективніше працювати з різними групами учнів.

Е. Професійний розвиток та підтримка вчителів.

ШІ також може слугувати ресурсом для професійного розвитку вчителів, надаючи доступ до онлайн-курсів, вебінарів та інших навчальних матеріалів. Це сприяє постійному вдосконаленню педагогічних навичок і знань.

Використовуючи інструменти на основі ШІ, вчителі можуть створювати цікаве та інтерактивне навчальне середовище, пристосоване до унікальних вимог і потреб кожного учня.

Програми підвищення кваліфікації вчителів мають забезпечити розвиток здатності курувати та оцінювати освітні ресурси на основі штучного інтелекту, розробляти навчальні дії на основі штучного інтелекту та надавати вказівки та підтримку учням, які працюють в навчальних середовищах, керованих ШІ. Професійний розвиток вчителів щодо ефективного

використання ІІІ в освіті, забезпечує зміну підходів до викладання не тільки сьогодні, але й на майбутнє.

В Україні рівень обізнаності педагогів щодо штучного інтелекту поступово зростає. За даними опитування МАН (2023), 76% учителів хоча б раз використовували ІІІ, однак лише 37% застосовували його безпосередньо у роботі з учнями. Серед школярів показники значно вищі: 91% знають про ІІІ-сервіси, а 85% уже користувалися ними [23]. Найпопулярнішим інструментом є ChatGPT [24]. Незважаючи на зростання інтересу, педагоги з обережністю ставляться до впровадження ІІІ: індекс готовності рекомендувати його учням становить лише 6%, що пов'язано з етичними ризиками та питаннями академічної доброчесності. Опитування «Освіторії» (2025 р.) підтверджує, що 97% українських учителів уже застосовують інструменти ІІІ, а понад 60% роблять це регулярно [22]. Водночас більшість педагогів оцінюють власний рівень компетентності як середній, що свідчить про потребу у додатковій підготовці.

У міжнародному контексті такі показники також зростають. У США, за даними Gallup (2024), близько 60% учителів користуються ІІІ, а 32% — щотижня [56]. RAND повідомляє, що 48% шкільних округів уже організували навчання для педагогів щодо використання ІІІ, що демонструє системний підхід до підвищення цифрових навичок [55]. Інше дослідження, проведене в США, показало, що 55% вчителів вважають, що ІІІ може позитивно вплинути на навчальний процес, проте лише 35% вважають, що мають достатні знання для його використання. За даними дослідження OECD, проведеного у 2023 році, близько 70% вчителів у країнах Європи повідомили про обізнаність щодо ІІІ, але лише 45% використовують його в навчанні.

Ці дані свідчать про глобальну потребу в трансформації ролі та відповідальності вчителя в умовах інтеграції ІІІ в освіту. Вчителі мають стати не лише передавачами знань, але й фасилітаторами, які допомагають учням орієнтуватися в нових технологіях, критично мислити та використовувати ІІІ для свого розвитку.

Враховуючи існуючий розрив між обізнаністю та практикою можна зробити висновок, що для ефективного впровадження ІІІ в освіту в Україні необхідно забезпечити вчителів ресурсами, навчальними програмами та підтримкою, необхідними для адаптації до нових вимог та ролей у навчальному процесі.

2.3. Визначення підходів до інтеграції ІІІ у структуру уроку

Ключову роль в ефективності методики викладання математики з використанням інструментів ІІІ відіграє їхнє грамотне впровадження у структуру уроку. Такі уроки мають відповідати дидактичним принципам та вимогам навчальної програми.

Метою даного підрозділу є обґрунтування можливості ефективного інтегрування інструментів ІІІ на різних етапах сучасного уроку математики з метою персоналізації навчання, підвищення пізнавальної активності учнів, розвитку критичного мислення та оптимізації роботи вчителя.

Використання інструментів ІІІ як засобів навчання дозволяє підвищити наочність математичного матеріалу, забезпечити індивідуалізацію навчання та оперативний зворотний зв'язок. При цьому вибір конкретного інструмента зумовлюється ціллю етапу уроку, рівнем підготовки учнів і змістом навчальної теми. ІІІ доцільно застосовувати не фрагментарно, а як елемент методично продуманої структури уроку.

1. Організаційно-мотиваційний етап.

Традиційно вчитель застосовує різні педагогічні прийоми - розповідь, презентацію, короткі опитування, демонстрацію цікавих фактів. Використання ІІІ на початку уроку сприяє активізації уваги учнів, формуванню інтересу до теми, створенню елементу новизни. Завдяки здатності ІІІ швидко генерувати необхідний контент, вчитель може забезпечити гнучкий підхід до кожного класу, підвищуючи рівень залученості та пізнавальної мотивації.

Метою використання інструментів ШІ штучного інтелекту на цьому етапі є створення умов для осмисленого включення в навчальний процес і формування позитивного ставлення до предмета. Використання ШІ має сприяти створенню інтерактивного середовища, у якому учень відчуває залучення, інтерес і готовність до подальшої діяльності.

Очікувані результати: підвищення уваги та інтересу учнів до початку уроку завдяки елементу новизни та візуальної привабливості, формування внутрішньої мотивації через демонстрацію практичної значущості математичних знань, активізація мислення за допомогою коротких проблемних або логічних завдань, створених ШІ.

Основні напрями використання ШІ на цьому етапі уроку:

- створення короткого відео (Synthesia, MathGPT), зображення (Canva AI, DALL-E) за допомогою генеративного ШІ, який формулює проблему або життєву ситуацію, що потребує математичного розв'язання та ілюстрації практичної значущості теми;
- створення персоналізованих математичних розминок - через генерацію індивідуальних завдань (ChatGPT, Gemini);
- генерація проблемних ситуацій: ШІ допомагає створити життєві контексти для подальшого вивчення теми;

Правильне застосування штучного інтелекту на організаційно-мотиваційному етапі уроку математики сприяє формуванню позитивного емоційного фону, підвищенню зацікавленості учнів у вивченні предмета та розвитку внутрішньої мотивації до пізнання. Використання таких інструментів ШІ, як чат-боти, генератори візуалізацій, та віртуальні асистенти дозволяють вчителю не лише урізноманітнити початок уроку, але й створити ситуацію залученості до теми для кожного учня.

2. Етап актуалізації опорних знань.

Метою застосування технологій штучного інтелекту на цьому етапі є забезпечення ефективного повторення базових понять, умінь і навичок,

необхідних для засвоєння нового матеріалу, а також формування в учнів усвідомлення зв'язку між попередніми та новими знаннями. ІІІ виступає інструментом у створенні оптимальних умов для ефективного відтворення, візуалізації та пояснення матеріалу у доступній формі, що сприяє швидкій активації розумової діяльності учнів.

Очікувані результати: підвищення ефективності повторення та перевірки попередніх знань; активізація пізнавальної діяльності через інтерактивні форми взаємодії; підвищення мотивації до повторення завдяки елементам гейміфікації та адаптивності.

Основні напрями використання ІІІ:

- адаптивне тестування за допомогою AI-платформ: Wayground AI, Formative AI, ClassPoint AI можуть автоматично формувати запитання різного рівня складності відповідно до рівня підготовки учнів. Це дозволяє вчителю швидко виявити теми, які потребують повторення;
- генерація тренувальних завдань - за допомогою запиту до ІІІ (MathGPT, Wayground AI) можна створювати завдання, які повторюють ключові поняття чи алгоритм, що є необхідними для розуміння нової теми;
- інтерактивне опитування або мозковий штурм - з підтримкою інструментів ІІІ (Mentimeter AI, Edpuzzle AI) для колективної роботи з використанням коротких тестів, відкритих запитань та візуальних підказок;
- візуалізація попередніх знань через схеми та карти понять - використання ІІІ (Miro AI, MindMeister AI) для побудови ментальних карт з взаємозв'язками між раніше вивченими темами та новою темою уроку.

Використання штучного інтелекту на етапі актуалізації опорних знань завдяки персоналізації завдань і зворотньому зв'язку сприяє підвищенню ефективності процесу повторення та засвоєння матеріалу. ІІІ на цьому етапі виступає також інструментом педагогічної підтримки, який робить процес актуалізації знань більш науково обґрунтованим, гнучким і результативним.

3. Етап вивчення нового матеріалу (формування нових знань).

Традиційні підходи до вивчення нового матеріалу часто виявляються недостатньо гнучкими: не завжди забезпечують достатній рівень взаємодії між учителем і учнями та обмежені у часі для глибших пояснень і варіативних підходів. Впровадження інструментів ШІ у цей етап може забезпечити глибше розуміння нового матеріалу через інтерактивні візуалізації, адаптивні пояснення та миттєвий зворотний зв'язок. ШІ на цьому етапі виступає як потужний дидактичний асистент для вчителя.

Метою застосування технологій ШІ під час вивчення нового матеріалу є підвищення якості засвоєння математичних понять за рахунок інтелектуальної підтримки навчального процесу, автоматизації рутинних дій, адаптації темпу подачі інформації до рівня підготовки учнів та забезпечення наочності й інтерактивності.

Очікувані результати: формування глибшого розуміння нового матеріалу завдяки адаптивним поясненням і візуалізаціям, підтримка самостійної роботи учнів через інтелектуальні підказки.

Основні напрями використання ШІ:

- персоналізоване пояснення нових понять: ChatGPT, Khanmigo можуть пояснювати нові поняття у різних формулюваннях. Учні мають можливість ставити уточнювальні запитання, отримуючи пояснення відповідно до власного рівня розуміння;
- інтерактивне моделювання математичних об'єктів - використання ШІ (GeoGebra AI, Desmos AI, Wolfram Alpha) для побудови графіків, демонстрації змін функцій, дослідження площ під кривими тощо. ШІ допомагає знаходити закономірності, генерує параметричні графіки або демонструє залежності у реальному часі;
- генерація прикладів і контекстних задач - за допомогою MathGPT, Wayground вчитель може створювати приклади, що відповідають темі уроку та рівню складності для кожного учня.

Використання ІІІ на етапі вивчення нового матеріалу значно розширює дидактичні можливості сучасного уроку математики. Завдяки візуалізації, адаптивним поясненням і миттєвому зворотному зв'язку учні не лише швидше опановують новий матеріал, а й формують уміння самостійно досліджувати математичні закономірності.

4. Етап закріплення, формування вмінь та навичок.

Метою інтеграції ІІІ на даному етапі є створення умов для ефективного формування практичних вмінь та навичок шляхом використання інтелектуальних систем, які допомагають у створенні адаптивної системи вправ різного рівня складності, забезпечують зворотній зв'язок для повторного аналізу і корекції помилок та стимулювання пізнавальної активності.

Очікувані результати: формування стійких навичок розв'язування математичних задач, індивідуалізація процесу закріплення знань, підвищення мотивації через систему адаптивних завдань, забезпечення оперативного зворотного зв'язку та корекції помилок.

Основні напрями використання ІІІ на цьому етапі:

- адаптивні тренажери для відпрацювання навичок - використання адаптивних платформ (Khan Academy, DreamBox Math), які автоматично генерують персоналізовані вправи на основі аналізу помилок учня;
- генерація варіативних завдань - створення (ChatGPT, Education.com AI) однотипних та диференційованих завдань;
- інтерактивне закріплення через гейміфіковані платформи (Wayground AI, Kahoot! AI, ClassPoint AI) - створення інтерактивних вікторини з автоматичним підбором складності;
- покроковий розбір задач - використання Symbolab AI, Tutor, WolframAlfa, Photomath для демонстрації покрокових алгоритмів розв'язання задач із поясненням кожного кроку.

Використання технологій ІІІ на етапі закріплення знань, формування вмінь і навичок, завдяки індивідуалізації (кожен учень отримує стільки практики і такого рівня складності, скільки йому потрібно), зворотньому зв'язку і інтерактивності створює умови для самостійного тренування, формує навички самоконтролю. Адаптивні тренажери, генератори завдань з елементами гейміфікації демонструють, що використання ІІІ на цьому етапі є педагогічно доцільним і методично ефективним.

5. Підсумки уроку. Етап «Рефлексії».

Метою інтеграції ІІІ на етапі підсумків уроку та рефлексії є створення умов для якісного осмислення навчальних досягнень та формування навичок саморефлексії через аналіз результатів навчальної діяльності і ефективності зворотного зв'язку між учнем і вчителем.

Очікувані результати: підвищення об'єктивності оцінювання завдяки автоматизованому аналізу результатів, формування навичок самоаналізу, саморефлексії та відповідального ставлення до навчання, активізація пізнавальної мотивації через інтерактивні підсумкові форми роботи.

Основні напрями використання ІІІ на цьому етапі:

- інтерактивні опитувальники рефлексії з генерацією рефлексивних запитань (ChatGPT, Google Forms AI, Mentimeter AI);
- інтерактивне опитування з підтримкою ІІІ - створення підсумкових тестів та візуалізація результатів класу. Учні можуть бачити свій рівень засвоєння теми, а вчитель - отримувати аналітику щодо успішності всього класу (Wayground AI, Kahoot! AI, Mentimeter AI);
- персоналізовані рекомендації для подальшого навчання, створення персонального плану вдосконалення знань і визначення теми для повторення (Khan Academy AI, DreamBox AI, ALEKS).

Застосування технологій ІІІ на цьому етапі створює умови для глибокої аналітичної та особистісної рефлексії. Автоматичне оцінювання результатів

дозволяє зробити процес узагальнення підсумків не просто інформативним, а й мотиваційно значущим, оскільки учні бачать свій прогрес, отримують індивідуальні поради й усвідомлюють власні досягнення. Це сприяє формуванню в учнів відповідальності за власне навчання, розвитку критичного мислення та навичок самооцінки.

Аналіз показує, що штучний інтелект доцільно використовувати на всіх етапах уроку математики, оскільки його потенціал сприяє переходу від традиційного до адаптивного формату навчання, у якому ШІ виконує роль інноваційного засобу підтримки педагогічної діяльності.

Ефективність інтеграції ШІ визначається дотриманням принципів дидактичної доцільності, системності, поступовості, безпечності та розвитку критичного мислення учнів.

2.4. Аналіз ефективності застосування платформ і інструментів ШІ для викладання математики у старших класах

Сучасний інноваційний підхід до викладання математики у школі передбачає інтеграцію штучного інтелекту для полегшення побудови складних математичних моделей та засвоєння знань на різних рівнях завдяки впровадженню адаптивних алгоритмів. ШІ може розбивати складні завдання на простіші кроки, поєднувати аналітичні та графічні методи вирішення, а також створювати алгоритми навчання, які роблять процес навчання більш ефективним. Крім того, ШІ може візуалізувати перетворення різних математичних моделей, роблячи процес їх розв'язування більш наочним та інтуїтивно зрозумілим для учнів.

Однією із найбільш перспективним напрямком застосування штучного інтелекту є адаптивне навчання. Цей підхід полегшує розуміння змісту та складності навчального матеріалу відповідно до рівня підготовки, когнітивного стилю та темпу навчання кожного окремого учня.

Адаптивні платформи з ШІ, особливо ті, що орієнтовані на математику, відкривають нові можливості для персоналізованого навчання. Вони автоматично аналізують відповіді учнів, підбирають найкращі завдання, створюють навчальні маршрути та надають миттєвий зворотній зв'язок. Такий підхід може підвищити мотивацію учнів до навчання, допомогти їм стати більш самостійними та краще розуміти математичні поняття [18].

Однак, ефективність використання цих інструментів залежить від багатьох чинників, включаючи технологічну якість (зручність інтерфейсу та мовна підтримка), педагогічні підходи (відповідність навчальному плану та програмам, наявність методичної підтримки) та зручність для учнів і викладачів [18].

З метою систематизації показників, що визначають ефективність використання платформ з ШІ у навчанні математики, розроблено узагальнену таблицю (табл. 2.1) ключових критеріїв оцінювання їх ефективності.

Таблиця 2.1

Основні ключові критерії для оцінювання ефективності платформ і інструментів ШІ у навчанні математики

Критерії	Характеристика
Навчальні результати	Підвищення оцінок, покращення результатів тестів, розвиток умінь розв'язувати задачі та застосовувати знання на практиці.
Мотивація учнів та залученість	Зацікавленість, активність, самостійність, підтримка інтересу до математики, використання гейміфікації (нагороди, рівні)
Зручність використання	Доступність (безкоштовність, підтримка української мови), інтуїтивність інтерфейсу.
Персоналізація та адаптивність	Рівень складності завдань налаштовується відповідно до потреб учня. Теми для повторення обираються автоматично на основі аналізу помилок. Темп навчання – індивідуальний.
Аналітика та зворотний зв'язок	Наявність детальних звітів, аналітики про успішність, механізми оперативного персоналізованого зворотного зв'язку для учнів і вчителів.
Інтеграція з освітнім процесом	Сумісність зі шкільною програмою, відповідність навчальним стандартам (Держстандарт НУШ), підтримка вчителя (створювання власних завдань, отримання рекомендацій).
Технологічна надійність та захист даних	Стабільність роботи системи, швидкість обробки інформації, а також рівень захисту персональних даних учнів - відповідність GDPR та українському законодавству. і безпечність навчального середовища.

Джерело: власна розробка автора

Для комплексної оцінки таких платформ і інструментів зі ШІ варто використовувати сукупність критеріїв, а не лише академічні результати [47].

Мета цього підрозділу - систематизувати напрями використання платформ та інструментів ШІ та проаналізувати ефективність застосування таких платформ (в першу чергу за критеріями доступності, українського інтерфейсу та інтеграції з освітнім процесом) у процесі викладання математики в старшій школі на конкретних прикладах, зосередивши увагу на їхньому впливі на успішність учнів, мотивацію до навчання та можливості індивідуалізації освітнього процесу.

Основні напрями використання платформ і інструментів з ШІ у викладанні математики в старшій школі:

- Індивідуалізоване навчання та відстеження прогресу - для забезпечення персоналізованих траєкторій навчання та моніторинг результатів (Aleks, IXL Math, MATHia, Khan Academy).
- Тренування навичок та перевірки знань - практичні вправи, інтерактивні завдання та адаптивні тести (Wayground, Kahoot!).
- Змішане навчання - поєднання онлайн та офлайн з використанням AI-платформ (Khan Academy, ClassPoint AI, Moodle з AI-модулями).
- Швидке розв'язування прикладів і перевірки відповідей - як допоміжні інструменти для самоперевірки та аналізу рішень (Photomath, Symbolab, WolframAlpha, MathGPT).
- Поглиблене вивчення математики та самостійне навчання - доступ до пояснень, покрокових рішень і додаткових матеріалів (WolframAlpha, MathGPT, Brilliant AI, Khan Academy).
- Побудови графіків, розв'язування рівнянь та візуалізації - інтерактивні інструменти для геометрії, алгебри та аналізу даних (GeoGebra AI, Desmos AI, Mathway, WolframAlpha).

- Автоматизована перевірка та пояснення розв'язків - системи, які надають покрокові пояснення та корекцію помилок (MATHia, Symbolab, Wayground).
- Аналіз навчальних даних і прогресу - аналітика результатів учнів та прогнозування освітніх досягнень (Wayground, Aleks, IXL Math, MATHia).
- Для автоматичного оцінювання письмових робіт, контрольних та домашніх завдань - використання ІІІ для перевірки розв'язків та надання миттєвого зворотного зв'язку (Gradescope AI).

Огляд та аналіз ефективності застосування основних платформ та інструментів ІІІ які використовуються у викладанні математики.

1. Khan Academy (<https://uk.khanacademy.org/math>) - безкоштовна, універсальна платформа, доступна українською мовою, пропонує навчальні матеріали з різних предметів, зокрема математики. На платформі представлено повний курс математики. Особливо ефективна для учнів старшої школи. Khan Academy пропонує величезну бібліотеку відеоуроків, які пояснюють концепції крок за кроком. Кожне відео супроводжується інтерактивними практичними завданнями з миттєвим зворотним зв'язком, підказками та покроковими рішеннями. Є також тестові завдання для перевірки знань, нараховуються бали майстерності (гейміфікація навчання).

Приклад застосування Khan Academy з уроку засвоєння нових знань для вивчення теми "Показникова та логарифмічна функції" 11 клас.

Мета уроку - ознайомити учнів з визначеннями показникової та логарифмічної функцій, їх властивостями та графіками, навчити розв'язувати рівняння, розвинути вміння побудови графіків та їх аналізу за допомогою ІІІ.

Етап 1. Принцип "перевернутого класу" : учні вдома переглядають відео: "Вступ до показникових та логарифмічних функцій", "Графіки показникових та логарифмічних функцій", "Вступ до логарифмів".

Етап 2: Урок у класі. Вчитель коротко повторює основні визначення та властивості, відповідає на запитання, які виникли під час домашнього

опрацювання і пропонує учням індивідуально на планшетах практикуватися на Khan Academy в розділі «Показникові рівняння». Вчитель обирає задачу з Khan Academy, наприклад: розв'язати показникове рівняння: $3^{2x} = 81$. Покрокове пояснення на Khan Academy: 1). Записуємо 81 як степінь 3: $81 = 3^4$. 2). Рівняння набуває вигляду: $3^{2x} = 3^4$. 3). Оскільки основи рівні, прирівнюємо показники: $2x = 4$. 4). Розв'язок: $x = 2$.

При розв'язуванні рівнянь на цій же сторінці учень має змогу переглянути коротке відео з цієї теми, а після відповіді – побачити правильний розв'язок з поясненнями цієї задачі.

Деякі вправи на Khan Academy з інтерактивними графічними інструментами дозволяють змінювати параметри функції $y = a \cdot b^x$ та спостерігати, як змінюється графік, порівнювати графіки показникової $y = 2^x$ та логарифмічної $y = \log_2 x$ функцій і побачити, що вони є взаємно оберненими, симетричними відносно прямої $y = x$.

З інтерактивних вправ платформа пропонує задачі з автоматичною перевіркою. Наприклад: “Розв'яжіть рівняння $y = \log_5(x + 3) = 2$ ”. Учень вводить відповідь у текстове поле. Після натискання кнопки “Перевірити” система: автоматично оцінює правильність розв'язку і надає зворотний зв'язок, де можна отримати підказку у вигляді формули, або побачити покрокове розв'язання.

Етап 3. Закріплення: учні продовжують виконувати практичні завдання на Khan Academy з розділів, де вони відчували труднощі або де потрібно додаткове закріплення.

Для вчителів є спеціальний інтерфейс який дозволяє відстежувати успіхи класу та кожного учня окремо, а також швидко помічати теми, що викликають найбільші труднощі. Можна переглядати прогресу класу, виявляти слабкі місця та зробити аналіз окремого учня.

Нижче, у таблиці 2.2 наведено переваги та недоліки використання освітньої платформи Khan Academy у викладанні математики.

Таблиця 2.2

Переваги та недоліки використання Khan Academy

Переваги	Недоліки	Рекомендації для застосування
Висока якість пояснень (українськомовні відео); Адаптивність до знань кожного учня; Зручність використання: у навігації і інтерфейсі. Безкоштовність; Використання елементів гейміфікації (бали, значки, відстеження прогресу)	Іноді є відмінності в термінології або підходах порівняно з українськими підручниками Відсутність зворотного зв'язку: хоча є коментарі до відео та вправ, прямої взаємодії з викладачем платформи немає	Ефективний інструмент для індивідуалізованого вивчення математики, або як доповнення до традиційного уроку. Платформа стимулює розвиток самостійності, вміння працювати з помилками та аналітичного мислення.

Джерело: власна розробка автора

Khan Academy - ефективний інструмент для індивідуалізованого вивчення математики. Найкраще підходить для самостійної роботи учня або як доповнення до традиційного уроку. Khan Academy може бути ефективно інтегрована у навчальний процес як «перевернутий клас», де учні дивляться відео вдома, а в класі обговорюють та розв'язують задачі. Можна використовувати її для призначення додаткових завдань учням, які потребують більше практики. Платформа стимулює розвиток самостійності, аналітичного мислення та вміння працювати з помилками, але для поглибленого аналізу потрібні додаткові інструменти.

2. WolframAlpha (<https://www.wolframalpha.com>) - спеціалізований математичний AI-інструмент. Це обчислювальний пошуковик з автоматичним розв'язком математичних задач з поясненням, побудовою графіків та аналізом функцій. Він не тільки миттєво збирає необхідну інформацію, а ще й точно обчислює на основі величезної кількості вбудованих алгоритмів, даних та методів, що охоплюють майже всі галузі знань, включаючи математику.

Застосування WolframAlpha на прикладі уроку узагальнення і систематизації знань з теми «Тригонометричні функції, їх властивості та графіки». 10 клас.

Ціль уроку - закріпити знання про властивості синуса, косинуса, тангенса, побудову та аналіз графіків, знаходження періодів, нулів, екстремумів з використанням ШІ.

Очікувані результати: учні вміють будувати графіки тригонометричних функцій за допомогою WolframAlpha; формулювати висновки щодо змін параметрів функції та їх впливу на графік; усвідомлювати можливості використання ШІ-платформи WolframAlpha для аналізу математичних функцій.

Тип уроку: урок узагальнення і систематизації знань.

Приклади використання WolframAlpha на основних етапах уроку:

1. Етап актуалізації знань.

Приклад 1. Побудова графіків функцій . “Порівняйте графіки функцій $y = \sin x$ та $y = 2 \sin\left(x + \frac{\pi}{4}\right)$, опишіть перетворення” [19]. Вчитель показує послідовність дій: треба ввести запит: `plot sin x, 2* sin(x + $\frac{\pi}{4}$) from x = $-2\pi i$ to $2\pi i$` . Система побудує обидва графіки, виділяючи їх кольорами (рис. 2.1), покаже амплітуду, період і зсув фази. Учні самостійно вводять функції, аналізують зміни. Вчитель демонструє, як параметри (амплітуда, зсув) впливають на графік.

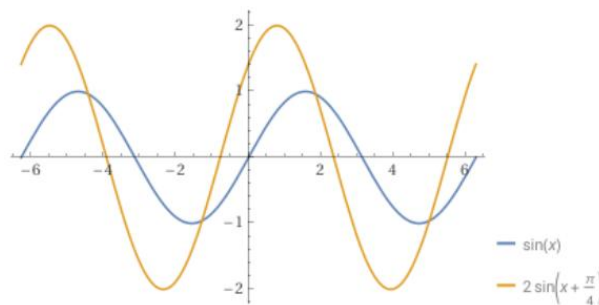


Рис. 2.1. Побудова графіків функцій у WolframAlpha

Джерело: <https://www.wolframalpha.com/input?i=y%3Dsinx>

Приклад 2. Визначення нулів і максимумів функції.

Завдання: Знайти нулі функції $f(x) = 3 \cos(x - 3\pi)$.

Треба ввести запит: zeros of $3 \cos\left(x - \frac{\pi}{3}\right)$, або: maximum of $3 \cos\left(x - \frac{\pi}{3}\right)$.

Вчитель пояснює, що для знаходження нулів потрібно ввести запит у вікно WolframAlpha «solve $3 \cos(x - 3\pi) = 0$ for x » (рис. 2.2). Для знаходження критичних точок: derivative of $3 \cos(x - 3\pi)$, і потім: «solve $-3 \sin(x - 3\pi) = 0$, for x ».

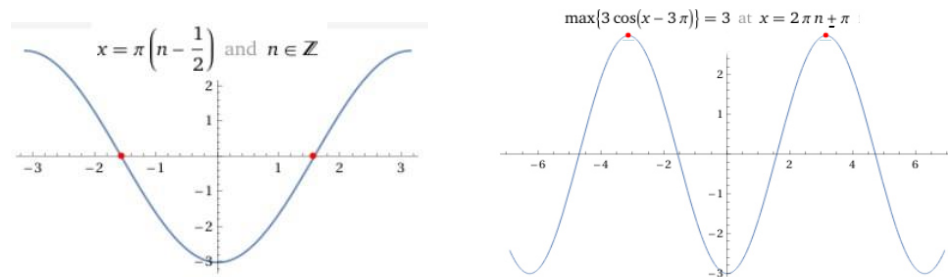


Рис. 2.2. . Визначення нулів і максимумів функції у WolframAlpha

Джерело: <https://www.wolframalpha.com/input?i=maximize>

2. Етап застосування вмінь та навичок. Розв'язування рівнянь: Розв'язати рівняння: $\sin x = \frac{1}{2}$, $\tan x = -1$. Учні вводять запит у WolframAlpha: solve $\sin x = \frac{1}{2}$, solve $\tan x = -1$ і отримують розв'язки: 1) $x = \frac{\pi}{6} + 2\pi n$, та $x = \frac{5\pi}{6} + 2\pi n$, де $n \in \mathbb{Z}$, 2) $x = \pi\left(n - \frac{1}{4}\right)$, де $n \in \mathbb{Z}$, (рис. 2.3).

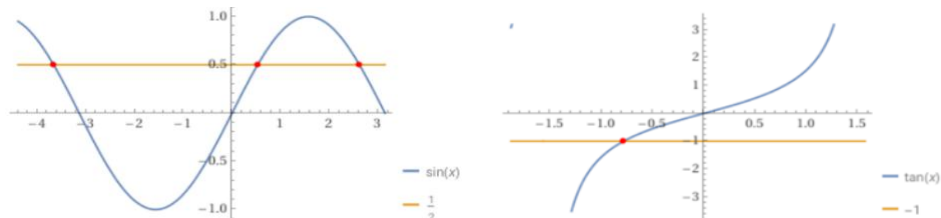


Рис. 2.3. Графічні розв'язки рівнянь у WolframAlpha

Джерело: <https://www.wolframalpha.com/input?i=solve+sin%28x%29%3D1>

3. На етапі корекції знань учні порівнюють свої розв'язки з відповіддю WolframAlpha. Аналізують типові помилки.

У таблиці 2.3 наведено переваги та недоліки використання освітньої платформи WolframAlpha у викладанні математики.

Таблиця 2.3

Переваги та недоліки використання WolframAlpha

Переваги	Недоліки	Рекомендації для застосування
Надає точні математичні розв'язки будь-якої складності Може будувати складні 2D та 3D графіки функцій Має велику базу математичних формул і теоретичних довідок Миттєва перевірка рішень Глибокий аналіз функцій Показує покрокові розв'язки (у версії Pro)	Тільки англomовний інтерфейс Повні пояснення доступні тільки у платній версії Не є навчальною платформою: відсутні інтерактивні уроки, послідовні теми та система відстеження прогресу учня. Не завжди зрозумілі пояснення для школярів	Використовувати для перевірки власних розв'язків Застосовувати для візуалізації складних графіків Поєднувати з традиційними методами навчання

Джерело: власна розробка автора

Платформа WolframAlpha є потужним обчислювальним інструментом і дозволяє швидко аналізувати та ілюструвати математичні поняття, проводити глибокий аналіз математичних об'єктів. Однак, Wolfram Alpha не замінює систематичного навчання і не надає інтерактивних уроків. Англomовний інтерфейс та відсутність повної адаптивності, вимагають зваженого підходу до її використання в умовах старшої школи. Рекомендується використовувати WolframAlpha у поєднанні з іншими формами діяльності для підвищення ефективності навчального процесу.

3. Платформа Wayground (<https://wayground.com>) – це сучасна освітня платформа з елементами ШІ, яка допомагає в навчанні через персоналізовані завдання, інтерактивні тести, відео, флеш-картки, пояснення та аналіз результатів. Вона може адаптувати матеріал під рівень учня, згенерувати

вікторини, включаючи гейміфікацію, мультимедійну підтримку і адаптивні налаштування. Функції ІІІ платформи включають: генерацію тестів або запитань з адаптацією під стандарти навчання; пояснення, адаптація під реальні ситуації, автоматичний аналіз результатів з рекомендаціями, тести, відео, інтерактивні слайди з можливістю додавання медіаконтенту.

Wayground використовується більш ніж у половині шкіл у США та більш ніж у 150 країнах світу [43]. Приклади використання платформи Wayground для викладання математики:

1). На етапах уроку з мотивації навчально-пізнавальної діяльності та актуалізації опорних знань ефективно використовувати інтерактивні відео з поясненнями. Учні не пасивно сприймають інформацію, а активно взаємодіють з контентом, відповідаючи на вбудовані запитання. Це дозволяє одночасно діагностувати рівень готовності класу до сприйняття нової теми, створюючи осмислений перехід до вивчення нового матеріалу.

2). На етапах пояснення нового матеріалу, первинного закріплення знань та відпрацювання навичок, платформа Wayground AI забезпечує можливість створення, редагування та адаптації тестових завдань різних рівнів складності та формою, що забезпечує об'єктивну перевірку розуміння учнями ключових понять та алгоритмів. За допомогою вбудованих інструментів ІІІ вчитель може швидко згенерувати інтерактивні тести, у тому числі завдання з графічними ілюстраціями та покроковими поясненнями. Платформа аналізує типові помилки учнів і пропонує пояснення або додаткові приклади.

3. Для закріплення вивченого матеріалу, повторення або виконання домашнього завдання існує функція створення флеш-карток з формулами, прикладами розв'язків і короткими теоретичними поясненнями. Ці картки можуть бути згенеровані автоматично за темою уроку.

Таблиця 2.4 демонструє переваги й обмеження використання Wayground у математичній освіті.

Таблиця 2.4

Переваги й обмеження використання Wayground у математичній освіті

Переваги	Недоліки	Рекомендації
AI-генерація тестів і завдань Інтерактивні відео та флеш-картки Адаптація рівня складності Миттєвий зворотний зв'язок Гейміфікація	Частина контенту англійською мовою Платна підписка для повної функціональності	Для інтерактивних уроків. Для формативного оцінювання. Використовувати як елемент змішаного навчання. Завчасно підбирати україномовний контент або додавати переклад

Джерело: власна розробка автора

Незважаючи на деякі недоліки, Wayground є потужним інструментом для формативного оцінювання, повторення матеріалу та створення динамічних інтерактивних уроків, що значно підвищує мотивацію та залученість учнів до вивчення математики.

4. Photomath (<https://photomath.com>) - це мобільний додаток, який використовує технології комп'ютерного зору для розпізнавання математичних виразів, автоматичного їх розв'язання та надання покрокових пояснень. З точки зору використання III, Photomath не просто дає відповідь, а показує логіку розв'язання, що є ключовим для навчання.

Основні можливості Photomath у навчанні - розпізнавання рукописних та друкованих формул за допомогою комп'ютерного зору; наліз задачі та підбір оптимального методу розв'язання (диференціювання, підстановка, спрощення); покрокові пояснення із коментарями та візуалізаціями графіків, адаптивні підказки - учень може переглядати лише наступний крок, щоб самостійно дійти до відповіді.

Приклад використання Photomath у викладання теми “Похідна та її застосування”: Обчислення похідної функції. Учень вводить або фотографує завдання: $y = (x^2 - 5)(x^3 + 4)$, [1, №302(1)]. Photomath розпізнає вираз і показує покрокове знаходження похідної (рис. 2.4).

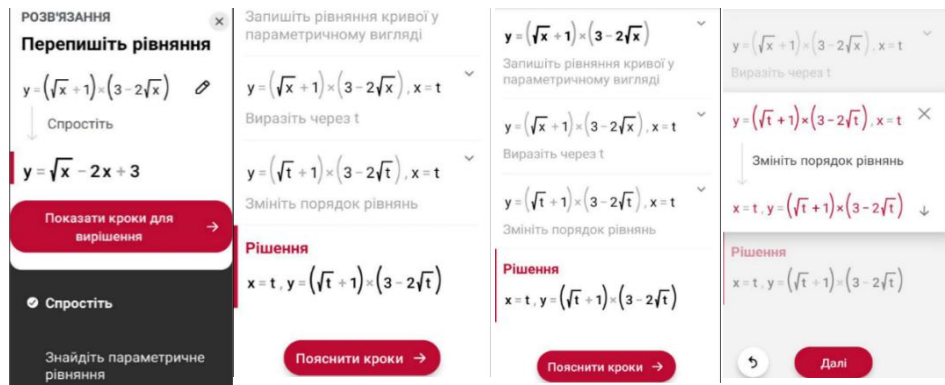


Рис.2.4. Покрокове знаходження похідної у додатку Photomath
Джерело: <https://photomath.com/>

Таблиця 2.5 демонструє переваги та недоліки використання Photomath у розв’язуванні завдань.

Таблиця 2.5

Переваги та недоліки використання Photomath

Переваги	Недоліки	Рекомендації
Миттєве покрокове рішення та пояснення Візуалізація графіків Безкоштовність Українська мова Персоналізований темп Розпізнає рукописні формули	Обмеженість задач Не ідеальна якість розпізнавання Відсутність інтерактивності (не взаємодіє з учнем у діалоговому форматі) Не замінює глибокого пояснення вчителя.	Використовувати перевірки власних рішень та аналізу помилок. Використовувати Photomath з іншими методами навчання, які розвивають творче та критичне мислення.

Джерело: власна розробка автора

Photomath є ефективним інструментом зі ШІ для підтримки навчання математики в старшій школі, особливо для вирішення завдань, що потребують покрокового аналізу. Його використання сприяє індивідуалізації навчання, розвитку навичок самоперевірки та підвищенню мотивації учнів. Проте для уникнення залежності та поверхневого вивчення, необхідно інтегрувати його в навчальний процес з чіткими рекомендаціями щодо його використання, підкреслюючи, що він є інструментом для навчання, а не для списування.

5. MathGPT (<https://math-gpt.org>) - спеціалізований інструмент з ШІ, який оптимально підходить для пояснення математичних обчислень, вирішення задач та доведення теорем. На відміну від ChatGPT, він краще розуміє математичні формули та термінологію (розпізнає текст, фото, PDF), пропонує докладні пояснення з математичною логікою, підтримує технологію LaTeX.

MathGPT має вбудовані механізми для перевірки обчислень, що мінімізує ризик помилок. Підтримує генерацію анімованих відео з поясненнями, інтерактивні графіки та тести. MathGPT може бути інтегрований з WolframAlpha, GeoGebra, що дозволяє йому виконувати складні символічні обчислення, будувати графіки, вирішувати диференціальні рівняння тощо.

Приклад використання MathGPT для викладання теми: "Комбінаторика та теорія ймовірностей".

Мета: підвищення ефективності засвоєння учнями понять і методів комбінаторики та теорії ймовірностей шляхом застосування інтелектуального інструменту MathGPT.

Очікувані результати: учні зможуть розуміти основні комбінаторні принципи; розв'язувати задачі різного рівня складності; отримувати індивідуальний зворотний зв'язок; підвищити навчальну мотивацію.

1). Вправа №13.17 [1]. Скільки трицифрових парних чисел можна записати за допомогою цифр 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6? [1, с.130]. Учень фотографує задачу, або вводить вручну за допомогою LaTeX форматування. MathGPT миттєво розпізнає вираз, обчислює та пояснює кроки (рис. 2.5).

Означимо трицифрове парне число як ABC , де A — сотні, B — десятки, C — одиниці.
Цифри брати з множини $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, повторення дозволені.
Треба щоб число було трицифровим і парним.
1. Визначимо можливості для цифри A (перша, сотні).
— Вона не може бути нулем, щоб число було тризначним.
— Отже, $A \in \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$.
Кількість варіантів: $N_A = 6$.
2. Визначимо можливості для цифри C (остання, одиниці).
— Число повинно бути парним, тому C має бути парною цифрою.
— Парні цифри в нашому наборі: $\{0, 2, 4, 6\}$.
Кількість варіантів: $N_C = 4$.
3. Для цифри B (десятки) ніяких обмежень немає, крім належності до набору $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$.
 $N_B = 7$.
4. Оскільки вибори для A, B і C незалежні, загальна кількість трицифрових парних чисел
 $N = N_A \times N_B \times N_C = 6 \times 7 \times 4 = 168$.
Відповідь: 168 трицифрових парних чисел можна записати цифрами із множини $\{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$.

Рис. 2.5. Пояснення розв'язку задачі у MathGPT

Джерело: <https://math-gpt.org/>

Учень отримує не лише правильну відповідь, а й розгорнуте пояснення принципів комбінаторного підрахунку (вибір цифр, обмеження для першого та останнього розряду). Використання MathGPT приєє розвитку навичок самостійного розв'язання задач та підсилює інтерактивний компонент уроку завдяки миттєвому якісному зворотному зв'язку.

2). За допомогою відео-генеративного модуля MathGPT може сформувати покрокове українськомовне відео - пояснення цього прикладу із голосовим супроводом, анімацією та візуалізацією кожного етапу. Вчитель може налаштувати стиль відео: темп озвучення, рівень деталізації, візуальні підказки (рис.2.6).

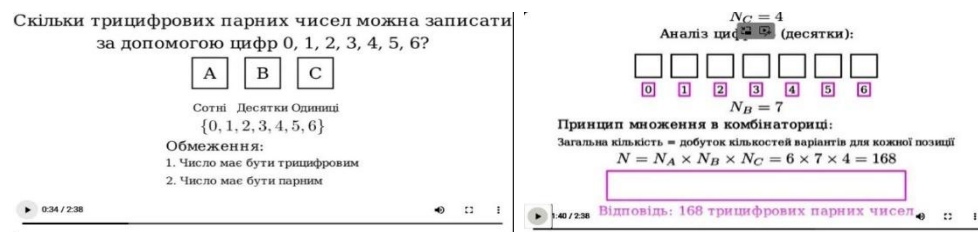


Рис. 2.6. Генерація відео – пояснення прикладу у MathGPT

Джерело: <https://math-gpt.org/>

3. Однією з важливих функцій MathGPT є можливість створення аналогів завдань з різним рівнем складності, шляхом варіації числових значень, введення додаткових умов, зміни формулювання або контексту задачі. MathGPT також дає змогу створювати практичні тести із можливістю перевіряти власні відповіді та отримувати покрокові пояснення рішень. Такий підхід формує навички самоконтролю та аналізу помилок. Крім того, інструмент підтримує побудову діаграм та графіків. Можна створювати графічні представлення ймовірностей комбінацій у таблицях або візуалізувати дерево подій для аналізу складних задач.

Наприклад: для діаграми ймовірностей комбінацій, де A, B, C, D - це різні взаємовиключні події (випадання певного результату в експерименті: A – «випало число 1», B — «випало число 2», тощо), MathGPT миттєво будує і

пояснює діаграму ймовірностей для кожної події і показує ймовірність настання відповідної події, при якому відомо, що сума всіх ймовірностей дорівнює 1 (рис.2.7).

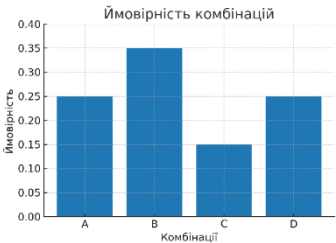


Рис. 2.7. Діаграма ймовірностей комбінацій

Джерело: <https://math-gpt.org/>

Таблиця 2.6 демонструє переваги й недоліки використання MathGPT у викладанні математики.

Таблиця 2.6

Переваги й недоліки використання MathGPT

Переваги	Недоліки	Рекомендації
Підтримка української мови Покрокові і точні розв’язки Створення практичних задачі Генерація відео-розв’язків вправ з поясненнями	Ризик помилок Обмеження для безкоштовної версії	Використовувати для середньорівневих задач, результати перевіряти. Комбінувати з візуальними інструментами(GeoGebra) Для швидкого створення різноманітних завдань

Джерело: власна розробка автора

MathGPT - це вузькоспеціалізований інструмент зі штучним інтелектом, орієнтований на розв’язування математичних задач і пояснення рішень. Він може стати ефективним помічником при відпрацюванні формул, перевірці розв’язків і створенні тренувальних завдань.

У таблиці 2.4 наведено огляд інших популярних платформ та інструментів зі штучним інтелектом для вивчення математики в старшій школі.

Таблиця 2.4

Огляд інших популярних платформ та інструментів

Платформа Інструмент	Рекомендації щодо застосування	Переваги	Недоліки
ALEX	Для індивідуалізованого навчання та відстеження прогресу учнів.	Адаптивне навчання, підлаштування завд. під рівень учня.	Платна підписка, англomовний інтерфейс.
Century Tech	Для змішаного навчання (blended learning)	Персоналізація, аналіз прогресу,	Висока вартість ліцензії
Mathway	Для швидкого розв'язування прикладів і перевірки відповідей.	Підтримує багато розділів математики, покрокові рішення.	Обмежений функціонал, ризик списування
GeoGebra Math Solver	Для побудови графіків, розв'язування рівнянь та візуалізації.	Безкоштовний, українська мова, інтерактивні інструменти.	Потребує часу на освоєння, не зручний на моб. пристроях.
Symbolab	Для розв'язування рівнянь, інтегралів, похідних.	Покрокові пояснення. Простий інтерфейс	Платна підписка, англomовний інтерфейс.
Kahoot!	Для інтерактивних математичних вікторин та повторення матеріалу.	Гейміфікація навчання, залучення учнів.	Обмеження у: -функціональності, -матем. глибині.

Джерело: власна розробка автора

Висновки до розділу 2

У другому розділі досліджено ключові методичні засади інтеграції інструментів штучного інтелекту (ШІ) у процес викладання математики в старшій школі. Встановлено, що застосування інтелектуальних систем сприяє переходу від традиційно-репродуктивних методів до дослідницько-практичних і проблемно-орієнтованих форм навчання. Було показано, що роль вчителя переходить від функції джерела знань до організатора навчальної взаємодії, наставника та модератора роботи з інтелектуальними системами.

У підрозділі 2.3 визначено підходи до інтеграції інструментів ШІ у структуру уроку математики. Обґрунтовано доцільність використання ШІ на всіх етапах уроку - від мотиваційного до рефлексивного, зокрема для візуалізації понять, створення адаптивних завдань.

У підрозділі 2.4 проведено аналіз ефективності використання ІІ-платформ у старших класах, що засвідчив позитивний вплив цих технологій на розвиток математичного мислення, аналітичних навичок і пізнавальної активності учнів.

Здійснений аналіз підтверджує, що використання як адаптивних АІ-платформ, так і спеціалізованих математичних інструментів із підтримкою штучного інтелекту, які вирізняються безкоштовністю, доступним інтерфейсом і можливістю створення власних навчальних матеріалів, сприяє персоналізації навчального процесу, підвищенню мотивації учнів, оптимізації рутинної роботи вчителя та забезпеченню умов для глибшого й осмисленого засвоєння математичних понять.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДИКИ ВИКЛАДАННЯ МАТЕМАТИКИ У СТАРШІЙ ШКОЛІ З ВИКОРИСТАННЯМ ШІ

3.1. Організація та проведення педагогічного експерименту

Ефективне використання інструментів ШІ у викладанні математики є один із шляхів формування в учнів математичної компетентності.

Виявити ефективність запропонованих підходів до навчання на практиці дає змогу педагогічний експеримент, який є ключовим методом емпіричного дослідження в галузі педагогіки. Ми надаємо експериментальному етапу належне місце у цій роботі, оскільки саме він дозволяє оцінити вплив застосування інструментів штучного інтелекту на якість засвоєння математичних знань учнями старшої школи [34].

У процесі організації експерименту було здійснено планування дослідної роботи, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, а також окреслено основні методи, які передбачається використати на наступних етапах. Зокрема, заплановано застосування комплексу педагогічних методів - спостереження, бесід з учнями, анкетування, порівняльного тестування, а також упровадження програмних засобів на основі штучного інтелекту для підтримки освітнього процесу [14]. Таке поєднання методів покликане забезпечити об'єктивне оцінювання очікуваних змін у рівні навчальних досягнень, мотивації, пізнавальної активності та сформованості математичних компетентностей учнів під час вивчення теми «Інтеграл та його застосування».

Проведення педагогічного експерименту відбувалося поетапно й передбачало ретельну підготовку, розробку відповідної методики, добір інструментів оцінювання, формування експериментальної та контрольної груп. У цьому підрозділі буде розглянуто мету, завдання, гіпотезу

дослідження, його етапи, вибірку учасників, а також організаційні засади проведення експерименту.

Тему «Первісна й інтеграл» за програмою вивчають в 11 класі. Основна мета вивчення полягає у запровадженні поняття про первісну, інтеграл, операцію інтегрування як обернену до операції диференціювання; застосуванні інтеграла до обчислення площ криволінійних трапецій і об'ємів найпростіших тіл обертання.

Мета експерименту - перевірити ефективність запропонованої методики викладання теми “Інтеграл та його застосування” у старшій школі з використанням інструментів штучного інтелекту.

Об'єкт експерименту - процес навчання математики в старшій школі.

Предмет – методика викладання теми “Інтеграли та їх застосування” із використанням штучного інтелекту.

Гіпотеза дослідження - застосування інструментів ШІ у процесі вивчення даної теми забезпечить підвищення зацікавленості учнів у навчанні, активізує їхню самостійну діяльність і покращить розуміння складних математичних понять.

Завдання експерименту:

1. Проаналізувати доцільність застосування ШІ при вивченні даної теми.
2. Розробити та впровадити методику навчання теми із використанням штучного інтелекту.
3. Порівняти результати навчання учнів експериментального та контрольного класів.
4. Проаналізувати якісні зміни в рівні зацікавленості, активності та самостійності учнів.
5. Встановити ефективність використання інструментів ШІ у вивченні теми «Інтеграли».

Тип педагогічного експерименту – «Порівняльно-паралельний».

Опис експериментальної бази.

У дослідженні взяли участь 11-А клас (експериментальна група), що складався з 20 учнів і навчався за оновленою методикою із впровадженням ІІІ, та 11-Б клас (контрольна група), до якого входив 21 учень і вивчав тему традиційним способом. Навчальний заклад - Одеський ліцей №43. Рівень попередньої підготовки з математики кожної групи приблизно однаковий, що було підтверджено результатами вступного діагностичного тестування.

Для проведення педагогічного експерименту було створено експериментальну групу (ЕГ) (20 учнів 11-А класу) і контрольну групу (КГ) (21 учень 11-Б класу). Для проведення нашого дослідження була окреслена низка умов:

- рівень математичної компетентності учнів експериментальної та контрольної груп до початку дослідження був приблизно однаковим;
- у КГ навчання організоване за тими навчальними програмами, що передбачені Державним стандартом середньої освіти без використання ІІІ;
- в ЕГ - за розробленою експериментальною методикою (за тими самими навчальними програмами) з інтеграцією ІІІ;
- учні ЕГ дотримувалися всіх етапів дослідного навчання, за розробленою нами програмою;
- навчання у КГ здійснювалося відповідно до традиційної методики без застосування технологій Штучного інтелекту;
- в обох групах кількість уроків була однаковою;
- контрольні перевірки наприкінці кожного етапу навчання проводилися як у експериментальній, так і в контрольній групах за однакових умов і з дотриманням однакових критеріїв оцінювання.

На етапі підготовки педагогічного експерименту були сформовані відповідні організаційні та методичні передумови для його успішної реалізації.

Вибір системного підходу до організації експерименту забезпечував можливість об'єктивно й достовірно оцінити вплив запропонованої методики на результати навчання.

3.2. Розробка уроків з інтеграцією інструментів ІІІ

В процесі виконання роботи було розроблено та впроваджено 10 уроків з використанням інструментів ІІІ для експериментальної групи (11-А класу) з теми «Інтеграл та його застосування» за профільним рівнем, у яких чітко визначено основні структурні елементи кожного заняття, мету, завдання, а також запропоновано комплекс диференційованих усних і письмових вправ, самостійних та контрольних робіт. Окрему увагу приділено урокам узагальнення та систематизації знань, контролю й корекції, у яких активно використовувалися цифрові інструменти штучного інтелекту.

З метою формування єдиної наукової картини світу, використано історичний матеріал, задачі прикладного змісту, простежується інтеграція з іншими науками.

Засоби навчання: підручник, дидактичні матеріали, інтерактивна дошка, ноутбук, планшет, смартфон.

1. У якості основного джерела інформації використовувався підручник: Алгебра і початки аналізу : проф. рівень: підруч. для 11 кл. закладів загальної середньої освіти / Мерзляк А. Г., Номіровський Д. А., Полонський В. Б. та ін. - Харків. : Гімназія, 2019. 352 с.

2. Онлайн-ресурси, адаптовані до Державних стандартів загальної середньої освіти.

Реалізована методика стала поєднанням традиційних форм викладання з можливостями сучасних інструментів ІІІ, таких, як MathGPT, GeoGebra Math Solver, Khan Academy, Wayground, WolframAlpha, Symbolab, Canva, Photomath та інших, які використовувалися для пояснення теоретичного матеріалу, побудови графіків, автоматичної перевірки розв'язків та створення адаптивних завдань.

Урок 1. Тема: «Первісна. Правила знаходження первісної».

Цілепокладання уроку: формування знань учнів про поняття первісної та її основну властивість; формування вмінь знаходити первісні для найпростіших функцій; познайомити учнів з можливостями використання інструментів штучного інтелекту для перевірки та знаходження первісних.

Очікувані результати: учні знають означення первісної та її основну властивість, вміють знаходити первісні для простих функцій, розуміють, як використовувати ШІ для перевірки правильності знаходження первісної.

Обладнання та програмне забезпечення: підручник, інтерактивна дошка, планшет (смартфон), інтерактивні інструменти (GeoGebra, Desmos AI, ChatGPT, WolframAlpha, Canva, GoogleForm).

Тип уроку: засвоєння нових знань.

I. Мотиваційно-організаційний етап уроку. Мета: активізувати пізнавальну діяльність учнів, показати практичну значимість теми.

1. Вітання, перевірка готовності.

2. Актуалізація життєвого досвіду учнів. Вчитель використав інструмент Canva AI для створення наочності. За допомогою штучного інтелекту було згенеровано яскравий графік швидкості машини. Далі вчитель підвів до основної ідеї теми, пояснивши, що площа під графіком швидкості відповідає пройденому шляху. Саме це і є приклад застосування *первісної функції*. Якщо відомо, що $f(x) = v(x)$ - швидкість, то первісна $F(x)$ – описує пройдений шлях. Таким чином, через життєву ситуацію учні отримали мотивацію до вивчення цієї теми.

Постановка проблеми: "З попередніх тем ми знаємо, як знаходити похідну. А як навпаки – знайти функцію за її похідною?" Проблемне питання: "Якщо похідна функції описує швидкість зміни, то що описує первісна?"

II. Етап навчально - пізнавальної діяльності. Сприйняття та осмислення матеріалу. Теоретичні відомості.

1) Означення первісної [1, с. 84]:

Функцію $F(x)$ називають первісною для функції $f(x)$ на проміжку I , якщо для

кожного значення x із цього проміжку $F' = f(x)$.

2) Основна властивість первісної [1, с. 85]:

Якщо функція F є первісною функції f на проміжку I та C - довільне число, то функція $y = F(x) + C$ також є первісною функції f на проміжку I . Будь-яку первісну функції f на проміжку I можна подати у вигляді: $y = F(x) + C$, де C — деяке число.

3) Правила обчислення первісних [1, с. 86].

Вчитель показує, що функції $y = x^2 + 3$, і $y = x^2 - \sqrt{3}$ мають одну й ту саму похідну: $y' = 2x$. Таким чином, обидві функції $y = x^2 + 3$, і $y = x^2 - \sqrt{3}$ є первісними функції $y' = 2x$. Зрозуміло, що кожна з функцій виду $y = x^2 + C$, де C - довільне число, є первісною функції $y' = 2x$. Отже, задача знаходження первісної має безліч розв'язків. Вчитель робить малюнок на дошці, зазначаючи, що похідних для функції $y' = 2x$ можна побудувати безліч. Вчитель пропонує учням відкрити програму Desmos на їхніх смартфонах (планшетах) та побудувати графіки первісних для наступних функцій, задаючи різні значення константи C .

Приклад 1: $f(x) = x^2$ (Первісні: $F(x) = x^3/3 + C$, наприклад, $x^3/3$, $x^3/3 + 2$, $x^3/3 - 5$).

Вчитель на інтерактивній дошці вводить: $f(x) = x^2$, показує $F(x) = \frac{x^3}{3} + C$, рухає слайдер C , просить описати, що відбувається (вертикальний зсув). Перевірка у програмі Desmos: $\text{derivative}(F(x)) = x^2$ (рис.3.1).

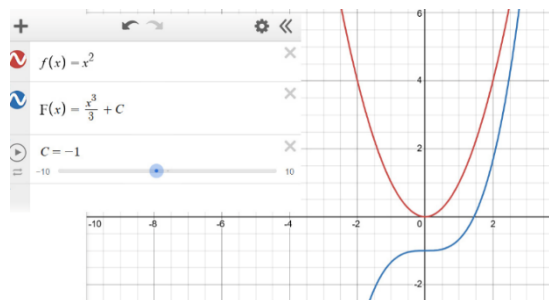


Рис.3.1. Функція $f(x) = x^2$ та її первісна $F(x) = \frac{x^3}{3} + C$

Джерело: <https://www.desmos.com/calculator?lang>

Вчитель показує, як зробити перевірку за допомогою MathGPT: якщо записати у відповідь $F(x) = x^3 + C$, то MathGPT підкаже: «треба перевірити похідну: вона дорівнює: $3x^2$, а треба $2x^2$. Як можна виправити коефіцієнт?».

Для пояснення сенсу первісної вчитель через ІІІ може створити аналогії, метафори. Наприклад: «Усі первісні — це як одна й та сама дорога, піднята або опущена на різний рівень». Учні розуміють, що первісних нескінченно багато.

Аналогічним чином вчитель проводить пояснення ще двох прикладів:

2. $f(x) = \cos x$, (Первісні: $F(x) = \sin x + C$, $\sin x$, $\sin x + 1$, $\sin x - 0.5$).

3. $f(x) = e^x$, (Первісні: $F(x) = e^x + C$, наприклад, e^x , $e^x - 3$, $e^x + 1.5$).

ІІІ. Етап первинного закріплення нового матеріалу.

1). Установіть, чи функція F є первісною для функції f : $F(x) = 3x^2 + x - 2$, $f(x) = 6x + 1$. №9.1(1) використовуючи таблицю первісних. Вчитель нагадує учням основні правила: $\int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + C$, $\int 1 dx = x + C$.

Учні обчислюють: $\int (6x + 1) dx = 3x^2 + x + C$. Роблять висновок:

$F(x) = 3x^2 + x - 2$ підходить, тому що $C = -2$ (частковий випадок).

Для наочності вчитель демонструє на екрані запит для WolframAlpha:

«derivative of $3x^2 + x - 2$ ». Програма дає відповідь: « $6x + 1$ ». Учні переконуються, що $F(x) = f(x)$ (рис. 3.2). Для перевірки вчитель вводить в нове вікно WolframAlpha: «Does derivative of $(3x^2 + x - 2)$ equal $6x + 1$?». На екрані бачимо підтвердження: «It is always true» (рис 3.2).

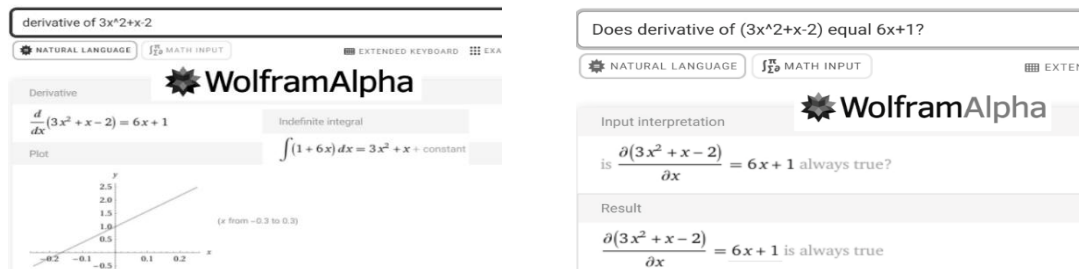


Рис. 3.2 Обчислення похідної від функції: $F(x)$ у WolframAlpha

Джерело: <https://www.wolframalpha.com/input/?i=%C2%ABderivative>

В результаті: таблиця первісних допомагає знайти загальний вигляд первісної, а використання ШІ (WolframAlpha) дає можливість швидко перевірити обчислення та отримати візуальне підтвердження. Таке поєднання традиційних і цифрових методів створює процес навчання більш наочним та інтерактивним. Учні можуть контролювати правильність своїх рішень.

IV. Інтерактивна вправа. Для функції: $f(x) = 2 \cos x$ знайдіть первісну, графік якої проходить через точку $M(\frac{5\pi}{6}; 3)$.

Розв'язання. Оскільки $(2 \sin x)' = 2 \cos x$, то функція $y = 2 \sin x$ є однією з первісних функції $f(x) = 2 \cos x$. Отже, шукана первісна має вигляд $F(x) = 2 \sin x + C$, де C - деяке число. З умови випливає, що $F(\frac{5\pi}{6}; 3)$. Тоді $2 \sin \frac{5\pi}{6} + C = 3$. Звідси $C = 2$. Таким чином, шукана первісна має вигляд:

$F(x) = 2 \sin x + 2$. За допомогою GeoGebra Math Solver (планшет, смартфон) миттєво візуалізуємо графік для первісної функції $f(x) = 2 \cos x$, який проходить через точку $M(\frac{5\pi}{6}; 3)$ (рис. 3.3). Аналіз прочитаного. Складання алгоритму роботи для виконання подібних вправ. Обговорення.

GeoGebra Math Solver забезпечила швидку інтерактивну візуалізацію через генерацію зображень. Учні побачили графік первісної, перевірили умову проходження через точку. Додатково MathGPT може допомогти у пошуку сталої інтегрування, дати підказки, перевірити результат та згенерувати нові варіанти вправ.

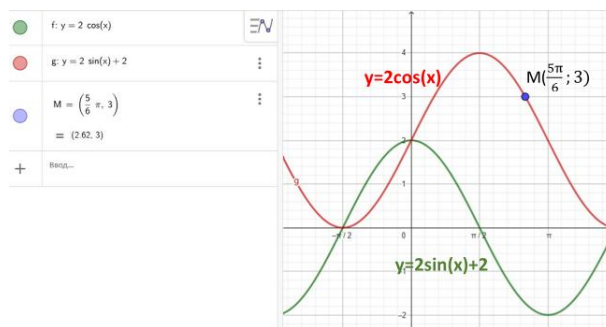


Рис. 3.3 Графік первісної $y = 2 \cos x$

Джерело: App: GeoGebra Math Solver

V. Самостійна робота №9.4. (1,3,5,7), №9.6.(1). Один учень виконує біля дошки №9.4.(3). Перевірка за допомогою WolframAlpha.

V. Рефлексія. Цей етап виконувався відповідно до запитань з рубрики «Перевірте себе» [1, с. 87]. Вчитель використав ChatGPT для генерації запитань до GoogleForm: «Як ви оцінюєте свій розуміння теми?», «Чи допомогли інструменти ШІ?» та інших. Учні отримали код посилання і обрали відповідний варіант. Отримані результати дали можливість вчителю оцінити рівень розуміння матеріалу та скоригувати подальшу роботу. Аналіз результатів: 70% учнів (14 осіб) оцінили своє розуміння на 4-5 балів (рис.3.4).



Рис 3.4 Діаграма розуміння теми «Первісна»

Джерело: <https://docs.google.com/forms/d/1OtsX1Pqrp9GUypYLvYvT5>

VI. Домашнє завдання. 1. Ознайомитися з відео на платформі Khan Academy: <https://uk.khanacademy.org/math/11-klas/x4bb7c291fe0e595b:ntegral-iogo-zastosuvannya/x4bb7c291fe0e595b>. 2. Опрацювати § 2, вивчити таблицю первісних, виконати вправи № 9.2(1-4), № 9,5(1-6).

Урок 2. Тема. Розв'язування вправ. (Первісна. Основна властивість первісної. Невизначений інтеграл).

Мета уроку: закріпити знання про первісну функцію, її властивості та поняття невизначеного інтеграла, навчитися застосовувати правила знаходження первісних, використовувати ШІ для перевірки правильності розв'язків, аналізу помилок та отримання додаткових пояснень.

Очікуванні результати: учні зможуть формулювати означення первісної,

застосовувати основну властивість первісної під час обчислення; розв'язувати вправи на знаходження первісних за допомогою стандартних формул; використовувати інструменти зі ШІ для аналізу власних розв'язків та пошуку помилок; критично оцінювати результати, отримані за допомогою ШІ.

Обладнання та програмне забезпечення: планшети(смартфони), інтерактивна дошка, Kahoot!, WolframAlpha, GeoGebra, ChatGPT, Padlet, Symbolab, Canva.

Тип уроку: удосконалення вмінь та навичок.

I. Мотиваційно - організаційний етап. Актуалізація знань.

1). Створено коротке блиц-опитування (з п'яти запитань) за допомогою інтерактивного тесту у Kahoot! Кожен учень включає Kahoot!, натискає опцію «Join», вводить код і свої відповіді. Вчитель миттєво бачить на своєму екрані всі результати. В результаті використання ШІ для генерації запитань у поєднанні з цифровими інструментами (Kahoot!) підвищується динамічність та інтерактивність уроку. Такий підхід сприяє підвищенню мотивації, економії часу та ефективної актуалізації знань.

2). Перевірка домашнього завдання. Вчитель наочно показує як ввести функцію, для якої потрібно знайти первісну, або обчислити невизначений інтеграл у WolframAlpha. Для перевірки первісної від функції $y = x^2 + 2x$, треба ввести: «integrate $x^2 + 2x$ ».

3). Оголошення задач уроку. Виявлення очікуваних результатів.

II. Застосування вмінь та навичок. Розв'язування вправ.

1) Аналіз виконання прикладів 1 - 3 на с. 86-87 підручника [1].

Вчитель дає вправу: Знайдіть загальний вигляд первісних функції: $f(x) = \frac{1}{x^7}$ на проміжку $(-\infty; 0)$. Учні самостійно виконують завдання, а потім учитель демонструє зразок розв'язання, пояснює можливі помилки.

3) Інтерактивна вправа «Так чи ні». Перевірити істинність рівнянь:

1). $\int x \cos x \, dx = \cos x + x \sin x + C$.

2). $\int \frac{x}{\sqrt{x^2+4}} \, dx = \sqrt{x^2+4} + C$, де C - довільне число.

Після відповіді учні можуть ввести інтеграл у Symbolab, щоб отримати покроковий розв'язок та перевірити свій шлях міркувань. Використовуючи асистент III «Symbolab» учні мають можливість побачити покрокове розв'язання задачі, візуалізувати графіки зі змінною C і зробити запитання.

III. Колективна робота № 9.8(2). Для функції f знайти первісну, графік якої проходить через вказану точку: $f(x) = \sin x$, $A(\pi; -1)$.

Розв'язання. Загальний вигляд первісної: $F(x) = -\cos x + C$. Знаходимо сталу C за умовою $F(\pi) = -1$: $F(\pi) = -\cos \pi + C = -(-1) + C = 1 + C$.

$$1 + C = -1 \Rightarrow C = -2. \text{ Отже, первісна функція: } F(x) = -\cos x - 2.$$

У мобільному додатку GeoGebra Math Solver учні фотографують умову задачі: «Find the antiderivative of $\sin x$ through the point $A(\pi, -1)$ ». GeoGebra Math Solver розпізнає задачу, показує первісну, обчислює сталу: C і кінцеву функцію: $F(x) = \cos x - 2$. Також, можна додати точку, яка рухається або зробити анімацію, щоб показати зв'язок між $f(x)$ та $F(x)$ (рис. 3.5).

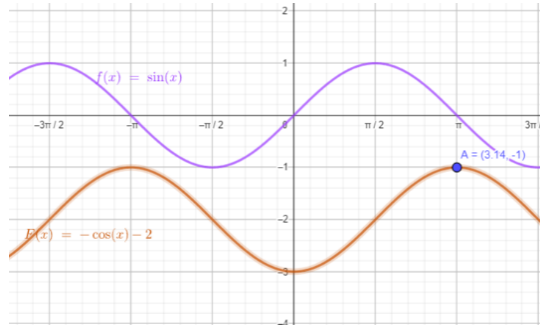


Рис. 3.5. Графік функції $F(x) = \cos x - 2$ і точка $A(\pi; -1)$

Джерело: GeoGebra Math Solver application

IV. Самостійна робота № 9.8(1,3) виконується під керівництвом вчителя, При необхідності - надається консультація.

V. Рефлексія. Інтерактивна вправа «Вибери твердження».

Методика проведення: інструмент: онлайн-дошка Padlet у форматі «Стіна» з 6 варіантами відповідей згенерованих за допомогою ChatGPT з візуалізації у Canva. Учасники: 20 учнів 11-го класу (анонімність не

передбачається). Можна обирати декілька відповідей. Збір даних: відповіді фіксуються у Padlet. Додатково експортовано до CSV для аналізу в Excel. Результати: рівень засвоєння - 7 учнів (32%) обрали «Все зрозумів»; 5 учнів (23%) - «Потрібна допомога»; 5 учнів (23%) - «Виникли труднощі» (рис. 3.6). Емоційна оцінка: 40% (8 учнів) відзначили «Завдання були цікавими». Висновки: для 40% класу потрібні додаткові пояснення та вправи.

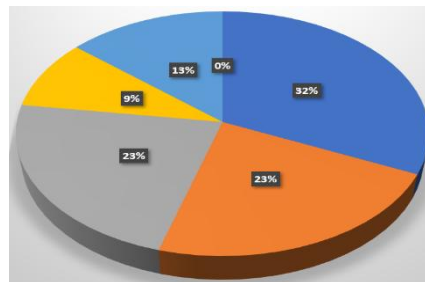


Рис. 3.6. Діаграма самооцінки вивченої теми

Джерело: <https://padlet.com/ermochenko2206/padlet-3d1btvxko1rhzgqxq>

Інтерактивний формат Padlet дозволив швидко візуалізувати результати. Час проведення: 5 хв. Цей етап підкреслює важливість оперативної зворотного зв'язку з учнями через цифрові інструменти.

IV. Домашнє завдання: підготувати міні презентації «Первісна, невизначений інтеграл» за допомогою Canva; повторити таблицю первісних; виконати вправи №№ 9.7., № 9,5(1,2).

Урок 3. Тема. Правила знаходження первісної.

Тип уроку: ознайомити учнів із правилами знаходження первісних елементарних функцій та навчити використовувати ІІІ-інструменти для перевірки, пояснення і самоперевірки.

Очікувані результати: після уроку учні знають основні правила знаходження первісної, вміють знаходити первісні базових функцій, використовують ІІІ-інструменти для перевірки розв'язань та самонавчання, усвідомлюють переваги та обмеження використання ІІІ в навчанні.

Обладнання та програмне забезпечення: планшети(смартфони). Онлайн-сервіси: WolframAlpha, Wayground, Photomath, ChatGPT, Mentimeter.

Тип уроку: засвоєння нових знань.

I. Мотиваційно - організаційний етап.

1). Привітання та перевірка присутності учнів. 2. Перевірка домашнього завдання. Повторення означення первісної, основної властивості первісних, таблиці первісних, правил знаходження первісних.

2). Активізація знань. Знайти $\int 2^x$. Вчитель демонструє введення прикладу x у WolframAlpha: «integrate 2^x ». Обговорення: Чому результат містить "+C"? Чому III дав саме таку відповідь?

3). Інтерактивна вправа. Бліц - опитування.

Використання інтерактивної платформи Wayground з функцією AI-генерації запитань. Вчитель ввів тему бліц-опитування («Первісна та інтеграл, 11 клас, 4 запитання»), після чого система автоматично згенерувала питання. Учні виконували опитування у режимі "Live Quiz", підключившись за QR-кодом. Кожне запитання мало обмеження за часом (30 секунд). Система автоматично фіксувала відповіді кожного учня в реальному часі, формувала рейтингову таблицю з результатами.

Вчитель отримав детальний звіт по кожному учню (правильність відповідей, час реакції, відсоток засвоєння матеріалу) та зведену статистику по класу. Це дозволило швидко оцінити рівень готовності учнів до вивчення нового матеріалу.

4). Оголошення теми. Ознайомлення учнів з очікуваними результатами.

II. Етап навчально- пізнавальної діяльності.

1. Пояснення вчителя з елементами бесіди. Доведення вчителем теореми: Якщо функції F і G є відповідно то на цьому проміжку функція $y = F(x) + G(x)$ є первісною функції $y = f(x) + g(x)$ [1, с. 91].

Розгляд прикладу №1 на ст. 92. Знайдіть загальний вигляд первісних функції:

$f(x) = \sqrt{x} + \frac{2}{x^2}$ на проміжку $(0; +\infty)$. Після розгляду цього прикладу на інтерактивній дошці вчитель показує приклад його вирішення з покроковим поясненням у застосунку Photomath у вигляді: $\int \left(\sqrt{x} + \frac{2}{x^2} \right) dx$ (рис. 3.7).



Рис. 3.7. Розв'язок прикладу: $\int \left(\sqrt{x} + \frac{2}{x^2} \right) dx$ у програмі Photomath

Джерело: *Photomath application*

2. Первинне закріплення нового матеріалу.

1. Обговорення прикладу 3 [1, с. 91].

2. Розв'язання вправ учнів самостійно біля дошки з коментуванням правил: №10.3(непарні), №10.5(2,5).

3. Розв'язування вправ з вчителем № 10.7.

4. Два учні виконують №10.9(1,2) на дошці для самоперевірки та обговорення), далі перевіряють свої відповіді через візуалізацію цієї вправи у Geogebra Math Solver.

Проблемне запитання. "Що буде, якщо ChatGPT помилиться у знаходженні первісної? Як перевірити, чи правильну відповідь він дав?".

Мета: навчити критично оцінювати результати, отримані від штучного інтелекту, підкреслити важливість знання правил.

Вчитель дає учням завдання: знайти $\int \frac{x}{x^2+1} dx$ вручну та через ChatGPT.

Поставити запитання: Чому ІІ іноді пропускає модуль $|x|$, або константу C ?

4. Розгляд прикладу № 10.15(2). Нагадування формул з 10 класу «Тригонометрія»):

$$(\sin x)^2 = \frac{1 - \cos 2x}{2}. \quad (3.1)$$

Зразок розв'язання: $\int (\sin x)^2 dx =$

$$\int \frac{1 - \cos 2x}{2} dx = \frac{1}{2} \int (1 - \cos 2x) dx = \frac{1}{2} \int 1 dx - \int \cos 2x dx = \frac{1}{2} x - \frac{\sin 2x}{4} + C.$$

Відповідь: $\frac{1}{2} x - \frac{\sin 2x}{4} + C, C \in R.$

Покрокова перевірка прикладу у Photomath.

III. Рефлексія. Мета - самооцінка учнями свого розуміння теми та виявлення проблемних моментів. Інструменти: ChatGPT(генерація запитань) та Mentimeter (інтерактивний збір відповідей). Учні відповідали анонімно зі своїх смартфонів, і на екрані в режимі реального часу відображалася діаграма з розподілом відповідей по кожному запитанню.

Результати показали, що: 45% учнів обрали варіант мають повне розуміння та впевненість у застосовуванні правила); 40% учнів переважно зрозуміли, але мають окремі питання і 15% учнів потребують додаткових пояснень. Аналіз відповідей в Word Cloud дозволив побачити, що серед асоціацій з темою домінували слова «площа», «інтеграл», «зворотна похідна», а у відкритих відповідях найчастіше згадувалися труднощі з обчисленням сталої інтегрування та підбором первісної.

Mentimeter добре підходить для швидкої рефлексії та перевірки знань.

IV. Домашнє завдання. Доведення теореми № 10.2, вправи №10.2(2,4,6,8).

Урок 4. Тема : Розв'язування вправ з теми «Правила знаходження первісної».

Мета: закріпити та систематизувати знання учнів про правила знаходження первісних; удосконалити вміння застосовувати ці правила при розв'язуванні вправ різного рівня складності використовуючи можливості ШІ для перевірки, та поглибленого розуміння матеріалу; розвивати критичне мислення через аналіз результатів отриманих від штучного інтелекту.

Очікувані результати: учні вміють знаходити первісні, використовуючи як таблицю первісних; вміють розв'язувати задачі за допомогою

інтерактивних платформ на базі штучного інтелекту; можуть аналізувати та корегувати розв'язки на основі результатів, отриманих від ШІ.

Обладнання та програмне забезпечення: планшети (смартфони), інтерактивна дошка; ChatGPT, TTSMaker, WolframAlpha, Symbolab, GeoGebra, Photomath.

Тип уроку: удосконалення вмінь та навичок. Урок - практикум.

I. Мотиваційно - організаційний етап.

- 1). Привітання, актуалізація уваги.
- 2). Перевірка домашнього завдання. Самоперевірка, корекція виконання.
- 3). Актуалізація знань. Усне опитування: «Що таке первісна функції?», «Яке правило є основним для перевірки, чи є функція первісною для даної?», «Сформулюйте основну властивість первісної», «Назвіть основні правила знаходження первісних, які ми вивчили», «Ми багато чуємо про штучний інтелект. Як ви думаєте, чи може він допомогти нам у вивченні математики? Яким чином?» (Коротке обговорення).

4) Оголошення теми уроку. Виявлення в учнів очікуваних результатів.

II. Етап навчально-пізнавальної діяльності. Актуалізація опорних знань.

- 1). Демонстрація презентації «Правила знаходження первісних» на інтерактивній дошці за допомогою генерування тексту з ChatGPT, озвучення цього тексту у TTSMaker (з вставкою його у презентацію).

2). Сприйняття та осмислення матеріалу. Робота з AI-платформами.

Клас розбивається на 4 групи. Кожна група отримує завдання: для функції f на проміжку I знайдіть первісну F , яка задовольняє дану умову:

- 1) $f(x) = 1 - 2x, I = (-\infty; +\infty), F(3) = 2;$
- 2) $f(x) = 3x^2 - 4x, I = (-\infty; +\infty), F(1) = 4;$
- 3) $f(x) = \frac{1}{3} \sin \frac{x}{3} + \frac{1}{2} \cos \frac{x}{2}, I = (-\infty; +\infty), F(\pi) = 7;$
- 4) $f(x) = \cos \left(\frac{\pi}{4} - 3x \right), I = (-\infty; +\infty), F \left(\frac{\pi}{4} \right) = 2.$

Учні спочатку розв'язують вправу самостійно, потім перевіряють результат (MathGPT) і вводять отриману функцію у Geogebra, де вони

візуалізують проходження отриманих графіків через задану точку (рис. 3.8).

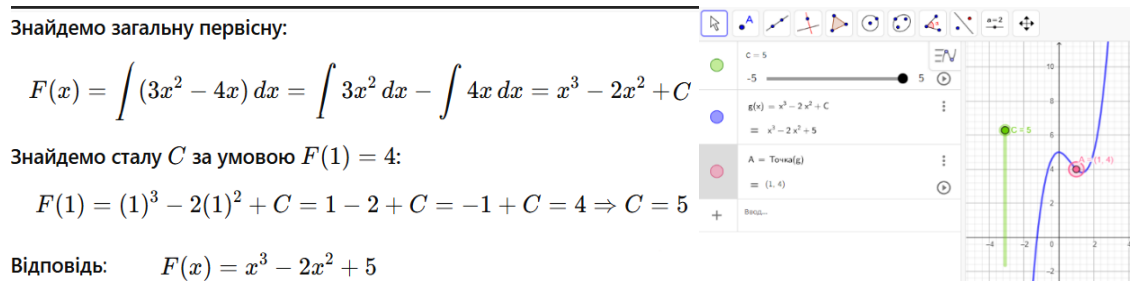


Рис.3.8. Перевірка вправи $f(x) = 3x^2 - 4x, I = (-\infty; +\infty), F(1) = 4$ за допомогою MathGPT і Geogebra Math Solver.

Джерело: MathGPT & GeoGebra Math Solver applications

III. Удосконалення вмінь та навичок.

1). Розв'язування вправ: а) колективно №10.15(3), б) індивідуально - учень біля дошки №10.9(1,2). Швидка перевірка за допомогою Photomath та при необхідності обговорення вправи.

2). Колективне обговорення та розв'язання з коментуванням на місці №10.11. Розв'язання: знаходимо координату $x(t)$ як первісну функції швидкості: $x(t) = \int v(t)dt = \int (t^2 + 2t - 3)dt$. Знаходимо первісну: $x(t) = \frac{t^3}{3} + t^2 - 3t + C, x(0) = 0 \Rightarrow C = 0$, тобто $x(t) = \frac{t^3}{3} + t^2 - 3t$.

Перевірка за допомогою Symbolab, або WolframAlpha.

3) Обговорення та розв'язання вправи високого рівня №10.17**

Для функції $f(x) = 2x^2 + 3x$ знайдіть таку первісну, що пряма $y = 5x - 2$ є дотичною до її графіка. Розв'язування: інтегруємо кожен доданок окремо: $\int 2x^2 dx = \frac{2x^3}{3} + C, \int 3x dx = \frac{3x^2}{2} + C, F(x) = \frac{2x^3}{3} + \frac{3x^2}{2} + C$.

4). Самостійна робота . Вправи №10.22(1,3), №10.23(2,4).

IV. Рефлексія. Бесіда. Створення безпечної атмосфери, використання відкритих запитань: "Що було найцікавішим?", "Які питання у вас виникли?", «Який момент викликав найбільше запитань?», «Що варто повторити перед

контрольною?», «Який інструмент (AI, картки, вікторини) допоміг вам найбільше?». На одне запитання: «Як ви оцінюєте своє розуміння теми? (1-5 балів)» учні відповідають анонімно у Google Forms. Вчитель відразу це бачить у вигляді діаграми.

Урок 5. Тема: Площа криволінійної трапеції. Визначений інтеграл.

Мета: сформувати в учнів поняття площі криволінійної трапеції як визначеного інтеграла, ознайомити з геометричним змістом визначеного інтеграла, навчити учнів обчислювати визначений інтеграл як площу під графіком функції за допомогою інструментів ІІІ.

Очікувані результати: учні розуміють суть площі криволінійної трапеції; знають означення визначеного інтеграла; можуть обчислювати площу за допомогою інтеграла; використовують інтерактивні та інструменти ІІІ для візуалізації та аналізу функцій.

Обладнання та програмне забезпечення: планшети (смартфони); інтерактивні платформи: MathGPT, WolframAlpha, GeoGebra, Photomath.

Тип уроку: урок контролю і корекції знань, умінь і навичок.

1. Мотиваційно-організаційний етап. За допомогою MathGPT було створено сценарій і згенеровано мотиваційне відео, яке наочно показало практичний приклад необхідності обчислення площі криволінійної трапеції (рис. 3.9). Це сприяє зацікавленості учнів у темі і активізує пізнавальну діяльність.

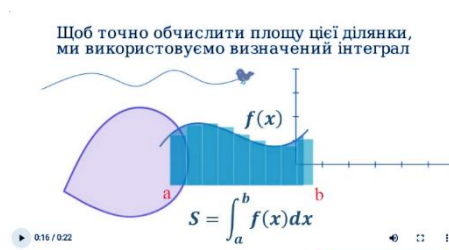


Рис. 3.9. Скріншот мотиваційного відео створеного MathGPT

Джерело: *MathGPT application*

II. Етап навчально - пізнавальної діяльності. 1. Сприйняття та осмислення нового матеріалу. Пояснення вчителя з елементами бесіди. Робота з підручником [1, ст. 99]. Дії вчителя:

- 1) пояснює і доводить теорему о площі S криволінійної трапеції [1, с.99];
- 2) дає означення визначеного інтеграла [1, с. 102];
- 3) показує правила обчислення визначеного інтеграла, розв'язує приклади 1, 2, 3 [1];
- 4) пояснює основну формулу математичного аналізу - формула Ньютона-Лейбніца [1, с. 103]:

$$\int_a^b f(x)dx = F(b) - F(a). \quad (3.2)$$

- 5). Пояснює геометричний зміст визначеного інтеграла [1, с. 103].

2. Первинне закріплення. Аналіз розв'язаного завдання [1, приклад 4].

Учні розв'язують приклад на знаходження площі S фігури, обмеженої графіками функцій: $f(x) = -x^2 + 6x - 6$ і $g(x) = x^2 - 2x$, будують графіки цих функцій у GeoGebra і розраховують отриману площу (рис. 3.10). Для перевірки вони фотографують умову і вводять у вікно GeoGebra Math Solver, де вони можуть побачити графіки функцій, точки перетину між ними: $A(1,-1)$, $B(3,3)$ і заштриховану площу. Вводячи команду «ІнтегралМіж(f,g,1,3) GeoGebra показує числове значення цієї площі (рис.3.10). Вчитель показує, як додатковими командами можна швидко змінювати параметри, досліджувати інші випадки та одразу отримувати результат.

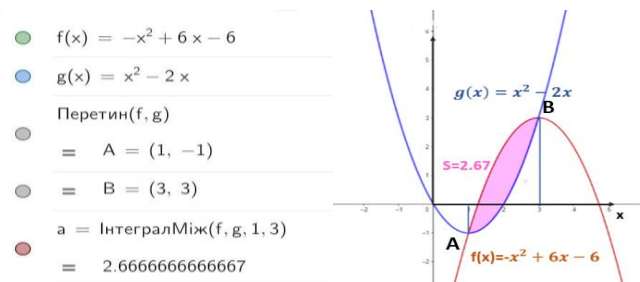


Рис. 3.10. Знаходження площі фігури у GeoGebra Math Solver

Джерело: *GeoGebra Math Solver application*

3. Застосування вмінь та навичок. Фронтально-індивідуальне розв'язування №11.1(а,б,д,г,є), №11.3(2,4,6,8). Самоперевірка з ChatGPT - вчитель з учнями вводять умову задачі і отримують покрокове пояснення.

4. Рефлексія. Інтерактивна рефлексія, за допомогою інтерактивної дошки Padlet, у формі бесіди з елементами опитування. Аналіз текстових відповідей за допомогою ChatGPT. Копіювання всіх текстових дописів з цієї дошки та вставка їх у чатбот з запитаннями: «Проаналізуй основні труднощі та питання, що виникли», «Як учні оцінюють корисність ІІІ-інструментів?» «Запропонуй 3-5 рекомендацій для мене як вчителя для планування наступного уроку." Завдяки автоматизованій обробці текстових дописів із Padlet, ІІІ швидко виявляє основні труднощі, типові помилки та запитання, що виникли у процесі навчання. Це дозволяє вчителю зрозуміти рівень засвоєння.

5. Домашнє завдання. Опрацювати §2.11. Площа криволінійної трапеції.

Визначений інтеграл. Виконати №№ 11.2 (а,б), 11.4 (2,4). Ознайомлення з відеофрагментом: «Визначений інтеграл, його геометричний зміст». Всеукраїнська школа онлайн. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=GsjCHSszzDY>.

Урок 6 . Тема: Обчислення визначених інтегралів. Розв'язування вправ.

Мета уроку: сформувати вміння застосовувати правила та властивості визначених інтегралів до розв'язування задач; розвивати навички критичного мислення, аналізу, самостійної роботи та взаємодії з інструментами зі ІІІ.

Очікувані результати: учні знають основні методи обчислення визначених інтегралів, вміють застосовувати формулу Ньютона-Лейбніца, метод заміни змінної та інтегрування частинами, розвивають навички аналізу помилок та взаємоперевірки за допомогою інструментів ІІІ.

Обладнання та програмне забезпечення: інтерактивна дошка, планшети, смартфони, онлайн-сервіси: Kahoot!, Symbolab, Google Forms, Padlet, Canva, ChatGPT, Geogebra Math Solver.

Тип уроку: удосконалення вмінь та навичок.

I. Мотиваційно - організаційний етап.

1) Перевірка домашнього завдання. (Зразки заздалегідь на дошці. Самоперевірка, корекція виконання).

2) Оголошення теми. Для підвищення мотивації учнів було створено 30-секундний мотиваційний відеоролик у Canva з використанням AI на тему «Приклади використання інтегралів у реальному житті». Штучний інтелект допоміг швидко підібрати приклади застосування інтегралів (у фізиці, природничих науках), сформував лаконічний сценарій та візуалізацію. У результаті учні побачили практичну значущість теми, що викликало інтерес до активному засвоєнню матеріалу.

II. Застосування вмінь та навичок.

1. Інтерактивна вправа «Огляд знань». Швидка вікторина для перевірки базових знань з теми "Визначений інтеграл" (формула Ньютона-Лейбніца, властивості, геометричний зміст). Інструмент: Kahoot!. Вчитель за допомогою ChatGPT складає питання: «Що таке криволінійна трапеція?», «Яка формула використовується для обчислення визначеного інтеграла?», «За якою формулою обчислюється визначений інтеграл?», «Який метод використовується для обчислення $\int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin x dx$?»

2. Інтерактивна вправа: «Знайди помилку». Для активізації пізнавальної діяльності учнів вчитель створив за допомогою ChatGPT варіативне завдання (приклади №11.5(5,10), №11.8(5,9) [73] з свідомо допущеними помилками. Створено слайди з цією вправою на інтерактивній дошці Padlet, де учні можуть додавати коментарі прямо до розв'язків. На кожному слайді є помилка. Треба її знайти та вказати. Учні аналізують і пишуть коментарі. Є функція голосування за найцікавіші помилки.

3. Розв'язування вправ №11.15. Вчитель в ролі консультанта (допомога у разі необхідності). При якому значенні a пряма $x = a$ розбиває фігуру, обмежену графіком функції $y = \frac{2}{x}$ і прямими $y = 0, x = 3, x = 12$ на дві рівновеликі фігури?

Роз'язування. У Geogebra візуалізується умова задачі. Наступний крок - запис задачі у вигляді визначеного інтегралу: $S = \int_3^{12} \frac{2}{x} dx$. Обчислення цього інтегралу разом з учнями: $S = \ln 16$.

Вчитель показує, як цей інтеграл можна обчислити в Symbolab (Step-by-Step Calculator). У Symbolab $S=4\ln 2$. Вчитель пояснює учням, що Symbolab іноді спрощує логарифмічні вирази, використовуючи найменший базовий вираз (у цьому випадку $\ln 2$). Це не помилка, просто інший спосіб запису.

Доцільно нагадати учням, що "Логарифми мають властивість: $k \ln a = \ln a^k$. Тому $2\ln 4$ можна записати як $\ln 16$ або як $4\ln 2$.

Наступний крок – треба знайти рівняння для параметра a : $\int_3^a \frac{2}{x} dx = \frac{1}{2} \ln 16$, $2 \ln a - 2 \ln 3 = \ln 4$, $\ln \left(\frac{a}{3}\right)^2 = \ln 4 \Rightarrow a = 6$. Перевірка результату: учні перевіряють площі для $a = 6$. $S_1 = \int_3^6 \frac{2}{x} dx = \ln 4$, $S_2 = \int_6^{12} \frac{2}{x} dx = \ln 4$.

3. Самостійна робота. Учні середнього рівня виконують № 11.10 (непарні), №11.17. Учні достатнього рівня виконують №11.12, №11.13, №11.21(1,2). Три учні виконують на дошці.

4. Обговорення виконаних вправ. Здійснення самокорекції за допомогою ІІІ.

Учні фотографують свою самостійну роботу (або частину вправ, де є сумніви), завантажують фото в ChatGPT і вводять умову: «Проаналізуй мої помилки, зроби поетапний розбір прикладів, де я зробив помилки з поясненнями».

IV. Рефлексія. Створена форма у Google Forms з запитаннями (Яке завдання або концепція була для мене найскладнішою? Яке завдання або концепція була для мене найлегшою(найзрозумілішою)? Чи допомогли інструменти зі ІІІ краще зрозуміти матеріал уроку? Наскільки впевнено ти себе почуваєш при обчисленні визначених інтегралів? Які три слова найкраще описує твій стан після уроку?).

Результати Google Forms були проаналізовані за допомогою інструментів ChatGPT. Результати аналізу: 8 учнів вказали, що найлегше було виконувати обчислення за заданою функцією, особливо після демонстрації прикладів, створених за допомогою ШІ; 17 учнів (85%) відповіли, що використання ШІ-інструментів (ChatGPT, GeoGebra з підтримкою AI) допомогло краще зрозуміти матеріал, оскільки ШІ надавав покрокові пояснення й візуалізації.

Найчастіше серед слів, що описують стан після уроку, зустрічались: “цікаво”, “зрозуміло”, “впевнено”. Використання ШІ на етапі рефлексії дозволило швидко проаналізувати відповіді учнів, узагальнити ключові труднощі та позитивні аспекти уроку.

Урок 7. Обчислення об'ємів тіл.

Мета уроку: ознайомити учнів із методами обчислення об'ємів геометричних тіл (призма, піраміда, циліндр, конус, куля) за допомогою математичних формул та інструментів штучного інтелекту, навчити застосовувати AI-інструменти для візуалізації, розв'язання задач.

Очікувані результати: учні знають основні формули для обчислення об'ємів тіл, вміють застосовувати інструменти ШІ для візуалізації геометричних тіл, обчислення об'ємів за заданими параметрами, перевірки власних рішень.

Обладнання та програмне забезпечення: інтерактивна дошка, планшети, смартфони, онлайн-сервіси: GeoGebra 3D, Google Об'єкти, ChatGPT, Photomath, MathGPT, Desmos.

Тип уроку: урок формування нових знань з елементами гейміфікації та використанням штучного інтелекту.

I. Мотиваційно- організаційний етап.

1. Вчитель створює коротке опитування: "Назвіть три предмети з життя, що мають форму кулі, циліндра та конуса". Після відповідей він дає це

запитання ChatGPT у голосовому режимі(у додатку на смартфоні) і учні мають можливість порівняти ці відповіді.

2. Проведення інтерактивної вікторини "Відгадай 3D-фігуру" з використанням Google Lens. Підготовлена добірка з 24 зображень основних 3D-геометричних фігур. На інтерактивній дошці по черзі з'являються зображення різних 3D-фігур. Вчитель відкриває додаток Google Lens для аналізу зображення. На екрані пристрою з'являються результати розпізнавання: назва об'єкта, посилання на схожі зображення або інформацію (рис. 3.11).



Рис. 3.11. Розпізнавання об'єктів за допомогою Google Lens

Джерело: Google Lens application

II. Етап навчально - пізнавальної діяльності.

1.Сприйняття та осмислення матеріалу. Теоретичні відомості.

1). Пояснення вчителя з елементами бесіди. Робота з підручником с.113.

Коли фігура обмежена графіками функцій f і g та прямими $x = a$ і $x = b$, то її площу можна обчислити за формулою: $S = \int_a^b (f(x) - g(x))dx$ (рис. 3.12)[1].

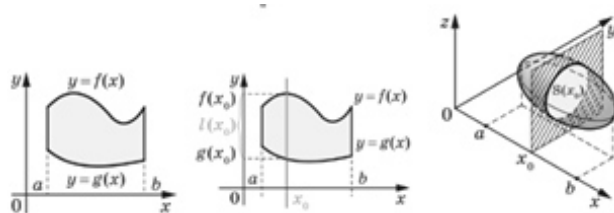


Рис. 3.12. Фігури, обмежені графіками функцій f і g та прямими $x = a$ і $x = b$

Джерело: Підручник [1, с. 115]

Доведення вчителем, що

$$S = \int_a^b l(x) dx, \quad (3.3)$$

а
$$V = \int_a^b S(x) dx \quad (3.4)$$

використовуючи теорему про площу криволінійної трапеції, обмеженою графіком функції $y = f(x)$ та прямими $y = 0, x = a$ і $x = b$. [1, с. 115].

Супровід пояснення слайдами з підручника. І за допомогою отриманої формули доведення, що об'єм піраміди дорівнює:

$$V = \frac{1}{3} Sh \quad (3.5)$$

III. Первинне закріплення нового матеріалу.

Вчитель пояснює приклад з підручника [1, с. 115]. Фігура, обмежена графіком функції $f(x) = x^2 + 1$ і прямими $x = 0, x = 1, y = 0$, обертається навколо осі абсцис, утворюючи тіло об'єму V . Знайдіть V .

Вчитель показує обертаєму площину (виділена жовтим кольором), візуалізує тіло після обертання (зелений колір), пояснює, що кожен зріз $x = x_0$ дає диск радіуса $f(x_0)$, тобто $(x_0^2 + 1)$, а об'єм — це сума площ цих дисків (інтеграл). Обертання створює "складне" тіло (GeoGebra Math Solver показує його як об'ємну фігуру) (рис. 3.13), але формула об'єму вимагає обчислень. І на дошці пояснює: $V = \pi \int_0^1 (x^2 + 1) dx = \pi \int_0^1 (x^4 + 2x^2 + 1) dx$,

$$V = \pi \left(\frac{x^5}{5} + \frac{2x^3}{3} + x \right) \Big|_0^1 = \pi \left(\frac{1}{5} + \frac{2}{3} + 1 \right) = \frac{28\pi}{15}.$$

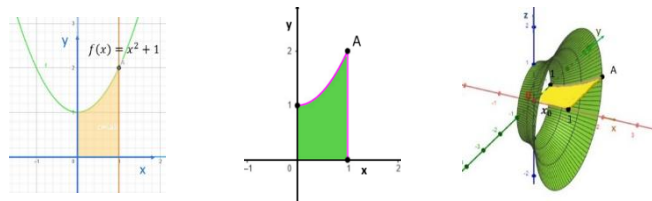


Рис. 3.13. Фігура, обмежена графіком функції $f(x) = x^2 + 1$ і прямими $x = 0, x = 1, y = 0$, обертається навколо осі абсцис.

Джерело: Підручник [1, с. 115]

III. Розв'язування вправ. Учні виконують вправи №12.1(1,2)

На цьому етапі ефективна робота в парах з самоперевіркою. Один учень розв'язує вправу 1, другий - вправу 2. Графічна візуалізація в Desmos: побудувати графіки функцій та ліній, виділити область обертання. Один учень обчислює інтеграл вручну, інший - за допомогою Photomath. Обговорення: чи збігаються результати? Якщо ні - знайти помилку. Фінальна перевірка з MathGPT. Приклади запитів до MathGPT: "Поясни, як правильно піднести функцію $(2x + 1)$ до квадрату"; "Які кроки потрібно зробити, щоб обчислити визначений інтеграл від $x^4 + 2x^2 = 1$ від 1 до 2?".

IV. Рефлексія. Під час рефлексії кожен учень проводив короткий діалог з ChatGPT (5–6 питань) з метою уточнення незрозумілих моментів з теми «Обчислення об'ємів тіл». Учні задавали свої питання, отримували покрокові пояснення, приклади та візуальні описи. Приклади запитань, які учні ставили ChatGPT: «Як перевірити, чи правильно я записав інтеграл для об'єму обертання?», «Як визначити межі інтегрування при побудові тіла обертання?».

Усі 20 учнів (100%) відзначили, що спілкування з ChatGPT допомогло їм краще зрозуміти тему, 15 учнів зазначили, що особливо корисними були візуальні пояснення й покрокове розкладання формул, 12 учнів під час діалогу вони змогли самостійно знайти і виправити свої помилки.

Учні описали свій стан після рефлексії словами: “зрозумів”, “спокійніше”, “цікаво”, “впевненіше”.

IV. Домашнє завдання. Виконати вправи №12.2 з використанням MathGPT для перевірки.

Урок 8. Тема. Роз'язування вправ «Первісна та інтеграл».

Мета: розвивати вміння застосовувати знання на практиці, сформувати навички самоконтролю та самокорекції за допомогою інструментів ІІІ.

Очікувані результати: учні вміють знаходити первісну та обчислювати інтеграли за допомогою ІІІ, аналізувати та перевіряти правильність розв'язків, використати інструменти ІІІ для самоперевірки та корекції помилок, розвивати навички роботи з цифровими технологіями.

Обладнання: планшети, інтерактивна дошка. Онлайн-сервіси: ChatGPT, Crossword Labs, Photomath, WolframAlpha, Mathway, MathGPT.

Урок - практикум.

I. Мотиваційно-організаційний етап. Вчитель вітає учнів, створює доброзичливу атмосферу, пояснює завдання: «Давайте з'ясуємо, де в реальному житті ми зустрічаємо інтеграли. Учні формулюють запит власними словами і вводять його у ChatGPT. Вчитель організовує коротке обговорення: «Які цікаві приклади вам навів ШІ?». Завдяки різноманітним прикладам, ШІ допомагає усвідомити учням, що інтеграл це інструмент для опису реальних процесів у природі та техніці, підсилюючи мотивацію до практичної частини.

II. Актуалізація опорних знань.

1). Перевірка теоретичних знань. Розроблено дидактичну гру «Майстер інтегрування» у форматі кросворду для пояснення теми «Інтеграли та їх застосування», яка побудована таким чином, щоб сприяти поступовому засвоєнню понять, пов'язаних з інтегруванням. Для створення інтерактивного кросворду використан онлайн інструмент: Crossword Labs (рис. 3.14).



Рис. 3.14. Дидактична гра - кросворд.

Джерело: <https://crosswordlabs.com/view/2025-03-09-278>

Ключові питання охоплюють основи інтегралів, методи їх обчислення, а також практичне застосування у фізиці, геометрії та механіці. Кросворд містить 15 питань (згенерованих ChatGPT),

2). Інтерактивна вправа «Так чи ні». До заданих на картках рівностей перевірити їх істинність з самоперевіркою через сканування картки із завданням у Photomath - учень отримує підказки з теорією.

$$1. \int x \cos x dx = \cos x + x \sin x + C \quad 2. \int 7^{3x} dx = \frac{343^x}{3 \ln 7} + C.$$

$$3. \int_3^8 dx = 5, \quad 4. \int_{\frac{\pi}{4}}^{\frac{\pi}{3}} \frac{1}{(\cos x)^2} dx = \sqrt{3} - 1, \quad 5. \int_1^{10} \frac{dx}{x^2} = \frac{9}{10}$$

III. Удосконалення вмінь та навичок. Розв'язування вправ.

1). Самостійна робота з ІІІ-асистентом. Учні розв'язують вправи №№10.11,10.19.,10.21(2). Після того, як учень розв'язав завдання, він може перевірити свій результат, ввівши умову у WolframAlpha або Mathway.

2). Групова робота з MathGPT.

Учні працюють в малих групах. Кожній групі дається складне завдання. Якщо група стикається з труднощами, вона може звернутися до MathGPT за поясненням, не отримуючи готового розв'язку. Наприклад, учні можуть запитати: «Який метод інтегрування краще застосувати для цієї функції?» або «Чи правильно ми застосували формулу Ньютона-Лейбніца?». Вчитель виступає як фасилітатор, допомагаючи групам правильно формулювати запити до ІІІ.

IV. Рефлексія. Учні пройшли коротке онлайн-опитування для самоаналізу власної діяльності на уроці. ChatGPT допоміг згенерувати запитання для рефлексії, орієнтуючись на мету уроку та психологічні аспекти самооцінювання. Опитування містило запитання, які допомагали оцінити рівень активності, задоволення власною роботою, темп уроку, рівень втоми та емоційний стан після заняття. Форма відповідей була створена у Google Forms, де учні обирали один із варіантів. Вчитель експортував таблицю Excel у вікно ChatGPT із запитом: «Проаналізуй відповіді учнів, визнач рівень активності, задоволеності, темп сприйняття уроку та загальний настрій. ІІІ проаналізував зібрані відповіді та підкреслив основні тенденції щодо рівня залученості, настрою й задоволеності учнів. Застосування ІІІ на етапі рефлексії зробило

процес самооцінки технологічно зручним, учні змогли швидко висловити власну думку, а вчитель - отримати узагальнені висновки.

V. Домашня робота. Індивідуальні завдання (вчитель попередньо переглядає виконання домашніх завдань, робить виписки проблемних вправ для кожного учня і за допомогою MathGPT генерує аналогічні вправи які пропонує для кожного учня).

Урок 9. Тема: Контрольна робота «Первісна та інтеграл».

Мета: перевірити рівень засвоєння знань та сформованості вмінь учнів з даної теми за допомогою завдань контрольного характеру, підвищити мотивацію до навчання через використання інструментів зі штучним інтелектом, аналітичне мислення та цифрову компетентність учнів.

Очікувані результати: учні вміють застосовувати формулу Ньютона-Лейбніца, знаходять визначені інтеграли у різних типах задач, на різних рівнях; знаходять та виправляють помилки за допомогою інструментів ШІ.

Обладнання, програмне забезпечення: планшети (смартфони), інтерактивна дошка. Онлайн-сервіси: ChatGPT, Wayground, Google Form.

Тип уроку: контролю знань, умінь, навичок.

I. Організаційний етап. Інструктаж щодо використання платформ ШІ.

II . Формулювання теми, мети і завдань уроку.

Первісна. Правила знаходження первісної. Вчитель пояснює вимоги до виконання роботи.

III. Виконання контрольної роботи.

Для підготовки контрольної роботи було задіяно вбудований генератор платформи Wayground AI. Завдання генерувалися відповідно до навчальної програми і були аналогічними прикладам із підручника (за рівнем складності, теми, типу запитання). Завдання були розділені на 3 окремі блоки за темами 1. «Первісна. Правила знаходження первісної». 2. «Площа криволінійної трапеції. Визначений інтеграл». 3. «Обчислення об'ємів тіл». Кожен із них містив 8–10 запитань. Учні писали тест синхронно під час уроку. Активовано

обмеження: один сеанс спроби; перемішування запитань та відповідей; відключено підказки та миттєвий показ правильних відповідей. III (ChatGPT, Wolfram Alpha) - для генерації завдань і аналітики результатів. Налаштування тесту: обмежено час на кожне питання (1-3 хв), увімкнено «Shuffle Questions» для випадкового порядку, додано захист від списування.

Збір статистики у програмі Wayground: на вкладці "Reports" автоматично сформована таблиця результатів; відсоток правильних відповідей кожного учня; статистику по кожному запитанню; відсоток правильних відповідей, найчастіші помилки. Платформа Wayground визначила найскладніші завдання виділила учнів, яким потрібна додаткова підтримка (на основі відхилення від середнього результату); автоматично згенерувала звіт про успішність класу і окремого учня за кожним блоком.

IV. Анкета-рефлексія: запитання після контрольної роботи з тем: «Первісна», «Визначений інтеграл», «Об'єми тіл обертання». Запитання у Google Form (згенеровані за допомогою ChatGPT): 1. «Який розділ був для тебе найскладнішим?». 2. «Оціни свою підготовку з кожної теми». 3. «Чи достатньо часу було на виконання?». 4. «Чи хотів би я повторити подібну перевірку знань?». 5. «Як я оцінюю виконання своє виконання контрольної». За результатами опитування було побудовано діаграму середнього рівня самооцінки підготовки учнів. Використання III зробило процес рефлексії після контрольної роботи більш структурованим та наочним. Учні мали можливість усвідомити свої сильні та слабкі сторони, а вчитель отримав об'єктивні дані для подальшого планування корекційної роботи.

V. Домашня робота. Виконання паралельного варіанту КР. Вчитель заздалегідь генерує завдання через Wayground AI, обирає домашній режим "Homework Mode", встановлює дедлайн (3 дні), надає 1 спробу (у налаштуваннях тесту).

Урок 10. Тема : Аналіз контрольної роботи. Розв'язування задач і вправ.

Мета: проаналізувати типові помилки допущені під час контрольної роботи з теми «Первісна та інтеграл», організувати корекційну роботу за блоком утруднень з теми, навчити використовувати інструменти штучного інтелекту для самоперевірки, пояснення та візуалізації розв’язань.

Очікувані результати: учні вміють самостійно та за допомогою інструментів ШІ аналізувати й виправляти помилки, використовувати ШІ для пояснення складних моментів, перевірки відповідей і візуалізації задач.

Обладнання та програмне забезпечення: інтерактивна дошка, планшети, смартфони, онлайн-сервіси: ChatGPT, GeoGebra Math Solver, Wayground, Mentimeter, DeepSeek, MathGPT, Kahoot!.

Тип уроку: корекції знань, умінь та навичок.

1. Організаційний момент. Вступне слово вчителя, постановка цілей.

Вчитель звертається до ChatGPT: "Згенеруй мотиваційну цитату на тему «Навчання на помилках»."

2. Аналіз контрольної роботи. Вчитель показує статистику помилок яку він завантажив з Wayground (опція “Reports”) (рис. 3.15), де можна побачити в яких темах учні робили найбільше помилок. Програма детально показує аналітику як по класу, так і по кожному учню окремо.

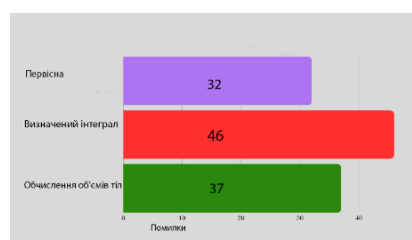


Рис. 3.15. Статистика помилок у контрольній роботі по кожній темі

Джерело: <https://crosswordlabs.com/view/2025-03-09-278>

II. Практична робота.

1. Інтерактивна вправа «Мозковий штурм». Вчитель на дошці подає зразки вправ у яких найчастіше помилились учні. Обговорення помилок та корекція знань.

2. Корекція знань. Відпрацювання власних помилок. Учні використовують ШІ для виправлення своїх помилок. Вводять у MathGPT свій розв'язок і запитують: «Проаналізуй цей розв'язок і поясни, де помилка». Вчитель демонструє типові помилки з робіт і пояснює правильні розв'язки на інтерактивній дошці.

3. Розв'язування додаткових задач. Вчитель вводить тип завдання (у яких було зроблено помилки) у MathGPT і генерує завдання з наступним розподілом учням. GeoGebra Math Solver будує графіки функцій та зображення площі під кривою для перевірки відповідності до визначеного інтеграла.

4. Розв'язання нових задач, спрямованих на поглиблення знань. Учень дає завдання до MathGPT: «Згенеруй складну задачу на знаходження визначеного інтеграла для учня 11 класу». У разі неможливості вирішити це завдання учень звертається до MathGPT з проханням пояснити покрокове вирішення цього завдання.

6. Інтерактивне закріплення (7–10 хв). Wayground - вчитель створює тест із завданнями на основі помилок. ChatGPT генерує тестові запитання.

III. Рефлексія. Самоперевірка результатів самостійної роботи. Самооцінка навчальних досягнень на уроці. Швидка самооцінка учнями свого розуміння теми та виявлення проблемних моментів. Використання онлайн інструмента Mentimeter. Наперед були налаштовані (за допомогою DeepSeek) запитання: «1. Я відчув себе..., 2. Найбільшим відкриттям для мене на цьому уроці було..., 3. Завдання, яке викликало у мене найбільше труднощів, це..., 4. Сьогодні я дізнався, що..., 5. Щоб покращити свої знання з теми "Первісна та інтеграл", я планую...»

IV. Домашнє завдання. Тест «Перевір себе» з підручника Завд. № 2 ст. 120, №№1-5(А,Г), 9-12(А,Г), 14-18(А,Г) у програмі Kahoot!.

3.3. Аналіз результатів та оцінка ефективності методики

Проведення педагогічного експерименту передбачало створення експериментальної ситуації та реалізацію трьох його основних етапів - констатувального, формувального й контрольного [34, с.25]. На кожному з них здійснювалося цілеспрямоване спостереження, діагностика й аналіз змін у рівні навчальних досягнень, мотивації та пізнавальної активності учнів.

Констатувальний етап педагогічного експерименту був спрямований на виявлення початкового рівня сформованості математичних знань, пізнавальної активності, мотивації до навчання та готовності учнів до використання технологій штучного інтелекту в освітньому процесі. Метою даного етапу було встановлення початкових умов, необхідних для подальшої перевірки ефективності розробленої методики інтеграції інструментів ШІ у структуру уроку математики.

На формувальному етапі педагогічного експерименту здійснювалося впровадження технологій ШІ під час вивчення нового матеріалу, закріплення знань і перевірки результатів навчання. Використовувалися такі інструменти і платформи ШІ, як Khan Academy, WolframAlpha, GeoGebra Math Solver, MathGPT, Symbolab, Canva, Kahoot!, Wauground, що забезпечували індивідуалізацію навчання, візуалізацію математичних понять і формування навичок самостійної роботи. На цьому етапі також проводилися спостереження за активністю учнів, аналіз їхніх успіхів і труднощів, анкетування щодо сприйняття технологій ШІ у навчанні.

У процесі констатувального і формувального етапів були використані такі методи, як тестування, анкетування та опитування, бесіди, спостереження за учнями, аналіз попередніх академічних результатів.

Одним з найбільш часто використовуваних нами методів було спостереження. Воно організовувалося як цілеспрямоване сприйняття різних явищ і факторів, що характеризували поведінку старшокласників у природних умовах та в умовах експерименту.

В експерименті широко застосовувалися бесіди. Вони допомагали глибше зрозуміти мотиви учнів, їх позиції. Гнучкість цього методу забезпечувала широкий діапазон адаптації до різних ситуацій, сприяла активному розумінню всього контексту, а також мотивів окремих відповідей. Бесіди використовувалися як індивідуальні, так і групові, стандартизовані та нестандартизовані [20].

На контрольному етапі експерименту застосовувалися підсумкове тестування, анкетування, аналіз виконаних завдань і рівня сформованості математичних компетентностей.

Для оцінювання результатів педагогічного експерименту було визначено послідовність етапів діагностики ефективності навчання із використанням технологій штучного інтелекту:

- підготовчий - збирання інформації;
- практичний - реєстрація отриманих даних;
- аналітичний - інтерпретація отриманих результатів.

Аналітичний етап експерименту проводився у жовтні-листопаді. При проведенні моніторингу рівня знань перше обстеження проводилося у жовтні. В листопаді ми провели повторне тестування та опитування школярів. За результатами діагностики були визначені зміни у підвищенні ефективності навчання у старших школярів ЕГ та КГ.

Діагностика ефективності викладання математики із застосуванням технологій ШІ проводилася за кількома напрямками. Спочатку були визначені цілі та очікувані результати навчання, зокрема підвищення мотивації учнів, індивідуалізація навчання та використання елементів гейміфікації. Далі було обрано відповідні інструменти штучного інтелекту - адаптивні платформи, чат-боти, генератори задач і віртуальні асистенти, які допомагали пояснювати матеріал, оцінювати знання й тренувати навички.

У процесі дослідження відбувався збір даних про навчальну діяльність: активність учнів, результати тестування, рівень засвоєння тем і характер

взаємодії з інтелектуальними системами. Отримані показники дали змогу порівняти успішність учнів експериментальної та контрольної груп, а також оцінити зміни у мотивації, зацікавленості та впевненості школярів. На основі проведеного аналізу були зроблені висновки й надані рекомендації щодо вдосконалення методики використання ІІІ на уроках математики та можливостей її подальшого застосування в освітньому процесі [20].

Для досягнення об'єктивності аналізу результатів педагогічного експерименту було розроблено систему критеріїв для визначення ефективності навчання математики із використанням технологій ІІІ. Запропоновані критерії спрямовані на комплексну оцінку впливу інноваційних засобів навчання з застосуванням ІІІ на формування академічних результатів, динаміку індивідуального прогресу, рівень навчальної мотивації, розвиток рефлексивних умінь та цифрової грамотності учнів. Систематизація зазначених критеріїв дає змогу сформувати узагальнену модель для оцінювання ефективності використання ІІІ у навчальному процесі, яка представлена у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Критерії визначення ефективності викладання математики з використанням

ІІІ

Критерій	Опис
1. Академічні результати	Покращення рівня знань, вміння розв'язувати задачі, успішність у контрольних роботах.
2. Динаміка індивідуального прогресу	Ріст результатів конкретного учня завдяки адаптивному підходу ІІІ.
3. Рівень мотивації	Інтерес до предмета, зростання навчальної ініціативи, самооцінка успіху.
4. Індивідуалізація навчання	Ступінь відповідності завдань рівню підготовки кожного учня.
5. Зворотний зв'язок	Наявність своєчасної автоматизованої підтримки (наприклад, підказки ІІІ)
6. Якість рефлексії учнів	Уміння аналізувати свої помилки, шукати рішення з підтримкою ІІІ
7. Цифрова грамотність учасників	Уміння ефективно користуватися ІІІ-інструментами

Джерело: власна розробка автора

На основі визначених критеріїв було здійснено аналіз навчальних показників між контрольною та експериментальною групою, визначено

На основі визначених критеріїв було здійснено аналіз навчальних показників між контрольною та експериментальною групою, визначено тенденції зростання мотивації та ефективності засвоєння математичних знань під впливом технологій штучного інтелекту.

Підсумкове оцінювання базувалося на комплексній системі оцінки навчальних досягнень учнів за такими видами діяльності:

- усної (індивідуальне, групове та фронтальне опитування);
- виконання індивідуальних і групових практичних завдань;
- розв'язування тестових і проблемних задач;
- проходження тематичного тестування (на основі Google Forms для контрольної групи і Wayground - для експериментального класу);
- демонстрація рефлексивних умінь під час самооцінювання;
- письмова контрольна робота;
- аналіз активності учнів протягом навчання (ураховано в загальному підсумку як допоміжний чинник).

Оцінювання здійснювалося за критеріями чинної 12 - бальної шкали.

Було проведено підсумкове оцінювання навчальних досягнень учнів експериментальної та контрольної груп. До уваги бралися середній бал, медіана, мода, а також розподіл учнів за рівнями навчальних досягнень. Узагальнені результати підсумкового оцінювання подано у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Результати підсумкового оцінювання учнів експериментальної та контрольної груп за темою «Інтеграл і його застосування»

Показник	Експериментальна група (11-А, N= 20)	Контрольна група (11-Б, N = 21)
Середній бал	8,4	7,3
Медіана	8	7
Мода	9	7
Мінімальний бал	6	4
Максимальний бал	12	10

Кількість учнів з балами 10–12	5	3
Кількість учнів з балами 7–9	11	11
Кількість учнів з балами 4–6	4	7
Кількість учнів з балами 1–3	0	0

Джерело: складено автором на основі результатів педагогічного експерименту

Аналіз результатів засвідчує вищий рівень засвоєння навчального матеріалу учнями, які навчалися за методикою з використанням штучного інтелекту. Середній бал в експериментальній групі становив 8,4, що на 1,1 балів вище порівняно з контрольною групою (7,3 б.). Крім того, у 11-А класі більше учнів (25%) досягли високого рівня навчальних досягнень (10–12 балів), ніж у 11-Б (14%). Медіана та мода в експериментальному класі також вищі, що вказує на загальну тенденцію до кращого розуміння теми. Водночас у контрольній групі зафіксовано більшу кількість учнів із результатами на рівні 4–6 балів, що вказує на недостатнє засвоєння матеріалу в частини класу.

Також, було проведено аналіз динаміки індивідуального прогресу, результати якого представлені на рис. 3.16, на якому відображено індивідуальний прогрес учнів експериментальної (ЕГ) і контрольної (КГ) груп після вивчення теми «Інтеграл і його застосування».

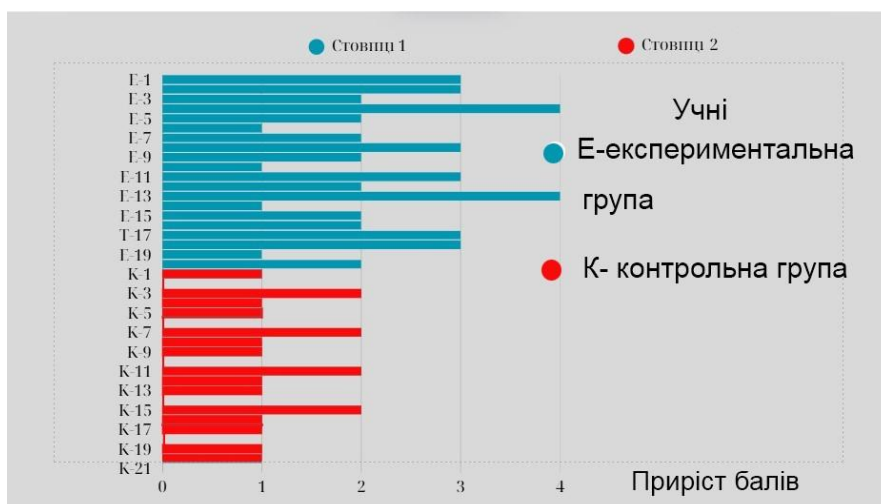


Рис. 3.16. Динаміка індивідуального прогресу учнів ЕГ та КГ

Джерело: складено автором на основі результатів педагогічного експерименту.

На діаграмі (з наведеними показниками про приріст балів для кожного учня) видно, що експериментальна група продемонструвала істотніше підвищення середнього бала (приблизно на 2,5 бали) і приріст успішності (яка склала близько 50%), тоді як у контрольній групі приріст становив лише 20%). З метою оцінювання таких якісних показників, як рівень індивідуалізації навчання та мотиваційна динаміка учнів, було проведено анкетування, педагогічне спостереження та аналіз індивідуальних навчальних траєкторій.

Методи оцінювання: анкетування для учнів (після завершення теми "Інтеграли та їх застосування"), самооцінка (через рефлексію), спостереження (активність на уроці).

Мета: оцінити рівень адаптивності та зацікавленості в навчальному процесі з використанням ІІІ.

Було проведено анкетування учнів обох груп - експериментальної (з використанням ІІІ) та контрольної (традиційне навчання) - за однією й тією ж структурою, яка наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Структура анкетування учнів обох груп

№	Запитання	Варіанти відповідей
1	Наскільки зрозумілими були завдання, які ви виконували під час уроків?	1. Дуже складні 2. Складні 3. Помірні 4. Легкі
2	Чи відчували ви, що завдання враховують ваші індивідуальні труднощі та темп навчання?	1. Завжди 2. Часто 3. Іноді 4. Ніколи
3	Чи з'явилося у вас більше інтересу до математики під час вивчення теми?	1. Значно більше 2. Трохи більше 3. Без змін
4	Як часто ви виконували завдання без нагадування або примусу?	1. Завжди 2. Часто 3. Іноді 4. Ніколи
5	Як би ви оцінили свій успіх у засвоєнні теми (від 1 до 10)?	1-2-3-4-5-6-7-8-9-10
6	Чи хотіли б ви й надалі використовувати ІІІ-технології під час вивчення математики?	1. Так, обов'язково 2. Можливо 3. Не впевнений

Джерело: власна розробка автора

Аналіз відповідей учнів ЕГ свідчить про те, що більшість учнів (65%) оцінили рівень індивідуалізації навчального процесу як високий, тоді як в контрольній лише 20 % учнів дали аналогічну оцінку (таблиця 3.4).

У відношенні мотивації 70% учнів ЕГ зазначили підвищення інтересу до вивчення математики (тобто обрали «Значно більше» або «Трохи більше»), у той час як у КГ - лише 30 % учнів.

Таблиця 3.4

Результати анкетування відносно рівня індивідуалізації

Рівень	Експериментальна (%)	Контрольна (%)
Високий	65	20
Достатній	25	50
Середній	10	30

Джерело: складено автором на основі результатів педагогічного експерименту

У межах порівняльного аналізу ефективності методики навчання теми «Інтеграли та їх застосування», було враховано не лише академічні результати, а й якісні критерії, що дозволяють глибше оцінити педагогічний вплив впровадження ІІІ-технологій в освітній процес. Зокрема, аналіз охопив три ключові показники:

1. Зворотний зв'язок. ЕГ продемонструвала вищу активність у взаємодії з навчальним контентом завдяки адаптивному середовищу з миттєвим зворотним зв'язком, що сприяло більш швидкому усвідомленню помилок та корекції навчання. У контрольній групі, зворотний зв'язок був повільнішим та менш індивідуалізованим, що знижувало ефективність самостійного виправлення помилок.

2. Якість рефлексії учнів. В учнів ЕГ відзначено зростання здатності до саморефлексії, що виявлялося у вмінні аналізувати власні помилки, шукати альтернативні шляхи розв'язання задач, використовуючи інструменти ІІІ.

За результатами анкетування, 85 % учнів ЕГ вказали, що почали краще розуміти власні слабкі сторони у темі, натомість у контрольній групі лише

40 % учнів повідомили про подібний досвід.

3. Цифрова грамотність учасників. Внаслідок систематичного застосування цифрових платформ зі ШІ, учні експериментального класу засвоїли навички застосовувати алгоритмічне мислення для розв'язання задач; створювати та формулювати запити до інформаційних систем; аналізувати, перевіряти і коригувати відповіді ШІ; співпрацює з цифровим асистентом.

У контрольній групі (яка використовувала ІКТ) подібні навички розвивалися фрагментарно або не формувалися взагалі, через те, що вони були обмежені лише технічними можливостями цих інструментів.

Основні результати аналізу наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Порівняльна характеристика ефективності навчання учнів експериментальної та контрольної груп

Критерії оцінювання	Експериментальна група	Контрольна група
Середній бал підсумкового тесту	8,4	7,3
Середній приріст балів	+2,2	+0,9
Відсоток учнів із приростом більш 2 бали	75 %	38 %
Зворотний зв'язок (якість та швидкість)	Високий	Середній
Рівень рефлексії учнів	Високий (85 %)	Середній (40 %)
Цифрова грамотність (аналітика, навігація)	Висока	Середня
Рівень мотивації за результатами анкетування	Високий (80 %)	Середній (40 %)
Рівень індивідуалізації навчання	Високий (65 %)	Середній (35 %)

Джерело: складено автором на основі результатів педагогічного експерименту

Порівняльний аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок про ефективність запропонованої методики навчання, яка передбачає використання елементів штучного інтелекту в навчальному процесі. Учні ЕГ продемонстрували не тільки вищі академічні результати, але й показали суттєве зростання індивідуального результату, зокрема у швидкості розв'язування задач і точності виконання завдань.

Використання інструментів ІІІ позитивно вплинуло на мотивацію школярів: підвищилася зацікавленість у предметі, зросла активність на уроках та бажання виконувати додаткові завдання. Крім того, методика сприяла розвитку ключових сучасних умінь: учні навчилися аналізувати власні дії, орієнтуватися в цифровому середовищі, самостійно планувати навчальну діяльність і здійснювати самоконтроль.

На основі зібраних і проаналізованих результатів експериментальної перевірки ефективності методики навчання теми «Інтеграли та їх застосування» можна зробити такі висновки:

1. Запропонована методика, що інтегрує елементи штучного інтелекту у навчальний процес, виявилася ефективною для підвищення рівня навчальних досягнень учнів. За результатами порівняльного аналізу було зафіксовано позитивну динаміку засвоєння матеріалу в експериментальному класі порівняно з контрольним.

2. Використання інструментів ІІІ підвищило мотивацію учнів до навчання, посилило їхню активність та зацікавленість у вивченні складних математичних понять, зокрема інтегралів.

3. Методика сприяла розвитку сучасних компетентностей учнів, зокрема критичного мислення, уміння працювати з цифровими ресурсами, здійснювати самооцінку результатів, приймати обґрунтовані рішення, а також формуванню навичок самостійного навчання.

4. Впровадження технології ІІІ у навчальний процес посилила персоналізацію навчання, адаптацію до індивідуальних потреб учнів та надала можливість швидкого зворотного зв'язку, які є важливими факторами у підвищенні якості математичної освіти.

Отже, результати експерименту переконливо свідчать про ефективність запропонованої методики навчання, яка передбачає використання елементів штучного інтелекту.

3.4. Методичні рекомендації впровадження методики викладання математики з використанням штучного інтелекту у старших класах

Впровадження методики викладання математики з використанням ШІ є одним із найбільш актуальних завдань сучасної освіти, що відкриває нові можливості для персоналізації навчання, розвитку критичного мислення та підвищення мотивації учнів у процесі засвоєння складних математичних понять. Впровадження інтеграції ШІ у навчальний процес охоплює три ключових напрями: адаптацію навчальних програм, системну підготовку педагогічних кадрів та створення необхідного техніко-технологічного забезпечення [28].

Метою розроблених рекомендацій є практична реалізація педагогічних принципів і підходів, відповідального та етичного впровадження систем штучного інтелекту у закладах загальної середньої освіти [23].

На уроках математики сучасні платформи ШІ допомагають учням розв'язувати рівняння, досліджувати графіки функцій, аналізувати похідні, інтеграли, статистичні дані, отримуючи не лише результат, а й покрокове пояснення розв'язання. Це сприяє глибшому засвоєнню алгоритмів математичних дій і розумінню логіки побудови розв'язку.

Для створення візуальних моделей зміни функцій, побудови динамічних графіків, визначення площ під кривими - учні можуть використовувати такі інструменти, як: GeoGebra з інтегрованими AI-модулями або у поєднанні з Python - інтерпретаторами на основі ChatGPT.

Застосування ШІ у проектній діяльності надає учням нові можливості. Використання таких інструментів, як: Google Colab + AI та візуалізація математичних закономірностей за допомогою DALL-E, або Canva+AI сприяє застосуванню математичних знань у реальних умовах.

Методика викладання математики за допомогою ШІ передбачає поступовий перехід від мотивації до теоретичних знань, практичних навичок і

проектної діяльності, сприяючи розвитку критичного мислення, аналітичних здібностей і креативності учнів.

Ефективність впровадження штучного інтелекту в викладанні математики необхідно оцінювати через аналіз методик і вдосконалення навчального процесу. Необхідною умовою для правильного оцінювання є моніторинг знань і навичок учнів через тестування, практичні завдання та проектну діяльність. Оцінювання має включати збір даних від учнів і вчителів через анкетування, опитування [20].

Оцінювання повинно враховувати індивідуальну динаміку успішності учнів, їхню залученість у навчання та розвиток математичних компетенцій.

На основі виконаної магістерської роботи можна зробити рекомендації щодо організації освітнього процесу. Організація освітнього процесу із застосуванням штучного інтелекту повинна бути спрямована на формування в учнів практичних навичок використання сучасних інструментів, розвиток аналітичного мислення та усвідомлення етичних аспектів роботи з інтелектуальними технологіями [17].

Доцільно визначити три основні етапи у викладанні математики за допомогою штучного інтелекту:

1. Теоретичні заняття. Мета: сформувати глибоке розуміння математичних концепцій та абстрактних понять через інтерактивну візуалізацію та персоналізоване пояснення матеріалу, а також, формування пізнавальної мотивації (Khan Academy - для персоналізованого вивчення теоретичного матеріалу з урахуванням індивідуальних потреб учня; Math Tutor – для пояснення теоретичних понять, формування визначень; Canva, DALL-E – створення наочних схем і ілюстрацій).

2. Практичні заняття. Мета: розвинути вміння застосовувати математичні знання для розв'язання типових і нестандартних задач, розвитку аналітичного та критичного мислення, а також уміння використовувати ШІ як інструмент підтримки самостійного навчання.

Приклади: WolframAlpha - для демонстрації покрокового розв'язання складних рівнянь та побудови графіків функцій; MathGPT, Symbolab – для покрокових пояснень обчислень, аналіз і розбір задач; Photomath - для миттєвої перевірки правильності розв'язання задач.

3. Проєктна діяльність. Мета: формування вмінь у застосуванні математичних знань у реальних або наближених до реальності ситуаціях, розвитку дослідницьких, креативних і командних навичок.

Приклади: Google Colab - створення складних математичних моделей, аналіз даних, прогнозування; Notion, Miro - оформлення математичних проєктів; Canva - створення презентацій та інфографіки.

Ефективне впровадження сучасних інструментів ІІІ і методик навчання в організацію освітнього процесу в закладах загальної середньої освіти дозволить формувати у учнів ключові компетенції, необхідні для успішної реалізації в умовах цифрової трансформації суспільства [8].

На основі практичної частини та аналізу ефективності використання ІІІ у викладанні математики, запропоновано різноманітні моделі використання ІІІ, які дозволяють інтегрувати цифрові технології не формально, а цілеспрямовано, відповідно до дидактичних цілей кожного етапу: мотиваційного, пояснювального, практичного, контролю знань та рефлексії.

Отримані на підставі цього аналізу рекомендації ґрунтуються на принципах компетентнісного підходу, враховують психолого-педагогічні особливості учнів старшої школи, а також можливості сучасних освітніх платформ і сервісів, які працюють на основі ІІІ. Інтеграція інструментів ІІІ у процес викладання математики базується на низці дидактичних принципів і методичних підходів, які забезпечують ефективність та доцільність такого впровадження. У таблиці 3.5 наведено вибір інструментів ІІІ для уроків математики згідно ключових принципів.

Таблиця 3.5

Вибір інструментів ІІІ для уроків математики згідно ключових принципів

Принцип	Інструменти ІІІ	Приклад використання
Науковість	Wolfram Alpha, GeoGebra	Аналіз графіків функцій
Доступність	Khan Academy, Desmos	Самостійне вивчення тем
Інтерактивність	Sowiso, MathGPT, Deepseek,	Діалог зі ІІІ для розбору задач
Цілеспрямованість	Mathway, IXL Math	Підготовка до тестування
Принцип особистісної орієнтації	Sowiso, Aleks	Індивідуалізація навчання
Педагогічна доцільність	Gradescope, MATHia	Оптимізація часу вчителя

Джерело: власна розробка автора

З урахуванням класичної структури уроку математики у старшій школі можна виділити основні етапи, на яких доцільно інтегрувати ІІІ.

1. Етап мотивації та актуалізації опорних знань.

Для підвищення інтересу учнів до навчання доцільно використовувати проблемні ситуації. Вони заохочують старшокласників до активної пізнавальної діяльності, сприяють розвитку творчих здібностей і встановлюють зв'язок між новим і вже вивченим матеріалом. Інструменти зі штучним інтелектом можуть допомогти створити подібні ситуації, зробити математичну задачу наочною та запропонувати учням індивідуальні завдання.

За допомогою ChatGPT або Copilot вчитель може згенерувати цікаву сюжетну задачу, пов'язану з темою уроку, або запропонувати учням короткий діалог з чат-ботом на тему минулих знань. За допомогою Canva можна створити інфографіку з цікавими фактами.

2. Для етапу пояснення нового матеріалу з математики з використанням штучного інтелекту підходять платформи, які можуть наочно демонструвати поняття, адаптувати пояснення під рівень учня, забезпечувати інтерактивність та миттєвий зворотній зв'язок.

Такі платформи, як Khan Academy або ALEX, здатні пояснювати поняття в доступній формі (аналізують рівень учня та пропонують відповідні пояснення). Інструменти Desmos AI, GeoGebra AI дозволяють учням експериментувати з графіками й рівняннями в реальному часі.

3. На етапі закріплення знань який передбачає тренування набутих умінь, важливо забезпечити адаптивні вправи, миттєвий зворотний зв'язок, варіативність задач і форм подання. ШІ може допомагати у створенні адаптивних завдань та для миттєвого зворотного зв'язку. На цьому етапі використання Eduten Playground, Squirrel або таких генеративних платформ, як Wayground з AI дозволяють створювати інтерактивні вправи, які змінюються залежно від відповідей учня.

4. Для етапу контролю знань з математики з використанням штучного інтелекту доцільно використовувати платформи, які автоматизують перевірку, забезпечують миттєвий зворотній зв'язок, генерують індивідуальні завдання та аналізують результати (Wayground, Kahoot!)

5. Для етапу рефлексії на уроці математики підходять платформи, які допомагають учням осмислити отримані знання, проаналізувати помилки, сформулювати висновки та отримати зворотній зв'язок. Google Forms (з AI-аналітикою), Cognii (аналіз текстових відповідей), Mentimeter, Padlet, Canva (узагальнення відповідей та візуалізація їх у вигляді хмари слів, де найчастіше згадувані слова будуть більшими. Це дає вчителю миттєвий візуальний зріз того, що викликало найбільші труднощі в учнів).

У таблиці 3.6 представлені рекомендації щодо використання ШІ на різних етапах уроку математики.

Таблиця 3.6

Методичні рекомендації щодо використання ШІ на різних етапах уроку математики.

Етап уроку	Ціль етапу	Інструмент ШІ	Методична рекомендація
Мотивація, актуалізація	Зацікавити, активізувати знання	ChatGPT, Bing Copilot, Khan Academy, Canva, Sora, Deepseek	Створення задач реального життя; діалог з чат-ботом для повторення попереднього теми
Пояснення нового матеріалу	Ознайомлення з новими поняттями	Khanmigo, Desmos AI, GeoGebra AI, MathGPT,	Візуалізація понять; адаптивне пояснення через ШІ
Закріплення	Формування навичок	Wayground AI, Eduten, WolframAlpha, Photomath	Адаптивні вправи з миттєвим зворотним зв'язком

Контроль знань	Перевірка рівня засвоєння	Knewton, Classtime, Formative, Khan Academy	Онлайн-тестування з аналізом типових помилок
Рефлексія	Самооцінка, підбиття підсумків	ChatGPT, Mentimeter, Padlet, Canva, Google Forms	Запитання для саморефлексії, візуалізація особистого прогресу

Джерело: власна розробка автора

Ефективна інтеграція інструментів ІІІ у структуру уроку математики разом з диференційованим підходом та застосуванням інтерактивних методів дозволяє вчителю забезпечити якісне навчання та розвиток учнів, а також мотивувати їх до подальшого вивчення математики.

Однією з важливою умовою для впровадження штучного інтелекту в освіту є забезпечення належного рівня технічної та організаційної підтримки педагогів. З точки зору технічного рівня - це можливість доступу вчителів до розширених функцій аналітичних, візуальних та навчальних можливостей таких платформ, як MathGPT, Canva Pro, WolframAlpha, GeoGebra Math Solver.

Важливу роль у процесі інтеграції штучного інтелекту відіграє зацікавленість самих педагогів у використанні цих технологій. Для цього слід використовувати ефективну систему стимулів, серед яких:

- система підвищення кваліфікації з запровадженням спеціалізованих сертифікаційних курсів, орієнтованих на освоєння таких інструментів, як Math Tutor, WolframAlpha, MathGPT. Це дозволить вчителям не лише опанувати нові цифрові навички, але й інтегрувати їх у повсякденну педагогічну практику;
- педагогічні конкурси, де вчителі можуть презентувати власні методики використання ІІІ у викладанні математики. Такі конкурси стимулюють творчий пошук, сприяють обміну досвідом і виявляють найефективніші освітні рішення;
- грантові програми, фінансування проєктів, спрямованих на розробку та впровадження інноваційних рішень з використанням ІІІ (створення інтелектуальних тренажерів, автоматизованих інструментів оцінювання).

Для централізованої методичної підтримки вчителів доцільно створити єдину базу навчально-методичних матеріалів з практичними кейсами, покроковими інструкціями, прикладами інтеграції ІІІ в уроки математики, зразками вправ і методичними рекомендаціями щодо формування математичних компетентностей із використанням ІІІ.

Також важливу роль у впровадженні технологій ІІІ належить технічній підтримки з боку адміністрації закладу освіти, для оперативного усунення технічних проблем і забезпечення налаштування інструментів ІІІ в освітній процес.

Отже, технічне забезпечення закладів освіти, налагоджена система технічної підтримки та постійна мотивація педагогічних працівників є необхідними складовими, що визначають успішність упровадження технологій штучного інтелекту в освітній процес. Комплексна реалізація цих напрямів сприяє створенню інноваційного навчального середовища, у якому учні та вчителі мають можливість ефективно використовувати цифрові інструменти для навчання, дослідження й творчості.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі було проведено комплексне дослідження експериментальної перевірки ефективності авторської методики викладання теми "Інтеграл і його застосування" з використанням ІІІ. Було визначено мету, завдання, об'єкт й предмет експериментального дослідження. Розроблено десять уроків з інтеграцією ІІІТ і описано реалізацію десяти навчальних занять у межах експериментальної методики, яка передбачала адаптивне навчання, аналітику прогресу та індивідуального підбору завдань. У контрольній групі навчання проводилося за тією самою програмою, однак із використанням традиційних методів викладання.

На етапі аналізу результатів та оцінки ефективності методики проаналізовано результати вхідного та підсумкового тестування, здійснено

оцінювання рівня мотивації, індивідуалізації навчання, якості рефлексії, цифрової грамотності (на основі анкетування учнів та експертних спостережень); побудовано таблиці та гістограми, які ілюструють позитивну динаміку індивідуального прогресу, зокрема завдяки впровадженню адаптивного підходу.

Отримані результати засвідчили, що впроваджена методика навчання з використанням ШІ сприяє покращенню навчальних досягнень учнів; підвищенню їхньої мотивації до вивчення математики; розвитку здатності до саморефлексії та аналізу власних помилок; формуванню математичної компетенції та цифрової грамотності.

Отже, експериментально було підтверджено ефективність запропонованої методики, що відкриває перспективи її ширшого впровадження у практику навчання математики в старшій школі.

Отримані результати стали основою для створення методичних рекомендації впровадження методики викладання математики з використанням штучного інтелекту, які можуть бути корисними для вчителів математики для планування та проведення уроків із застосуванням технологій штучного інтелекту.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі здійснено комплексне дослідження методики викладання математики в старшій школі з урахуванням сучасних технологічних змін та можливостей, які надають інструменти штучного інтелекту. На основі аналізу теоретичних джерел, практичних розробок і педагогічного експерименту зроблено такі узагальнені висновки:

1. Теоретичний аналіз літератури з теми дослідження засвідчив, що на сучасному етапі освіти значно зростає роль цифрових технологій, зокрема інтелектуальних систем підтримки навчання. Впровадження ІІІ в освітній процес сприяє персоналізації, оперативному зворотному зв'язку, адаптації завдань до індивідуальних потреб учнів.

2. Уточнено поняття методики навчання математики з використанням ІІІ як системи взаємодії традиційних дидактичних принципів і цифрових інструментів аналітики, адаптації, автоматизованого оцінювання та навчальної підтримки. Показано, що така методика є особливо актуальною для навчання старшокласників, які потребують гнучких та індивідуалізованих підходів до складних математичних тем.

3. Розроблено структурно-функціональну модель методики викладання теми «Інтеграли та їх застосування» з інтеграцією ІІІ-інструментів на різних етапах уроку: мотиваційному, пояснювальному, тренувальному, контрольному та рефлексійному. Особливу увагу приділено розвитку навичок самостійної роботи, рефлексії, цифрової грамотності та математичної компетентності.

4. У ході експериментального дослідження, яке охоплювало два класи (експериментальний і контрольний), було впроваджено серію із 10 авторських уроків з використанням ІІІ. Проведено вхідне та підсумкове тестування, анкетування учнів, спостереження за рівнем мотивації, рефлексії та індивідуального прогресу.

Аналіз результатів експерименту показав вищу ефективність навчання в експериментальній групі за всіма основними критеріями:

- підвищення академічних досягнень (середній бал 8,4 проти 7,3 у контрольній);
- вища динаміка індивідуального прогресу;
- зростання навчальної мотивації та інтересу до математики;
- розвиток умінь саморегуляції, аналізу помилок, цифрової компетентності.

Отримані результати дозволяють стверджувати ефективність розробленої методики, її відповідність сучасним освітнім тенденціям та потребам учнів. Методика може бути рекомендована для широкого впровадження в практику шкільного навчання математики, особливо в умовах упровадження STEM-освіти та цифрової трансформації освітнього середовища.

Результати навчання за розробленою методикою показали, що використання інструментів ІІІ на уроках математики сприяє формуванню в учнів всіх складових математичної компетентності, а саме алгоритмічної (учні складають алгоритм розв'язування задачі), логічної (учні удосконалюють власні математичні уявлення), технологічної (учні використовують програмне забезпечення), дослідницької (учні будують комп'ютерну модель задачі), методологічної (учні досліджують задачу, проводять аналіз розв'язування даної задачі); підвищенню інформаційної грамотності учнів, формуванню в них здатностей обґрунтовувати правильність розв'язування задач, висувати та емпірично перевіряти справедливість гіпотез, аналізувати раціональність (ефективність) розв'язування задач певним методом; критично мислити, систематизувати отримані результати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алгебра і початки аналізу : підручник для 11 кл. закл. заг. сер. освіти / Мерзляк А. Г., Номіровський Д. А. та ін. Харків, 2019. 304 с.
2. Барна О. В., Бабій Д. В. Переваги штучного інтелекту в освіті : матеріали міжн. наук.-практ. конференції (Київ, 19.05.2023). URL: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/738419/1/SIPII_physics_nature_TNPU_2023.
3. Бойко А. Як штучний інтелект інтегрують в українську освіту. Розбираємо плани Мінцифри, МОН та ключові ризики. DOU. 2025. URL: <https://dou.ua/lenta/articles/ai-in-the-ukrainian-education-2025/>
4. Воротникова І. П. Професійний розвиток вчителів природничої та математичної галузей з використання штучного інтелекту. Відкрите освітнє електронне середовище сучасного університету. 2023. №15(23). С. 18-34.
5. Глушко В.В, Шакуров Є.О. Педагогічна трансформація в цифрову епоху : вплив штучного інтелекту на формування критичного мислення та зміну ролі викладача. Академічні візії, 2025. Випуск 43. 10 с.
6. Гуназа Л. М. Штучний інтелект у сучасній освіті. Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах. 2023. №90. С. 46-53.
7. Дембіцька С., Яровий Р. Вплив ІІІ-тьюторів на мотивацію та навчальну ефективність здобувачів. 2 квіт. 2024. С. 43-49. URL: <https://doi.org/10.31649/2524-1079-2024-9-1-043-049>.
8. Денисюк О.Я., Титаренко Н.В. Учитель НУШ та його роль у реалізації реформи шкільної освіти. Освітня аналітика України. 2024. № 3. С. 49-52. (звернення: 19.11.2025).
9. Інтеграція штучного інтелекту в освіту - виклики та можливості : зб. тез наук.-метод. доповідей. 20.01.2025. Київ-Львів-Торунь, 2025. 968 с.
10. Кільченко А. В. Роль технологій штучного інтелекту у науково-педагогічній діяльності освітніх закладів. Електронний збірник наукових праць ЗОІППО. Київ, 2023. № 3(55). 9 с.

11. Козуб В., Бобень І., Боярінова Ю. Етичні аспекти використання штучного інтелекту в аналізі даних. *Техніка і Наука сьогодні*. 7 липня 2024. №6(34).
12. Концепція розвитку штучного інтелекту в Україні : схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 2 грудня 2020 р. № 1556-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-2020-%D1%80#Text> (дата звернення 14.12.25).
13. Кравчина О.Є. Відповідальність вчителя за безпеку персональних даних дітей в цифрову епоху. Інститут цифровізації освіти НАПН, 2025. Вип. 3(67). URL: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/746035/1/Кравчина_Захист%20персональних%20даних_2025.pdf.
14. Лаврентьєва Г.П., Шишкіна В.П. Методичні рекомендації з організації та проведення наук.-педагог. експерименту. Київ, 2007. 74 с.
15. Мар'єнко М., Коваленко В. Штучний інтелект та відкрита наука в освіті. Фізико-математична освіта. 2023. Том 38, №1. С. 48-53.
16. Мельник А. В. Застосування штучного інтелекту в освітньому середовищі: потенціал та виклики. Матеріали III Всеукраїнської науковопрактичної конференції. 07.04.2023. С. 250-253. URI :<https://eprints.zu.edu.ua/id/eprint/3717>.
17. Мельник І.Г. Використання програм зі штучним інтелектом у сегменті загальної середньої освіти: потенціал і виклики. Освітня аналітика України. 2024. №2(28). 44 с.
18. Мельник О. Факторно-критеріальна модель оцінювання ефективності навчально-виховного процесу. Наукові записки. Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти. 2016. Випуск 9(III). С. 186-191.
19. Мерзляк А. Г., Номіровський Д.А., Полонський В.Б. та ін. Геометрія : проф. рівень : підруч. для 11 кл. закладів загальної середньої освіти – Харків : Гімназія, 2019. 204 с.

20. Методи опитування - інтерв'ю, анкетування, бесіда. 2016. URL: <https://studfile.net/preview/5226480/page:3/>
21. Методика навчання математики в старшій школі. Модуль 1: Стереометрія : нав. посіб. / Королюк О. М., Прус А. В. Житомир : ЖДУ, 2020. 61 с.
22. Мізюк В.А., Хижняк А.В., Хренова В.В. Використання адаптивних навчальних платформ. Педагогічна Академія : наукові записки. 2025. №14. С.13-19. DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.14605125>.
23. МОН і Мінцифра розробили проєкт рекомендацій із використання ІІІ в школах. URL: <https://mon.gov.ua/news/mon-i-mintsyfra-rozrobyly-proiekt-rekomendatsii-iz-vykorystannia-shi-v-shkolakh> (дата звернення 25.11.25).
24. Мрія змінює навчання українців : Міністерство цифрової трансформації України. URL: <https://thedigital.gov.ua/news/education/mriya-zminyuenavchannya-ukraintsiv-uzhe-500-zakladiv-priednalisya-do-osvitnoi-ekosistemi> (дата звернення: 17.09.2025).
25. Нова українська школа: poradnik dla vchytelja / Під заг. ред. Бібік Н. М. Київ: ТОВ «Видавничий дім «Плеяди», 2017. 206 с.
26. Петренко Л.М. Цифрова компетентність викладача закладу вищої освіти: інструменти діагностування. 2023. С. 100-103. URL: <https://orcid.org/0000-0002-7604-7273/>
27. Про внесення зміни до плану заходів з реалізації Концепції розвитку штучного інтелекту в Україні : Розпорядження Кабінет Міністрів України 25.06.2023 р. № 649-р. Київ. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/649-2023-%D1%80/stru> (дата звернення 25.11.25).
28. Про інструктивно-методичні рекомендації щодо викладання навчальних предметів у 2025-2026 р. : Лист Міністерства освіти і науки України. 2025. URL: <https://mon.gov.ua/tag/zagalna-serednya-osvita?&tag=zagalna-serednya-osvita>.

29. Робота вчителя зі штучним інтелектом: теорія та практика. На Урок. URL: <https://naurok.com.ua/post/roboata-vchitelya-zi-shtuchnim-intelektom-teoriya-ta-praktika> (дата звернення 22.11.2025).
30. Роміцина Л. Інтерактивна математика : штучний інтелект і дієві практики. Педагогічна Житомирщина. 2025. №2(38), с. 6.
31. Столярчук О.А., Пророк Н.В. / Використання штучного інтелекту у професійному навчанні майбутніх психологів. 2024. №2. С. 114-121.
32. Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні : монографія / за заг. ред. А. І. Шевченка. Київ : ППШ, 2023. 305 с.
33. Стратегія розвитку штучного інтелекту в Україні : монографія / за ред. Шевченко А.І. та ін. Київ, 2023. 305с.
34. Сулаєва Н. В. Носенко Ю.Г. Педагогічний експеримент з розвитку інф.-комунік. компетентності керівника закладу шкільної освіти. Інформаційні технології і засоби навчання, 2019. Том 74. №6. С. 278-293.
35. Технології доброчесного використання штучного інтелекту у сфері освіти та науки : матеріали всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації, 1-10 вер. 2023 р. Одеса, 2023. 276 с.
36. Чи заважає нам ШІ критично мислити: вплив штучного інтелекту на розумові здібності. URL: <https://osvitoria.media/experience/chy-zavazhae-nam-shi-krytychno-myslyty-vplyv-shtuchnogo-intelektu-na-rozumovi-zdibnosti/>
37. Чи змінить штучний інтелект українську школу? 2023. URL: <https://osvitoria.media/experience/chy-zminyt-shtuchnyj-intelekt-ukrayinsku-shkolu/>
38. Шершньова О. Робота тьютора в навчальному процесі: Перспективи та розвиток у порівнянні з країнами ЄС. Серія : Педагогіка. 2024. №2(33). С. 107-113.
39. Штучний інтелект у вищій освіті : ризики та перспективи інтеграції : матеріали всеукр. наук.-педаг. підвищення кваліфікації : 11.08.24. Львів, 2024. 328 с.

40. Як AI впливає на освіту: Плюси та мінуси використання штучного інтелекту. 22.10. 2024. URL:<https://smodin.io/blog/uk/how-ai-affects-education/>.
41. Advancing education with AI. URL: <https://edu.google.com/ai/education/>
42. AI in Education Report: Insights to support teaching and learning. URL: https://www.microsoft.com/en-us/education/blog/2025/08/ai-in-education-report-insights-to-support-teaching-and-learning/?utm_source.com (дата звернення 18.11.25).
43. AI in U.S. Classrooms 2025 : Adoption vs. Accountability in 50 States. https://unmiss.com/ai-in-us-classrooms-study?utm_source=chatgpt.com.
44. Androshchuk A., Malyuga A. The use of artificial intelligence in higher education: status and trends. International Science Journal of Education and Linguistics, 2024. 3(1). P. 27-35.
45. Artificial Intelligence and the Future of Teaching and Learning. US Department of Education, 2025. URL: <https://tech.ed.gov> (дата звернення 25.11.25).
46. Artificial Intelligence for and by Teachers : A14T MOOC. URL : <https://www.ai4t.eu/>
47. Dabingaya M. Analyzing the Effectiveness of AI-Powered Adaptive Learning. Interdisciplinary Journal Papier. 2022. Volume 3, Issue 1. P. 1-7. DOI: <https://doi.org/10.47667/ijphr.v3i1.226>.
48. Kwid G. & Sarty N. A Review of AI Tools: Definitions, Functions, and Applications for K-12 Education, November 2024, №3(1). P. 1-22.
49. Moskalyuk M., Moskalyuk N. Artificial intelligence in higher education institutions: advantages and disadvantages. Open educational e-environment of modern University, 2023. № 15. P. 85-96.
50. Novak, A., Semigina, T. Integration of ChatGPT into an online learning platform. SSRN Electronic Journal, California, 2024. P. 5-12. DOI: 10.51587/9798-9895-14625-2024-117-5-12.

51. Palchuk O. Modernization of education in post-war Ukraine. Educational Challenges, 2025. Vol. 30, Issue 2. URL: <https://doi.org/10.34142/2709-7986.2025.30.2.01>.
52. Panqueban D, Huincahue J. Artificial Intelligence in Mathematics Education: A Systematic Review. 31.08. 2024. DOI: <https://dx.doi.org/10.15359/ru.38-1.20>. 17p.
53. Technology, 2024. №3(1), P.1–22. DOI: <https://doi.org/10.5772/acrt.20240048>.
54. The Benefits of AI in EducationThe Benefits of AI in Education, URL: <https://www.cis-spain.com/en/blog/the-benefits-of-ai-in-education/>
55. The future of learning is here : Squirrel AI learning. URL : <https://squirrelai.com/>
56. The Guardian. URL : https://www.theguardian.com/us-news/2025/jun/09/ohio-university-ai-training?utm_source=chatgpt.com.
57. The Impact of AI on Children's Development. Harvard Graduate School of Education. URL: <https://www.gse.harvard.edu/ideas/edcast/24/10/impact-ai-childrens-development> (дата звернення 02.10.25).
58. Wayne H., Maya B., Charles F. Artificial Intelligence in Education. Promise and Implications for Teaching and Learning, 2019. 243p. URL: <http://bit.ly/AIED-BOOK>.
59. What you need to know about UNESCO's new AI competency frameworks for students and teachers. UNESCO. URL: <http://surl.li/cuuwrf> (дата звернення: 17.09.2025).
60. Zhmai O. The impact of artificial intelligence on children and adolescents: learning, development, well-being. ISSN 2710 – 1673 Artificial Intelligence, 2025 № 30(1). P. 10-26. URL: https://jai.in.ua/index.php/en/issues?paper_num=1668.