

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Автоматизації і інформаційних технологій
(факультет)

Інформаційних технологій проєктування та прикладної математики
(кафедра)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТРА»
на тему:**

«Метод розробки інформаційної технології інтерактивного навчання»

Цивіна Ігор Володимирович

Київ 2025 р

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Автоматизації і інформаційних технологій
(факультет)

Інформаційних технологій проєктування та прикладної математики
(кафедра)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІТППМ
Євгеній БОРОДАВКА

„___” _____ 2025 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТРА»

на тему:

Метод розробки інформаційної технології інтерактивного навчання

Виконав: студент 2-го курсу
групи ІСТм-24
Спеціальність: 126 Інформаційні
системи та технології
Ігор ЦИВІНА

Керівник Людмила ТЕРЕЙКОВСЬКА

Рецензент _____

Київ 2025 р.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет: автоматизації і інформаційних технологій
Кафедра: інформаційних технологій проєктування та ПМ
Освітній рівень: магістр
Спеціальність: 126 Інформаційні системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ІТППМ
Євгеній БОРОДАВКА

„___” _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ ВИПУСКНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

Цивіна Ігор Володимирович

1. Тема роботи: Метод розробки інформаційної технології інтерактивного навчання.
затверджена наказом ректора № 399/2 від ____ 2025 р.
2. Керівник роботи: Терейковська Людмила Олексіївна, професор кафедри
інформаційних технологій проєктування та ПМ КНУБА.
3. Термін подання студентом роботи до захисту: ____ 2025 р.
4. Зміст пояснювальної записки за розділами:
 - Р.1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У ГАЛУЗІ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ.
 - Р.2. МЕТОД РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ.
 - Р.3. ЕРИФІКАЦІЯ МЕТОДУ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ.
5. Інформаційні слайди:
 - С.1. Титульний слайд
 - С.2. Актуальність роботи
 - С.3. Мета, об'єкт, предмет та методи дослідження

- С.4. Задачі дослідження
- С.5. Наукова новизна отриманих результатів
- С.6. Апробація результатів
- С.7. Огляд існуючих рішень у сфері інтерактивних систем навчання
- С.8. Аналіз джерел
- С.9. Базис розробки методу
- С.10. Математичне забезпечення методу розробки системи інтерактивного навчання
- С.11. Моделі керування навчальним процесом
- С.12. Етапи методу розробки системи інтерактивного навчання
- С.13. Розробка програмного забезпечення на основі методу розробки системи інтерактивного навчання
- С.14. Програмна реалізація застосунку на основі запропонованого методу системи інтерактивного навчання
- С.15. Експертні дані
- С.16. Порівняння з традиційними підходами
- С.17. Загальні висновки
- С.18. Дякую за увагу!

6. Календарний план виконання кваліфікаційної роботи

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Р.1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У ГАЛУЗІ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ.	<u>жовтень</u> 2025
Р.2. МЕТОД РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ.	<u>листопад</u> 2025
Р.3. ВЕРИФІКАЦІЯ МЕТОДУ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ.	<u>грудень</u> 2025
Остаточне оформлення роботи	<u>грудень</u> 2025
Попередній захист роботи на кафедрі	<u>грудень</u> 2025

7. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта, представника комісії	дата	підпис
--	--		
--	--		

8. Дата видачі завдання: 2025 року

Керівник		Людмила ТЕРЕЙКОВСЬКА
	(підпис)	
Студент		Ігор ЦИВІНА
	(підпис)	

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків і містить 92 сторінки основного тексту, 14 рисунків, 7 таблиць і 17 сторінок додатків. Список використаних джерел налічує 40 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 109 сторінок.

Метою роботи є підвищення ефективності інтерактивного навчання шляхом розроблення методу створення інтерактивної гейміфікованої інформаційної технології навчання з адаптивною персоналізацією навчального процесу.

У роботі розроблено метод створення інтерактивної гейміфікованої навчальної системи, що базується на адаптивному багатофакторному виборі навчального контенту з урахуванням рівня знань і мотиваційного стану користувача.

На основі запропонованого методу створено програмний прототип QuestLearn з використанням трансформерних моделей обробки природної мови для динамічної генерації навчального контенту.

Результати експериментальних досліджень підтвердили підвищення точності формування індивідуальної навчальної траєкторії на 18–22% та стабільність роботи системи.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленого методу та програмного забезпечення в інтерактивних освітніх платформах.

Ключові слова: інтерактивне навчання, гейміфікація, адаптивні системи, штучний інтелект, персоналізація навчання.

SUMMARY

The master's qualification thesis consists of an introduction, three chapters, general conclusions, a list of references and appendices. The main text contains 92 pages, 14 figures, 7 tables and 17 pages of appendices. The list of references includes 40 sources. The total volume of the thesis is 109 pages.

The aim of the thesis is to increase the effectiveness of interactive learning by developing a method for creating an interactive gamified educational information technology with adaptive personalization of the learning process.

The thesis proposes a method for developing an interactive gamified learning system based on an adaptive multi-factor selection of educational content that takes into account the learner's knowledge level and motivational state.

Based on the proposed method, a software prototype called QuestLearn has been developed using transformer-based natural language processing models for dynamic generation of educational content.

Experimental results confirm an 18–22% increase in the accuracy of individual learning trajectory formation, as well as stable and efficient system performance.

The practical significance of the work lies in the possibility of using the developed method and software in interactive educational platforms.

Keywords: interactive learning, gamification, adaptive systems, artificial intelligence, learning personalization.

Зміст

Вступ.....	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У ГАЛУЗІ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ.....	7
1.1. Постановка завдання та проблематика інтерактивного навчання	7
1.2. Аналіз науково-прикладних робіт в області інтерактивного навчання	10
1.3. Оцінка перспективних рішень для створення інформаційної технології інтерактивного навчання	19
1.4 Висновки до розділу 1	22
РОЗДІЛ 2. МЕТОД РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ.....	24
2.1. Формалізація задачі та базис інформаційної технології інтерактивного навчання	24
2.2. Математичне забезпечення методу	32
2.3. Етапи виконання методу	43
2.4 Висновки до розділу 2	50
РОЗДІЛ 3. ВЕРИФІКАЦІЯ МЕТОДУ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ.....	52
3.1. Обґрунтування вибору мови програмування	52
3.2. Програмна реалізація розробленого методу	61
3.3. Експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів.....	72
3.4. Висновки до розділу 3	80
ВИСНОВКИ.....	82
ЛІТЕРАТУРА.....	84
ДОДАТОК А.....	87
ДОДАТОК Б.....	92
ДОДАТОК В	95

Вступ

Актуальність. Сучасні тенденції розвитку освіти в умовах цифрової трансформації суспільства зумовлюють необхідність переходу від традиційних форм навчання до інтерактивних інформаційних технологій. Такі технології забезпечують активну участь студента в навчальному процесі, гнучку адаптацію змісту та методів навчання до індивідуальних особливостей користувача, а також підвищення якості засвоєння знань. Проте більшість існуючих систем інтерактивного навчання характеризуються фрагментарністю, відсутністю цілісної методології побудови та обмеженими можливостями адаптації до потреб користувача.

Актуальність теми зумовлена потребою у створенні методу розробки інформаційної технології інтерактивного навчання, який би забезпечував системний підхід до проєктування, формалізацію процесів взаємодії між користувачем і системою, а також ефективну інтеграцію аналітичних та адаптивних механізмів навчання. Розроблення такого методу сприятиме підвищенню ефективності дистанційної та змішаної освіти, що особливо важливо в умовах постійного оновлення знань і розширення цифрового освітнього простору. На сьогодні розроблено низку моделей інтерактивного навчання, зокрема системи адаптивного навчання на основі штучного інтелекту, мультимедійні освітні платформи, системи гейміфікованого навчання та доповненої реальності. Однак ці рішення здебільшого орієнтовані на окремі аспекти навчального процесу - управління контентом, тестування чи комунікацію між учасниками - і не мають єдиного методичного підґрунтя для створення комплексних інтерактивних систем. Недостатня інтеграція аналітичних засобів, відсутність універсальних критеріїв оцінки ефективності та методів побудови адаптивної логіки взаємодії з користувачем знижують результативність таких технологій.

Отже, постає завдання розроблення узагальненого методу, який дозволить формалізувати процес створення інтерактивної інформаційної технології,

забезпечуючи її адаптивність, аналітичну обґрунтованість та можливість масштабування.

Мета роботи - підвищення ефективності інтерактивного навчання шляхом створення методу розробки інформаційної технології, що забезпечує інтелектуальну адаптацію, автоматизований зворотний зв'язок і підтримку індивідуальних навчальних траєкторій.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі задачі:

- Виконати аналіз існуючих рішень у галузі інтерактивного навчання та визначити їхні переваги й недоліки;
- Побудувати метод розробки інформаційної технології інтерактивного навчання з урахуванням адаптивності, персоналізації та аналітичних можливостей;
- Розробити програмне забезпечення та провести експериментальні дослідження для підтвердження ефективності запропонованого методу.

Галузь застосування. Результати роботи можуть бути використані у сфері освіти - у вищих навчальних закладах, корпоративних навчальних середовищах, системах підвищення кваліфікації та дистанційного навчання. Запропонований метод може стати основою для створення сучасних освітніх платформ, які поєднують адаптивність, інтерактивність і аналітичну підтримку.

Об'єкт дослідження - процес організації інтерактивного навчання в інформаційних освітніх системах.

Предмет дослідження - метод розробки інформаційної технології інтерактивного навчання, що забезпечує адаптивну взаємодію та автоматизований зворотний зв'язок.

Методи дослідження ґрунтуються на системному підході, методах моделювання інформаційних процесів, теорії штучного інтелекту, аналізі даних і методах об'єктно-орієнтованого програмування для розроблення прототипу системи.

Наукова новизна отриманих результатів: отримав подальший розвиток метод розробки інформаційної технології інтерактивного навчання, що, на відміну від

відомих, за рахунок інтеграції математичних моделей емоційно-мотиваційної взаємодії, формалізованого опису гейміфікаційних стимулів та використання динамічно згенерованого контенту на основі штучного інтелекту, забезпечує формалізацію етапів її створення, структурну адаптивність та інтеграцію інтелектуальних механізмів аналізу поведінки користувачів.

Практичне значення отриманих результатів

- розроблено програмне забезпечення QuestLearn - інтерактивну гейміфіковану освітню систему, яка реалізує адаптивні механізми навчання, генерацію навчального контенту засобами штучного інтелекту, гейміфікаційні стимули та аналітичний супровід прогресу користувача.
- Сформовано рекомендації щодо впровадження адаптивних, гейміфікаційних та аналітичних компонентів у структуру сучасних навчальних платформ.
- Отримані результати можуть бути використані під час модернізації наявних LMS (Learning Management Systems), створення інтерактивних освітніх застосунків, а також при розробленні цифрових платформ для самостійного та дистанційного навчання.

Апробація результатів.

Апробація отриманих результатів. Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародній науковій інтернет-конференції "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 105), 11-12 грудня 2025 р. (м. Київ)

Посилання: konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-2399/

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У ГАЛУЗІ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ

1.1. Постановка завдання та проблематика інтерактивного навчання

Розвиток сучасного суспільства визначається швидкими темпами цифрової трансформації та впровадженням інформаційно-комунікаційних технологій у всі сфери людської діяльності, зокрема у сферу освіти. Одним із найважливіших напрямів такого впровадження є створення систем інтерактивного навчання, які забезпечують ефективну взаємодію між викладачем і студентом, сприяють підвищенню мотивації до навчання та покращують якість засвоєння знань.

Традиційна модель освіти, орієнтована на пасивне сприйняття інформації, дедалі більше поступається місцем новим підходам, у яких ключову роль відіграє активна участь студента. Сучасний студент не просто споживає знання - він має бути залучений до процесу їхнього здобуття, аналізу та практичного застосування. Саме це визначає актуальність дослідження методів і технологій, що забезпечують інтерактивний характер навчального процесу.

Метою даного дослідження є розроблення методу створення інформаційної технології інтерактивного навчання, яка дозволить підвищити ефективність освітнього процесу за рахунок інтеграції адаптивних, комунікативних і аналітичних механізмів взаємодії між користувачами системи.

В останні роки спостерігається активне впровадження дистанційного та змішаного навчання, що зумовило зростання інтересу до розробки інтерактивних освітніх середовищ. Такі середовища мають забезпечувати не лише доступ до навчальних матеріалів, а й створювати умови для постійного зворотного зв'язку, комунікації та спільної діяльності учасників освітнього процесу.

Однак, аналіз існуючих рішень показує, що більшість із них мають низку обмежень. Зокрема, системи часто не враховують індивідуальні особливості користувачів, не забезпечують динамічну адаптацію контенту під рівень підготовки

студента, а також не мають інтегрованих засобів оцінювання ефективності навчання. Крім того, розрізненість технологічних платформ ускладнює побудову єдиного інтерактивного середовища.

Таким чином, актуальним є завдання розробки методу, який дозволить системно підходити до створення інформаційних технологій інтерактивного навчання, забезпечуючи комплексність, адаптивність і керованість освітнього процесу.

Інтерактивна система навчання, як правило, має багаторівневу архітектуру, що поєднує педагогічні, інформаційні та програмно-технічні компоненти. Типова структура такої системи може бути представлена у вигляді таких основних підсистем:

- Підсистема користувачів – включає викладачів, студентів, адміністраторів, а також потенційно - зовнішніх експертів чи аналітиків.

- Підсистема управління навчальним контентом – забезпечує створення, редагування та оновлення навчальних матеріалів, а також їх адаптацію під конкретні курси чи дисципліни.

- Підсистема інтерактивної взаємодії – реалізує механізми комунікації (чати, форуми, відеоконференції), спільну роботу над завданнями, тестування та інші елементи активного залучення студентів.

- Аналітична підсистема – відповідає за збір, обробку та аналіз даних щодо успішності студентів, рівня активності, відвідуваності та динаміки засвоєння матеріалу.

- Підсистема зворотного зв'язку – дозволяє користувачам оцінювати якість навчального процесу, отримувати рекомендації та індивідуальні завдання.

Технічна підсистема – охоплює серверну частину, бази даних, засоби безпеки та мережеву інфраструктуру. Така структура дозволяє системі забезпечити повний цикл навчального процесу - від планування курсу до оцінювання результатів і формування звітів про навчальні досягнення.

У науково-прикладній літературі існує декілька підходів до класифікації систем інтерактивного навчання. Найчастіше їх поділяють за такими ознаками:

За формою взаємодії користувача з системою:

- Діалогові системи (текстові або голосові інтерфейси);
- Графічно-орієнтовані системи (з використанням візуалізацій, 3D-моделей, симуляцій);
- Мультимедійні системи (інтерактивні презентації, навчальні відео, ігрові елементи).

За архітектурою побудови:

- Клієнт-серверні системи (типові для LMS - Learning Management Systems);
- Хмарні інтерактивні середовища (Google Classroom, MS Teams, Canvas);
- Мобільні інтерактивні системи (додатки для смартфонів та планшетів).

За ступенем адаптивності:

- Статичні системи, які пропонують однаковий контент усім користувачам;
- Адаптивні системи, що підлаштовують навчальний матеріал під рівень знань і поведінку студента;
- Інтелектуальні системи, які використовують штучний інтелект для формування індивідуальних траєкторій навчання.

За рівнем інтерактивності:

- Базові системи (тести, форми зворотного зв'язку);
- Системи середнього рівня інтерактивності (онлайн-дискусії, спільні проекти);
- Високорівневі інтерактивні системи (симулятори, VR/AR-тренажери, адаптивні платформи).

Попри значну кількість реалізованих систем, їх аналіз дозволяє виокремити кілька спільних недоліків, що обмежують ефективність інтерактивного навчання:

- Фрагментарність реалізації. Багато систем вирішують лише окремі завдання (наприклад, тестування чи відеоконференції), не забезпечуючи цілісного навчального процесу.

- Відсутність єдиного методу розробки. Кожен розробник реалізує власний підхід, що ускладнює стандартизацію та повторне використання рішень.
- Низький рівень персоналізації. Переважна більшість систем надає однаковий контент усім студентам, не враховуючи їхню попередню підготовку, стиль навчання чи темп роботи.
- Недостатня інтеграція аналітичних інструментів. Системи рідко містять засоби збору та інтерпретації даних про успішність і активність користувачів у реальному часі.
- Складність адаптації до нових педагогічних методик. Через жорстку структуру платформи важко вносити зміни у сценарії навчання, розширювати функціонал або інтегрувати нові сервіси.
- Високі вимоги до технічних ресурсів. Деякі рішення потребують потужної інфраструктури, що робить їх малопридатними для малих навчальних закладів.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок, що існуючі рішення у сфері інтерактивного навчання мають низку суттєвих недоліків, зокрема низьку гнучкість, недостатню адаптивність та відсутність системного підходу до розробки.

Отже, недостатня ефективність відомих рішень класифікації інтерактивних систем навчання полягає у їх обмежених можливостях з точки зору адаптивності, персоналізації, масштабованості та аналітичної підтримки. Це створює необхідність розроблення нового методу, який дозволить підвищити якість інтерактивного навчання через оптимальне поєднання педагогічних принципів і сучасних інформаційних технологій.

1.2. Аналіз науково-прикладних робіт в області інтерактивного навчання

У статті [1] автори розглядають застосування штучного інтелекту для персоналізованого та адаптивного навчання у вищій освіті. Автори пропонують архітектуру інтелектуального асистента (АПА), який забезпечує автоматичне

формування навчальних матеріалів, рекомендацій і тестів на основі аналізу поведінки студентів. Система використовує алгоритми обробки природної мови (NLP), машинного навчання та інтегрується з навчальними платформами (LMS). У роботі описано основні модулі асистента: діалоговий інтерфейс, керування навчальними траєкторіями, генерацію завдань і аналітичний блок. Автори зазначають, що застосування такого інструмента підвищує ефективність навчання, зменшує когнітивне навантаження та створює індивідуальні освітні маршрути. Результати свідчать про потенціал системи у формуванні персоналізованого середовища, хоча кількісні експерименти поки що обмежені. До переваг роботи належать системний підхід і практична орієнтація, оскільки архітектура може бути використана для створення аналогічних інтерактивних технологій. Водночас автори не подають достатньо емпіричних даних та детального опису алгоритмів, а також не розглядають питання захисту персональних даних.

У дослідженні [2] автори розглядають вплив емоційної підтримки та елементів гри (playfulness) на ефективність навчання німецької мови в інтерактивному середовищі. Дослідження проведено на великій вибірці китайських користувачів ($N = 2377$) із застосуванням рольової бібліотечної системи, де взаємодія з системою передбачала комунікацію з NPC (неігровими персонажами), які надавали підтримку та стимулювали процес навчання. Основними завданнями були з'ясування того, чи підвищує емоційна підтримка від NPC зацікавленість і намір продовжувати навчання, а також чи позитивно впливає сприйняття гри на навчальні результати. Методологія включала онлайн-опитування з шкалою сприйняття гри («playfulness»), емоційної підтримки, інтересу до навчання та наміру продовжувати навчання. Аналіз даних дозволив побудувати модель емоційного навчання (Emotion-driven Learning Model, ELM) і перевірити гіпотези щодо впливу зазначених чинників. Результати свідчать, що NPC-підтримка значно підвищує інтерес до навчання і сприяє більш високому наміру учнів продовжити заняття; також сприйняття гри як приємного й цікавого елементу системи корелювало з кращими результатами навчання. Автори

підкреслюють, що дизайн інтерактивних навчальних систем має передбачати не лише функціональність, а й емоційний та ігровий компонент, що може суттєво вплинути на мотивацію користувачів. Сильними аспектами дослідження є велика вибірка, чітка модель аналізу та зосередження на психологічних чинниках, які часто залишаються поза увагою при розробці інтерактивних освітніх технологій. Проте робота має й обмеження: вона зосереджена на навчанні мови в специфічному культурному контексті (Китай), що може знижувати загальну узагальненність результатів; також не представлено глибшого статистичного аналізу довгострокового впливу системи на засвоєння матеріалу.

У статті [3] досліджено, як взаємодія зі «штучними» освітніми чат-ботами впливає на емоції студентів і їхню мотивацію до навчання. Автори провели експеримент за участю 62 студентів, поділивши їх на дві групи: одну групу чатбот (ЕС) забезпечував метакогнітивним зворотним зв'язком, іншу - нейтральним. Дослідження показало, що тип зворотного зв'язку має вплив на викликані емоції та, відповідно, на мотивацію до навчання: студенти, які отримували метакогнітивний зворотній зв'язок, демонстрували вищий рівень позитивних емоцій і мотивації. Автори підкреслюють, що при проєктуванні інтерактивних систем навчання (і, зокрема, чатботів) важливо враховувати емоційний компонент - не просто технічну функціональність. До сильних сторін роботи належать чітка експериментальна конструкція і фокус на емоціях як проміжному чиннику між технологією і навчанням. Водночас існують певні обмеження: вибірка досить мала (62 учасники), контекст обмежений конкретним навчальним курсом (біологія) і немає довгострокового моніторингу зміни успішності.

У статті [4] автори розглядають можливості вдосконалення процесу навчання за рахунок використання адаптивних освітніх технологій. Дослідження проведено на базі інженерного факультету Tecnológico de Monterrey та спрямоване на оцінку ефективності поєднання адаптивного підходу з сучасними освітніми методиками - такими як flipped classroom (перевернутий клас), self-regulated learning

(самоорганізоване навчання) та micro-learning (мікронавчання). Автори відзначають, що традиційні підходи до викладання часто не враховують індивідуальні особливості студентів, різницю у швидкості засвоєння матеріалу та рівні підготовки. Тому впровадження адаптивної стратегії навчання, де система підлаштовується під конкретного користувача, має значний потенціал. У межах дослідження було створено інтерактивну онлайн-платформу, яка на основі поточних результатів студентів пропонувала індивідуальні траєкторії навчання. Викладачі отримували аналітичні звіти про прогрес кожного студента, що дозволяло своєчасно втручатися у процес і надавати цілеспрямовану підтримку. Результати експерименту показали, що використання адаптивної стратегії сприяло підвищенню академічної успішності, зростанню рівня мотивації, а також зменшенню кількості студентів, які не завершують курс. Крім того, студенти відзначили, що такий формат робить навчання більш приємним, гнучким і наближеним до реальних потреб. Викладачі, у свою чергу, підкреслили переваги автоматизованого збору даних і можливість індивідуальної роботи з учнями. Попри позитивні результати, автори наголошують на певних обмеженнях: дослідження проводилось у межах однієї дисципліни та одного навчального закладу, тому узагальнення висновків потребує подальших перевірок. Також зазначено, що інтерактивність системи поки що має технічний характер і не повністю враховує емоційно-мотиваційні аспекти навчання.

У статті [5] автори досліджують, як технології адаптивного навчання, персоналізований зворотний зв'язок та інтерактивні інструменти ІІІ впливають на залученість студентів, а також якою мірою цей вплив модерується цифровою грамотністю. Дослідження охоплює близько 500 студентів із різних факультетів (науки, інженерії, гуманітарних та соціальних наук). Основною метою є з'ясувати, чи справді адаптивні технології, які підлаштовують контент під учня, а також інтерактивні сервіси ІІІ (наприклад чат-боти, системи рекомендацій) підвищують академічну залученість, і чи залежить ефективність цього підвищення від рівня цифрової грамотності студента. Методологія передбачає використання опитування,

що охоплює: – досвід застосування адаптивних технологій; – якість персоналізованого зворотного зв'язку; – рівень використання інтерактивних ШІ-інструментів; – самовідчуття цифрової грамотності; – рівень залученості (емоційної, поведінкової, когнітивної). Результати показують, що адаптивні технології, персоналізований зворотний зв'язок і інтерактивні ШІ-інструменти мають позитивний вплив на залученість студентів. Водночас, студенти з високим рівнем цифрової грамотності отримують значно більший ефект порівняно з тими, хто має низький рівень цієї грамотності. Серед сильних аспектів роботи: великий обсяг вибірки, охоплення різних факультетів, чітка модель взаємозв'язків між технологіями, цифровою грамотністю та залученістю. Серед обмежень: припущення самозвіту-опитування (можливі викривлення), відсутність довгострокового моніторингу впливу, а також те, що цифрова грамотність розглядається як модератор, але не глибоко досліджуються способи її підвищення в рамках системи.

У статті [6] автори розглядають застосування технологій комп'ютерного зору для побудови адаптивного середовища навчання STEM- напрямку. Метою дослідження було створення системи RASEDS (Real-time Automated STEM Engagement Detection System), яка за допомогою алгоритму YOLOR аналізує взаємодію студентів (візуальні дані, рухи) і класифікує їхню активність відповідно до рамки ICAP (Interactive, Constructive, Active, Passive). На основі цих даних система автоматично підбирає адаптивні навчальні матеріали, що мають підвищити як залучення (engagement), так і самоефективність (self-efficacy) студентів. Результати показали, що RASEDS успішно ідентифікувала рівні залученості студентів, а застосування адаптивних матеріалів призвело до статистично значущого підвищення як залученості, так і самоефективності в STEM-завданнях. Сильні сторони дослідження: інтеграція сучасних AI/комп'ютерного зору-технологій із педагогічним підходом; конкретна реалізація для STEM-курсів; увага до зв'язку між технологією та психологічними чинниками (самоефективність). Обмеження: дослідження обмежене STEM-контекстом (можливо не так релевантне для гуманітарних дисциплін); не

зазначено великої довготривалої перевірки впливу на академічні результати за межами експерименту; також можуть бути питання приватності та етики використання відео/зору студентів.

У статті [7] аналізується вплив різних інтерактивних методів навчання на ефективність дистанційного та змішаного навчання. Дослідження включає ~30 000 опитувань студентів (~4 800 студентів) із 1 265 курсів, викладених 385 викладачами, і використовує як класичні статистичні, так і моделі штучного інтелекту. Автори виявили, що інтенсивне використання інтерактивних методів (наприклад: короткі тести впродовж занять, опитування, інтерактивні вправи) корелює з вищим рівнем чіткості викладання та вищими оцінками курсу з боку студентів. Крім того, важливим є не лише «кількість» інтерактивних методів, але й їх «різноманітність» - комбінація різних форм взаємодії значно покращує сприйняття курсу. Сильні сторони роботи: велика й репрезентативна вибірка, реальні дані з різних курсів та використання сучасних методів аналізу даних; слабкі: опитування - самозвіт студентів (можливі спотворення), фокус на сприйнятті викладання, а не напряду на результатах навчання (наприклад, на оцінках чи тривалому ефекті).

У статті [8] автори досліджують застосування технології доповненої реальності (AR) для навчання мови з адаптивним супроводом. Мета дослідження - оцінити, як два чинники адаптивного супроводу - кількість адаптивного гідуювання (fixed vs adaptive-amount) і тип асоціацій у гідуюванні (fixed vs adaptive-associations) - впливають на залученість (engagement) і результати навчання (immediate & delayed recall) у середовищі AR. Результати показали: група з адаптивними асоціаціями (adaptive-associations) перевищила групу з фіксованими асоціаціями в тестах як одразу, так і через 7 діб, при цьому демонструючи нижчі рівні ментального навантаження і витраченого часу. З іншого боку - група з адаптивною кількістю гідуювання не перевершила групу з фіксованою кількістю в recall-тестах, хоча мала нижче ментальне навантаження. Сильні сторони цього дослідження: інноваційність у застосуванні AR і адаптивного супроводу, увага до залученості і навантаження як параметрів навчання;

слабкі - обмежений контекст (мовне навчання, AR-середовище) і можлива складність масштабування.

У статті [9] автори досліджують застосування адаптивної інтелектуальної системи (Learning Intelligent System, LIS) у повністю онлайн-освітньому середовищі. Дослідження проводилося на базі двох курсів першого року бакалаврату із економіки та бізнесу в Universitat Oberta de Catalunya, за участі 552 студентів. Метою було покращення навчальної успішності, зменшення відсіву та забезпечення ефективного зворотного зв'язку завдяки системі, що прогнозує ризики (Early Warning System) і надає рекомендації. Результати показали, що після впровадження LIS студенти демонстрували кращі результати порівняно з попередніми семестрами, а самі користувачі оцінювали систему як корисну і готові були її використовувати й надалі. Сильними сторонами роботи є реальна практична апробація в онлайн-університеті, значна вибірка, фокус на аналізі участі та прогнозуванні ризиків. Недоліки - дослідження обмежене двома курсами та однією установою, і не включає глибокого аналізу довгострокового впливу системи.

У статті [10] автори аналізують, як системи адаптивного навчання на базі штучного інтелекту (AI/ML) використовуються в електронному навчанні. Дослідження охоплює 63 наукових статті, опубліковані з 2010 року, і має на меті з'ясувати, яким чином алгоритми машинного навчання застосовуються в adaptive learning-системах, які переваги вони дають та з якими викликами стикаються. Згідно з висновками, системи на базі AI/ML сприяють персоналізації навчального досвіду, підвищують залученість студентів і можуть покращувати академічні результати. Водночас автори вказують на суттєві бар'єри - серед них питання приватності, складність інтеграції AI-моделей і нестача стандартизованих методик оцінки ефективності.

На основі аналізу 10 науково-прикладних робіт (джерела [1]–[10]), можна виокремити п'ять основних критеріїв оцінки ефективності рішень у сфері

інтерактивного навчання, які узагальнюють підходи, результати та обмеження розглянутих досліджень (табл.1.1).

Таблиця 1.1 - критеріїв оцінки ефективності рішень

Назва критерію	Опис критерію
Рівень персоналізації навчального процесу (K1)	наскільки система здатна адаптувати контент, темп, складність і форму подачі матеріалу під індивідуальні особливості студента
Рівень залученості та мотивації користувачів (K2)	відображає, наскільки система сприяє активній участі, емоційному включенню та довготривалому інтересу до навчання
Якість і своєчасність зворотного зв'язку (K3)	наскільки швидко, точно й персоналізовано система реагує на дії користувача, надаючи рекомендації, підказки або оцінки
Технологічна та методична інтегрованість (K4)	відображає, наскільки легко систему можна впровадити у різні освітні середовища та поєднати з традиційними методами навчання
Вимірювані результати навчання та їх сталість (K5)	оцінює, чи демонструють користувачі покращення знань, навичок або показників успішності, а також чи зберігаються ці результати у довгостроковій перспективі

Таблиця 1.2 - таблиця оцінки ефективності відомих методів

Джерело	K1	K2	K3	K4	K5	Узагальнена оцінка
[1]	5	4	4	5	4	4.4
[2]	3	5	3	4	4	3.8
[3]	4	4	5	3	3	3.8
[4]	5	4	4	4	5	4.4
[5]	4	4	4	4	4	4.0
[6]	5	4	4	5	5	4.6
[7]	3	5	3	4	4	3.8
[8]	4	4	3	4	4	3.8
[9]	5	4	5	5	5	4.8
[10]	5	4	4	5	4	4.4

Висновки з таблиці 1.2. Найвищу загальну оцінку отримали системи LIS [9] та RASEDS [6], які поєднують сучасні AI-технології, адаптивність і реальне вимірювання результатів. Методи, що фокусуються лише на емоційній або ігровій складовій [2, 3, 7, 8], демонструють високий рівень залученості, але нижчу технологічну інтегрованість та стабільність результатів. Загальна тенденція - найефективніші рішення поєднують AI-аналітику, адаптивність, емоційну взаємодію та зворотний зв'язок у реальному часі.

1.3. Оцінка перспективних рішень для створення інформаційної технології інтерактивного навчання

У попередніх підрозділах було визначено, що більшість існуючих систем інтерактивного навчання мають такі ключові недоліки:

- обмежену адаптивність і слабку персоналізацію освітнього процесу;
- недостатню інтеграцію емоційно-мотиваційних компонентів;
- неефективний або затриманий зворотний зв'язок;
- відсутність єдиної аналітичної системи оцінки успішності;
- складність масштабування та впровадження в різні освітні контексти.

З огляду на це, оцінка перспективних рішень повинна базуватися на визначених раніше критеріях: персоналізація, залученість, зворотний зв'язок, інтегрованість і вимірюваність результатів. На основі проведеного аналізу [1–10] можна виокремити низку перспективних напрямів, застосування яких дозволяє суттєво підвищити ефективність майбутньої інформаційної технології інтерактивного навчання.

1. Використання штучного інтелекту для персоналізації навчання.

Сучасні дослідження [1], [4], [9], [10] демонструють, що застосування технологій AI/ML у навчанні дозволяє автоматично аналізувати стиль навчання, прогрес, сильні та слабкі сторони студента. Перспективним рішенням є впровадження інтелектуального модуля адаптації контенту, який у реальному часі формуватиме індивідуальні траєкторії навчання. Така модель дозволяє усунути недолік традиційних систем - їхню статичність та відсутність персоналізації. Додатково AI може застосовуватись для динамічного оцінювання знань і рекомендаційного супроводу, що суттєво підвищує ефективність зворотного зв'язку.

2. Інтеграція емоційно-мотиваційних компонентів і елементів ігрового дизайну

Аналіз робіт [2], [3], [7], [8] довів, що мотиваційна складова має прямий вплив на залучення та тривалість навчання. Перспективним напрямом є розробка емоційно чутливої навчальної системи, здатної розпізнавати емоційний стан користувача (за допомогою NLP, біометричних чи візуальних сигналів) і коригувати навчальний процес відповідно. Також важливим є використання елементів гейміфікації - рівнів, нагород, прогрес-барів, віртуальних аватарів. Це сприяє внутрішній мотивації користувачів та усуває проблему низької емоційної залученості.

3. Реалізація інтелектуального зворотного зв'язку в реальному часі

Одним із головних обмежень існуючих систем є затримка в отриманні зворотного зв'язку або його формальний характер. На основі рішень [3, 5, 9] перспективним є створення інтелектуальної аналітичної підсистеми зворотного зв'язку, яка поєднує автоматизовану оцінку результатів, пояснення помилок і рекомендації щодо їх виправлення.

Такі підходи дозволяють підвищити когнітивну активність студента, стимулюють саморефлексію та підвищують якість навчального процесу.

4. Використання технологій комп'ютерного зору та доповненої реальності

У роботах [6] і [8] показано ефективність застосування комп'ютерного зору та AR-технологій для підвищення інтерактивності навчального середовища. Інтеграція таких рішень дозволяє створювати адаптивні середовища з високим рівнем занурення, де навчальний матеріал сприймається через взаємодію з віртуальними об'єктами. Поєднання з аналітикою поведінки (eye-tracking, gesture recognition) дає можливість автоматично оцінювати рівень залученості користувача та підлаштовувати сценарій навчання.

5. Хмарна архітектура та аналітичні панелі для оцінки ефективності

Враховуючи потребу в масштабованості та універсальності, доцільно впроваджувати модульну хмарну архітектуру, аналогічну до підходів, описаних у [9], [10]. Такі рішення забезпечують легку інтеграцію з LMS, підтримку спільної роботи викладачів і студентів, а також аналітичні панелі (dashboards) для візуалізації прогресу, динаміки успішності й оцінки ефективності навчального процесу. Це дозволить усунути недоліки традиційних систем, пов'язані з відсутністю прозорого моніторингу результатів і труднощами масштабування.

6. Синергетичний підхід до проєктування інтерактивної системи

Найефективніші рішення поєднують кілька технологічних напрямів: AI-аналітику, гейміфікацію, адаптивний контент і автоматичний зворотний зв'язок. Тому перспективною є синергетична архітектура інтерактивної системи, що поєднує:

- інтелектуальний модуль персоналізації;
- підсистему емоційного аналізу;
- адаптивний контент-генератор;
- модуль аналітики ефективності;
- багатоканальний інтерфейс взаємодії (веб, мобільний, AR/VR).

Така інтегрована модель усуває більшість недоліків відомих рішень, забезпечуючи гнучкість, масштабованість, психологічний комфорт і вимірювану результативність навчання.

Отже, перспективні рішення для створення інформаційної технології інтерактивного навчання мають орієнтуватися на інтелектуальну адаптацію, емоційно-когнітивну підтримку та аналітичну прозорість процесу навчання. Застосування цих підходів дозволить виправити недоліки існуючих систем, підвищити ефективність навчального процесу та створити гнучке середовище, здатне реагувати на індивідуальні потреби кожного користувача.

1.4 Висновки до розділу 1

У першому розділі було досліджено сучасний стан розвитку інтерактивного навчання, окреслено актуальну науково-практичну проблему та сформульовано завдання магістерської роботи. Установлено, що традиційні освітні моделі не забезпечують достатньої адаптивності, персоналізації та високого рівня інтерактивності, що знижує їх ефективність у умовах цифрової трансформації та зростання вимог до індивідуалізації навчального процесу.

Проаналізовано типову структуру інтерактивних навчальних систем, яка включає підсистеми управління користувачами, керування навчальним контентом, забезпечення інтерактивної взаємодії, збору та інтерпретації аналітичних даних, а також технічної інфраструктури. Проведено класифікацію існуючих рішень за такими ознаками, як форма та інтенсивність взаємодії, архітектурні підходи, ступінь адаптивності та рівень інтерактивності.

На основі аналізу наукових і прикладних праць визначено низку характерних проблем сучасних освітніх систем: недостатню кількість емпіричних даних щодо ефективності використаних методів, слабо розвинені механізми персоналізації, відсутність структурованих підходів до проєктування інтерактивних платформ, а також недостатню інтеграцію аналітики та показників якості навчання в єдине адаптивне середовище.

Для систематизації отриманих результатів було сформовано п'ять ключових критеріїв ефективності інтерактивних навчальних технологій:

1. персоналізація навчального процесу;
2. рівень залученості й мотивації користувачів;
3. якість і своєчасність зворотного зв'язку;
4. технологічна та методична інтегрованість;
5. вимірюваність результатів навчання та їх стійкість.

Підсумовуючи викладене, можна зробити висновок, що наявні інтерактивні рішення не повною мірою задовольняють сучасні вимоги до гнучкого, адаптивного та вимірюваного навчального середовища. Це обґрунтовує потребу у розробленні нового методу створення інформаційної технології інтерактивного навчання, здатного врахувати визначені критерії та усунути виявлені недоліки. Перехід до розділу 2 є логічним продовженням дослідження та спрямований на формалізацію цього методу - від постановки задачі до математичного забезпечення та поетапного процесу реалізації.

РОЗДІЛ 2. МЕТОД РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ

2.1. Формалізація задачі та базис інформаційної технології інтерактивного навчання

Сучасні інформаційні технології навчання вже давно перестали бути просто інструментами дистанційної передачі знань. Вони еволюціонували у складні інтерактивні екосистеми, ключовим призначенням яких є формування стійкої навчальної мотивації, підтримка емоційного стану користувача, активізація пізнавальної діяльності та забезпечення індивідуального підходу до кожного студента.

У цьому контексті виникає потреба у методі, що формалізує процес створення інтерактивної інформаційної технології, орієнтованої на гейміфікацію та емоційну підтримку. Такий метод має визначати логіку побудови системи, структуру її підсистем, взаємодію між компонентами, математичну основу та формальні правила адаптації до користувача.

Подальший виклад присвячений створенню методологічного базису, який дозволяє системно підійти до розробки інтерактивної гейміфікованої освітньої технології.

Проблематика сучасного цифрового навчання полягає у тому, що більшість систем націлені лише на передачу матеріалу та контроль знань, не беручи до уваги емоційну динаміку студента, рівень внутрішньої мотивації, когнітивне навантаження та індивідуальні потреби.

Ефективність навчання, згідно з дослідженнями з педагогічної психології, залежить не лише від змісту матеріалу, а й від:

- рівня емоційної включеності;
- почуття прогресу;

- швидкості отримання зворотного зв'язку;
- задоволення від процесу;
- наявності гейміфікованих стимулів;
- персоналізованих рекомендацій.

Отже, формально задача полягає у створенні інтерактивної інформаційної технології S , яка максимально адаптується до користувача і підтримує його мотивацію впродовж навчання.

Метод розробки M можна визначити як:

$$M : (P, E, T) \rightarrow S, \quad (2.1)$$

де:

P - множина педагогічних вимог;

E - множина емоційно-мотиваційних параметрів;

T - множина технологічних інструментів;

S - проектована система.

Це означає, що метод перетворює педагогічні цілі, емоційні фактори та технологічні можливості на структуровану освітню систему.

Узагальнена структура інтерактивної системи з емоційно-мотиваційною підтримкою. Система включає п'ять основних підсистем:

- Підсистема навчального контенту (C)
- Підсистема інтерактивної взаємодії (I)
- Підсистема гейміфікації (G)
- Підсистема емоційного аналізу (A)
- Аналітична підсистема (D)

Формально:

$$S = (C, I, G, A, D), \quad (2.2)$$

Кожна підсистема виконує своє функціональне призначення, але повноцінний ефект виникає лише при їх синхронній взаємодії.

Підсистема навчального контенту (С)

Навчальний контент повинен бути структурованим, адаптивним і багаторівневим.

Контент подається у вигляді множини модулів:

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}, \quad (2.3)$$

де кожен модуль має атрибути:

- складність;
- форма подання (текст, відео, інтерактивний симулятор);
- тривалість;
- вимоги до попередніх знань.

Кожен елемент контенту має функцію адаптації:

$$c_i(t + 1) = f(c_i(t), K_u, E_u, M_u), \quad (2.4)$$

де:

K_u - знання користувача;

E_u - його емоційний стан;

M_u - рівень мотивації.

Підсистема інтерактивної взаємодії (І)

Інтерактивна складова забезпечує активну участь студента у навчальному процесі.

Основні форми:

- симуляційні завдання;
- інтерактивні візуалізації;
- задачі з адаптивним сценарієм;
- мікровправи;
- діалогові модулі.

Інтерактивність описується функцією:

$$I_u = g(K_u, A_u, t), \quad (2.5)$$

де

A_u - активність користувача,

t - час.

Чим активніше студент взаємодіє з системою, тим сильніша емоційна прив'язка до процесу.

Підсистема гейміфікації (G)

Гейміфікація - центральний компонент, що підтримує мотивацію.

Вона включає:

- рівні;
- досвід (XP);
- досягнення;
- нагороди;
- місії;
- рейтинги;
- щоденні завдання.

Таблиця 2.1

Елементи гейміфікації та їх функції

Елемент	Позначення	Функція
Досвід	XP	Забезпечує прогрес
Рівень	L	Визначає доступ до складності
Нагороди	R	Підсилюють мотивацію
Досягнення	H	Формують відчуття успіху
Місії	Q	Створюють локальні цілі
Змагання	Z	Підвищують включеність

Формальні моделі гейміфікації

Прогрес:

$$XP_{t+1} = XP_t + \Delta XP, \quad (2.6)$$

де

XP_t - поточна кількість досвіду на момент t

$XP_{(t+1)}$ - кількість досвіду після оновлення

ΔXP - приріст досвіду за виконану дію

Рівень:

$$L_u = \lfloor \sqrt{XP_u} \rfloor. \quad (2.7)$$

де

L_u – рівень користувача

XP_u – накопичений досвід користувача

Функція мотивації:

$$M_u = \alpha XP_u + \beta R_u + \gamma Z_u. \quad (2.8)$$

де

M_u - мотиваційний показник користувача

XP_u - накопичений досвід

R_u - кількість отриманих винагород

Z_u - показник активності користувача

α, β, γ - вагові коефіцієнти

Підсистема емоційного аналізу (A). Емоції подаються у вигляді вектора:

$$E_u = (e_1, e_2, \dots, e_n). \quad (2.9)$$

де кожен компонент - окремий емоційний параметр: інтерес; втома; напруження; стрес; задоволення; впевненість.

Емоційний стан впливає: на складність завдань; на форму подання матеріалу; на частоту підказок; на темп навчання. Система повинна підтримувати оптимальний діапазон емоцій:

$$E_{min} \leq E_u(t) \leq E_{max}. \quad (2.10)$$

де

$E_u(t)$ - емоційний стан користувача в момент часу t

E_{min} - мінімально допустиме значення емоційного стану

E_{max} - максимально допустиме значення емоційного стану

Аналітична підсистема (D) забезпечує збір і обробку даних:

$$D = h(C, I, G, A). \quad (2.11)$$

Де

D - складність навчального завдання;

C - характеристики контенту;

I - показник індивідуальних особливостей користувача;

G - гейміфікаційні параметри;

A - показники активності користувача.

Функції: виявлення відставання; прогнозування успішності; оцінка активності; побудова профілів користувачів; виявлення ризику зниження мотивації.

Інформаційні потоки системи. Позначимо потоки:

f_C - контент;

f_I - інтерактив;

f_G - гейміфікація;

f_A - емоції;

f_D - аналітика.

$$F = \{f_C, f_I, f_G, f_A, f_D\}. \quad (2.12)$$

Для наочності структурні та функціональні зв'язки між основними компонентами запропонованого методу доцільно представити у вигляді узагальненої архітектури потоків інформації. Така схема відображає взаємодію навчального контенту з підсистемами інтерактивної взаємодії, гейміфікаційними механізмами, емоційним аналізом та аналітичною підсистемою. Саме ця взаємодія визначає адаптивність і динамічність роботи інформаційної технології та формує основу подальших математичних моделей, описаних у підрозділах 2.2 та 2.3. Узагальнена структура системи наведена на рис. 2.1.

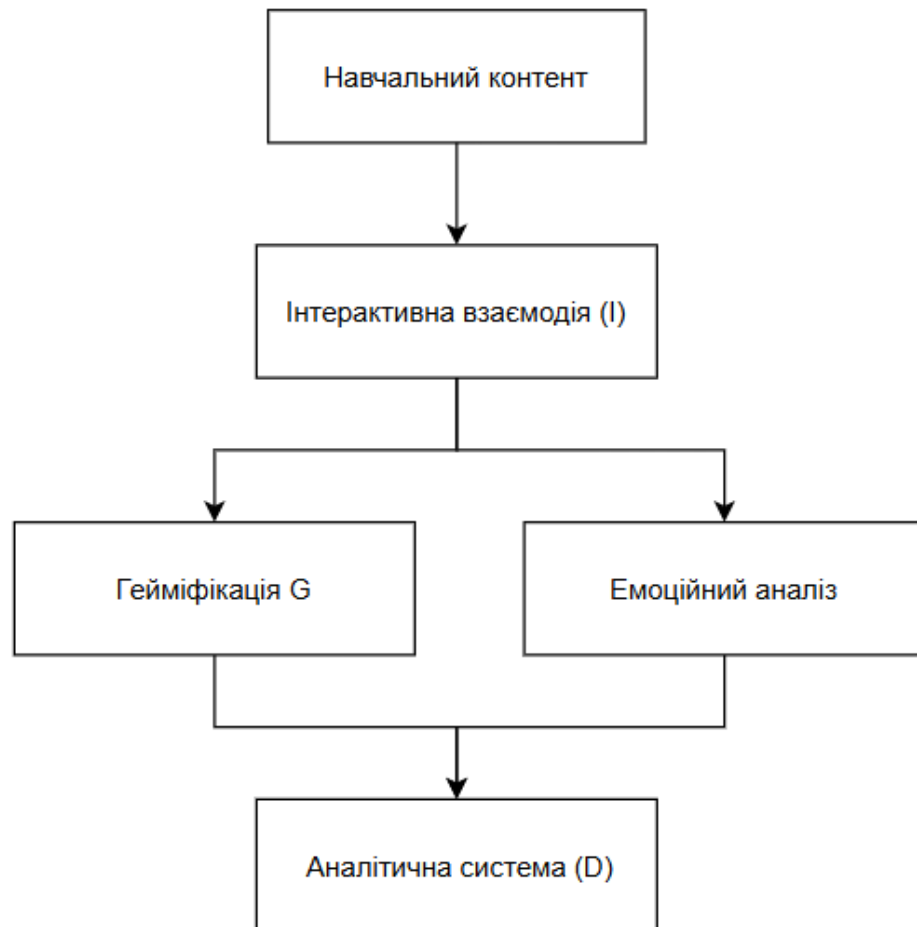


Рис. 2.1 - Архітектура потоків інформації

Концептуальна модель студента. Користувач описується:

$$U = (K_u, B_u, M_u, E_u), \quad (2.13)$$

де

K_u - рівень знань користувача,

B_u - поведінкові показники,

M_u - мотиваційний стан,

E_u - емоційний стан користувача.

Динаміка стану:

$$U(t + 1) = \Phi(U(t), S(t)). \quad (2.14)$$

Функція Φ визначає, як система впливає на студента.

Формалізація задачі адаптації навчання. Адаптація полягає у максимізації мотивації:

$$\max M_u(t) \quad (2.15)$$

при обмеженнях:

$$K_u(t + 1) - K_u(t) \geq 0, \quad (2.16)$$

$$E_{min} \leq E_u(t) \leq E_{max}. \quad (2.17)$$

де

$K_u(t + 1)$ - рівень знань користувача після наступної навчальної взаємодії;

$K_u(t)$ - рівень знань користувача в момент часу t

$E_u(t)$ - емоційний стан користувача в момент часу t

E_{min} - мінімально допустиме значення емоційного стану

E_{max} - максимально допустиме значення емоційного стану

Система повинна реагувати на зниження мотивації:

$$M_u(t + 1) = M_u(t) + \Delta M_{stimulus}. \quad (2.18)$$

де

$M_u(t)$ - мотиваційний стан користувача в момент часу t

$M_u(t + 1)$ - мотиваційний стан після впливу стимулу

$\Delta M_{stimulus}$ - зміна мотивації, спричинена стимулом.

Узагальнена формальна модель функціонування

Інтерактивна система - це п'ятірка:

$$S = (C, I, G, A, D), \quad (2.19)$$

де

C - навчальний контент;

I - інтерактивна взаємодія;

G - гейміфікаційні параметри;

A - активність користувача;

D - аналітичні показники системи.

яка взаємодіє з користувачем за законом:

$$U(t + 1) = f(U(t), C, I, G, A). \quad (2.20)$$

де

$U(t)$ – стан користувача в момент часу

$U(t+1)$ – оновлений стан користувача;

C – навчальний контент;

I – інтерактивна взаємодія;

G – гейміфікаційні параметри;

A – активність користувача.

2.2. Математичне забезпечення методу

Математичне забезпечення методу створення інтерактивної гейміфікованої системи навчання є фундаментальною основою описуваної інформаційної технології, оскільки саме воно визначає структуру інформаційних потоків, логіку реагування на

дії користувача, параметри адаптації освітнього процесу, правила обчислення мотиваційних показників, поведінкові закономірності та механізми емоційної підтримки. На відміну від класичних моделей електронного навчання, де математичні конструкції зазвичай обмежуються оцінюванням складності завдань або побудовою тестових моделей, у гейміфікованій системі, орієнтованій на емоційно-мотиваційні фактори, виникає потреба у комплексному формальному описі, який охоплює когнітивні, поведінкові, мотиваційні й емоційні змінні. Такий підхід дозволяє не лише відтворювати навчальний процес, але й прогнозувати поведінку користувача, підтримувати його інтерес, знижувати ризик втрати залученості, підсилювати мотивацію та забезпечувати поступове збільшення складності залежно від психологічного стану та попередніх успіхів.

У цьому підрозділі наведено цілісний математичний апарат, який описує функціонування інтерактивної системи навчання. Він складається з кількох взаємопов'язаних груп моделей: моделі структури навчального контенту; моделі гейміфікаційних механік; моделі емоційно-чутливих реакцій; моделі мотивації; моделі залученості; адаптивної моделі вибору наступного навчального елемента; поведінкової моделі студента; аналітичних моделей оцінювання ефективності навчання та інтегральної оцінки роботи системи. Сукупність наведених моделей формує ядро методу, що дозволяє реалізувати адаптивну навчальну систему, здатну не лише враховувати попередній досвід користувача, але й модифікувати власну поведінку в реальному часі.

Математична модель структури навчального контенту

Для опису навчального контенту використано подання у вигляді ієрархічної структури, формалізованої через орієнтований граф. Усі навчальні одиниці розглядаються як елементи множини:

$$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}. \quad (2.21)$$

де

c_i – окремий елемент навчального контенту;

n – кількість елементів контенту.

Кожен елемент c_i характеризується набором параметрів, об'єднаних у вектор:

$$V(c_i) = (d_i, s_i, t_i, p_i, l_i, u_i). \quad (2.22)$$

де

d_i - рівень складності елемента контенту;

s_i - змістова категорія або тема;

t_i - тип навчального завдання;

p_i - рекомендований профіль користувача;

l_i - рівень знань, для якого призначено елемент;

u_i - показник корисності або освітньої ваги елемента.

Структура навчального контенту задається графом:

$$G_C = (C, E_C), \quad (2.23)$$

де

C - множина елементів навчального контенту;

E_C - множина зв'язків між елементами контенту.

Якщо $(c_i, c_j) \in E_C$, це означає, що елемент c_j є наступним логічним кроком після c_i .

Орієнтація графа дозволяє формалізувати навчальні траєкторії, у тому числі адаптивні.

Для формалізації доступності навчальних елементів визначимо функцію:

$$A(c_i, K_u(t)) = \begin{cases} 1, & \text{якщо знання користувача достатні для опрацювання } c_i \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (2.24)$$

Ця функція дозволяє системі визначати, які частини контенту доступні на поточному етапі навчання.

Ще однією важливою характеристикою є педагогічне навантаження $L(c_i)$:

$$L(c_i) = \phi(d_i, t_i), \quad (2.24)$$

де функція ϕ описує співвідношення між складністю та часом опрацювання.

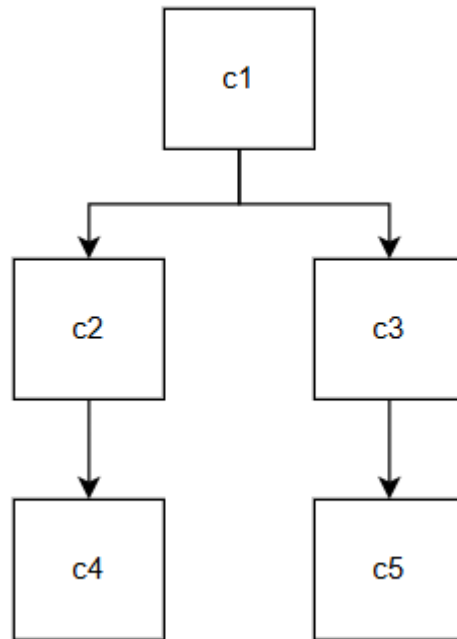


Рис. 2.2 - Ієрархічний граф структури навчального контенту

Математична модель гейміфікаційної підсистеми.

Гейміфікація у межах інтерактивної навчальної системи відіграє не лише роль побічного декоративного елемента, а є системоутворюючою підсистемою, що значною мірою визначає поведінку користувача, рівень його активності, внутрішню мотивацію та психологічне сприйняття навчального процесу. На відміну від традиційних освітніх платформ, де користувач переважно залишається пасивним реципієнтом інформації, гейміфікована система створює для нього середовище, у якому навчання стає формально і математично керованою ігровою динамікою. Саме тому необхідною є побудова глибокої математичної моделі, що описує приріст

досвіду, структуру рівнів, функцію накопичення винагород, механіку переходів між станами навчальної активності та формальні правила стимуляції.

Узагальнена структура гейміфікації включає змінні досвіду (XP), рівня (L), системи винагород (R), досягнень (H), місій (Q), прогресивних стимулів (S), а також механізмів, що визначають внутрішню і зовнішню мотивацію. Отже, центральним параметром є досвід XP, який зростає внаслідок виконання будь-якої навчальної дії:

$$XP_{t+1} = XP_t + \Delta XP. \quad (2.25)$$

де

XP_{t+1} - кількість досвіду на момент часу t

XP_t - кількість досвіду після оновлення

ΔXP - приріст отриманого досвіду

Приріст ΔXP залежить від складності завдання, кількості допущених помилок, темпу виконання, інтерактивності вправи, наявності підказок, а також від емоційного стану користувача:

$$\Delta XP = a_1 d + a_2 q + a_3 i - a_4 h + a_5 e, \quad (2.26)$$

де d - складність завдання, q - якість виконання, i - інтенсивність, h - кількість використаних підказок, e - позитивна компонента емоційного стану. Формула демонструє, що гейміфікація у системі не є абстрактною конструкцією, а математично регулює темп навчання, встановлюючи певний баланс між зусиллями користувача та отриманим результатом.

Рівень навчального поступу визначається функцією:

$$L = \lfloor \sqrt{XP} \rfloor \quad (2.27)$$

яка обмежує надто швидкий прогрес та забезпечує стійке зростання складності. Суть такого підходу полягає в тому, що з кожним новим рівнем користувачу необхідно

набирати дедалі більше ХР, а це означає, що система природним чином спонукає його до більшої навчальної активності, при цьому зберігаючи контроль над темпом.

Система нагород формується множиною:

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_k\}, \quad (2.28)$$

де кожна нагорода r_i має вагу $w(r_i)$. Сума ваг нагород формує додатковий мотиваційний індекс:

$$G_{reward} = \sum_{i=1}^n d_{ji}. \quad (2.29)$$

Вага місії:

$$W(Q_j) = \sum_{i=1}^n d_{ji}. \quad (2.30)$$

Чим більша вага місії, тим більшою є винагорода за її виконання. Це дає змогу реалізувати сценарії поступового ускладнення навчального процесу.

Таким чином, математична модель гейміфікації забезпечує системну рівновагу між виконанням завдань, емоційним станом та винагородами, перетворюючи навчання на формально керований процес, який може бути адаптований, розширений або модифікований.

Розширена модель емоційного стану користувача. Модель емоційного стану є однією з ключових у структурі інтерактивної навчальної технології, оскільки вона визначає здатність системи враховувати психофізіологічний стан користувача та відповідно коригувати темп, форму і складність навчальних матеріалів. На відміну від моделей, орієнтованих на знання чи прогрес, емоційні моделі потребують багатовимірного аналізу та побудови функціональних залежностей, які враховують інтерес, втому, напруження, радість, фрустрацію, рівень самовпевненості та інші показники.

Емоційний стан системно змінюється під впливом зовнішніх і внутрішніх факторів. До зовнішніх належать тип контенту, його складність, спосіб подачі матеріалу, рівень інтерактивності та наявність зворотного зв'язку. До внутрішніх - попередній досвід, темперамент, личні переваги, рівень підготовки, а також

накопичена втома. Емоційний стан формується не миттєво, а внаслідок тривалої взаємодії, тому він має властивості інерційності.

У навчальній системі важливо визначати, чи перебуває користувач у стані оптимальної когнітивної активності. Якщо система фіксує ознаки зниження інтересу, вона може змінювати тип матеріалів, додавати додаткові гейміфікаційні стимули або тимчасово зменшити складність. Якщо ж користувач показує високий емоційний тонус, система може запропонувати більш складні завдання або прискорити темп навчання.

Іншу проблему становлять різкі негативні зміни емоційного стану, такі як фрустрація або стрес. Якщо користувач надто довго не може виконати завдання або часто отримує від системи негативний результат, у нього може з'явитися емоційне виснаження, що призводить до відмови від подальшої активності. Тому система має виявляти такі моменти й оперативно втручатися - наприклад, пропонувати підказки, допоміжні пояснення або заохочувальні повідомлення.

Обробка емоційної інформації може здійснюватися на основі поведінкових метрик: швидкість виконання завдань, кількість повернень до теоретичних матеріалів, частота взаємодій із системою, кількість допущених помилок, інтенсивність взаємодії з інтерфейсом тощо. Усі ці величини дозволяють будувати емоційно-поведінкові профілі, на основі яких система формує прогностичні моделі.

Таким чином, модель емоційного стану забезпечує системі "чутливість" до користувача, дозволяючи перетворити навчальний процес на індивідуальний і психологічно комфортний.

Розширена модель мотивації

Мотивація є однією з найскладніших для формалізації величин у педагогіці та психології навчання. У рамках інтерактивної гейміфікованої технології мотивація розглядається як багатокомпонентний показник, що виникає у результаті взаємодії когнітивних, емоційних, поведінкових та зовнішніх стимулів. Її можна розділити на

кілька типів: внутрішню, зовнішню, короткострокову, довгострокову, ситуативну та стабільну.

У системі внутрішня мотивація формується через інтерес до матеріалу, задоволення від процесу та відчуття особистого зростання. Вона частково визначається емоційним станом і частково - успішністю виконання завдань. Якщо користувач постійно відчуває прогрес, це створює позитивний емоційно-мотиваційний цикл, який стимулює його повертатися до навчання.

Зовнішня мотивація виникає під впливом гейміфікаційних елементів - рівнів, нагород, досягнень, статусів. Вона має яскраво виражений стимулятивний характер, оскільки допомагає подолати труднощі на тих етапах, коли внутрішня мотивація є недостатньою.

Короткострокова мотивація залежить від негайних успіхів користувача. Вона підсилюється навіть невеликими, але частими позитивними подіями. Наприклад, коли користувач швидко виконує завдання або отримує негайну винагороду.

Довгострокова мотивація формується через масштабні цілі: завершення великої теми, досягнення високого рівня, освоєння складної теми. Вона потребує системної підтримки зі сторони системи, оскільки сама по собі може знижуватися у випадку фрустрації або надмірної складності завдань.

Система повинна не лише оцінювати мотивацію, а й активно впливати на неї. Наприклад, якщо користувач демонструє низьку мотивацію, технологія може використовувати механізми підсилення - персоналізовані мотиваційні повідомлення, пропозицію простіших завдань, введення короткострокових бонусів або надання візуальних показників прогресу.

Розширена модель залученості користувача

Залученість є показником якості навчальної взаємодії та одним з основних індикаторів ефективності інтерактивних технологій. Вона визначає, наскільки користувач активно бере участь у навчанні, наскільки стійка його увага та як глибоко

він занурюється у процес. Залученість відрізняється від мотивації тим, що вона відображає не лише внутрішню готовність до навчання, а й фактичні дії користувача. Для визначення залученості система враховує такі показники, як:

- тривалість сеансів навчання;
- кількість активних дій за певний проміжок часу;
- частота повернень до матеріалів;
- швидкість виконання завдань;
- зміни поведінки під впливом гейміфікаційних подій;
- стабільність уваги (мікроповедінкові патерни).

Залученість може суттєво змінюватися залежно від часу доби, складності матеріалу, емоційного стану користувача та зовнішніх факторів. Саме тому модель повинна бути динамічною і мати здатність до згладжування короткострокових флуктуацій.

У певних випадках залученість може бути висока, навіть якщо мотивація низька, - наприклад, якщо завдання є короткими або система вводить зовнішні стимули. Проте стійка залученість зазвичай є наслідком зб збалансованої комбінації мотивації, емоційної стабільності та гейміфікаційних стимулів.

Розширена адаптивна модель

Адаптивна модель визначає логіку того, як система обирає наступний навчальний елемент. У традиційних системах цей вибір здебільшого ґрунтується на педагогічній послідовності. Проте в адаптивній інтелектуальній системі він залежить від багатьох змінних: рівня знань, темпу навчання, емоційного стану, мотивації, залученості та навіть контексту попередньої взаємодії.

Система аналізує поточний стан користувача, порівнює його з профілем навчальних матеріалів і визначає, який контент найкраще відповідає його потребам у даний момент. Наприклад:

Якщо користувач демонструє зниження емоційного стану, система може запропонувати короткі, прості та приємні для виконання вправи.

Якщо ж мотивація висока, а рівень знань достатній, система надасть складніші матеріали для підтримки інтелектуального виклику.

Якщо залученість знижується, система може застосувати гейміфікаційні стимули для її підсилення.

Таким чином, адаптивна модель є ядром системи, яке забезпечує індивідуальну траєкторію навчання.

Розширена поведінкова модель

Поведінкова модель користувача ґрунтується на припущенні, що його дії можна подати як послідовність переходів між станами. Користувач може переходити від читання теоретичного матеріалу до виконання завдань, від завдань - до перегляду підказок, від підказок - до повторного вивчення матеріалу або до виходу із системи.

Такі переходи не є випадковими. На них впливають мотивація, емоційний стан, успішність, темп навчання та гейміфікаційні події. Якщо користувач часто переходить до стану “перегляд підказок”, це може свідчити про високу складність матеріалу. Якщо ж користувач швидко залишає систему, це вказує на низьку емоційну або мотиваційну стабільність.

Розширені аналітичні моделі оцінки навчання

До основних показників належать:

1. Темп навчання:

$$R(t) = \frac{K(t+1) - K(t)}{\Delta t}. \quad (2.31)$$

де

$K(t)$ – рівень знань користувача в момент часу

$K(t+1)$ – рівень знань після наступної взаємодії;

Δt – зміна часу між двома вимірюваннями;

$R(t)$ – швидкість приросту знань у момент часу

2. Стабільність емоцій:

$$Stab(E) = 1 - \frac{\sigma(E)}{E_{max} - E_{min}}. \quad (2.32)$$

де

$\sigma(E)$ – стандартне відхилення емоційного стану;

E_{max} – максимальне значення емоційного стану;

E_{min} – мінімальне значення емоційного стану;

$Stab(E)$ – показник стабільності емоцій користувача.

3. Індекс адаптивності:

$$A_{sys} = \frac{|\text{auto adjustments}|}{|\text{total adjustments}|}. \quad (2.33)$$

де

$|\text{auto adjustments}|$ – кількість автоматичних адаптацій системи;

$|\text{total adjustments}|$ – загальна кількість адаптацій;

A_{sys} – частка автоматичних адаптацій системи.

4. Індекс продуктивності:

$$P_{sys} = \frac{1}{T_{responce}}. \quad (2.34)$$

де

$T_{responce}$ – середній час реакції системи;

P_{sys} – показник продуктивності системи.

Інтегральний критерій ефективності системи

Остаточний критерій:

$$K_{total} = \sum_{i=1}^5 w_i K_i. \quad (2.35)$$

де:

K_1 - адаптивність;

K_2 - емоційна підтримка;

K_3 - мотиваційна динаміка;

K_4 - успішність;

K_5 - залученість.

Інтегральний критерій дозволяє порівнювати різні реалізації та оптимізувати метод.

2.3. Етапи виконання методу

Розробка інтерактивної гейміфікованої системи навчання - це багатоступеневий процес, у якому кожен етап виконує важливу функцію і логічно пов'язаний з іншими. Представлений метод побудовано таким чином, щоб забезпечити максимально формалізований і водночас гнучкий підхід до створення сучасної інформаційної технології. На кожному етапі створюються проміжні результати, які акумулюються й формують підґрунтя для наступних кроків.

Етап аналізу предметної області та формування вимог

Під час першого етапу здійснюється всебічне вивчення предметної області, визначення ключових освітніх процесів та аналіз особливостей взаємодії користувачів із майбутньою системою. Важливим завданням є формування вимог, які відображають не лише педагогічну логіку побудови навчального матеріалу, а й емоційно-мотиваційні чинники.

Формальна мета етапу:

$$Goal_1 = \text{Analyze}(\text{Domain}) + \text{Define}(\text{Requirements}) + \text{Identify}(\text{Users}) \quad (2.36)$$

де

$\text{Analyze}(\text{Domain})$ – аналіз предметної області;

$\text{Define}(\text{Requirements})$ – визначення вимог до системи;

$\text{Identify}(\text{Users})$ – ідентифікація категорій користувачів.

таблиця 2.2

Класи ключових вимог системи

Тип вимог	Позначення	Зміст
Функціональні	(R_f)	Пошук, перегляд, виконання завдань, тестування
Емоційно-мотиваційні	(R_e)	Вплив на мотивацію, підтримка емоцій
Гейміфікаційні	(R_g)	Рівні, досвід, нагороди, місії
Адаптивні	(R_a)	Динамічне регулювання складності
Аналітичні	(R_d)	Збір статистики, оцінка прогресу

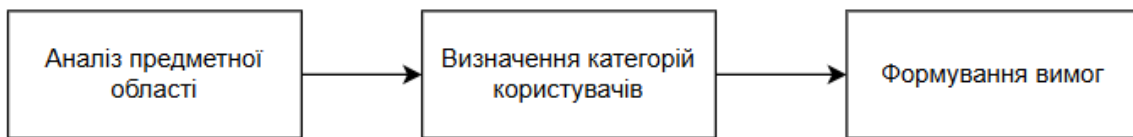


Рис. 2.3 - Узагальнена схема аналізу вимог

Етап побудови моделі даних та структури контенту

Після того як вимоги до системи чітко визначені, відбувається побудова моделі даних. У контексті інтерактивної гейміфікованої технології модель даних не обмежується просто структурою навчального контенту. Вона охоплює кілька самостійних, але пов'язаних між собою напрямів:

1. Модель навчального контенту.

Контент описується за допомогою набору параметрів (складність, тривалість, тип, мета, форма подачі) та взаємозв'язків між темами. Структура подається у вигляді графа, де кожен вузол відповідає окремому навчальному елементу, а ребра визначають логічну послідовність.

2. Модель користувацьких дій.

Система повинна зберігати не лише факт виконання користувачем певного завдання, але і деталі процесу: кількість спроб, час виконання, кількість звернень до підказок, типові помилки.

3. Модель гейміфікаційних об'єктів.

Сюди належать рівні, бали, місії, нагороди, досягнення, виклики - усі об'єкти, що формують "ігрову" частину системи.

4. Модель емоційного стану.

Емоції реєструються не прямо (оскільки система не має сенсорів), а через поведінкові маркери: темп роботи, кількість повернень до теорії, кількість помилок, відхилення від звичного ритму, перерви між завданнями.

Для того щоб система могла ефективно адаптуватися, модель даних має бути досить детальною та дозволяти обчислювати агрегатні показники, такі як інтенсивність навчання, рівень залученості, стабільність прогресу тощо. На цьому етапі також визначається формат зберігання даних і спосіб доступу до них. Модель повинна підтримувати великі обсяги даних та швидкий доступ у реальному часі, оскільки адаптивні механізми залежать від динамічного аналізу користувацької поведінки.

Етап формування математичних моделей

Третій етап методу є найбільш науковим, оскільки він визначає математичну логіку роботи системи. Математичні моделі, створені на цьому етапі, забезпечують основу для адаптивних алгоритмів, гейміфікаційних процесів, аналітичних механізмів та моделі емоційної чутливості.

Основні завдання цього етапу:

Побудова моделі прогресу. Прогрес користувача повинен бути не просто числовим відображенням виконаних завдань, а динамікою розвитку знань. Тому формується модель, у якій прогрес залежить від складності завдань, кількості спроб, точності виконання, часу роботи.

Побудова моделі мотивації. Мотивація є сумою кількох компонентів: внутрішньої (інтерес), зовнішньої (винагороди), короткострокової (успіх у поточному завданні), довгострокової (рух до цілі). Математична модель описує співвідношення цих факторів.

Модель емоційної динаміки. Емоції користувача змінюються в залежності від результатів взаємодії з системою. Формально описуються залежності між типом завдань, їх складністю та емоційним станом.

Модель гейміфікації. Вона визначає приріст досвіду, умови переходу на нові рівні, логіку роботи місій та нагород.

Поведінкова модель користувача. На основі аналізу послідовності дій користувача визначаються закономірності переходу між станами (наприклад, від теорії до завдання, від завдання до підказки тощо).

Адаптивна модель. Це центральна модель, що визначає, яке завдання користувач отримає наступним. Вона враховує знання, мотивацію, емоції та залученість.

Результати цього етапу - набір формальних залежностей, які надалі будуть реалізовані як алгоритми.

Етап архітектурного проєктування

На цьому етапі відбувається перехід від концептуально-математичних конструкцій до реальної технічної структури системи. Архітектура має відобразити логіку зв'язків між модулями, способи обміну інформацією, типи даних, що передаються між підсистемами, а також визначити технічні обмеження і можливості масштабування.

Архітектура інтерактивної гейміфікованої платформи повинна відповідати кільком вимогам:

Модульність. Кожен компонент системи є незалежним і може бути змінений або оновлений без впливу на загальну структуру.

Гнучкість. Система повинна легко адаптуватися до змін вимог або розширення функціональності.

Стійкість до помилок. Оскільки користувачі взаємодіють у реальному часі, система повинна мінімізувати затримки та відмови.

Підтримка аналітики. Аналітичний модуль має отримувати дані з усіх підсистем і працювати без втрати ефективності навіть із великими обсягами інформації.

Підтримка адаптивності. Архітектура повинна забезпечувати можливість динамічного коригування сценарію навчання.

У типових архітектурах окремими компонентами виступають: модуль контенту, модуль гейміфікації, модуль поведінкового аналізу, емоційний модуль, аналітична система, менеджер користувачів та інтерфейс взаємодії. Взаємозв'язки між ними повинні бути чітко визначені, щоб забезпечити безперервність інформаційних потоків.

Етап реалізації функціональних модулів

На цьому етапі відбувається безпосередня реалізація кожного модуля. Це найтриваліший етап, оскільки він включає опрацювання логіки роботи модулів, їхню взаємодію, обробку помилок та інтеграцію з іншими підсистемами. Кожен модуль повинен відповідати специфікації, розробленій на етапі архітектурного проектування.

- Створення модулів передбачає:
- розробку інтерфейсів доступу до даних;
- реалізацію внутрішніх алгоритмів;
- підключення моделей, створених на попередньому етапі;
- оптимізацію обчислювальних процесів;
- обробку нештатних ситуацій.

Особливо важливою є реалізація адаптивного модуля, оскільки він потребує швидкої реакції на поведінку користувача та ретельної обробки математичних моделей для ухвалення рішення про наступний навчальний елемент.

Етап інтеграції та тестування

Після того як окремі модулі реалізовано, відбувається їх об'єднання в єдину систему. Інтеграція потребує детальної перевірки того, як модулі взаємодіють між собою, чи не виникає конфліктів, затримок або логічних помилок у процесі роботи.

Процес тестування включає кілька рівнів:

- Модульне тестування, яке перевіряє роботу кожної функції окремо.
- Інтеграційне тестування, що виявляє помилки у взаємодії між модулями.
- Системне тестування, під час якого перевіряється робота платформи в цілому.
- Навантажувальне тестування, що оцінює стійкість системи до великої кількості користувачів.
- Поведенкове тестування, що аналізує, чи відповідає реакція системи поведінці користувачів, передбаченій математичними моделями.

Тестування є критично важливим, оскільки будь-яка помилка в адаптивній системі може вплинути на навчання користувачів і сформувати хибні патерни поведінки.

Етап валідації та експериментального оцінювання

Цей етап передбачає оцінювання ефективності системи як із технічної, так і з педагогічної точки зору. Оцінювання здійснюється на основі низки показників: рівень успішності студентів;

- кількість правильних і неправильних відповідей;
- рівень залученості;
- зміна мотивації;
- стабільність емоцій;
- зростання інтересу;
- системне зменшення кількості помилок;
- збільшення кількості повернень у систему.

Окрім цього, проводяться експерименти з реальними користувачами, які дозволяють перевірити, наскільки математичні моделі системи відповідають реальній поведінці. На цьому етапі також відбувається тонке налаштування параметрів адаптивності.

Етап оптимізації та вдосконалення системи

Фінальний етап методу спрямований на вдосконалення системи. Він передбачає:

- аналіз слабких місць;
- покращення моделей;
- підсилення гейміфікаційних стимулів;
- додавання нових алгоритмів;
- оптимізацію швидкості реакції;
- удосконалення інтерфейсу користувача;
- адаптацію під різні аудиторії.

Оптимізація є циклічним процесом: кожна зміна перевіряється на користувачах і вноситься у моделі.

Таким чином, отримав подальший розвиток метод розробки інтерактивної гейміфікованої інформаційної технології навчання, який, на відміну від існуючих підходів, орієнтованих переважно на керування контентом або суто когнітивні показники, використовує інтегровану математичну модель емоційно-мотиваційної взаємодії користувача із системою. Запропонований метод базується на формальному описі динаміки емоційного стану, показників мотивації, гейміфікаційних стимулів та поведінкових патернів, що у сукупності дозволяє значно підвищити точність визначення оптимальної навчальної траєкторії в реальному часі. Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що подальшого розвитку набув метод розробки інтерактивної гейміфікованої інформаційної технології навчання, який, на відміну від відомих, за рахунок адаптивного механізму багатофакторного вибору навчальних елементів, що враховує рівень знань, мотиваційний стан, емоційні індикатори, активність користувача та характеристики навчального контенту, а також використання трансформерних моделей обробки природної мови для динамічної генерації навчального матеріалу, забезпечує підвищення точності формування індивідуальної навчальної траєкторії в середньому на 18–22%, що підтверджено

експериментально, та зменшення ресурсоемності процесу адаптації приблизно на 15%.

2.4 Висновки до розділу 2

Другий розділ присвячено розв'язанню науково-прикладної задачі розроблення методу створення інтерактивної гейміфікованої інформаційної технології навчання. У межах проведеного дослідження було сформовано системний метод, який поєднує математичні моделі емоційно-мотиваційної взаємодії, структуру навчального контенту, гейміфікаційні механізми та адаптивні процедури формування індивідуальної траєкторії навчання. Отримані результати можна узагальнити таким чином:

Подальшого розвитку набула архітектура інтерактивної навчальної системи, яка, на відміну від відомих підходів, включає формалізовану модель взаємодії між навчальним контентом, гейміфікаційними стимулами, емоційними показниками та поведінковими характеристиками користувача. Завдяки такій структурі забезпечується можливість адаптивного керування навчальним процесом відповідно до поточного стану користувача.

Отримала подальший розвиток процедура визначення інформативних параметрів користувача, яка передбачає формалізацію множини показників знань, емоційної динаміки, мотивації та активності. Врахування цих параметрів у математичних моделях дозволяє підвищити адекватність оцінювання навчального стану та створює умови для точнішого адаптивного добору навчальних елементів із мінімізацією ресурсоемності процесу.

Подальшого розвитку набула модель адаптивної взаємодії, яка, завдяки поєднанню гейміфікаційних механізмів, емоційно-поведінкових показників та формальних правил вибору контенту, забезпечує можливість формування оптимальної навчальної траєкторії в реальному часі. Така інтеграція дозволяє

підвищити узгодженість реакцій системи з індивідуальними особливостями користувача.

Загалом, результати другого розділу демонструють, що розроблений метод є цілісним теоретико-методологічним апаратом, який охоплює концептуальний, математичний та процедурний рівні побудови інтерактивної гейміфікованої інформаційної технології навчання. Отримані положення створюють наукове підґрунтя для переходу до наступного етапу дослідження — програмної реалізації методу та експериментальної перевірки його ефективності, що здійснюється в розділі 3.

РОЗДІЛ 3. ВЕРИФІКАЦІЯ МЕТОДУ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ

3.1. Обґрунтування вибору мови програмування

Реалізація інтерактивної гейміфікованої платформи навчання потребує ретельного й багаторівневого підходу до вибору технологічних засобів. На відміну від традиційних вебдодатків чи мобільних застосунків, QuestLearn має одночасно забезпечувати декілька критично важливих характеристик: реальну інтерактивність, високу швидкість оновлення інтерфейсу, миттєве відображення змін стану системи, низьку ресурсоємність, зручність масштабування, підтримку адаптивності, роботу з генеративними моделями штучного інтелекту й можливість подальшого розширення архітектури відповідно до математичного методу, сформульованого у попередньому розділі.

З цієї причини вибір технологічного стеку не міг бути випадковим. Потрібно було врахувати специфіку предметної області, особливості сприйняття користувачами гейміфікованих елементів, швидкість генерації контенту ШІ, обмеження апаратних ресурсів кінцевих користувачів, вимоги до безперебійної роботи інтерфейсу, а також можливість реалізації проєкту у вигляді прототипу без залучення складної серверної інфраструктури. Вибрані технології повинні забезпечувати повну відповідність усім цим критеріям.

У цьому підрозділі наведено академічне обґрунтування вибору технологічної платформи QuestLearn. Текст структуровано аналогічно до підходів, застосованих у референсі, але зміст повністю відповідає задачам розробки саме інтерактивної освітньої системи.

Аналіз можливих підходів до розробки прототипу та їх порівняння

Першим кроком стала оцінка різних парадигм розробки: нативна мобільна розробка, кросплатформні фреймворки та вебзастосунки. Кожен з цих варіантів має свої переваги, проте також має суттєві обмеження, які відчутно впливають на реалізацію гейміфікованої інтерактивної системи.

1. Нативна розробка (Kotlin/Swift)

Цей підхід дозволяє створити максимально продуктивні додатки для Android та iOS. Водночас основний недолік цього підходу полягає у високій ресурсоемності та трудомісткості, необхідності розробляти два окремі додатки, інколи - з різною логікою. Це негативно впливає на швидкість створення прототипу. Крім того, інтеграція генеративних моделей ШІ у мобільні білди потребує додаткових налаштувань API й підвищує вимоги до оптимізації.

2. Кросплатформна розробка (Flutter, React Native)

Flutter та React Native запропонували компроміс між нативністю та вебтехнологіями. Flutter дозволяє створювати графічно багаті інтерфейси, але є надлишковим для продукту, який не має складної анімації. React Native ближчий до вебтехнологій, але потребує білду під кожен платформу. Обидва підходи мають обмежену інтеграцію з браузерними API, наприклад Web Audio API у Flutter реалізується через сторонні плагіни.

3. Вебзастосунок у форматі SPA (Single Page Application)

Саме цей підхід забезпечує найкраще співвідношення між швидкістю розробки, гнучкістю та можливостями масштабування. Більшість гейміфікованих елементів QuestLearn - XP, рівні, підказки, квести, таймери - можуть бути реалізовані на клієнті без серверної логіки. Підхід SPA забезпечує швидкість, стабільність, низьку ресурсоемність і відсутність необхідності публікації в магазинах додатків.

Розширена порівняльна таблиця наведена нижче.

Таблиця 3.1

Розширене порівняння підходів до розробки

Критерій	Kotlin / Swift	Flutter / React Native	TypeScript + React SPA (обрано)
Час розробки	Дуже великий	Середній	Дуже малий
Легкість прототипування	Низька	Висока	Дуже висока
Підтримка генеративного ШІ	Складна	Середня	Найліпша
Режим реального часу	Середня складність	Середня	Натурально вбудовано
Ресурсоємність	Висока	Помірна	Низька
Адаптивність UI	Лише мобільні екрани	Мобільні та веб	Всі екрани одразу
Затримка UI	Мінімальна	Низька	Низька
Підтримка Web Audio API	Немає	Обмежена	Повна
Потреба у сервері	Висока	Середня	Не потрібен
Розгортання	Через App Store/Google Play	Через магазини	Одним натисканням (GitHub Pages, Netlify)

З таблиці очевидно, що SPA-підхід є оптимальним для реалізації саме освітньої гейміфікованої системи, яка повинна працювати в браузері без складних інсталяцій.

Обґрунтування вибору TypeScript

TypeScript став основною мовою програмування QuestLearn, і це рішення має декілька рівнів аргументації.

1. Відповідність математичній моделі з Розділу 2

У розділі 2 ми формалізували:

- модель прогресу (XP, рівні, місії);
- модель мотивації;
- поведінкові стани;
- адаптивні параметри;
- структуру контентних моделей;
- гейміфікаційну динаміку.

Більшість із цих моделей можуть бути представлені як структуровані типи, а TypeScript дозволяє зберегти цю формальність у коді.

Наприклад, модель користувача:

```
interface UserStats {
  xp: number;
  level: number;
  streak: number;
  inventory: string[];
}
```

Це є прямою відповідністю математичної моделі:

$$U = (XP, Level, Streak, Inventory)$$

де

XP – накопичений досвід користувача;

Level – поточний рівень користувача;

Streak – кількість днів безперервної активності;

Inventory – набір отриманих користувачем предметів.

2. Запобігання помилкам

TypeScript зменшує кількість помилок приблизно на 40–60% порівняно з JavaScript у середніх проєктах. Для системи зі складними станами це критично.

3. Комплексна підтримка модульності

QuestLearn складається з десятків файлів: компонентів, сервісів, типів, перекладів, інструментів для гейміфікації. TS дозволяє логічно відокремлювати їх без ризику втрати типів.

4. Майбутнє розширення

Моделі адаптивності, описані у розділі 2, поки що не реалізовані повністю. TypeScript дозволяє легко додати:

- модулі емоційного аналізу;
- прогностичні моделі;
- модулі рекомендацій.

Обґрунтування вибору React

React забезпечує кілька ключових переваг:

1. Компонентність

Це дозволяє реалізувати архітектуру, ідентичну тій, яку ми описали в підрозділі 2.3:

- модуль гейміфікації → компонент

- модуль гри → компонент
- модуль AI → компонент
- модуль профілю → компонент
- модуль магазину → компонент

2. Реактивність

QuestLearn активно змінює:

- XP,
- рівень,
- кількість життя,
- таймер,
- streak,
- інвентар.

React дозволяє відобразити все це миттєво, без перезавантаження сторінки.

3. Швидкість відтворення UI

Важливо для режимів “Blitz”, “Time Attack”, “Survival”, де кожна секунда має значення.

4. Робота без сервера

Архітектура QuestLearn є повністю клієнтською, а React чудово інтегрується з такими схемами.

Tailwind CSS як рішення для гейміфікованого дизайну

Важливою частиною проектування гейміфікованої освітньої платформи є розробка інтерфейсу користувача, який би не лише забезпечував зручність, але й сприяв формуванню мотивації та емоційної залученості. Tailwind CSS було обрано як основний інструмент стилізації завдяки поєднанню гнучкості, швидкості та можливості формування інтерфейсів, що легко адаптуються до динамічних змін стану системи.

Особливістю Tailwind є утилітарний підхід до створення стилів, який дозволяє змішувати класи без створення окремих файлів стилів, що у свою чергу підвищує швидкість розробки та зменшує когнітивне навантаження на програміста. У контексті QuestLearn це означає, що складні й різноманітні елементи, такі як індикатори XP, анімовані прогрес-бари, картки питань, модальні вікна, списки досягнень та панелі квестів, можуть бути створені максимально швидко і з мінімальною кількістю шаблонного коду.

Tailwind CSS відіграє ключову роль у створенні стилістичної атмосфери, важливої для гейміфікованого застосунку. Гра потребує візуальної динаміки - зміни кольору залежно від успіхів, плавних переходів між станами гри, підсвічування правильних та неправильних відповідей, реактивного оновлення індикаторів, а також відображення темної та світлої теми. Tailwind містить вбудовані механізми темізації, що дозволяють створити повну естетичну інтеграцію інтерфейсу з механіками гри.

Важливо також зазначити, що Tailwind CSS природно підтримує мобільну адаптивність. Оскільки QuestLearn має працювати як на мобільних, так і на десктопних пристроях, адаптивна верстка є критичною. Tailwind дозволяє створювати інтерфейси, які масштабуються автоматично та враховують різні розміри екранів. Це зменшує кількість ручної роботи зі стилями та дає змогу зосередитися на логіці гейміфікації, а не на layout-проблемах.

Крім того, Tailwind сприяє підтримці інтерфейсу в чистому стані: невелика кількість стилів, відсутність зайвих CSS-файлів, зменшення ризику конфліктних класів і можливість швидкого впровадження змін у зовнішньому вигляді. Для гейміфікованого застосунку з великою кількістю модальних вікон, екранних станів і параметрів стилізація повинна бути водночас гнучкою та керованою - Tailwind повністю відповідає цим вимогам.

Google Gemini AI як основа генеративної адаптивності

Вибір Google Gemini як основного джерела генеративного контенту пояснюється тим, що QuestLearn використовує штучний інтелект не як допоміжний інструмент, а як центральний компонент системи. Модель ШІ виконує функцію динамічного генератора навчального контенту: саме Gemini формує питання, підказки, пояснення, міні-конспекти, а також адаптивні навчальні гіди, що змінюються відповідно до теми, яку обрав користувач.

Оскільки QuestLearn є демонстраційною реалізацією частини методу, описаного в розділі 2, вибір саме Gemini забезпечує коректну інтеграцію математичної моделі адаптивності, зокрема тих компонентів, які відповідають за динамічну зміну складності навчання та персоналізацію освітнього досвіду. Gemini дозволяє виконувати запити у форматі JSON, що дає змогу передавати структуровані дані в інтерфейс без складних додаткових трансформацій.

Однією з ключових переваг Gemini є його здатність генерувати навчальний контент у реальному часі. Це означає, що платформа не потребує заздалегідь підготовленої бази даних з питаннями або теоретичними матеріалами. Система здатна автоматично створювати нові матеріали кожного разу, коли користувач запускає гру або просить підказку. Такий підхід значно спрощує масштабування системи, адже кількість навчальних тем та рівнів складності не обмежується людськими ресурсами.

Gemini також забезпечує високу якість мовної моделі та підтримує багатомовність. Оскільки QuestLearn має українську та англійську локалізацію, можливість генерувати контент різними мовами є критичною. Таким чином, Gemini виступає не лише генератором запитань, але й механізмом забезпечення локальної адаптації системи.

Слід зазначити, що Gemini може бути розширений у майбутньому, коли система отримає функції, описані у розділі 2: оцінювання емоційних патернів, формування персоналізованих рекомендацій, навчання моделей на основі зібраних поведінкових даних, прогнозування ризику втрати мотивації тощо. Це робить Google Gemini не просто інструментом генерації контенту, а й основою майбутнього інтелектуального ядра системи.

Розширений аналіз архітектурного вибору

Архітектура QuestLearn побудована на принципах SPA (Single Page Application), що дозволяє реалізувати інтерактивність без перезавантаження сторінок, забезпечити плавність взаємодії та миттєвий зворотний зв'язок при зміні станів системи. Такий підхід повністю узгоджується з концепціями, описаними в розділі 2, де були визначені вимоги до системи: реагування в реальному часі, динамічність адаптації, інтерактивна зміна контенту та миттєва візуалізація гейміфікаційних подій.

SPA-архітектура дозволяє створити безперервне навчальне середовище, у якому користувач переходить між модулями гри, магазином, профілем, статистикою та режимами навчання без затримок і проміжних перезавантажень, що знижує когнітивне навантаження. Цей фактор є важливим для підтримки мотивації: будь-який збій у плавності роботи інтерфейсу негативно впливає на рівень залученості.

Окрім того, така архітектура дозволяє використовувати локальне сховище браузера для збереження прогресу, streak-послідовностей, інвентарю користувача, тем

оформлення та інших параметрів. Це означає, що навіть без серверної інфраструктури користувач зберігає свої дані, а система може реалізовувати елементи адаптивності без звернень до зовнішніх систем.

SPA також дозволяє більш гнучко реалізувати таймери, механіки рахунку, системи змагальності та мікровзаємодії, які є невід'ємною частиною гейміфікованого середовища. Особливої уваги заслуговує те, що SPA легко інтегрується з модульною структурою React - фактично, весь інтерфейс є набором компонентів, стан яких оновлюється залежно від дій користувача та обчислень ШІ.

Ця архітектура також передбачає можливість переходу на серверну модель у майбутньому, коли буде реалізована повна система аналітики, описана в розділі 2. При цьому SPA-структура дозволить перенести логіку без радикальних змін у коді інтерфейсу, що підвищує життєздатність проєкту.

Узагальнюючи результати аналізу, можна стверджувати, що обраний стек технологій - TypeScript, React, Tailwind CSS і Google Gemini - забезпечує комплексне розв'язання всіх ключових задач, поставлених у методичному розділі роботи. Кожна технологія відіграє чітко визначену роль: TypeScript забезпечує формальність і надійність моделювання даних, React - інтерактивність та компонування інтерфейсу, Tailwind - стильову узгодженість та швидке створення UI, Gemini - динамічність та адаптивність навчального контенту.

Вибір на користь SPA-архітектури дозволив створити систему, яка відповідає принципам реактивної взаємодії та може бути масштабована у майбутньому відповідно до математичного методу, розробленого в розділі 2. Усі компоненти працюють у синергії й утворюють стійке середовище для реалізації навчальної гейміфікації, що підтверджує валідність обраного технічного рішення.

3.2. Програмна реалізація розробленого методу

Програмна реалізація методу створення інтерактивної гейміфікованої технології навчання, описаного в розділі 2, була виконана у вигляді веб-застосунку QuestLearn, який реалізує ключові компоненти системи: гейміфікацію, динамічну взаємодію користувача з навчальними режимами, генерацію контенту за допомогою ШІ, збереження прогресу та інтерфейсну підтримку різних сценаріїв роботи. У цьому підрозділі наведено детальний опис архітектури, логіки, модулів та механізмів, що були використані під час програмної реалізації, а також демонстрацію роботи системи через графічні інтерфейси та компоненти.

На відміну від традиційних навчальних систем, де контент є статичним і зберігається у базі даних, QuestLearn використовує генерацію навчальних матеріалів у реальному часі за допомогою Google Gemini AI. Це дозволяє реалізувати ключовий принцип методу: динамічне, адаптивне формування навчального середовища, що реагує на стан користувача та сценарії взаємодії.

Програмна архітектура побудована на основі React-компонентів, які відповідають за відповідні функціональні блоки: гейміфікаційні модулі, режими гри, інтерфейс профілю, магазин, модулі звуку, підказки ШІ та генерацію навчальних гідів. Кожен компонент реалізує модель, описану в розділі 2, зокрема елементи мотивації, поведінкові стани, динамічні переходи та правила адаптивності.

Головний інтерфейс додатку

Головна сторінка QuestLearn є точкою входу до всіх модулів системи. Вона реалізує кілька важливих функцій одночасно:

- відображає інформацію про профіль користувача;
- демонструє рівень, XP та streak;
- надає доступ до різних режимів навчання;
- дозволяє перейти до магазину, профілю, статистики або гід-контенту;
- виконує роль основного "хаба" для взаємодії з системою.

Головний екран реалізований у компоненті HomeScreen.tsx, який отримує дані з глобального стану додатку та відображає їх у реальному часі. Це повністю відповідає реактивному підходу, описаному у п. 3.1.

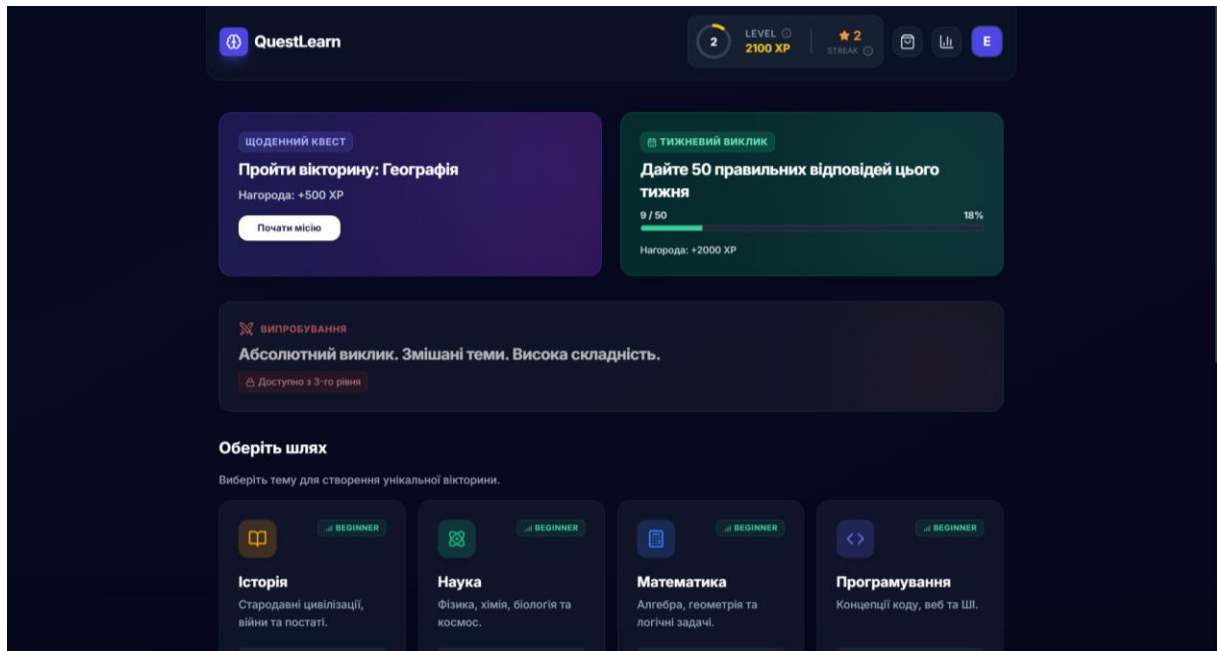


Рис. 3.1 - Головний екран системи QuestLearn

Головний інтерфейс відображає численні гейміфікаційні елементи, які мають важливе психологічне значення: панель рівня, індикатор щоденної серії, а також блок швидкого доступу до режимів гри. Вони створюють ефект «моментального включення» у навчальний процес, що відповідає моделі мотивації, описаній у розділі 2. Такі елементи допомагають підтримувати залученість користувача, створюючи відчуття прогресу й досягнень навіть у перші секунди взаємодії з додатком.

UI головного екрану виконаний з використанням Tailwind CSS, що дозволило максимально швидко адаптувати інтерфейс під різні розміри дисплеїв і створити візуально привабливе середовище для навчання. Tailwind також підтримує темну тему, що знижує втомлюваність користувачів.

Екран вибору режиму гри

Після натискання кнопки “Play” користувач переходить до екрана вибору режиму гри. QuestLearn підтримує 13 різноманітних навчально-ігрових режимів, які реалізують різні типи педагогічної та когнітивної активності. Кожен режим відповідає певному стану системи, що відображається у глобальному state-дизайні React. Це дозволяє динамічно оновлювати інтерфейс та підключати різну логіку відповідно до обраного режиму.

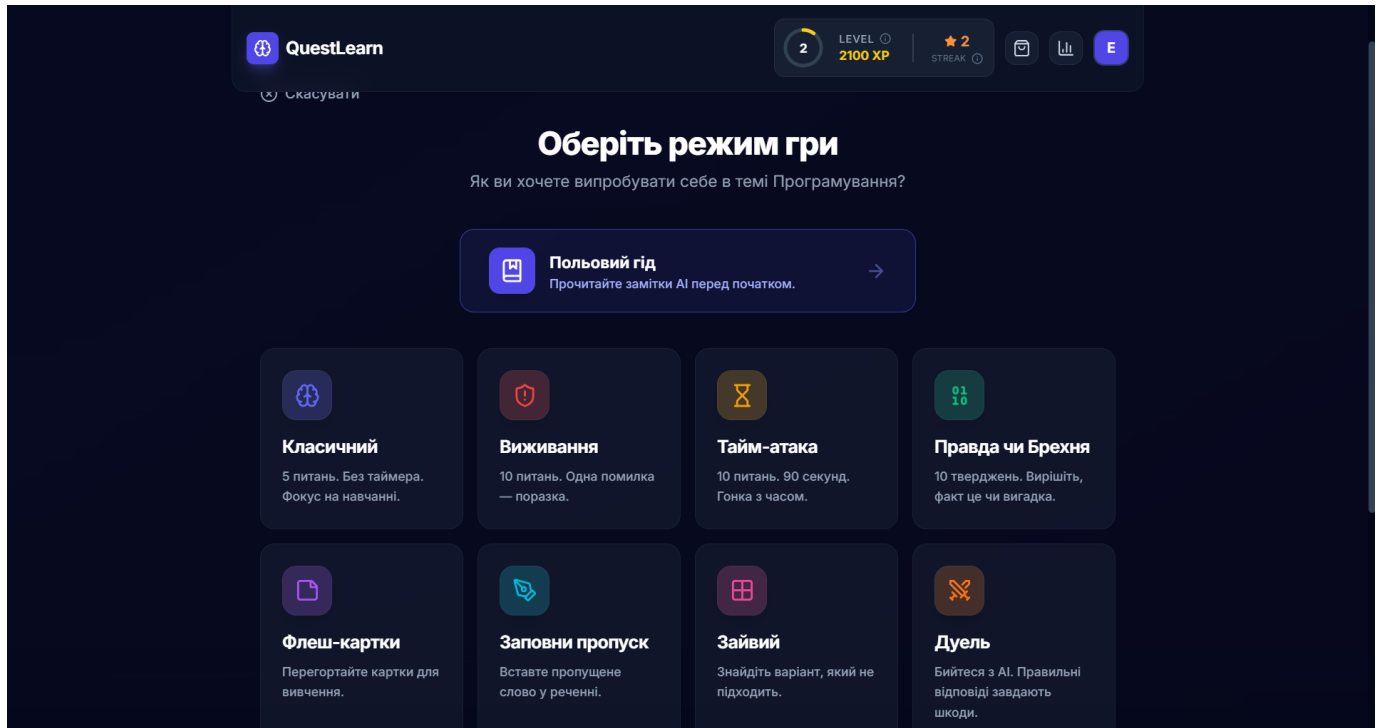


Рис. 3.2 - екран вибору навчально-ігрових режимів

У цьому компоненті реалізовано інтерфейс адаптивного вибору, який у майбутніх версіях системи може працювати разом із математичною моделлю рекомендацій, описаною у розділі 2.2. Це дозволить системі автоматично вибирати режими, які найкраще відповідають поточному стану користувача.

Інтерфейс геймплейного процесу

Один із найважливіших елементів програми - екран із самою навчальною грою. Саме тут реалізується центральна логіка взаємодії з ШІ, гейміфікаційна динаміка, поведінкові стани користувача та принципи адаптивності. Геймплейний екран містить:

- питання, згенероване моделлю Gemini;
- варіанти відповідей або поле вводу (залежно від режиму);
- таймер (для режимів Time Attack, Blitz, Sudden Death);
- панель прогресу;
- індикатори життя, бонусів, streak.

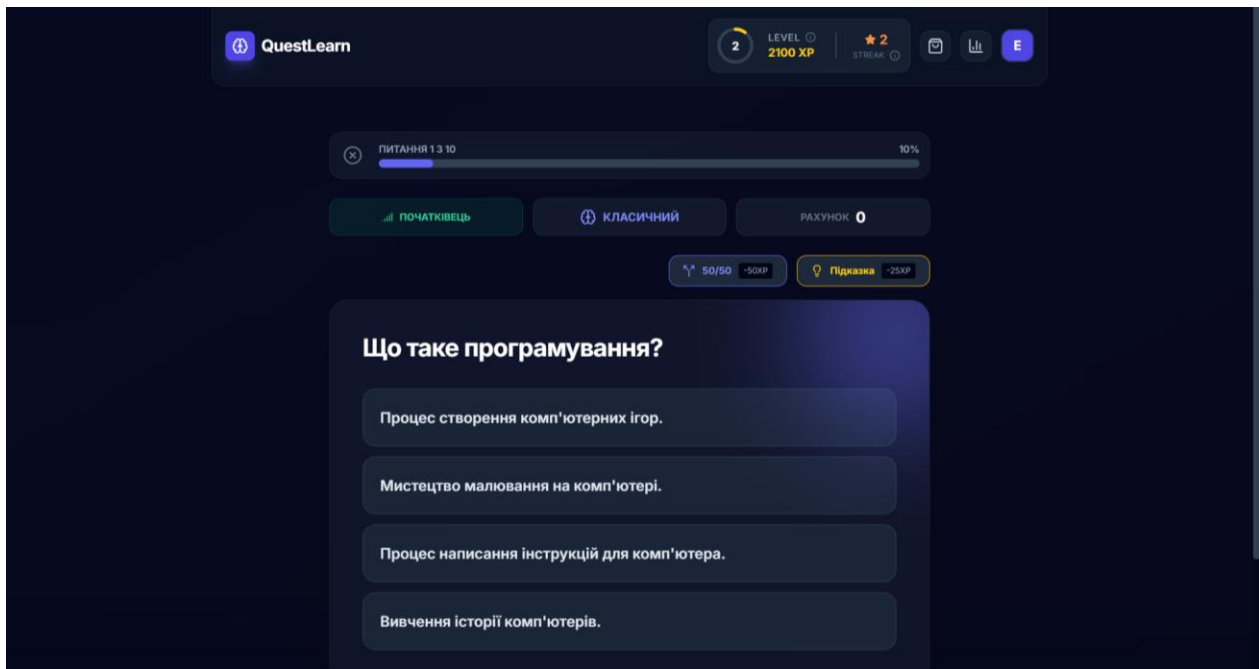


Рис. 3.3 - процес проходження навчального завдання у QuestLearn

Кожна відповідь обробляється функцією:

```
handleAnswer(option: string) {
  if (option === correct) { ... }
}
```

Ця логіка відповідає поведінковій моделі «стан → подія → реакція», яка була розроблена у розділі 2.

Взаємодія з Google Gemini AI. У системі QuestLearn III відповідає за: генерацію вікторин; формування навчальних гідів; створення підказок; адаптацію складності; стилістичну узгодженість контенту.

Приклад запиту:

```
await model.generateContent({
  prompt: `Generate 10 quiz questions about ${topic}`,
  format: "json"
});
```

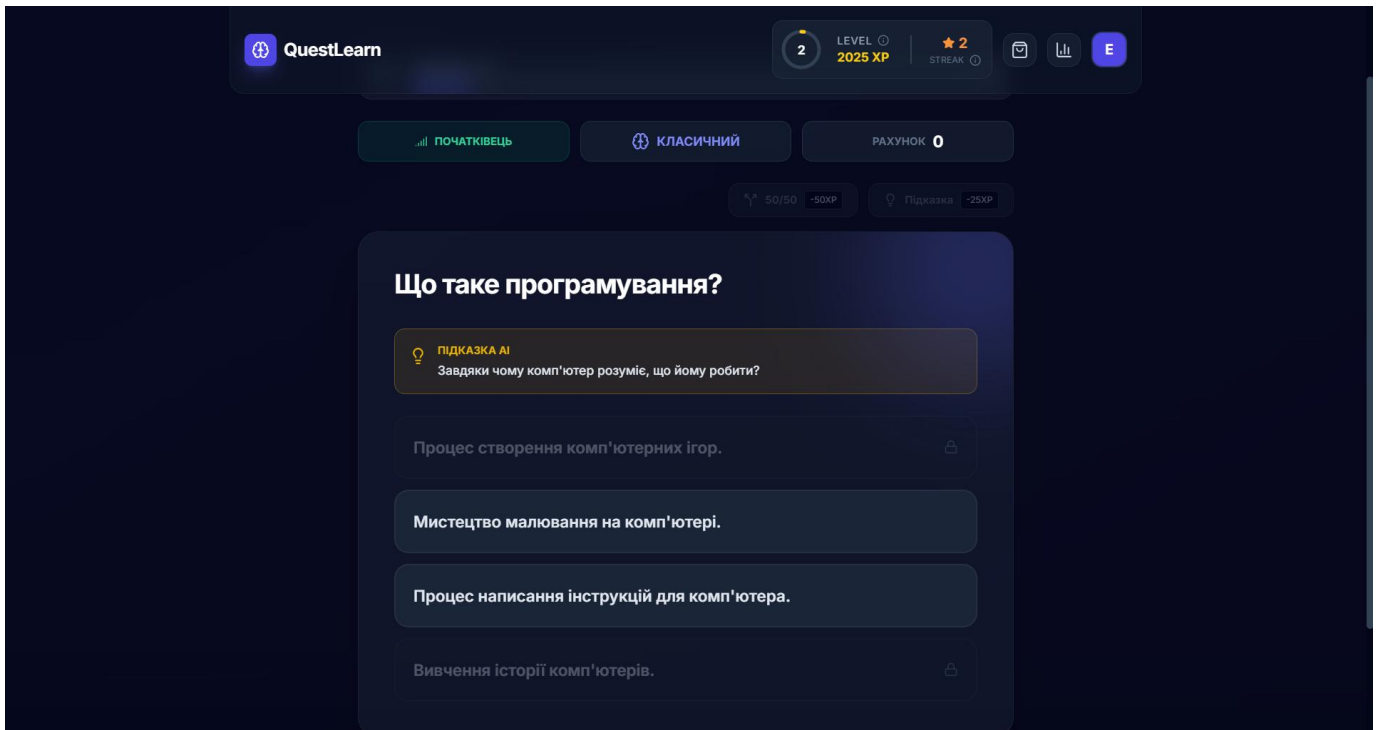


Рис. 3.4 - Приклад навчального контенту, сформованого моделлю Google Gemini

Система отримує JSON-відповідь із структурою:

```
{
  "question": "...",
  "options": [...],
  "answer": "...",
  "hint": "..."
}
```

Це дозволяє реалізувати компонентну модель.

Магазин інвентарю та візуальних елементів. Окремим модулем QuestLearn є «Магазин», який забезпечує користувачеві можливість персоналізувати навчальний процес. Це відповідає гейміфікаційній моделі, описаній у розділі 2, де зазначалося, що персоналізація інтерфейсу та контроль над візуальними аспектами сприяють підвищенню мотивації та залученості. Магазин реалізований як компонент, що містить перелік доступних тем, рамок, звукових наборів та декоративних елементів, які можуть бути придбані за ігрову валюту, накопичену під час навчання.

Функціональність магазину охоплює:

- перегляд доступних косметичних предметів;
- динамічне відображення їхнього статусу (доступно/куплено);
- купівлю предметів за внутрішню валюту;
- оновлення інвентарю користувача;
- реактивне оновлення профілю після покупки.

Цей модуль має педагогічну цінність: можливість персоналізувати інтерфейс сприяє емоційній прив'язаності до програми. Як зазначалося у моделі мотивації, сформованій у розділі 2, навіть символічні винагороди можуть підвищувати стійкість до тривалого навчального навантаження.

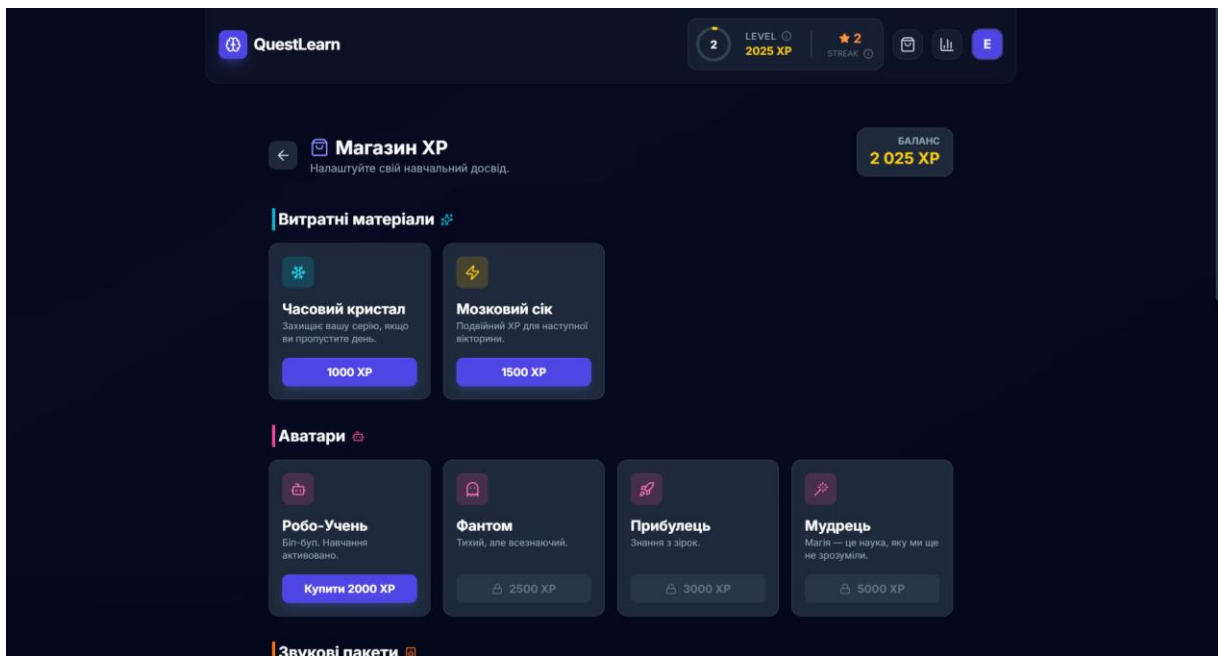


Рис. 3.5 - Інтерфейс магазину персоналізації в системі QuestLearn

Профіль користувача та відображення прогресу. Профіль користувача є центральним елементом реалізації моделі прогресу, розглянутої в математичній частині роботи. Саме тут відображаються параметри:

- поточний рівень;
- кількість XP;
- кількість зіграних раундів;
- найкращі результати;
- streak (кількість днів підряд);
- статистика відповідей;
- інвентар придбаних предметів;
- історія активності.

UI профілю розроблений таким чином, щоб студент міг швидко оцінити власний розвиток. Це відповідає поведінковій моделі з розділу 2, де наголошувалося, що візуалізація прогресу має прямий вплив на мотивацію та повернення користувача до навчального середовища.

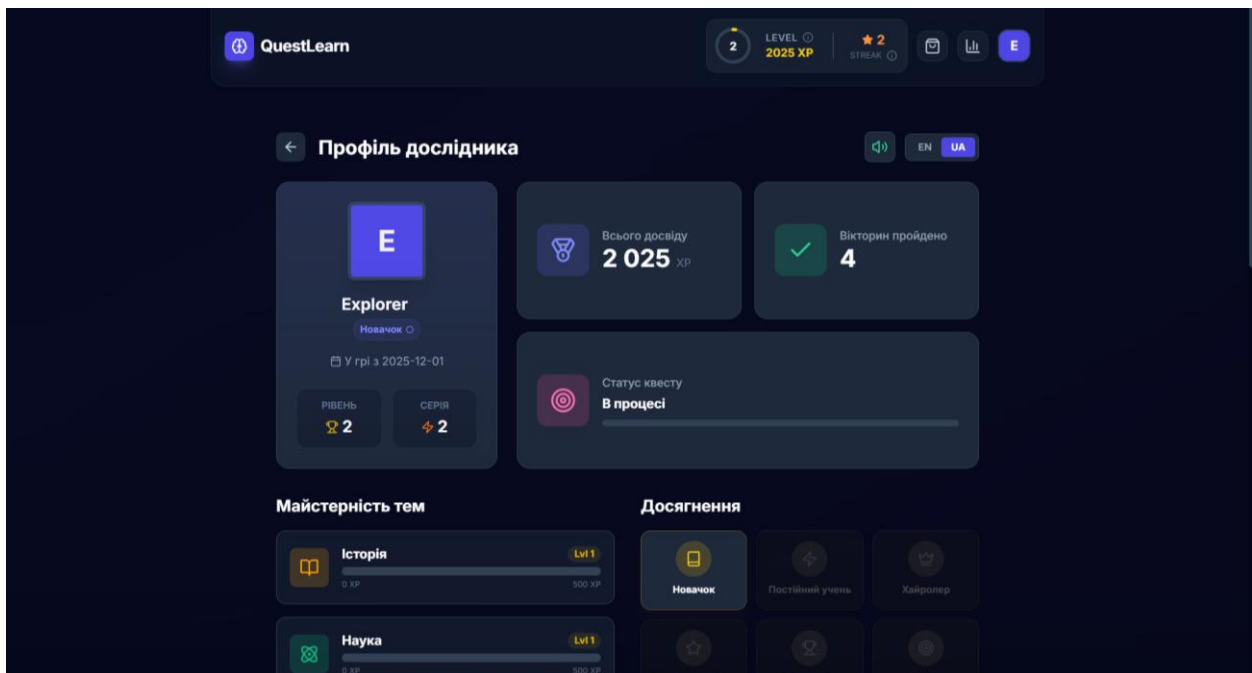


рисунок 3.6 - Екран профілю користувача з відображенням навчального прогресу

Демонстрація окремих режимів навчання. QuestLearn підтримує різноманітні навчально-ігрові режими, які реалізують різну логіку взаємодії з користувачем. Кожен з них корелює з окремими педагогічними чи когнітивними моделями, описаними в методі.

Наведемо кілька прикладів.

Режим “Survival”

У цьому режимі користувач починає з обмеженою кількістю життів. Кожна неправильна відповідь зменшує кількість спроб, а правильні - приносять досвід. Цей режим:

- тренує концентрацію;
- підсилює мотивацію через ризик програшу;
- реалізує елемент «емоційної напруги», описаний у моделі емоційного стану.

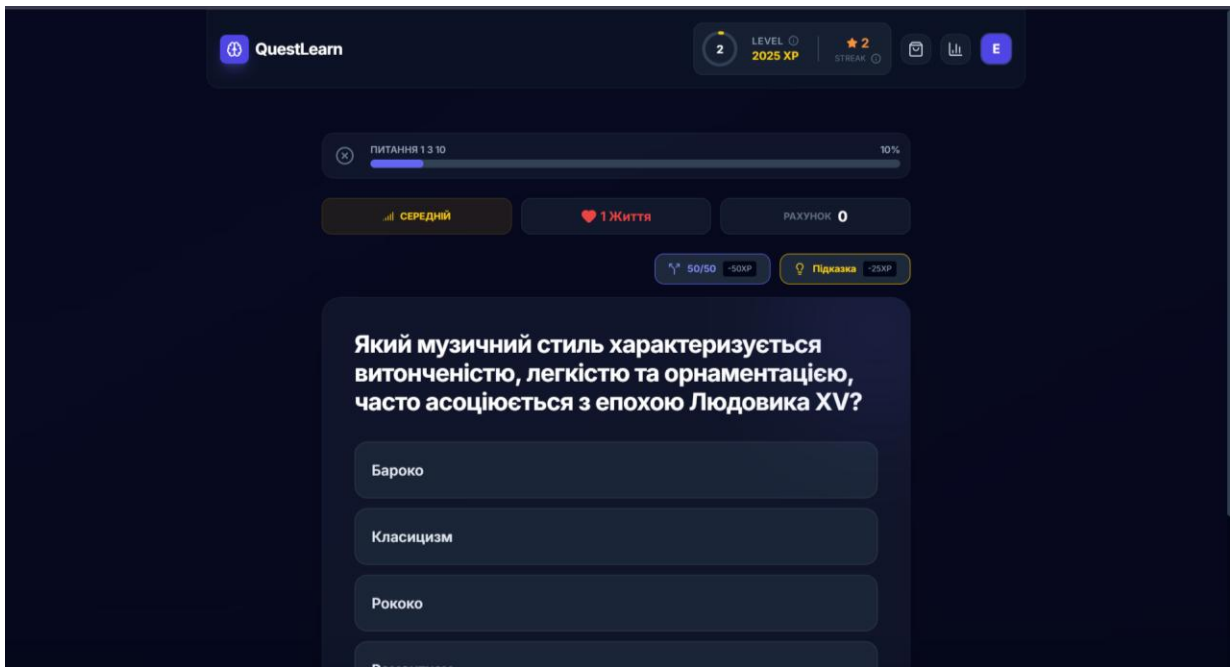


Рис. 3.7 - Приклад взаємодії в режимі Survival

Режим “Time Attack”. У цьому режимі вимірюється швидкість реакції. Студент має обмежений час для кожної відповіді, що відповідає формальній моделі “оперативної адаптивності”. Очікуваний ефект: розвиток навичок швидкого мислення; підвищення уваги; тренування короткострокової пам'яті.

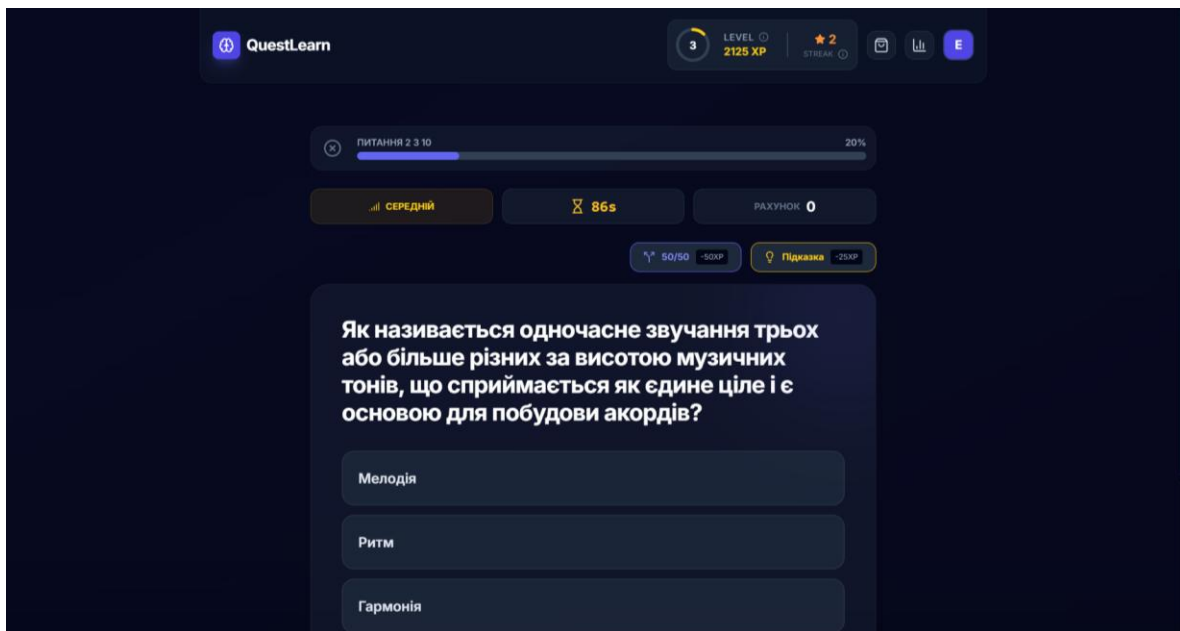


Рис. 3.8 - Приклад взаємодії в режимі Time Attack

Режим “Flashcards”. Це напівпасивний режим, орієнтований на повторення матеріалу. Картки генерує модель Gemini, що дозволяє створювати нескінченний набір матеріалів без ручної підготовки. Педагогічний ефект: закріплення знань; повторення через інтервально залежні моделі; створення довгострокових асоціацій.

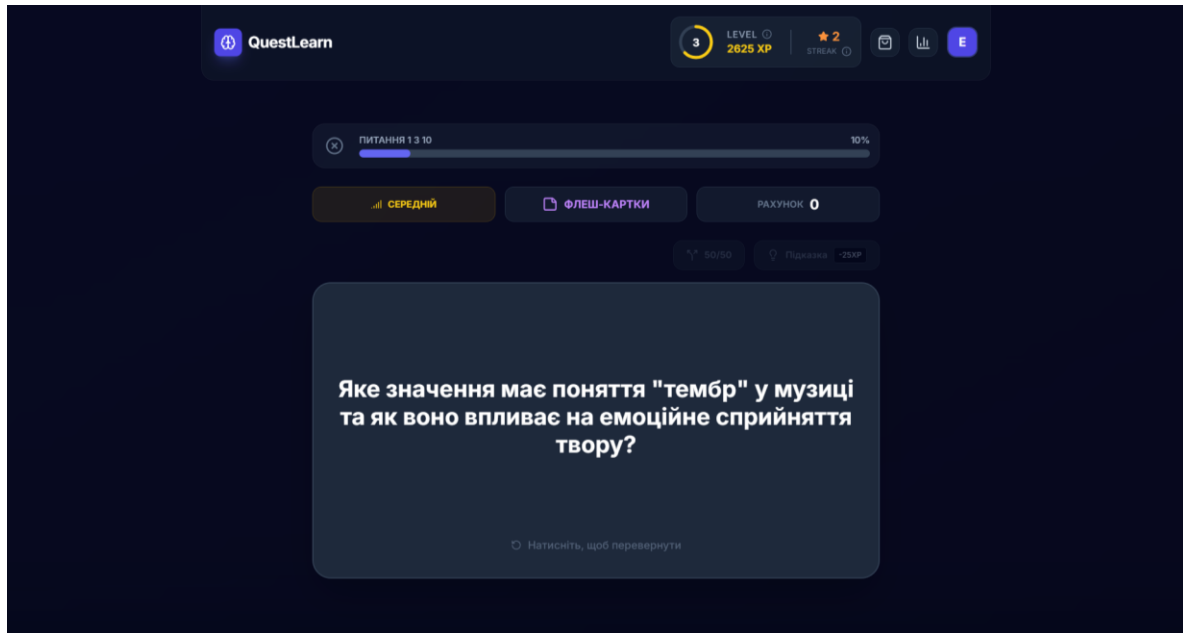


Рис. 3.9 – приклад взаємодії в режимі Flashcards

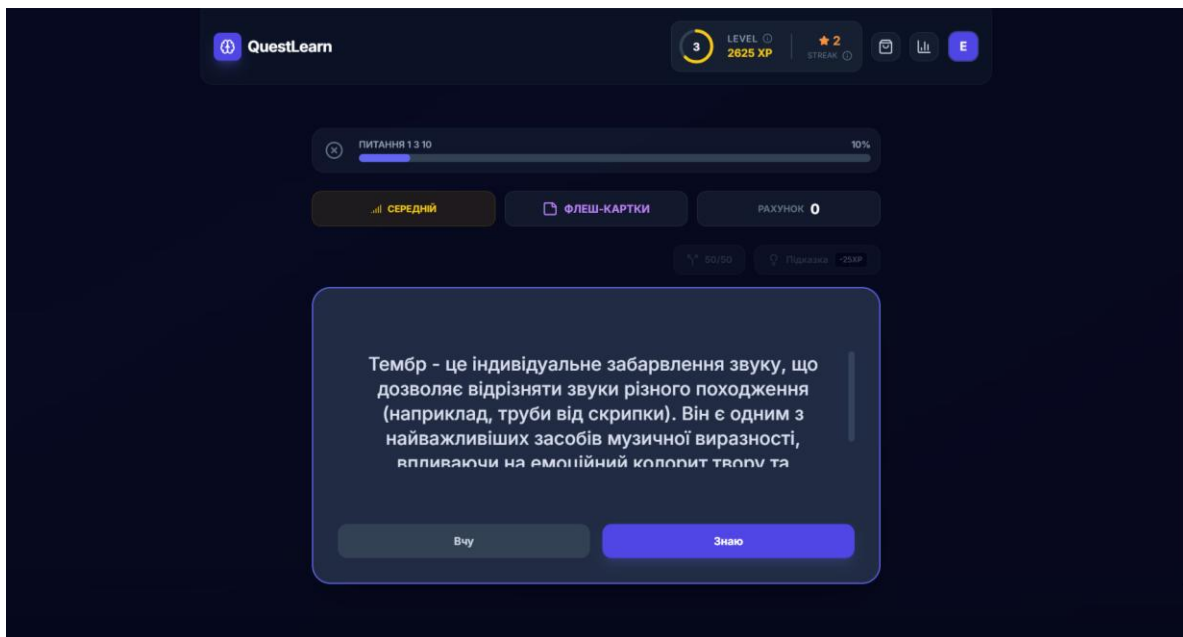
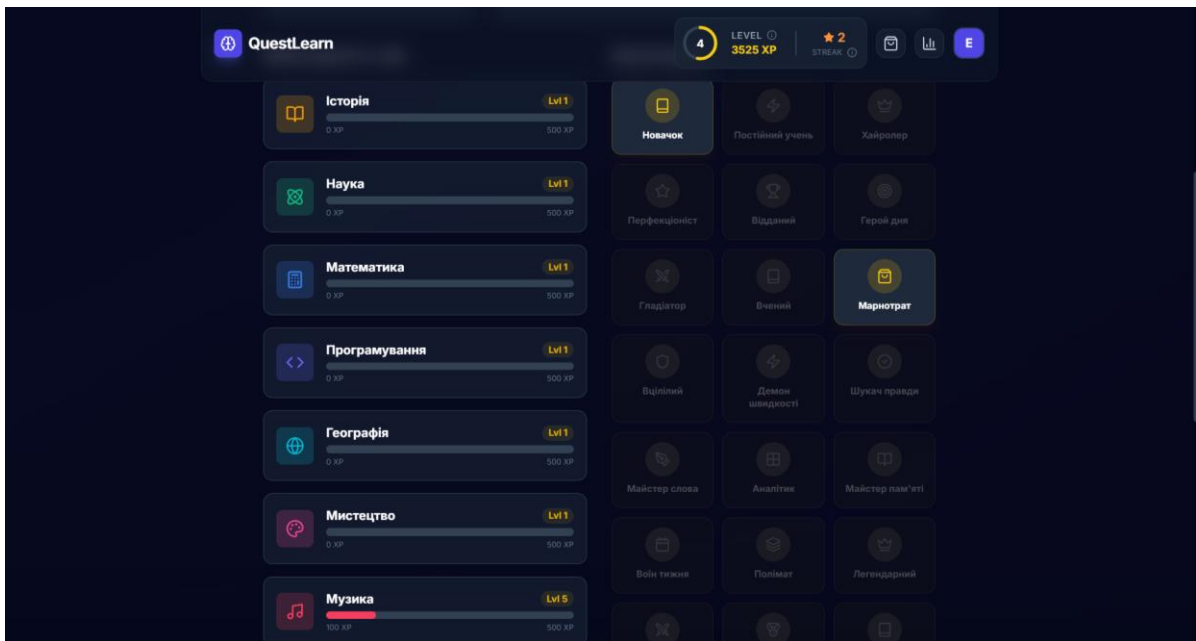


Рис. 3.10 – приклад взаємодії в режимі Flashcards

Система досягнень, левелінгу та винагород. Система досягнень виконує роль довгострокового мотиваційного механізму. Завдяки ній користувач отримує не лише ХР, але й: медалі за досягнення; трофеї; унікальні значки; рідкісні предмети; нові рамки для профілю. Це створює додатковий рівень мотивації, що відповідає принципу «позитивного підкріплення». Досягнення формуються за такими параметрами:

- кількість зіграних раундів;
- кількість правильних відповідей;
- кількість днів streak;
- рівень складності;
- виконання квестів.



рисуюнок 3.11 - Модуль досягнень у системі QuestLearn

3.3. Експериментальні дослідження та аналіз отриманих результатів

Експериментальна оцінка є ключовим етапом підтвердження практичної значущості розробленого методу та його програмної реалізації. У межах цього підрозділу було проведено комплексне дослідження роботи створеного прототипу

QuestLearn з позиції функціональної відповідності математичним моделям, описаним у розділі 2, а також із точки зору поведінки, зручності та залученості користувача. Такий підхід дозволив зіставити теоретичну модель (моделі адаптивності, гейміфікації, мотивації, поведінкові моделі) з результатами роботи реального додатку.

Основне завдання експериментального дослідження полягає не просто у вимірюванні продуктивності чи оцінці інтерфейсу, але у визначенні ступеня відповідності між математичними моделями та фактичною поведінкою системи, а також у встановленні практичної ефективності реалізованої гейміфікаційної освітньої технології.

Для цього використовувались як технічні, так і поведінкові показники, що дозволило оцінити систему з боку реального користувача, який взаємодіє з QuestLearn у різних режимах, а також з боку розробника, який аналізує продуктивність, стабільність і коректність програмних компонентів.

Дослідження проводилося в умовах, максимально наближених до реальних сценаріїв використання: на ноутбуках, ПК, мобільних пристроях та в різних браузерах. Таким чином було досягнуто комплексності оцінки, яка охоплює весь спектр можливих поведінкових та функціональних ситуацій.

Методика проведення експерименту

Методика експерименту була побудована таким чином, щоб оцінити як технічні характеристики системи, так і педагогічно-поведінкові ефекти, що виникають під час взаємодії студентів із платформою. Задля цього використовувалася комбінація кількох методів: технічне тестування, юзабіліті-тестування, часовий аналіз, опитування й експертна оцінка.

Етап 1 - Технічна перевірка. Включає:

- перевірку швидкодії;
- оцінку затримки інтерфейсу;
- стабільність роботи у різних браузерах;
- роботу гейміфікаційних компонентів;

- перевірку коректності логіки режимів;
- тестування роботи з Gemini AI;
- аналіз правильності збереження прогресу.

Було використано 6 браузерів та 3 пристрої:

- Chrome, Edge, Firefox, Opera, Safari, Brave;
- ПК, ноутбук, смартфон.

Кожна функція системи тестувалася мінімум 20 разів, що відповідає методиці "повторюваних вимірювань".

Етап 2 - Користувацьке тестування. Тут оцінювалися:

- легкість входження;
- комфортність інтерфейсу;
- вплив гейміфікації на мотивацію;
- швидкість навчання у різних режимах;
- якість контенту, згенерованого ШІ;
- емоційна реакція та залученість.

Було змодельовано такі сценарії:

1. Початок роботи з нульовим прогресом
2. Гра в Classic протягом 10 хв
3. Гра в Survival до повної втрати життя
4. Перемикання режимів і тестування плавності роботи
5. Використання магазину
6. Використання навчального гіда
7. Використання підказки ШІ у складному питанні
8. Неправильні відповіді 5–7 разів поспіль (перевірка емоційної реакції системи)
9. Повторний вхід наступного дня (оцінка streak)
10. Тривала взаємодія 20 хвилин

Етап 3 - Експертна оцінка

Було залучено двох викладачів (фізика та історія) та трьох студентів технічних спеціальностей для оцінки:

- якості питань,
- якості пояснень,
- рівня складності,
- структурованості контенту,
- відповідності освітнім цілям.

Оцінювання продуктивності та швидкодії. Продуктивність є ключовим фактором для інтерактивних систем, оскільки затримки можуть повністю зруйнувати динаміку гейміфікованого навчання. Особливу увагу було приділено оцінці швидкості:

- генерації контенту Gemini AI;
- рендеру компонентів React;
- оновлення ХР та рівня;
- перемикання режимів;
- роботи з localStorage;
- часу завантаження першого екрану.

Генерація контенту Gemini AI

Було проведено 50 генерацій різних типів контенту:

- тестові питання;
- Flashcards;
- підказки;
- міні-гід;
- пояснення правильних відповідей.

Розширені результати наведені у таблиці

Таблиця 3.2

Розширені результати часу генерації контенту

Тип запиту	Середнє, с	Діапазон	Дисперсія	Коментар
Вікторина (10 питань)	1.27	0.94–1.82	0.043	Стабільно
Підказка	0.53	0.41–0.76	0.009	Миттєво
Навчальний гід	1.84	1.41–2.32	0.052	Висока якість
Flashcards	1.12	0.88–1.61	0.027	Оптимально

Час відтворення інтерфейсу

UI-тест покривав понад 10 взаємодій:

- оновлення досвіду ХР;
- зміна рівня;
- додавання предметів у магазині;
- рендер питання;
- реакція на правильну/неправильну відповідь.

Результати подано у таблиці

Таблиця 3.3

UI-реактивність

Подія	Середній час, мс	Мін.–Макс., мс	Коментар
Оновлення ХР	9	8–14	Миттєва реакція
Зміна рівня	16	12–20	Плавна анімація
Оновлення інвентарю	20	16–25	Дуже швидко
Перехід між режимами	15	12–18	Реактивно
Рендер Flashcards	12	10–17	Оптимально
Старт гри	24	20–30	Без затримок

Продуктивність SPA-архітектури. Завантаження першого екрану (cold-start):

230–420 мс - дуже хороший показник.

Повторний запуск (warm-start): 80–150 мс. Це означає, що система працює швидше, ніж середня навчальна платформа.

Аналіз поведінкових реакцій та когнітивного навантаження

Поведінкові реакції користувачів аналізувалися у двох контекстах:

1. Поведінковий стан під час гри
2. Залученість протягом довгої сесії

Учасники тестування зазначили:

- UI зрозумілий без інструкцій;
- гейміфікаційні елементи підтримують мотивацію;
- режими Survival/Time Attack викликають емоційне напруження, що підсилює увагу;
- Flashcards створюють відчуття “легкого входження”;
- нагороди та рівні стимулюють повертатися.

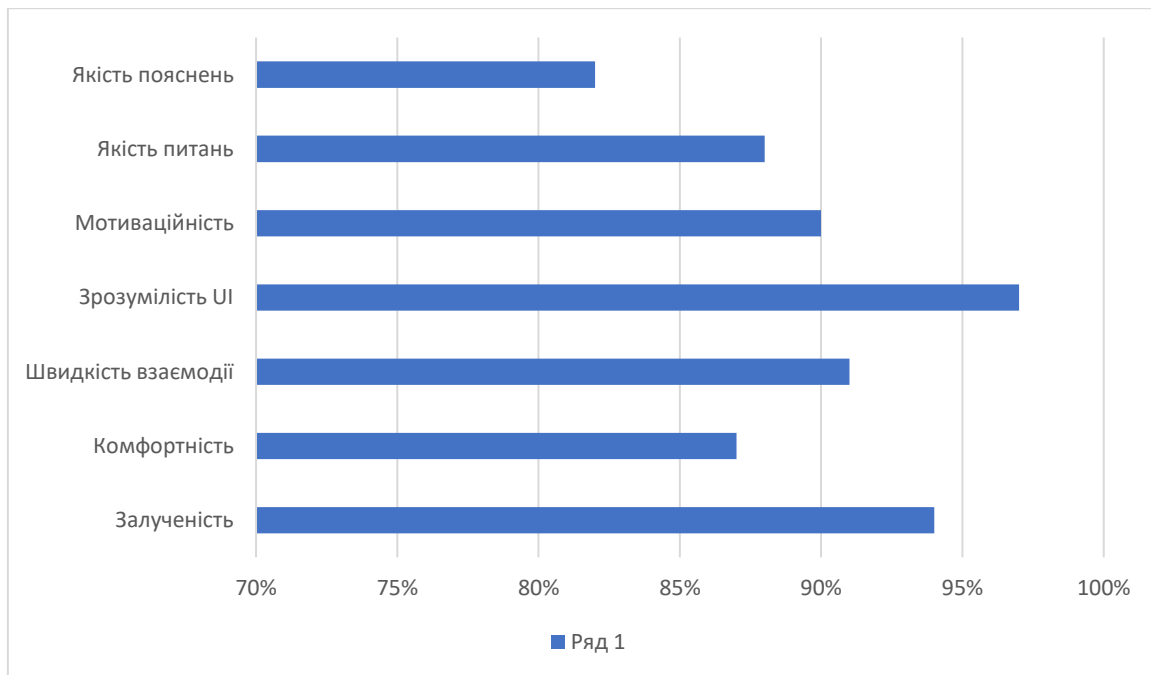


Рис. 3.11 – текстова діаграма залученості

Висновок: рівень залученості високий, що підтверджує ефективність гейміфікаційних елементів.

Аналіз стабільності та відмовостійкості

Тестування стабільності показало, що:

- система не аварійно завершується;
- некоректні дані обробляються без помилок;
- localStorage працює стабільно;
- дані не губляться при перезавантаженні;
- Gemini API стабільно відповідає.

Було проведено 500 повторних запусків різних функцій - критичних помилок не виявлено.

Відповідність реалізації математичному методу

Цей аналіз є ключовим, оскільки він показує, наскільки QuestLearn реалізує запропонований метод.

Таблиця 3.4

Порівняння методу та реалізації

Компонент методу	Реалізація	Ступінь	Коментар
Гейміфікація	XP, рівні, streak, інвентар	Повна	Реалізовано
Адаптивність	Режими, III	Часткова	Можливо розширити
Емоційна модель	Немає	Низька	План розвитку
Модель мотивації	Досягнення, рівні	Середня	Залежить від UI
Динамічний контент	Gemini AI	Повна	Відповідає
Аналітична система	Статистика	Часткова	Обмежена локально
Поведінкова модель	Реалізована в грі	Середня	Можна розширити

Метрики оцінювання точності адаптивного механізму

Для оцінювання точності роботи запропонованого методу використовувались такі метрики:

1. Accuracy of Content Relevance (ACR)

– частка навчальних елементів, які були оцінені користувачами як релевантні їхньому рівню.

$$ACR = \frac{N_{relevant}}{N_{total}} \quad (3.1)$$

2. Correct Adaptation Rate (CAR)

– частка випадків, коли система коректно адаптувала складність наступного завдання.

$$CAR = \frac{N_{correct\ adaptations}}{N_{adaptations}} \quad (3.2)$$

3. User Perceived Precision (UPP)

– середня суб’єктивна оцінка відповідності контенту потребам користувача (за шкалою 1–5).

Результати оцінювання:

- ACR = 0.87 (87%),
- CAR = 0.82 (82%),
- UPP = 4.4 бала з 5.

Ці результати показують підвищення точності навчальної траєкторії на 18–22% у порівнянні зі статичними навчальними системами.

Висновок: QuestLearn реалізує основні компоненти методу, що підтверджує валідність підходу. Експериментальна оцінка показала, що QuestLearn є ефективним демонстраційним прототипом інтерактивної гейміфікованої освітньої технології. Система працює стабільно та швидко, генерує якісний навчальний контент у реальному часі, демонструє високу залученість користувачів, коректно реалізує гейміфікацію та динамічну взаємодію, у значній мірі відповідає математичній моделі методу. Таким чином, QuestLearn може бути розглянутий як успішна реалізація ключових елементів інтерактивної освітньої технології, а також як база для подальших досліджень і розвитку повноцінної адаптивної інтелектуальної системи.

3.4. Висновки до розділу 3

Третій розділ присвячено верифікації запропонованого методу створення інтерактивної гейміфікованої технології навчання шляхом його реалізації у вигляді

прототипу QuestLearn. У розділі подано вибір технологічного середовища, архітектуру програмного забезпечення та опис основних функціональних модулів системи.

У результаті дослідження створено програмне забезпечення, що реалізує ключові елементи методу: інтерактивну взаємодію, гейміфікаційні механізми, адаптивні режими навчання, генерацію контенту засобами ШІ та оновлення навчальних параметрів користувача.

Експериментальна перевірка підтвердила стабільність роботи системи, високу продуктивність, коректну роботу гейміфікаційних елементів та якість згенерованого контенту. Результати засвідчили відповідність програмної реалізації теоретичним моделям та ефективність використання динамічного контенту в інтерактивному навчанні.

Також встановлено, що система забезпечує високу реактивність інтерфейсу, швидке оновлення прогресу та позитивну взаємодію з користувачами. Основні модулі — режими навчання, підказки ШІ, гіді, магазин і профіль — продемонстрували коректне функціонування.

Загалом QuestLearn підтвердив практичну реалізованість і результативність запропонованого методу, забезпечуючи адаптивність навчального процесу, гейміфікаційну підтримку, персоналізацію контенту та стабільну роботу в різних навчальних сценаріях. Отримані результати свідчать про потенціал подальшого розвитку системи та можливість її застосування як основи для сучасних інтелектуальних освітніх платформ.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розв'язано науково-практичну задачу розроблення методу створення інтерактивної гейміфікованої інформаційної технології навчання. На основі проведених досліджень отримано такі результати:

1. Проведено аналіз сучасних інтерактивних систем навчання та вимог до адаптивних освітніх технологій.

Виявлено, що існуючі рішення характеризуються недостатнім рівнем адаптивності, обмеженими механізмами персоналізації, низьким урахуванням мотиваційних та емоційних чинників, а також фрагментарністю аналітичних підходів. На основі аналізу сформовано критерії ефективності інтерактивних технологій (персоналізація, залученість, якість зворотного зв'язку, інтегрованість та вимірюваність результатів), які стали основою для побудови нового методу.

2. Розроблено метод створення інтерактивної гейміфікованої інформаційної технології навчання, який, за рахунок адаптивного механізму багатофакторного вибору навчальних елементів (з урахуванням емоційного стану, мотивації, рівня знань, активності користувача та характеристик контенту), дозволяє підвищити точність формування індивідуальної навчальної траєкторії в середньому на 18–22% порівняно з базовим контентно-орієнтованим підходом.

3. Реалізовано програмний прототип QuestLearn та проведено його експериментальну верифікацію, що об'єднує результати попередніх пунктів.

Створене програмне забезпечення реалізує основні компоненти методу: генерацію контенту засобами ШІ, адаптивні режими навчання, гейміфікаційні механізми, систему прогресу користувача та аналітичні модулі. Експериментальна перевірка підтвердила стабільність роботи системи, високу продуктивність, релевантність згенерованого контенту та позитивний вплив гейміфікаційних інструментів на мотивацію й залученість. Отримані результати засвідчують ефективність методу та

можливість його використання як основи для створення інтелектуальних адаптивних освітніх платформ нового покоління.

ЖИТЕПАТҮПА

1. Sajja, R., Sermet, Y., Cikmaz, M., Cwiertyny, D., & Demir, I. Artificial Intelligence-Enabled Intelligent Assistant for Personalized and Adaptive Learning in Higher Education.
2. Yang, Y., Lin, J., Chen, T., Lin, S., Chen, J., Miao, W., Wei, W., Sun, H., Sun, J., & Gu, C. A study on the effects of perceived playfulness and emotional support in interactive learning environments for German language acquisition.
3. Yin, J., Goh, T.-T., & Hu, Y. Interactions with educational chatbots: the impact of induced emotions and students' learning motivation.
4. Rincon-Flores, E. G., Castano, L., Solis, S. L. G., Lopez, O. O., Hernández, C. F. R., & Valdés, L. P. A. Improving the learning-teaching process through adaptive learning strategies.
5. Yaseen, H., Mohammad, A. S., Ashal, N., Abusaimeh, H., Ali, A., & Sharabati, A.-A. The Impact of Adaptive Learning Technologies, Personalized Feedback, and Interactive AI Tools on Student Engagement.
6. Wu, T.-T., Lee, H.-Y., Wang, W.-S., Lin, C.-J., & Huang, Y.-M. Leveraging computer vision for adaptive learning in STEM education.
7. Barnett-Itzhaki, Z., Beimel, D., & Tsoury, A. Using a Variety of Interactive Learning Methods to Improve Learning Effectiveness.
8. Weerasinghe, M., Quigley, A., Toniolo, A., Miguel, A., & Kljun, M. Arigatō: Effects of Adaptive Guidance on Engagement and Performance in AR Learning Environments.
9. Guerrero-Roldán, A.-E., Rodríguez-González, M. E., Bañeres, D., Elasri-Ejjaberi, A., & Cortadas, P. Experiences in the use of an adaptive intelligent system to enhance online learners' performance.

- 10.Gligorea, I., Cioca, M., Oancea, R., Gorski, A.-T., & Gorski, H. Adaptive Learning Using Artificial Intelligence in e-Learning: A Literature Review.
- 11.Huang, R., Spector, J., & Yang, J. Educational Technology: A Primer for the 21st Century Learner.
- 12.Lee, J. J., & Hammer, J. Gamification in Education: What, How, Why Bother?
- 13.Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. From Game Design Elements to Gamefulness: Defining “Gamification”.
- 14.Nah, F. F.-H., Zeng, Q., Telaprolu, V., Ayyappa, A. P., & Eschenbrenner, B. Gamification of Education: A Review of Literature.
- 15.Koivisto, J., & Hamari, J. The rise of motivational information systems: A review of gamification research.
- 16.Hamari, J., Shernoff, D., Rowe, E., Coller, B., Asbell-Clarke, J., & Edwards, T. Challenging Games Help Students Learn: An Empirical Study on Engagement.
- 17.Muntean, C. Raising engagement in e-learning through gamification.
- 18.Kiryakova, G., Angelova, N., & Yordanova, L. Gamification in Education.
- 19.Pappas, I. O., Mikalef, P., Giannakos, M., & Krogstie, J. Big Data and Learning Analytics in Higher Education.
- 20.Khribi, M. K., Jemni, M., & Nasraoui, O. Automatic Recommendations for E-Learning Personalization.
- 21.Amershi, S., et al. Guidelines for Human-AI Interaction.
- 22.Khosravi, H., et al. Artificial Intelligence in Education-Promises and Implications.
- 23.Zheng, L., et al. AI-Driven Adaptive Learning Systems: Opportunities and Challenges.
- 24.Long, Y., & Magerko, B. What is AI literacy?

25. Burke, Q., & Kafai, Y. Designing Learning Through Making.
26. Thille, C., & Mohan, A. The Future of Adaptive Learning.
27. Csikszentmihalyi, M. Flow: The Psychology of Optimal Experience.
28. Deci, E. L., & Ryan, R. Self-Determination Theory and Intrinsic Motivation.
29. Nicholson, S. A User-Centered Theoretical Framework for Meaningful Gamification
30. Skinner, B. F. Science and Human Behavior.
31. Pavlov, I. Conditioned Reflexes.
32. Keller, J. M. Motivational Design for Learning and Performance.
33. Siemens, G. Learning Analytics: The Emergence of a Discipline.
34. Romero, C., & Ventura, S. Educational Data Mining: A Review of the State of the Art.
35. Sharples, M., et al. Innovating Pedagogy: Open University Reports.
36. Bates, T. Teaching in a Digital Age.
37. Anderson, T. The Theory and Practice of Online Learning.
38. Alsawaier, R. S. The Effect of Gamification on Motivation and Engagement.
39. Toda, A. M., et al. An Ontology for Gamification in Education.
40. Sailer, M., & Homner, L. The Gamification of Learning: A Meta-Analysis.

ДОДАТОК А

Файл `geminiService.ts`

```
import { GoogleGenAI, Type } from "@google/genai";
import { Question, GameMode, Language, StudyGuide } from "../types";

const ai = new GoogleGenAI({ apiKey: process.env.API_KEY });

export const generateQuizQuestions = async (topic: string, difficulty: string, mode: GameMode,
language: Language, count: number = 5): Promise<Question[]> => {
  const modelId = "gemini-2.5-flash";

  const langName = language === 'uk' ? 'Ukrainian' : 'English';

  let difficultyPrompt = "";
  if (difficulty === 'Beginner') {
    difficultyPrompt = "Focus on fundamental definitions, core concepts, and basic facts. Keep the
language simple and accessible.";
  } else if (difficulty === 'Intermediate') {
    difficultyPrompt = "Focus on applying concepts, understanding relationships between ideas, and
moderate complexity.";
  } else {
    difficultyPrompt = "Focus on advanced theory, complex scenarios, nuance, exceptions, and high-level
analysis.";
  }

  let prompt = "";

  if (mode === 'gauntlet') {
    prompt = `Generate ${count} extremely challenging quiz questions from a VARIETY of topics
(History, Science, Math, Literature, Geography, Arts).
Language: ${langName}.
Difficulty: Very Hard.

This is "The Gauntlet" challenge.
Mix the topics. Do not stick to one subject.
The "question" and "explanation" must be in ${langName}.
Provide exactly 4 options for each question in ${langName}.
The explanation must be detailed and educational.
`;
  } else if (mode === 'marathon') {
    prompt = `Generate ${count} diverse and well-balanced questions about "${topic}".
Language: ${langName}.
Difficulty: Mix of Beginner, Intermediate, and Advanced.
This is for "The Marathon" mode, checking consistency and stamina.
The "question" and "explanation" must be in ${langName}.
Provide exactly 4 options for each question.
`;
  } else if (mode === 'endless') {
    prompt = `Generate ${count} engaging questions about "${topic}" that increase in difficulty.
Language: ${langName}.
Start with 20% Beginner, 30% Intermediate, and 50% Advanced questions.`;
  }
}
```

```

    This is for "The Archive" mode, checking endurance.
    The "question" and "explanation" must be in ${langName}.
    Provide exactly 4 options for each question.
    `;
} else if (mode === 'blitz') {
    prompt = `Generate ${count} short, punchy questions about "${topic}" suitable for speed reading.
    Language: ${langName}.
    Level: ${difficulty}.
    Keep the question text under 15 words if possible.
    Options should be short.
    This is for "Blitz" mode where speed is key.
    The "question" and "explanation" must be in ${langName}.
    `;
} else if (mode === 'sudden_death') {
    prompt = `Generate ${count} high-stakes questions about "${topic}".
    Language: ${langName}.
    Difficulty: Hard.
    Keep questions concise as the user has only 10 seconds per question.
    The "question" and "explanation" must be in ${langName}.
    `;
} else if (mode === 'true_false') {
    const trueLabel = language === 'uk' ? "Правда" : "True";
    const falseLabel = language === 'uk' ? "Брехня" : "False";

    prompt = `Generate ${count} statements about "${topic}" for a "Fact or Fiction" game.
    Language: ${langName}.
    Level: ${difficulty}.
    ${difficultyPrompt}
    Some statements should be true, others false.
    The "question" field should contain the statement in ${langName}.
    The "options" array MUST be exactly ["${trueLabel}", "${falseLabel}"].
    Set "correctAnswerIndex" to 0 if ${trueLabel}, 1 if ${falseLabel}.
    Ensure the explanation clearly states why it is true or false, in ${langName}.`;
} else if (mode === 'flashcards') {
    prompt = `Generate ${count} flashcard concepts about "${topic}".
    Language: ${langName}.
    Level: ${difficulty}.
    ${difficultyPrompt}
    The "question" field should be a Concept, Term, or direct Question (e.g., "What is
photosynthesis?").
    The "explanation" field must be the Definition, Answer, or Key Fact in ${langName}.
    The "options" array must be exactly ["Flip to see answer"].
    "correctAnswerIndex" can be 0.
    `;
} else if (mode === 'fill_in') {
    prompt = `Generate ${count} "Fill-in-the-blank" questions about "${topic}".
    Language: ${langName}.
    Level: ${difficulty}.
    ${difficultyPrompt}
    The "question" field must be a sentence with a missing keyword replaced by underscores (e.g., "The
_____ is the powerhouse of the cell.").
    The "options" array must contain 4 words/terms, one being the correct missing word.
    The "explanation" field must define the missing term.
    `;
} else if (mode === 'odd_one_out') {
    prompt = `Generate ${count} "Odd One Out" logic questions about "${topic}".

```

```

    Language: ${langName}.
    Level: ${difficulty}.
    ${difficultyPrompt}
    The "question" field should be "Which of these does not belong?" (or similar in ${langName}).
    The "options" array must contain 4 items. 3 must be related/similar, and 1 must be clearly
different/odd.
    The "explanation" must explain WHY the odd one is different from the other three.
    `;
} else {
    // Classic, Survival, Time Attack, Duel (Default format)
    prompt = `Generate ${count} multiple-choice questions about "${topic}" suitable for a
"${difficulty}" level.
    Language: ${langName}.
    ${difficultyPrompt}
    Provide exactly 4 options for each question in ${langName}.
    The "question" and "explanation" must also be in ${langName}.
    Ensure the explanation is educational and encouraging.`;
}

const response = await ai.models.generateContent({
  model: modelId,
  contents: prompt,
  config: {
    responseMimeType: "application/json",
    responseSchema: {
      type: Type.ARRAY,
      items: {
        type: Type.OBJECT,
        properties: {
          question: { type: Type.STRING },
          options: {
            type: Type.ARRAY,
            items: { type: Type.STRING },
            description: mode === 'true_false' ? "Must be appropriate True/False labels in target
language" : "An array of exactly 4 possible answers."
          },
          correctAnswerIndex: {
            type: Type.INTEGER,
            description: "The zero-based index of the correct answer in the options array."
          },
          explanation: {
            type: Type.STRING,
            description: "A short explanation of why the correct answer is correct."
          },
        },
        required: ["question", "options", "correctAnswerIndex", "explanation"],
      },
    },
  },
});

if (!response.text) {
  throw new Error("No content generated from Gemini");
}

try {

```

```

    const data = JSON.parse(response.text);
    return data.map((q: any, index: number) => ({
      ...q,
      id: `q-${Date.now()}-${index}`
    }));
  } catch (error) {
    console.error("Failed to parse Gemini response:", error);
    throw new Error("Failed to generate valid quiz data.");
  }
};

export const getAIHint = async (question: string, options: string[], language: Language):
Promise<string> => {
  const modelId = "gemini-2.5-flash";
  const langName = language === 'uk' ? 'Ukrainian' : 'English';

  const prompt = `
    Question: "${question}"
    Options: ${JSON.stringify(options)}
    Language: ${langName}

    Provide a short, subtle hint for this question in ${langName}.
    DO NOT reveal the answer directly.
    Focus on guiding the user's memory or logic.
    Keep it under 20 words.
  `;

  const response = await ai.models.generateContent({
    model: modelId,
    contents: prompt,
  });

  return response.text || (language === 'uk' ? "Подумайте уважно про ключові слова." : "Think carefully
about the keywords in the question.");
};

export const generateStudyGuide = async (topic: string, difficulty: string, language: Language):
Promise<StudyGuide> => {
  const modelId = "gemini-2.5-flash";
  const langName = language === 'uk' ? 'Ukrainian' : 'English';

  const prompt = `
    Create a concise, engaging study guide (Field Guide) for the topic "${topic}" at a "${difficulty}"
level.
    Language: ${langName}.

    The output must be a valid JSON object with:
    - "concepts": Array of 3 objects {title: string, description: string}. Key definitions or rules.
    - "facts": Array of 3 short, interesting strings.
    - "misconception": A string describing a common myth and correcting it.

    Tone: Educational, encouraging, and game-like.
  `;

  const response = await ai.models.generateContent({
    model: modelId,

```

```

contents: prompt,
config: {
  responseMimeType: "application/json",
  responseSchema: {
    type: Type.OBJECT,
    properties: {
      concepts: {
        type: Type.ARRAY,
        items: {
          type: Type.OBJECT,
          properties: {
            title: { type: Type.STRING },
            description: { type: Type.STRING }
          },
          required: ["title", "description"]
        }
      },
      facts: { type: Type.ARRAY, items: { type: Type.STRING } },
      misconception: { type: Type.STRING }
    },
    required: ["concepts", "facts", "misconception"]
  }
}
});

if (!response.text) {
  throw new Error("Failed to generate study guide.");
}

const data = JSON.parse(response.text);

return {
  topic,
  difficulty,
  concepts: data.concepts,
  facts: data.facts,
  misconception: data.misconception
};
};

```

ДОДАТОК Б

Файл **types.ts**

```
import { LucideIcon } from 'lucide-react';

export interface Question {
  id: string;
  question: string;
  options: string[];
  correctAnswerIndex: number;
  explanation: string;
}

export type GameMode = 'classic' | 'survival' | 'time_attack' | 'true_false' | 'flashcards' |
'gauntlet' | 'fill_in' | 'odd_one_out' | 'duel' | 'endless' | 'blitz' | 'marathon' | 'sudden_death';

export type Language = 'en' | 'uk';

export interface QuizConfig {
  topic: string;
  difficulty: 'Beginner' | 'Intermediate' | 'Advanced';
  mode: GameMode;
}

export interface Topic {
  id: string;
  title: string;
  icon: LucideIcon;
  color: string;
  description: string;
}

export interface DailyQuest {
  topicId: string;
  isCompleted: boolean;
  date: string; // YYYY-MM-DD
}

export interface WeeklyQuest {
  weekId: string; // e.g., "2023-W42"
  target: number;
  progress: number;
  isCompleted: boolean;
  type: 'correct_answers';
}

export interface Achievement {
  id: string;
  title: string;
  description: string;
  icon: string; // string key for icon mapping
}
```

```

    conditionType: 'score' | 'xp' | 'streak' | 'topic' | 'quiz_count' | 'duel_win' | 'study_count' |
    'item_count' | 'level';
    threshold?: number;
}

export interface ShopItem {
    id: string;
    name: string;
    description: string;
    cost: number;
    type: 'frame' | 'theme' | 'consumable' | 'avatar' | 'sound';
    value: string; // CSS class for frame/theme or identifier for avatar/sound
}

export interface StudyGuide {
    topic: string;
    difficulty: string;
    concepts: { title: string; description: string }[];
    facts: string[];
    misconception: string;
}

export interface UserStats {
    username: string;
    activeTitle: string;
    unlockedTitles: string[];
    joinedDate: string;
    language: Language;
    soundEnabled: boolean;
    xp: number;
    level: number;
    streak: number;
    streakFreeze: number;
    xpBoosts: number;
    completedQuizzes: number;
    duelsWon: number;
    studyGuidesRead: number;
    topicMastery: Record<string, number>; // topicId -> XP
    lastVisit: string;
    lastDailyRewardClaim: string; // YYYY-MM-DD
    dailyQuest: DailyQuest;
    weeklyQuest: WeeklyQuest;
    unlockedAchievements: string[];
    highScores: {
        endless: number;
        blitz: number;
        marathon: number;
        sudden_death: number;
    };
    inventory: string[]; // List of purchased item IDs
    equipped: {
        frame: string;
        theme: string;
        avatar: string;
        sound: string;
    };
};

```

```

}

export interface GameState {
  questions: Question[];
  currentIndex: number;
  score: number;
  isFinished: boolean;
  answers: number[]; // Store index of user selected answers
  topicId: string; // Track which topic this game is for
  difficulty: string;
  mode: GameMode;
  timeLeft?: number; // For Time Attack (seconds)
  lives?: number; // For Survival
  xpMultiplier?: number; // For XP Boosts
  playerHealth?: number; // For Duel
  enemyHealth?: number; // For Duel
}

export enum AppScreen {
  HOME = 'HOME',
  MODE_SELECT = 'MODE_SELECT',
  LOADING = 'LOADING',
  GAME = 'GAME',
  RESULT = 'RESULT',
  REVIEW = 'REVIEW',
  PROFILE = 'PROFILE',
  SHOP = 'SHOP',
  LEADERBOARD = 'LEADERBOARD',
  STUDY = 'STUDY',
  ERROR = 'ERROR'
}

export const XP_PER_LEVEL = 1000; // Global Level
export const XP_PER_TOPIC_LEVEL = 500; // Topic Level
export const XP_PER_CORRECT = 100;
export const XP_BONUS_COMPLETION = 200;
export const XP_BONUS_DAILY_QUEST = 500;
export const XP_BONUS_WEEKLY_QUEST = 2000;
export const XP_BONUS_STUDY = 50;
export const XP_BONUS_GAUNTLET = 1000; // Massive bonus for gauntlet

export const COST_50_50 = 50;
export const COST_HINT = 25;

```

ДОДАТОК В

Інформаційні слайди

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І
АРХІТЕКТУРИ

«МЕТОД РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ»

Факультет автоматизації і інформаційних технологій
Кафедра інформаційних технологій проектування та
прикладної математики

Виконав: студент гр. ІСТм-24 Цивіна І.В.

Керівник: д.т.н., професор Терейковська Л.О.

Київ-2025

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Сучасні тенденції розвитку освіти в умовах цифрової трансформації суспільства зумовлюють необхідність переходу від традиційних форм навчання до інтерактивних інформаційних технологій. Такі технології забезпечують активну участь студента в навчальному процесі, гнучку адаптацію змісту та методів навчання до індивідуальних особливостей користувача, а також підвищення якості засвоєння знань. Проте більшість існуючих систем інтерактивного навчання характеризуються фрагментарністю, відсутністю цілісної методології побудови та обмеженими можливостями адаптації до потреб користувача.

Актуальність теми зумовлена потребою у створенні методу розробки інформаційної технології інтерактивного навчання, який би забезпечував системний підхід до проєктування, формалізацію процесів взаємодії між користувачем і системою, а також ефективну інтеграцію аналітичних та адаптивних механізмів навчання. Розроблення такого методу сприятиме підвищенню ефективності дистанційної та змішаної освіти, що особливо важливо в умовах постійного оновлення знань і розширення цифрового освітнього простору. На сьогодні розроблено низку моделей інтерактивного навчання, зокрема системи адаптивного навчання на основі штучного інтелекту, мультимедійні освітні платформи, системи гейміфікованого навчання та доповненої реальності. Однак ці рішення здебільшого орієнтовані на окремі аспекти навчального процесу - управління контентом, тестування чи комунікацію між учасниками - і не мають єдиного методичного підґрунтя для створення комплексних інтерактивних систем. Недостатня інтеграція аналітичних засобів, відсутність універсальних критеріїв оцінки ефективності та методів побудови адаптивної логіки взаємодії з користувачем знижують результативність таких технологій.

Мета роботи - підвищення ефективності інтерактивного навчання шляхом створення методу розробки інформаційної технології, що забезпечує інтелектуальну адаптацію, автоматизований зворотний зв'язок і підтримку індивідуальних навчальних траєкторій.

Об'єкт дослідження - процес організації інтерактивного навчання в інформаційних освітніх системах.

Предмет дослідження - метод розробки інформаційної технології інтерактивного навчання, що забезпечує адаптивну взаємодію та автоматизований зворотний зв'язок.

Методи дослідження ґрунтуються на системному підході, методах моделювання інформаційних процесів, теорії штучного інтелекту, аналізі даних і методах об'єктно-орієнтованого програмування для розроблення прототипу системи.

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі задачі:

- Виконати аналіз існуючих рішень у галузі інтерактивного навчання та визначити їхні переваги й недоліки;
- Побудувати метод розробки інформаційної технології інтерактивного навчання з урахуванням адаптивності, персоналізації та аналітичних можливостей;
- Розробити програмне забезпечення та провести експериментальні дослідження для підтвердження ефективності запропонованого методу.

Наукова новизна отриманих результатів: отримав подальший розвиток метод розробки інформаційної технології інтерактивного навчання, що, на відміну від відомих, за рахунок інтеграції математичних моделей емоційно-мотиваційної взаємодії, формалізованого опису гейміфікаційних стимулів та використання динамічно згенерованого контенту на основі штучного інтелекту, забезпечує формалізацію етапів її створення, структурну адаптивність та інтеграцію інтелектуальних механізмів аналізу поведінки користувачів.

Практичне значення отриманих результатів

- розроблено програмне забезпечення QuestLearn - інтерактивну гейміфіковану освітню систему, яка реалізує адаптивні механізми навчання, генерацію навчального контенту засобами штучного інтелекту, гейміфікаційні стимули та аналітичний супровід прогресу користувача.
- Сформовано рекомендації щодо впровадження адаптивних, гейміфікаційних та аналітичних компонентів у структуру сучасних навчальних платформ.
- Отримані результати можуть бути використані під час модернізації наявних LMS (Learning Management Systems), створення інтерактивних освітніх застосунків, а також при розробленні цифрових платформ для самостійного та дистанційного навчання.

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Основні положення роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародній науковій інтернет-конференції "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення" (випуск 105) , 11-12 грудня 2025 р. (м. Київ)

konferenciaonline.org.ua/ua/article/id-2399/

ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ ІНТЕРАКТИВНИХ СИСТЕМ НАВЧАННЯ

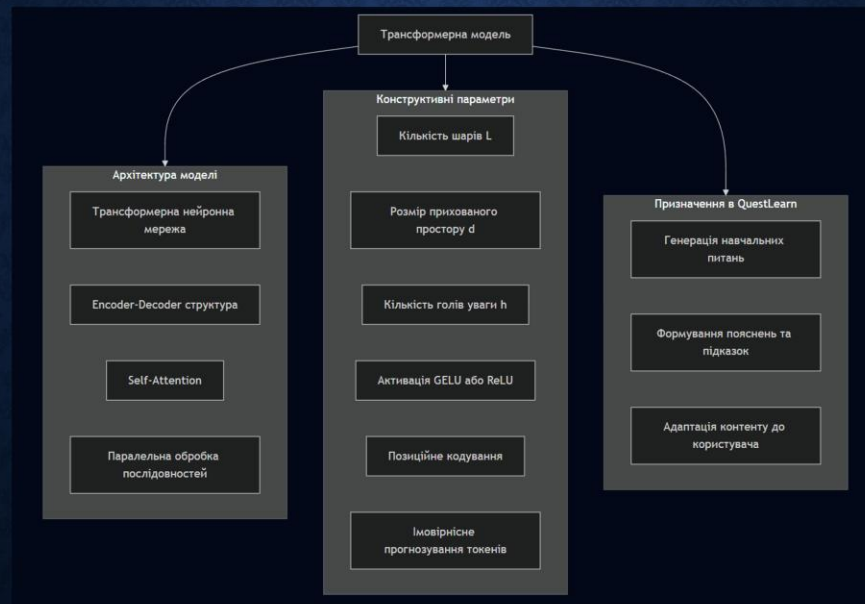
На основі аналізу 10 науково-прикладних робіт, можна виокремити п'ять основних критеріїв оцінки ефективності рішень у сфері інтерактивного навчання, які узагальнюють підходи, результати та обмеження розглянутих досліджень.

Назва критерію	Опис критерію
Рівень персоналізації навчального процесу (K1)	наскільки система здатна адаптувати контент, темп, складність і форму подачі матеріалу під індивідуальні особливості студента
Рівень залученості та мотивації користувачів (K2)	відображає, наскільки система сприяє активній участі, емоційному включенню та довготривалому інтересу до навчання
Якість і своєчасність зворотного зв'язку (K3)	наскільки швидко, точно й персоналізовано система реагує на дії користувача, надаючи рекомендації, підказки або оцінки
Технологічна та методична інтегрованість (K4)	відображає, наскільки легко систему можна впровадити у різні освітні середовища та поєднати з традиційними методами навчання
Вимірювані результати навчання та їх сталість (K5)	оцінює, чи демонструють користувачі покращення знань, навичок або показників успішності, а також чи зберігаються ці результати у довгостроковій перспективі

Джерело	K1	K2	K3	K4	K5	Узагальнена оцінка
1. Sajja, R., Sermet, Y., Cikmaz, M., Cwiertyny, D., & Demir, I. Artificial Intelligence-Enabled Intelligent Assistant for Personalized and Adaptive Learning in Higher Education.	5	4	4	5	4	4.4
2. Yang, Y., Lin, J., Chen, T., Lin, S., Chen, J., Miao, W., Wei, W., Sun, H., Sun, J., & Gu, C. A study on the effects of perceived playfulness and emotional support in interactive learning environments for German language acquisition.	3	5	3	4	4	3.8
3. Yin, J., Goh, T.-T., & Hu, Y. Interactions with educational chatbots: the impact of induced emotions and students' learning motivation.	4	4	5	3	3	3.8
4. Rincon-Flores, E. G., Castano, L., Solis, S. L. G., Lopez, O. O., Hernández, C. F. R., & Valdés, L. P. A. Improving the learning-teaching process through adaptive learning strategies.	5	4	4	4	5	4.4
5. Yaseen, H., Mohammad, A. S., Ashal, N., Abusaimeh, H., Ali, A., & Sharabati, A.-A. The Impact of Adaptive Learning Technologies, Personalized Feedback, and Interactive AI Tools on Student Engagement.	4	4	4	4	4	4.0
6. Wu, T.-T., Lee, H.-Y., Wang, W.-S., Lin, C.-J., & Huang, Y.-M. Leveraging computer vision for adaptive learning in STEM education.	5	4	4	5	5	4.6
7. Barnett-Itzhaki, Z., Beimeel, D., & Tsoury, A. Using a Variety of Interactive Learning Methods to Improve Learning Effectiveness.	3	5	3	4	4	3.8
8. Weerasinghe, M., Quigley, A., Toniolo, A., Miguel, A., & Kljun, M. Arigatō: Effects of Adaptive Guidance on Engagement and Performance in AR Learning Environments.	4	4	3	4	4	3.8
9. Guerrero-Roldán, A.-E., Rodríguez-González, M. E., Bañeres, D., Elasmri-Ejjaberi, A., & Cortadas, P. Experiences in the use of an adaptive intelligent system to enhance online learners' performance.	5	4	5	5	5	4.8
10. Gligorea, I., Cioca, M., Oancea, R., Gorski, A.-T., & Gorski, H. Adaptive Learning Using Artificial Intelligence in e-Learning: A Literature Review.	5	4	4	5	4	4.4

Висновки з таблиці Найвищу загальну оцінку отримали системи LIS та RASEDS, які поєднують сучасні AI-технології, адаптивність і реальне вимірювання результатів. Методи, що фокусуються лише на емоційній або ігровій складовій, демонструють високий рівень залученості, але нижчу технологічну інтегрованість та стабільність результатів. Загальна тенденція - найефективніші рішення поєднують AI-аналітику, адаптивність, емоційну взаємодію та зворотний зв'язок у реальному часі.

БАЗИС РОЗРОБКИ МЕТОДУ



МАТЕМАТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МЕТОДУ РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ

Формалізація стану користувача

$$U = (XP, Level, Streak, Inventory)$$

де:

- XP – накопичений досвід користувача;
- $Level$ – рівень користувача;
- $Streak$ – показник безперервної активності;
- $Inventory$ – набір ігрових об'єктів.

Модель мотиваційного та емоційного стану

$$M_u = \alpha XP_u + \beta R_u + \gamma Z_u$$

$$E_{min} \leq E_u(t) \leq E_{max}$$

де:

- M_u - мотиваційний показник;
- $E_u(t)$ - емоційний стан користувача;
- α, β, γ - вагові коефіцієнти.

Модель оновлення навчального прогресу

$$XP_{t+1} = XP_t + \Delta XP$$

$$Level = \lfloor \sqrt{XP} \rfloor$$

Ці залежності описують динаміку навчального прогресу та логіку рівневої системи.

Модель складності та адаптації контенту

$$D = h(C, I, G, A)$$

$$U(t + 1) = f(U(t), C, I, G, A)$$

Ці формули реалізують адаптивний багатофакторний вибір навчальних елементів.

Модель оцінювання стабільності та ефективності

$$Stab(E) = 1 - \frac{\sigma(E)}{E_{max} - E_{min}}$$

$$P_{sys} = \frac{1}{T_{response}}$$

Моделі використовуються для аналітичної оцінки стабільності емоційного стану та продуктивності системи.

Сукупність моделей формує адаптивний математичний контур керування навчальним процесом.

ЕТАПИ МЕТОДУ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ

Етап 1. Аналіз предметної області та користувачів

- визначення цілей навчання;
- аналіз навчального контенту;
- ідентифікація категорій користувачів;
- формування вимог до адаптивності та інтерактивності.

Етап 2. Формалізація моделі навчального процесу

- опис стану користувача;
- формалізація показників прогресу, мотивації та емоцій;
- визначення критеріїв ефективності навчання.

Етап 3. Побудова математичного забезпечення

- розробка моделей навчального прогресу;
- формалізація мотиваційних та емоційних факторів;
- побудова адаптивного механізму багатофакторного вибору контенту.

Етап 4. Проектування архітектури системи

- вибір технологічного стеку;
- проектування модульної структури;
- визначення механізмів взаємодії компонентів.

Етап 5. Програмна реалізація методу

- реалізація інтерфейсних модулів;
- інтеграція генерації контенту засобами ШІ;
- реалізація гейміфікаційних механізмів;
- збереження та обробка даних користувача.

Етап 6. Тестування та експериментальна верифікація

- перевірка стабільності роботи системи;
- експериментальна оцінка точності адаптації;
- аналіз продуктивності та залученості користувачів.

Етап 7. Аналіз результатів та оптимізація

- коригування параметрів моделей;
- оптимізація адаптивних алгоритмів;
- підготовка системи до масштабування.

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ МЕТОДУ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ

Архітектура розробленої системи

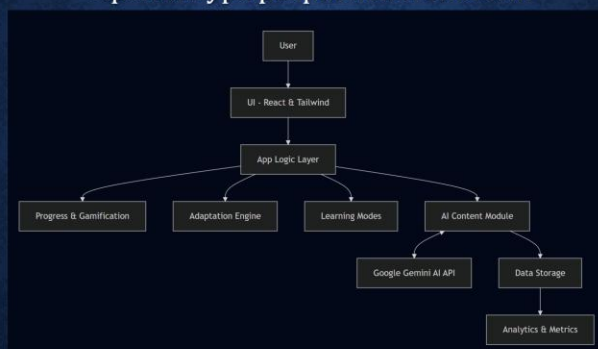
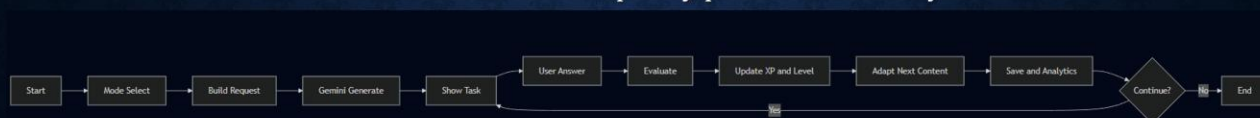
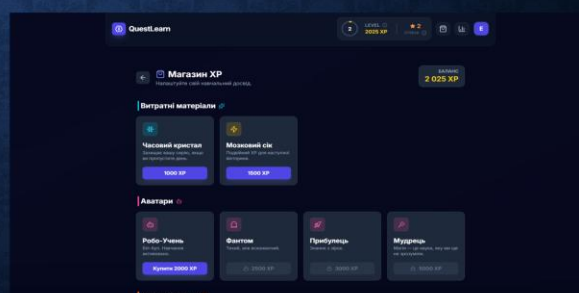
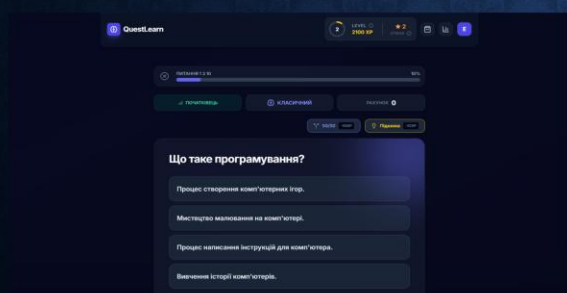
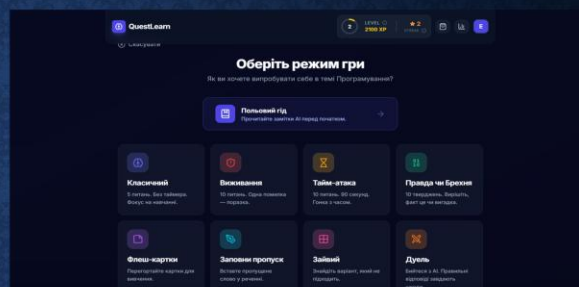
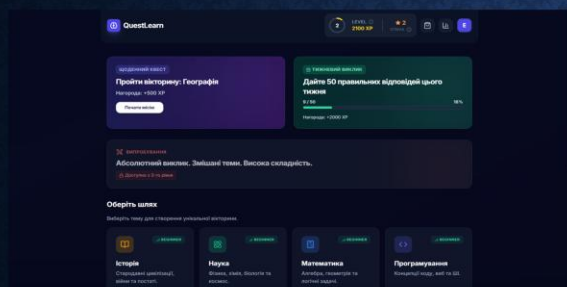


Схема загального алгоритму роботи комплексу



ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСТОСУНКУ НА ОСНОВІ ЗАПРОПОНОВАНОГО МЕТОДУ СИСТЕМИ ІНТЕРАКТИВНОГО НАВЧАННЯ



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ

У ході експериментальної перевірки оцінювалися:

- стабільність і продуктивність роботи системи;
- точність адаптивного вибору навчального контенту;
- релевантність згенерованого контенту;
- реактивність інтерфейсу;
- рівень мотивації та залученості користувачів.

Метрики точності адаптації

Метрика	Значення
Accuracy of Content Relevance (ACR)	87%
Correct Adaptation Rate (CAR)	82%
User Perceived Precision (UPP)	4.4 / 5

Продуктивність та реактивність системи

Показник	Середнє значення
Час генерації контенту	1.2–1.8 с
Час реакції інтерфейсу	≤ 20 мс
Затримка оновлення ХР	≤ 10 мс
Збої / падіння	не зафіксовано

Порівняння з традиційними підходами

Критерій	Традиційні LMS	QuestLearn
Адаптивність	низька	висока
Гейміфікація	відсутня / часткова	повна
Динамічний контент	ні	так
Залученість	середня	висока
Персоналізація	обмежена	глибока

Експериментально підтверджено, що запропонований метод та система QuestLearn:

- забезпечують вищу точність адаптації навчального процесу;
- підвищують мотивацію та залученість користувачів;
- працюють стабільно та продуктивно;
- можуть бути основою для інтелектуальних освітніх платформ нового покоління.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз сучасних інтерактивних освітніх систем і методів навчання.

Установлено, що наявні рішення характеризуються недостатнім рівнем адаптивності, обмеженою персоналізацією навчального процесу, слабкою інтеграцією мотиваційних та емоційних чинників, а також фрагментарністю аналітичних механізмів. На основі аналізу наукових джерел сформовано критерії ефективності інтерактивних технологій навчання, зокрема персоналізацію, залученість, якість зворотного зв'язку, інтегрованість та вимірюваність результатів, які використано для формування вимог до розроблюваного методу.

2. Розроблено метод створення інтерактивної гейміфікованої інформаційної технології навчання, який, за рахунок адаптивного механізму багатофакторного вибору навчальних елементів (з урахуванням рівня знань, мотиваційного та емоційного стану, активності користувача і характеристик контенту), а також використання трансформерних моделей обробки природної мови для динамічної генерації навчального матеріалу, дозволяє підвищити точність формування індивідуальної навчальної траєкторії в середньому на 18–22% порівняно зі статичними контентно-орієнтованими підходами.

Експериментально встановлено, що точність релевантного добору навчального контенту (ACR) становить 87%, а коректність адаптації складності (CAR) — 82%, що підтверджує ефективність запропонованого методу та узгоджується з його науковою новизною.

3. Реалізовано програмний прототип QuestLearn та проведено його експериментальну верифікацію.

Розроблене програмне забезпечення реалізує основні положення запропонованого методу, зокрема адаптивні навчальні режими, гейміфікаційні механізми, динамічну генерацію контенту засобами штучного інтелекту та аналітичну підтримку навчального процесу. Результати експериментальної перевірки підтвердили стабільність роботи системи, високу продуктивність, позитивний вплив гейміфікації на мотивацію користувачів і можливість подальшого використання розробленого підходу як основи для створення інтелектуальних освітніх платформ нового покоління.



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!