

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерних наук _____
(повна назва)

Кафедра _____ програмної інженерії _____
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

_____ Дослідження методів та моделей адаптивного навчання для
вивчення інформаційних технологій. Побудова плану розвитку _____
(тема)

Виконав:
здобувач _____ 2 _____ року навчання
групи _____ ІПЗм-23-2 _____

_____ Ілля ТЕРЕЩЕНКО _____
(Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Спеціальність _____ 121 – Інженерія програмного
забезпечення _____
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми _____ освітньо-наукова _____

Керівник _____ доц. Віктор КАУК _____
(посада, Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Допускається до захисту
Зав. кафедри

_____ Кирило СМЕЛЯКОВ _____
(підпис) (Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ комп'ютерних наук _____
 Кафедра _____ програмної інженерії _____
 Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
 Спеціальність _____ 121 – Інженерія програмного забезпечення _____
 Тип програми _____ освітньо-наукова програма _____
 Освітня програма _____ Інженерія програмного забезпечення _____
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Терещенку Іллі Олександровичу _____
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження методів та моделей адаптивного навчання для вивчення інформаційних технологій. Побудова плану розвитку»
 Затверджена наказом по університету від 15.04.2025р. № 290 Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 12.06.2025
3. Вихідні дані до роботи Проект базується на теоретичних і практичних джерелах, що включають наукові статті, огляди методів побудови персоналізованих шляхів розвитку в системах адаптивного навчання.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
Слід дослідити методи побудови персоналізованих навчальних шляхів та їх застосування в адаптивному навчанні. Необхідно розглянути алгоритми та технології для реалізації персоналізації, а також підходи до оцінки ефективності таких систем

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Но- мер	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	16.04.2025	<i>виконано</i>
2	Аналіз предметної галузі і постановка задачі	18.04.2025	<i>виконано</i>
3	Огляд й аналіз літературних джерел	20.04.2025	<i>виконано</i>
4	Теоретичне дослідження. Багатокритеріальна задача	25.04.2025	<i>виконано</i>
5	Підготовка до апробації результатів дослідження. Публікація матеріалів	09.05.2025	<i>виконано</i>
6	Програмна реалізація	15.05.2025	<i>виконано</i>
7	Підготовка пояснювальної записки	24.05.2025	<i>виконано</i>
8	Підготовка презентації та доповіді	27.05.2025	<i>виконано</i>
9	Перевірка на плагіат		<i>виконано</i>
10	Нормоконтроль		<i>виконано</i>
11	Рецензування		<i>виконано</i>
12	Попередній захист		<i>виконано</i>
13	Занесення диплома в електронний архів		<i>виконано</i>
14	Допуск до захисту у зав. кафедри		<i>виконано</i>

Дата видачі завдання 16.04.2025р.

Студент (ка)



(підпис)

Ілля Терещенко

Керівник роботи

доц. Віктор КАУК

(підпис)

(посада, Власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ / ABSTRACT

Пояснювальна записка містить: 85 с., 5 рис., 4 табл., 12 джерел.

АДАПТИВНЕ НАВЧАННЯ, ПЕРСОНАЛІЗОВАНІ НАВЧАЛЬНІ ШЛЯХИ, ГЕНЕРАТИВНИЙ ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, АНАЛІЗ ВЕЛИКИХ ДАНИХ, МАШИННЕ НАВЧАННЯ.

Об'єктом дослідження є методи і моделі адаптивного навчання для створення персоналізованих навчальних шляхів у сфері інформаційних технологій.

Метою роботи є проведення дослідження підходів до розробки та оптимізації персоналізованих навчальних шляхів.

Методами розробки та аналізу є огляд літературних і наукових джерел, порівняння існуючих моделей адаптивного навчання, застосування методів багатокритеріального аналізу для вибору оптимальних підходів до створення персоналізованих навчальних планів.

У результаті роботи було проведено аналіз сучасних методів і моделей побудови персоналізованих навчальних планів, виконано багатокритеріальний аналіз ефективності підходів, зокрема використання великих мовних моделей і аналізу великих даних.

ADAPTIVE LEARNING, PERSONALIZED LEARNING PATHS, GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE, BIG DATA ANALYSIS, MACHINE LEARNING.

The object of research is methods and models of adaptive learning for creating personalized learning paths in the field of information technologies.

The purpose of the work is to conduct a study of approaches to the development and optimization of personalized learning paths.

The methods of development and analysis include a review of literary and scientific sources, comparison of existing adaptive learning models, and the application of multi-criteria analysis methods to select optimal approaches for creating personalized learning plans.

As a result of the work, an analysis of modern methods and models for building personalized learning plans was conducted, and a multi-criteria analysis of efficiency approaches, including the use of large language models and big data analysis, was performed.

Завідувачу кафедри
П
(скорочена назва кафедри)
проф. Кирилу СМЕЛЯКОВУ
(вчене звання, сласне ім'я, прізвище)

ЗАЯВА

щодо самостійності виконання кваліфікаційної роботи та можливості її публікації
(та/або публікації анотації кваліфікаційної роботи) в електронному архіві
відкритого доступу EIAr KhNURE

Я, Терещенко Ілля Олександрович, студент(ка) гр. ПЗм-23-2, здобувач вищої освіти на другому (магістерському) рівні кафедри «Програмна інженерія», заявляю: моя кваліфікаційна робота на тему «Дослідження методів та моделей адаптивного навчання для вивчення інформаційних технологій. Побудова плану розвитку», що буде представлена в екзаменаційну комісію для публічного захисту, виконана самостійно, в ній не містяться елементи плагіату і вона може бути опублікована в електронному архіві відкритого доступу EIArKhNURE. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

Я ознайомлений(на) з діючим положенням «Про протидію академічному плагіату в ХНУРЕ», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування дисциплінарних заходів.

Дата

12.06.2025



Підпис

ЗМІСТ

Вступ.....	10
1 Аналіз предметної галузі	11
1.1 Аналіз предметної галузі дослідження	11
1.2 Виявлення проблем та актуалізація рішень	13
2 Огляд й аналіз літературних, наукових джерел	16
2.1 Критерії вибору джерел.....	16
2.2 Аналіз літератури	17
2.3 Оцінка актуальності і новизни.....	20
2.4 Висновки з огляду	20
3 Постановка задачі.....	22
3.1 Формулювання задачі	22
3.2 Обґрунтування методологічного підходу.....	22
3.3 Обмеження дослідження	23
3.4 Необхідні ресурси	23
3.5 Очікувані результати	24
4 Теоретичне дослідження	25
4.1 Формулювання задачі багатокритеріального вибору для обрання методу генерації персональних шляхів розвитку	25
4.2 Опис множини альтернатив для задачі вибору.....	25
4.3 Опис множини критеріїв для задачі багатокритеріального вибору	28
4.4 Опис та аналіз шкал за кожним з обраних критеріїв	30
4.5 Векторний опис альтернатив за обраними критеріями.....	32
4.6 Перетворення векторного опису з метою приведення всіх шкал до принципу оптимальності «за максимумом».....	34
4.7 Аналіз парето-оптимальності альтернатив.....	35
4.7.1 Порівняння "Використання попередньо створених шляхів розвитку" та "Використання великих мовних моделей”	35

4.7.2 Порівняння "Використання великих мовних моделей" та "Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента"	36
4.7.3 Порівняння "Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента" та "Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента"	37
4.7.4 Порівняння "Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента" та "Використання аналізу великих даних"	38
4.7.5 Порівняння "Використання великих мовних моделей" та "Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента"	39
4.7.6 Порівняння "Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента" та "Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента"	40
4.7.7 Порівняння "Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента" та "Використання аналізу великих даних"	41
4.8 Нормування оцінок за шкалами	42
4.9 Вибір згорткової моделі	44
4.10 Аналіз результатів	46
4.11 Розробка архітектури застосунку	47
4.12 Розробка програмного забезпечення для проведення дослідження	48
4.13 Проведення експериментального дослідження обраних моделей генеративного ШІ для побудови навчальних планів розвитку	50
5 Програмна реалізація	53
Висновки	57
Перелік джерел посилання	58
Перелік джерел посилання за науковими напрямками керівника та науковців кафедри програмної інженерії	61
Додаток А Звіт результатів перевірки на унікальність тексту в базі ХНУРЕ	62
Додаток Б Слайди презентації	63

Додаток В Апробація результатів роботи.....	71
Додаток Г Код програми	80
Додаток Д Експертний висновок результатів перевірки кваліфікаційної роботи на відповідність оформлення вимогам ДСТУ 3008: 2015	85

ВСТУП

Адаптивне навчання є одним із найбільш перспективних підходів до підвищення ефективності освітніх процесів, особливо в контексті інформаційних технологій. Сучасні дослідження підтверджують позитивний вплив персоналізованих освітніх шляхів розвитку на академічну успішність, мотивацію та самовпевненість студентів [1]. Персоналізація сприяє врахуванню індивідуальних стилів навчання, забезпечуючи глибше засвоєння матеріалу та відчуття відповідальності за власний навчальний процес [2].

Побудова персоналізованих шляхів розвитку є одним із найрезультативніших методів адаптивного навчання. Це підтверджують дослідження, які вказують на значне підвищення академічної успішності та рівня залученості студентів, що проходили навчання за такими методиками [3].

Метою даної роботи є дослідження методів і моделей адаптивного навчання для розробки планів розвитку для здобувачів освіти. Об'єктом дослідження є методи та моделі адаптивного навчання для вивчення інформаційних технологій. Предметом дослідження є дослідження методів побудови персоналізованих планів розвитку.

Для досягнення поставлених цілей застосовуються різні методи дослідження та аналізу. Першочергово проводиться аналіз наукових джерел і літератури, що дозволяє виявити існуючі підходи до адаптивного навчання. Далі здійснюється порівняння моделей та алгоритмів адаптивного навчання на основі емпіричних даних, що допомагає оцінити їх ефективність і практичне застосування. На завершальному етапі виконується моделювання плану розвитку, використовуючи зібрану інформацію та практичні рекомендації.

Дослідження дозволяє розробити рекомендації та створити план розвитку, який включає ефективні підходи до впровадження адаптивного навчання в освітньому процесі.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ

1.1 Аналіз предметної галузі дослідження

В умовах стрімкого розвитку технологій та глобалізації, онлайн навчання стало невід'ємною частиною освітнього процесу. Особливо це стало помітним протягом останніх років, коли дистанційна освіта перетворилася з альтернативного варіанту на основний для мільйонів людей по всьому світу. Зростаюча популярність електронного навчання зумовлена його доступністю, гнучкістю та можливістю поєднувати навчання з іншими аспектами життя.

Однак швидке розширення сфери електронного навчання висвітлило значну проблему – необхідність нових освітніх підходів, які можуть задовольнити різноманітні потреби учнів. Традиційні навчальні середовища, хоча й ефективні для деяких студентів, часто не відповідають індивідуальним потребам усіх учнів, що призводить до різних рівнів залученості та успішності. Виникає потреба у створенні такого освітнього середовища, яке б могло адаптуватися під кожного студента, враховуючи його особливості, темп навчання та спосіб сприйняття інформації.

Саме тут на перший план виходить адаптивне навчання, яке пропонує рішення цієї проблеми шляхом надання індивідуалізованого освітнього досвіду, заснованого на конкретних сильних та слабких сторонах кожного учня. Цей підхід дозволяє створити динамічне навчальне середовище, яке реагує на прогрес студента, адаптує складність матеріалу та пропонує персоналізовані шляхи навчання для досягнення максимальної ефективності освітнього процесу.

Емпіричні дані свідчать про значні покращення результатів навчання у групах студентів, які використовують адаптивні технології. Наприклад, середній бал студентів у таких групах перевищував результати традиційних підходів (85.6 проти 78.4) [2]. Крім того, рівень утримання студентів становив 92% проти 85%, що демонструє ефективність адаптивного підходу у підтримці зацікавленості та залученості до навчального процесу [2].

Окрім академічних переваг, адаптивне навчання позитивно впливає на соціально-емоційний розвиток студентів. Інтерактивні елементи, такі як

гейміфікація та мультимедійний контент, сприяють підвищенню мотивації та створенню позитивного ставлення до навчання [4]. Системи адаптивного навчання також допомагають зменшити стрес і тривожність, надаючи персоналізовану підтримку, яка враховує рівень підготовки кожного студента [4].

Згідно з результатами досліджень щодо порівняння методів адаптивного навчання, побудова персоналізованих навчальних шляхів є одним з найефективніших підходів для досягнення високих результатів та залученості студентів. Ефективність персоналізованих навчальних шляхів має кілька ключових аспектів. Дослідження демонструють значно вищі показники академічної успішності порівняно з іншими методами адаптивного навчання. Важливим фактором є виявлена сильна кореляція між залученістю студентів та їхніми навчальними досягненнями, що підкреслює важливість індивідуального підходу в навчальному процесі. Додатковою перевагою є універсальна ефективність методу, яка не залежить від гендерних особливостей студентів.[3]

У сфері інформаційних технологій, яка є однією з найбільш динамічних та швидкозмінних галузей, фахівці постійно стикаються з необхідністю оновлення своїх знань та навичок. Технології розвиваються з небаченою швидкістю – нові мови програмування, фреймворки, методології розробки та інструменти з'являються регулярно, а існуючі зазнають суттєвих змін. Це створює унікальний виклик для системи освіти: як забезпечити ефективне навчання в умовах постійних змін та різного рівня підготовки студентів.

Адаптивне навчання в ІТ-освіті набуває особливого значення, оскільки воно дозволяє враховувати не лише різний початковий рівень знань студентів, але й різну швидкість засвоєння нових технологій та концепцій. Особливо це актуально для тих, хто вже працює в галузі і потребує цільового навчання конкретних технологій, або для початківців, які мають різний бекграунд та потребують різного темпу освоєння базових концепцій.

1.2 Виявлення проблем та актуалізація рішень

У сфері вивчення інформаційних технологій критичним викликом залишається створення ефективних та персоналізованих планів розвитку. Традиційні підходи до побудови навчальних траєкторій часто не враховують індивідуальні особливості та потреби студентів, що знижує ефективність навчання. Наразі домінують наступні методи до побудови персоналізованих планів розвитку:

- використання заздалегіть побудованих планів розвитку. Це традиційний метод, що забезпечує структурованість і перевіреність матеріалів. Цей підхід підходить для стандартних навчальних потреб і широкої аудиторії, оскільки містить чіткі рекомендації щодо порядку вивчення тем і розвитку навичок. Проте його обмеження полягають у недостатній гнучкості й адаптивності до індивідуальних особливостей учнів, оскільки такі дорожні карти не враховують стилі навчання, темпи засвоєння матеріалу та індивідуальні прогалини у знаннях;
- використання алгоритмів машинного навчання. Алгоритми машинного навчання здатні аналізувати великі обсяги даних про учнів, включаючи їхню взаємодію з навчальними матеріалами, рівень засвоєння знань і прогалини в розумінні. Завдяки цьому ШІ може створювати навчальні траєкторії, адаптовані до конкретних потреб учнів. Цей підхід забезпечує гнучкість і ефективність навчання, даючи змогу кожному учню отримати індивідуально підібрані матеріали та завдання. Водночас застосування ШІ вимагає уваги до етичних питань, зокрема щодо захисту конфіденційних даних користувачів, а також забезпечення справедливості й відсутності упереджень у роботі алгоритмів. Етичні аспекти стають особливо актуальними у випадках, коли ШІ використовується для ухвалення рішень, що можуть вплинути на освітній процес. Обмеження цього підходу включають необхідність

значних технічних ресурсів для впровадження, а також залежність від доступності якісних даних для ефективного навчання алгоритмів;

- використання генеративного штучного інтелекту та великих мовних моделей. Цей підхід розширює можливості персоналізованого навчання завдяки автоматизації створення навчальних матеріалів і оцінок. Системи, що інтегрують функціонал великих мовних моделей з відкритими освітніми ресурсами (OER), дозволяють користувачам створювати навчальні матеріали, адаптовані до специфічних цілей і потреб. Важливою перевагою такого підходу є можливість швидкого коригування матеріалів відповідно до зворотного зв'язку від учнів і результатів тестувань. Проте необхідно враховувати, що генеративні ШІ-системи можуть мати обмеження в точності та якості створюваного контенту, що потребує активного контролю з боку викладачів для забезпечення відповідності освітнім стандартам. Іншим важливим викликом є можливість генерування хибних або неактуальних матеріалів, що може вводити учнів в оману;
- використання аналізу великих даних. Технології аналізу великих даних (Big Data) відіграють важливу роль у персоналізації навчальних процесів. Вони дозволяють збирати, обробляти та аналізувати інформацію про учнів, включаючи їхні академічні досягнення, інтереси, сильні та слабкі сторони. Використання великих даних сприяє побудові детальних профілів студентів, які враховують їхні потреби та стилі навчання. Це дає змогу створювати індивідуальні навчальні шляхи, що враховують рівень підготовки учня та забезпечують оптимальні ресурси для навчання. Аналіз великих даних також дозволяє визначати тенденції у навчанні, прогнозувати можливі труднощі й адаптувати навчальні стратегії в реальному часі. Наприклад, системи на основі Big Data можуть пропонувати студентам додаткові ресурси для поглиблення знань або коригувати навчальні плани відповідно до змін у прогресі учнів. Проте цей підхід потребує значних технічних інвестицій для

впровадження та підтримки, а також високого рівня навичок аналітики з боку викладачів.

Попри значні досягнення в галузі адаптивного навчання, ця сфера стикається з низкою обмежень, зокрема ризиками для конфіденційності даних через масовий збір і обробку інформації учнів, труднощами інтеграції нових платформ із традиційними освітніми системами, високою вартістю розробки та підтримки адаптивних технологій, а також відсутністю єдиних стандартів, що ускладнює їх подальшу інтеграцію та масштабування.

Тенденції та перспективи розвитку адаптивного навчання включають використання генеративного ШІ для побудови персоналізованих шляхів розвитку, інтеграцію штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу великих обсягів освітніх даних, розширення доступності навчальних матеріалів через онлайн-платформи та мобільні застосунки, використання віртуальної та доповненої реальності для створення інтерактивних середовищ, а також гейміфікацію й мотиваційні системи для підвищення залученості учнів завдяки ігровим механізмам.

Актуалізація наявних рішень у сфері побудови планів розвитку є важливим кроком у контексті стрімкого розвитку технологій. Використання нових моделей генеративного ШІ таких як GPT-4o та o1 pro допоможе підвищити точність згенерованих шляхів розвитку, а також зменшить ймовірність появи галюцинацій у відповідях. Крім цього можна поєднувати наявні методи для створення більш точних продуктів.

Потреба в адаптивному навчанні відображає глобальні виклики, пов'язані з цифровізацією освіти. Персоналізація навчання дозволяє ефективніше задовольняти освітні потреби учнів, особливо в умовах швидких технологічних змін.

Дослідження адаптивного навчання має високу інноваційну цінність. Інтеграція нових моделей генеративного ШІ з освітніми платформами дозволяє створювати персоналізовані стратегії навчання, адаптовані до індивідуальних потреб учнів. Це відкриває нові можливості для підвищення якості навчання.

2 ОГЛЯД Й АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ, НАУКОВИХ ДЖЕРЕЛ

2.1 Критерії вибору джерел

При виборі джерел використовувались наступні критерії: авторитетність, актуальність, об'єктивність та достовірність інформації.

Авторитетність джерел підтверджується їхньою публікацією у визнаних наукових журналах та конференціях. Наприклад, дослідження "Using AI for Developing Personalized Learning Paths"[5] було опубліковане у "Journal of Advanced Statistics and IT&C for Economics and Life Sciences", що є підтвердженням високого рівня наукової перевірки. Також автори, такі як дослідники з Universitat Politècnica de València та Fondazione Bruno Kessler, мають значний досвід і цитованість у науковій спільноті, що додає вагомості їхнім роботам.

Актуальність джерел визначається їхньою відповідністю сучасним технологічним викликам, оскільки всі вони опубліковані протягом останнього десятиліття. Особливо важливими є роботи, які аналізують використання генеративного ШІ (наприклад, PolyGloT[6]) і великих даних для адаптивного навчання[7,8]. Це демонструє їхню відповідність вимогам сучасного освітнього середовища.

Об'єктивність забезпечується балансом між технологічними та педагогічними аспектами у проаналізованих роботах. Наприклад, дослідження Yao Huang [8] підкреслює педагогічні переваги великих даних, тоді як робота Ramona-Diana Leon[5] акцентує увагу на поєднанні технологічних можливостей із потребами учнів. Усі джерела базуються на емпіричних дослідженнях і містять як якісний, так і кількісний аналіз, що додає їм аналітичної вагомості.

Достовірність інформації забезпечується чіткою методологічною основою кожної роботи. Наприклад, у дослідженнях використовується PRISMA-методологія для відбору статей, а також кластерний аналіз для виявлення ключових тем. Крім того, результати перевіряються через користувацькі дослідження або аналіз даних, що підтверджує їхню валідність.

2.2 Аналіз літератури

Дослідження адаптивного навчання та персоналізованих навчальних шляхів базується на аналізі наукових праць, які можна згрупувати за наступними темами:

- адаптивне навчання, вплив адаптивного навчання на успішність студентів. Роботи “Impact of Personalized Learning Paths on Student Motivation and Achievement in Online High School Programs in Pakistan”[1] та “Enhancing Learning Outcomes through Adaptive Learning Techniques in E-Learning Environments”[3] показують значний позитивний вплив на успішність та задоволеність студентів від навчання з використанням методів адаптивного навчання. Робота “Enhancing Learning Outcomes through Adaptive Learning Techniques in E-Learning Environments”[3] порівнює методи адаптивного навчання, використовуючи результати студентів. Крім цього ця робота показує високу результативність застосування методу персоналізованих шляхів розвитку. Робота “Personalizing Learning Paths: A Study of Adaptive Learning Algorithms and Their Effects on Student Outcomes”[2] детально порівнює навчання з використанням персоналізованих навчальних шляхів з традиційними методами до навчання. Всі ці роботи показують, що адаптивне навчання є актуальним предметом дослідження та має значний позитивний вплив на студентів та якість їх знань;
- великі дані в персоналізованому навчанні. У роботі Yao Huang представлена структура, яка включає збір та аналіз даних про інтереси, звички та успішність учнів. Використання таких даних дозволяє створювати персоналізовані навчальні маршрути, що відповідають індивідуальним потребам студентів. Також підкреслюється важливість інтеграції різноманітних навчальних ресурсів для підвищення ефективності освітнього процесу[8]. Робота “Personalized Learning Paths: Leveraging Data Analytics for Tailored Education”[7] досліджує шляхи

використання інтелектуального аналізу освітніх даних для побудови персоналізованих шляхів розвитку;

- генеративний ШІ для побудови персоналізованих навчальних шляхів. PolyGloT є прикладом інструменту, що використовує ШІ для автоматизації процесів створення навчальних матеріалів. Він допомагає педагогам проектувати уроки, базуючись на аналізі відкритих освітніх ресурсів (OERs), і створювати персоналізовані навчальні шляхи, враховуючи індивідуальні потреби студентів[6]. Крім цього, ця робота показує проблеми цього методу, а саме: проблема з точністю, необхідність витратити час щоб ознайомити систему зі всією необхідною інформацією та необхідність вчителя, що управляє системою та використовує техніки промт інженерії для побудови завдань та шляхів, що значно звужує аудиторію користувачів. Незважаючи на недоліки запропонованої системи, ця робота має значний внесок в сферу адаптивного навчання. Так як область генеративного ШІ розвивається значними темпами, це дослідження показує значний потенціал в застосування генеративного ШІ для задач адаптивного навчання, а саме в побудову персоналізованих навчальних шляхів;
- використання ШІ в навчанні. У роботі “Using AI for Developing Personalized Learning Paths”[5] досліджено, як штучний інтелект (ШІ) може сприяти створенню персоналізованих навчальних шляхів. Основною метою було вивчення використання ШІ в освітньому середовищі, поєднуючи якісний та кількісний підходи для аналізу наукових статей. Вибірка з 71 статті дозволила виявити дві основні лінії досліджень: технологічно орієнтований підхід, що фокусується на використанні великих даних та алгоритмів для адаптивного навчання, та орієнтований на потреби учнів підхід, що враховує їхні індивідуальні особливості, зокрема стиль навчання та переваги. Дослідження підтвердило значну ефективність ШІ в адаптації навчальних шляхів, а також акцентувало увагу на викликах, таких як етичні проблеми,

пов'язані з конфіденційністю даних та прозорістю алгоритмів. Робота “Personalized Learning through AI”[9] детально розглядає роль ШІ у персоналізації навчання, акцентуючи увагу на адаптації контенту, використанні віртуальних тьюторів та створенні інтерактивних навчальних середовищ. ШІ здатний аналізувати великі обсяги даних про студентів для визначення їхніх уподобань та слабких місць, що дозволяє створювати індивідуальні стратегії навчання. Віртуальні тьютори, такі як чат-боти та інтелектуальні помічники, надають миттєвий зворотний зв'язок та допомогу студентам, що є особливо корисним у дистанційному навчанні, допомагаючи студентам відчувати підтримку. Також у дослідженні розглянуто адаптивну оцінку, де ШІ використовується для створення тестів, що підлаштовуються під рівень знань студента, допомагаючи краще оцінити їхній прогрес. Разом із цим автори звертають увагу на етичні питання, такі як ризики конфіденційності, упередженість алгоритмів та потребу в інтеграції цих технологій у існуючу освітню інфраструктуру. Методологічна частина включала кількісний аналіз результатів успішності студентів до і після інтеграції ШІ та якісний аналіз відгуків учнів та викладачів. Результати підтвердили покращення академічної успішності та зростання задоволеності студентів, але також вказали на необхідність розробки програм навчання викладачів для ефективного використання ШІ. В роботі “Методи штучних нейронних мереж для адаптивного тестування знань”[10] автори досліджують застосування штучних нейронних мереж для адаптивного тестування знань, за допомогою чого, можна коригувати розроблений навчальний план;

- оцінювання методів побудови персоналізованих шляхів розвитку. Робота “Критерії оцінювання методів прогнозування рекомендаційних систем”[11] досліджує критерії оцінювання методів прогнозування рекомендаційних систем, які можна використати і при оцінці методів побудови персоналізованих шляхів розвитку, так як побудова шляху

розвитку це є рекомендація тем або дисциплін та порядок їх проходження з метою збільшити ефективність навчання.

2.3 Оцінка актуальності і новизни

Актуальність інформації, представленої у джерелах, є беззаперечною, оскільки вона висвітлює сучасні виклики, такі як необхідність адаптації навчального процесу до індивідуальних потреб учнів у контексті цифровізації освіти. Наприклад, робота "Impact of Personalized Learning Paths on Student Motivation and Achievement in Online High School Programs in Pakistan"[1] демонструє позитивний вплив адаптивного навчання на мотивацію та академічні досягнення студентів, що підтверджує необхідність подальшого впровадження таких підходів. Дослідження "Enhancing Learning Outcomes through Adaptive Learning Techniques in E-Learning Environments"[3] підкреслює значення алгоритмів адаптивного навчання для поліпшення освітніх результатів, що також сприяє актуалізації цих методів.

Наукова новизна джерел полягає у застосуванні передових технологій, таких як генеративний ШІ для автоматизації створення персоналізованих навчальних матеріалів, як це показано у "Can Generative AI Support Educators Creating Learning Paths with PolyGloT"[6]. У роботі досліджуються переваги й обмеження генеративного ШІ, такі як потреба у глибокій адаптації системи до навчального середовища. Інше нововведення - це використання великих даних для розробки навчальних шляхів, описане у "Personalized Learning Paths: Leveraging Data Analytics for Tailored Education"[7]. Ці підходи відкривають нові можливості для створення більш ефективних освітніх стратегій.

2.4 Висновки з огляду

Основними висновками огляду є те, що адаптивне навчання та персоналізовані навчальні шляхи значно покращують якість освіти, сприяють індивідуалізації процесу навчання та підвищенню мотивації студентів. Використання технологій, таких як генеративний ШІ, платформи управління

навчанням (LMS) та аналітика великих даних, забезпечує ефективні рішення для адаптації навчальних процесів. Наприклад, робота "Enhancing Learning Outcomes through Adaptive Learning Techniques in E-Learning Environments"[3] підтверджує позитивний вплив таких методів на успішність студентів.

Проте прогалини в дослідженнях все ще існують. Зокрема, не всі роботи враховують довгострокові ефекти впровадження ШІ у навчальний процес, а також потребу у створенні програм навчання для викладачів. Інша проблема - це етичні аспекти, зокрема конфіденційність даних та прозорість алгоритмів. Подальші дослідження повинні зосередитися на розробці гнучких освітніх платформ, що поєднують технологічні інновації з індивідуальними потребами учнів. Також важливо розглянути можливості для інтеграції цих рішень у ширший освітній контекст, зокрема у традиційні системи навчання.

3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

3.1 Формулювання задачі

Головною метою цього дослідження є проведення узагальненого аналізу сучасних підходів до створення персоналізованих шляхів розвитку. У рамках дослідження необхідно провести детальний аналіз існуючих методів побудови планів розвитку, включаючи традиційні підходи та сучасні технологічні рішення.

Важливим аспектом дослідження є розробка системи критеріїв для оцінки якості створених планів розвитку. Ці критерії повинні охоплювати такі аспекти як адаптивність плану до індивідуальних особливостей користувача, релевантність запропонованого контенту, логічність побудови навчальної траєкторії та практичну застосовність рекомендацій. Необхідно також врахувати технічні аспекти реалізації, включаючи можливість інтеграції з існуючими освітніми платформами та масштабованість рішення.

Вхідними даними для дослідження слугуватимуть профілі користувачів, що містять інформацію про їхній поточний рівень знань, цілі навчання, доступний час на навчання та преференції щодо формату навчального матеріалу. На основі цих даних система повинна генерувати персоналізований план розвитку, який включатиме послідовність навчальних модулів, рекомендовані ресурси та часові рамки для досягнення поставлених цілей. Завершальним етапом стане систематизація отриманих результатів та аналіз перспектив подальшого вдосконалення методів.

3.2 Обґрунтування методологічного підходу

Дослідження базуватиметься на ряді методологій, які забезпечать комплексний підхід до вивчення теми. Перш за все, аналіз наукової літератури допоможе сформулювати цілісне уявлення про стан розробки й впровадження персоналізованих навчальних планів. Застосування метааналізу дозволить інтегрувати результати попередніх досліджень для визначення найбільш ефективних рішень. Розгляд практичних кейсів дасть змогу детально оцінити функціонування існуючих систем у реальних умовах, а також виявити ключові

проблеми та успіхи їхнього застосування. Огляд технологій, пов'язаних із генеративним ШІ, стане основою для розуміння їхніх можливостей і обмежень у контексті адаптивного навчання.

3.3 Обмеження дослідження

Це дослідження має ряд важливих обмежень, які необхідно врахувати при інтерпретації результатів. Перш за все, існує технологічне обмеження, пов'язане з доступом до найновіших моделей генеративного ШІ. Оскільки багато провідних систем мають закритий код та обмежений API, це може вплинути на повноту аналізу та можливості практичної реалізації деяких підходів. Крім того, швидкий розвиток технологій ШІ означає, що деякі висновки можуть втратити актуальність у середньостроковій перспективі.

Часові рамки дослідження також накладають певні обмеження. Зокрема, неможливість проведення довгострокових спостережень за ефективністю згенерованих планів розвитку може обмежити розуміння їх реального впливу на процес навчання. Це особливо важливо в контексті освіти, де результати часто проявляються протягом тривалого періоду.

Іншим суттєвим обмеженням є доступність даних для навчання та тестування системи. Хоча існують відкриті освітні ресурси та загальнодоступні дані, специфічні дані про індивідуальні траєкторії навчання та їх ефективність часто є конфіденційними або недоступними для дослідження. Це може вплинути на точність оцінки ефективності різних підходів та обмежити можливості для порівняльного аналізу.

3.4 Необхідні ресурси

Для успішного виконання дослідження важливим є доступ до спеціалізованих баз даних, таких як Scopus і Web of Science, а також до наукових статей, звітів та оглядів із галузі освітніх технологій. Крім того, ключову роль відіграватиме аналіз практичних прикладів, а також доступ до відповідної документації та програмних рішень.

Технічні ресурси включають потужне обчислювальне обладнання для роботи з моделями машинного навчання та обробки великих обсягів даних. Зокрема, потрібен доступ до моделей генеративного ШІ для побудови персоналізованих шляхів розвитку.

3.5 Очікувані результати

Результатом роботи стане структурований огляд сучасних методів і підходів до створення персоналізованих шляхів розвитку. Очікується, що результатом дослідження стане не лише теоретичний аналіз методів створення персоналізованих планів розвитку, але й практичні рекомендації щодо їх імплементації. Це дозволить сформулювати рекомендації щодо їхнього використання, а також окреслити напрями подальших досліджень і розробок, які сприятимуть вдосконаленню навчальних процесів, орієнтованих на потреби окремих користувачів. Дослідження повинно надати чітке розуміння потенціалу та обмежень використання різних методів в створенні персоналізованих навчальних шляхів. Практичним результатом стане прототип системи, здатної генерувати персоналізовані плани розвитку на основі профілю користувача. Система продемонструє можливості інтеграції різних джерел даних та адаптації навчального контенту до індивідуальних потреб.

4 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Формулювання задачі багатокритеріального вибору для обрання методу генерації персональних шляхів розвитку

Задача полягає у виборі найбільш ефективних методів для побудови індивідуального плану розвитку студента, який дозволить йому найкращим чином вивчати інформаційні технології, враховуючи його поточний рівень компетентності, інтереси та цілі. При оцінці ефективності враховуються наступні критерії:

- точність плану розвитку;
- адаптивність до прогресу студента;
- масштабованість методу;
- часова ефективність;
- гнучкість у коригуванні плану розвитку;
- емоційний та мотиваційний вплив на студента;
- вартість впровадження та підтримки методу.

4.2 Опис множини альтернатив для задачі вибору

Згідно з проаналізованими матеріалами, можна виділити наступні домінуючі методи для побудови персоналізованих шляхів розвитку:

- використання попередньо створених планів розвитку. Використання вже існуючих планів розвитку які створюються для конкретних напрямків вивчення, наприклад, для програмування, Data Science, DevOps або інші спеціалізації в ІТ. Це популярні та структуровані плани, розроблені на основі досвіду експертів і ринку праці, які дозволяють студентам слідувати чітким крокам для досягнення професійної мети. Готовий навчальний план має ряд переваг та недоліків. Серед переваг варто відзначити швидку реалізацію без необхідності створення плану з нуля, доступність структурованого контенту, а також те, що він зроблений на основі актуальних вимог ринку праці. Проте існують і певні недоліки:

- такий план не завжди враховує індивідуальні потреби студента та може бути занадто загальним або неактуальним для конкретного студента;
- використання великих мовних моделей. Використання великих мовних моделей (наприклад, GPT) для автоматичного генерування персоналізованих планів розвитку на основі аналізу індивідуального фону студента (CV, портфоліо, попередні знання та інтереси). Моделі можуть також адаптувати план розвитку на основі змін у навчальному процесі або відгуків студента. Використання штучного інтелекту для створення навчального плану має свої характерні особливості. Серед переваг слід виділити можливість персоналізації плану на основі конкретного фону студента, швидку генерацію адаптованих планів розвитку, а також постійне оновлення плану за допомогою зворотного зв'язку від студента. Однак існують і певні недоліки: система залежить від точності даних, наданих студентом, та може потребувати налаштування моделі для конкретної задачі;
 - персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента методами машинного навчання. Аналіз результатів виконаних студентом тестів, контрольних робіт та завдань для виявлення проблемних тем і визначення наступних кроків у розвитку. Цей підхід дозволяє адаптувати план в реальному часі в залежності від того, які теми потребують додаткової уваги та вдосконалення. Метод має кілька важливих переваг і недоліків. Серед переваг варто відзначити можливість оцінювання на основі реальних результатів навчання, що дозволяє виявити конкретні прогалини у знаннях студента, а також здатність адаптуватися до змін у навчальному процесі. Однак метод також має певні обмеження: для точного аналізу необхідна велика кількість тестових даних, крім того, виникають складнощі з оцінюванням комплексних навичок, особливо якщо вони не повністю відображені в тестових завданнях;

- генерація шляху розвитку на основі досвіду студента (портфоліо, CV, інформація про досвід). Генерація персоналізованого шляху розвитку студента, використовуючи інформацію про його професійний досвід, освіти, навички та інші дані з портфоліо або CV. Цей підхід орієнтований на те, щоб побудувати план розвитку на основі того, що студент вже знає, та визначити наступні кроки для вдосконалення його навичок у конкретних галузях. Даний метод має суттєві переваги, оскільки він бере до уваги індивідуальний досвід та зацікавлення кожного студента, що дозволяє розробити персоналізований план навчання на основі їхніх поточних знань та цілей. Особливо цінним є те, що оцінювання базується на фактичному досвіді студента, а не на теоретичних припущеннях. Проте метод має і свої обмеження - його ефективність значною мірою залежить від того, наскільки точно та повно студент надає інформацію про себе. Крім того, існує ризик пропустити потенційно важливі напрямки розвитку, якщо вони не були відображені студентом у власному портфоліо;
- використання аналізу великих даних. Цей підхід передбачає застосування методів аналізу великих даних для створення персоналізованих шляхів розвитку студентів. Він базується на обробці значних обсягів інформації, таких як дані про успішні кар'єрні траєкторії, навчальні матеріали, актуальні ринкові тенденції та історію навчання інших студентів. Завдяки цьому підходу можна виявляти приховані закономірності та тенденції, що сприяють формуванню ефективного та індивідуального навчального плану. Основною перевагою є можливість створення планів розвитку, які базуються на реальних даних і враховують актуальні потреби ринку праці. Персоналізація навчального процесу забезпечується через аналіз характеристик студента, таких як його досягнення, інтереси та рівень знань. Водночас використання великих даних дозволяє оперативно враховувати зміни у професійній сфері, роблячи плани більш

релевантними. Проте існують і певні обмеження цього підходу. Аналіз великих даних вимагає значних обчислювальних ресурсів, що може ускладнювати його впровадження. Успішність методу також залежить від якості та повноти наявних даних. Якщо дані є нерепрезентативними або неповними, це може призводити до помилкових висновків. Незважаючи на це, аналіз великих даних є потужним інструментом, який відкриває нові можливості для адаптації навчальних планів до індивідуальних потреб.

4.3 Опис множини критеріїв для задачі багатокритеріального вибору

Для вирішення задачі багатокритеріального вибору для обрання методу генерації персональних шляхів розвитку було виділено наступні критерії:

- точність плану розвитку. Критерій оцінює, наскільки розроблений план відповідає рівню знань і потреб студента, а також як відповідає його цілям та специфіці навчання. Це включає визначення, наскільки ефективно метод дозволяє оцінити як теоретичні, так і практичні знання студента. Це включає визначення, наскільки ефективно запропонований шлях розвитку дозволить досягти цілей студента. Цей критерій є важливим для того, щоб план розвитку точно відповідав вимогам студента, не був занадто поверхневим або навпаки дуже детальним, що дозволить максимально ефективно досягати цілей студента;
- адаптивність до прогресу студента. Критерій оцінює, наскільки метод здатний адаптувати план розвитку в реальному часі, враховуючи успіхи або труднощі студента. Важливо, щоб метод давав змогу змінювати навчальний план на основі постійного моніторингу прогресу студента, підлаштовуючи складність завдань або теми в залежності від його результатів. Адаптивність забезпечує персоналізований підхід до навчання, допомагаючи студенту долати труднощі та рухатись далі, не відстаючи від програми;

- масштабованість методу. Цей критерій оцінює здатність методу працювати з великою кількістю студентів або учасників і забезпечити ефективне застосування на різних рівнях. Масштабованість передбачає, що метод буде працювати для студентів з різними рівнями знань та в різних навчальних групах без необхідності значної зміни підходу. Масштабованість є важливою для універсальності методу, адже дозволяє використовувати його в різних контекстах без втрати ефективності;
- часова ефективність. Критерій оцінює, скільки часу потрібно для реалізації методу, включаючи час на створення плану розвитку, його коригування, оцінку та адаптацію. Важливо, щоб обраний метод не затримував навчальний процес, а також був ефективним у використанні часу;
- гнучкість у коригуванні плану розвитку. Критерій оцінює, наскільки легко можна змінювати план розвитку залежно від нових умов, таких як зміни в навчальних цілях студента, нові інтереси або зміни на ринку праці. Важливо, щоб метод дозволяв адаптуватися до змін без великих затрат часу та ресурсів. Гнучкість є необхідною для забезпечення довгострокової ефективності методу, особливо у динамічних галузях, таких як інформаційні технології;
- емоційний та мотиваційний вплив на студента. Критерій оцінює, наскільки обраний метод стимулює студента до подальшого навчання, підвищує його мотивацію та зацікавленість. Важливо, щоб план розвитку не тільки відповідав навчальним цілям, але й сприяв формуванню позитивного ставлення до навчання. Мотивація є критичним чинником для підтримки довгострокового навчання і зацікавленості студента в досягненні своїх цілей;
- вартість впровадження та підтримки методу. Цей критерій оцінює економічну доцільність методу, включаючи витрати на впровадження, підтримку та адаптацію. Вартість повинна бути обґрунтованою, а також дозволяти використовувати метод з оптимальними витратами для

навчального процесу. Оцінка вартості допомагає визначити, наскільки метод є доступним та ефективним у плані витрат ресурсів на довгострокову перспективу.

Всі ці критерії будуть враховуватися для задачі багатокритеріального вибору.

4.4 Опис та аналіз шкал за кожним з обраних критеріїв

Опис та аналіз шкал за кожним з обраних критеріїв включає оцінку точності плану розвитку, адаптивності до прогресу студента, масштабованості методу, часової ефективності, гнучкості у коригуванні плану розвитку, емоційного та мотиваційного впливу на студента, а також вартості впровадження та підтримки методу.

Точність плану розвитку вимірює, наскільки план відповідає вимогам і цілям студента. Тип шкали є порядковим, оцінюючи точність без вимірювання відстаней між рівнями. Значення шкали варіюється від 1 до 3, де 1 це низька точність (план не відповідає реальному рівню знань студента, метод не враховує важливі аспекти розвитку), 2 це середня точність (план частково відповідає рівню знань студента, але можуть бути певні неточності або прогалини), 3 це висока точність (план точно відповідає реальному рівню знань і розвитку студента, враховує всі важливі аспекти).

Адаптивність до прогресу студента оцінює здатність методу змінювати план розвитку відповідно до успіхів або труднощів студента. Тип шкали є порядковим. Значення шкали варіюється від 1 до 3, де 1 це низька адаптивність (метод не змінюється в залежності від прогресу студента, план не коригується), 2 це середня адаптивність (метод адаптується в певних випадках, але зміни не є постійними), 3 це висока адаптивність (метод динамічно змінюється в залежності від результатів студента, адаптація плану відбувається в реальному часі).

Масштабованість методу вимірює його здатність працювати з різними групами студентів. Шкала є порядковою. Значення шкали варіюється від 1 до 3, де, 1 це низька масштабованість (метод підходить лише для невеликої групи

студентів, потребує значних змін для масштабування), 2 це середня масштабованість (метод можна адаптувати для більшої кількості студентів, але з певними труднощами), 3 це висока масштабованість (метод легко масштабується для великих груп студентів без втрати ефективності).

Часова ефективність оцінює витрати часу на реалізацію методу, включаючи створення, коригування та впровадження плану. Тип шкали – порядковий. Значення шкали варіюється від 1 до 3, де 1 це високі витрати часу (метод потребує значних часових затрат на реалізацію, коригування або оцінку плану), 2 це середні витрати часу (метод ефективний, але займає помірний час для адаптації чи реалізації), 3 це мінімальні витрати часу (метод швидко впроваджується, з мінімальними витратами часу на коригування і оцінку).

Гнучкість у коригуванні плану розвитку вимірює легкість внесення змін у план залежно від нових цілей або обставин. Шкала є порядковою. Значення шкали варіюється від 1 до 3, де 1 це низька гнучкість (план розвитку важко змінити, потребує великих зусиль для коригування), 2 це середня гнучкість (план можна змінити з певними зусиллями, але процес змін нескладний), 3 це висока гнучкість (план розвитку легко коригується в залежності від нових умов, мінімальні затрати на зміни).

Емоційний та мотиваційний вплив на студента оцінює здатність методу стимулювати мотивацію до навчання. Тип шкали – порядковий. Значення шкали варіюється від 1 до 3, де 1 це низький вплив (метод не має значного емоційного або мотиваційного ефекту на студента), 2 це середній вплив (метод має помірний вплив на мотивацію і залученість студента), 3 це високий вплив (метод значно підвищує мотивацію студента, стимулюючи його до подальшого навчання).

Вартість впровадження та підтримки методу аналізує фінансові та ресурсні витрати на розробку, адаптацію та підтримку. Тип шкали є порядковим. Значення шкали варіюється від 1 до 3, де 1 це висока вартість (метод потребує великих фінансових і ресурсних витрат для впровадження і підтримки), 2 це середня вартість (метод має розумні витрати на впровадження та підтримку). 3 це низька вартість (метод є економічно вигідним і не потребує великих витрат).

4.5 Векторний опис альтернатив за обраними критеріями

У процесі аналізу методів адаптивного навчання було визначено кілька ключових критеріїв оцінки ефективності кожного підходу. Вибрані критерії дозволяють порівняти методи за рівнем точності, адаптивності, масштабованості, часової ефективності, гнучкості в коригуванні плану розвитку, емоційного та мотиваційного впливу на студента, а також за вартістю впровадження. Таке порівняння допомагає виявити сильні та слабкі сторони кожного з підходів і визначити оптимальні стратегії для подальшого розвитку адаптивних навчальних систем.

В таблиці 4.1 наведено векторний опис альтернатив за обраними критеріями.

Таблиця 4.1 – Векторний опис альтернатив за обраними критеріями.

Критерії/методи	Використання попередньо створених шляхів розвитку	Використання великих мовних моделей	Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента	Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента	Використання великих даних
Точність плану розвитку	2 (Середня)	3 (Висока)	2 (Середня)	3 (Висока)	2 (Середня)
Адаптивність до прогресу студента	1 (Низька)	3 (Висока)	3 (Висока)	1 (Низька)	1 (Низька)
Масштабованість	3 (Висока)	3 (Висока)	2 (Середня)	2 (Середня)	2 (Середня)
Часова ефективність	3 (Низькі витрати часу)	3 (Низькі витрати часу)	2 (Середні витрати часу)	2 (Середні витрати часу)	1 (Високі витрати часу)
Гнучкість у коригуванні плану розвитку	2 (Середня)	3 (Висока)	3 (Висока)	3 (Висока)	2 (Середня)

Кінець таблиці 4.1.

Критерії/методи	Використання попередньо створених шляхів розвитку	Використання великих мовних моделей	Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента	Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента	Використання аналізу великих даних
Емоційний та мотиваційний вплив на студента	2 (Середня)	3 (Висока)	2 (Середня)	2 (Середня)	2 (Середня)
Вартість впровадження	1 (Низька)	3 (Висока)	3 (Висока)	2 (Середня)	3 (Висока)

Точність плану розвитку оцінюється на основі того, наскільки добре план розвитку відповідає цілям та вимогам студента. Використання попередньо створених планів розвитку має високу точність, оскільки ці плани розроблені на основі перевірених стандартів і вимог ринку, однак вони можуть не завжди враховувати індивідуальні особливості студента. Використання великих мовних моделей для генерації плану розвитку має високу точність, оскільки моделі можуть адаптуватися до індивідуального фону студента, його знань, досвіду та інтересів. Однак точність може залежати від якості наданих студентом даних. Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента має високу точність, оскільки вона ґрунтується на реальних результатах навчання, але може бути обмежена лише тими аспектами знань, які оцінюються через тестування. Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента також має високу точність, оскільки метод враховує реальний досвід та кваліфікацію студента. Однак ця точність може бути знижена, якщо студент надає неповні або неточні дані про себе. Використання аналізу великих даних дає гарні результати та враховує актуальні потреби студентів, але метод погано адаптується під індивідуальні потреби певного студента, так як без в розрахунок досвід інших.

4.6 Перетворення векторного опису з метою приведення всіх шкал до принципу оптимальності «за максимумом»

Для забезпечення коректного аналізу та порівняння різних підходів у процесі адаптивного навчання було здійснено перетворення векторного опису критеріїв оцінювання. Це перетворення спрямоване на уніфікацію шкал і приведення їх до єдиного принципу оптимальності за максимумом. Такий підхід дає змогу об'єктивно порівнювати ефективність застосування різних методів та технологій у навчальному процесі.

Таблиця 4.2 містить узагальнені результати цього перетворення для ключових методів, що використовуються в адаптивному навчанні. Вона ілюструє, яким чином різні стратегії і технології відповідають критеріям оптимальності, сприяючи підвищенню якості освітнього процесу та персоналізації навчальних траєкторій.

Таблиця 4.2 – Приведення всіх шкал до принципу оптимальності «за максимумом»

Критерій/методи	Використання попередньо створених шляхів розвитку	Використання великих мовних моделей	Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента	Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента	Використання аналізу великих даних
Точність плану розвитку	2	3	2	3	2
Адаптивність до прогресу студента	1	3	3	1	1
Масштабованість	3	3	2	2	2
Мінімізація часових витрат	3	3	2	2	1

Кінець таблиці 4.2

Критерій/методи	Використання попередньо створених шляхів розвитку	Використання великих мовних моделей	Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента	Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента	Використання аналізу великих даних
Гнучкість у коригуванні плану розвитку	2	3	3	3	2
Емоційний та мотиваційний вплив на студента	2	3	2	2	2
Мінімізація витрат	3	0	0	2	0

4.7 Аналіз парето-оптимальності альтернатив

4.7.1 Порівняння "Використання попередньо створених шляхів розвитку" та "Використання великих мовних моделей"

Точність плану розвитку: 2 (Використання попередньо створених шляхів розвитку) = 3 (Використання великих мовних моделей) – рівні.

Адаптивність до прогресу студента: 1 (Використання попередньо створених roadmap) < 3 (Використання великих мовних моделей) – великі мовні моделі кращі.

Масштабованість: 3 (Використання попередньо створених roadmap) = 3 (Використання великих мовних моделей) – рівні.

Мінімізація часових витрат: 3 (Використання попередньо створених roadmap) = 3 (Використання великих мовних моделей) – рівні.

Гнучкість у коригуванні плану розвитку: 2 (Використання попередньо створених roadmap) < 3 (Використання великих мовних моделей) – великі мовні моделі кращі.

Емоційний та мотиваційний вплив на студента: 2 (Використання попередньо створених roadmap) < 3 (Використання великих мовних моделей) – Великі мовні моделі кращі.

Мінімізація витрат: 3 (Використання попередньо створених roadmap) > 0 (Використання великих мовних моделей) – попередньо створені roadmap кращі.

"Використання великих мовних моделей" переважає за більшістю критеріїв, але "Використання попередньо створених roadmap" має кращі показники щодо мінімізації витрат. Тому великі мовні моделі домінують за більшістю критеріїв, але обидві альтернативи є Парето-оптимальними за своїми сильними сторонами.

4.7.2 Порівняння "Використання великих мовних моделей" та "Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента"

Точність плану розвитку: 3 (Великі мовні моделі) > 2 (Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента) – Великі мовні моделі кращі.

Адаптивність до прогресу студента: 3 (Великі мовні моделі) = 3 (Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента) – рівні.

Масштабованість: 3 (Великі мовні моделі) > 2 (Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента) – Великі мовні моделі кращі.

Мінімізація часових витрат: 3 (Великі мовні моделі) > 2 (Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента) – Великі мовні моделі кращі.

Гнучкість у коригуванні плану розвитку: 3 (Великі мовні моделі) = 3 (Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента) – рівні.

Емоційний та мотиваційний вплив на студента: 3 (Великі мовні моделі) > 2 (Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента) – Великі мовні моделі кращі.

Мінімізація витрат: 0 (Великі мовні моделі) < 2 (Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента) – Адаптація краща.

"Використання великих мовних моделей" перевершує "Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента" за більшістю критеріїв, але адаптація має кращі показники щодо мінімізації витрат. Оскільки одна альтернатива не домінує за всіма критеріями, обидві альтернативи є Парето-оптимальними для різних умов і контекстів.

4.7.3 Порівняння "Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента" та "Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента"

Точність плану розвитку: 2 (Адаптація) = 3 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) – рівні.

Адаптивність до прогресу студента: 3 (Адаптація) > 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) – Адаптація краща.

Масштабованість: 2 (Адаптація) = 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) – рівні.

Мінімізація часових витрат: 2 (Адаптація) = 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) – рівні.

Гнучкість у коригуванні плану розвитку: 3 (Адаптація) > 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) – Адаптація краща.

Емоційний та мотиваційний вплив на студента: 2 (Адаптація) = 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) – рівні.

Мінімізація витрат: 2 (Адаптація) = 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) – рівні.

"Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента" перевершує "Генерацію шляху розвитку на основі досвіду студента" за кількома критеріями, такими як адаптивність, гнучкість та мотиваційний вплив. Оскільки обидві альтернативи рівні за кількома критеріями (точність, масштабованість, мінімізація витрат), обидві альтернативи є Парето-оптимальними.

4.7.4 Порівняння "Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента" та "Використання аналізу великих даних".

Точність плану розвитку: 3 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) > 2 (Використання аналізу великих даних) – Перша стратегія краща.

Адаптивність до прогресу студента: 1 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) = 1 (Використання аналізу великих даних) – рівні.

Масштабованість: 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) = 2 (Використання аналізу великих даних) – рівні.

Мінімізація часових витрат: 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) > 1 (Використання аналізу великих даних) – Перша стратегія краща.

Гнучкість у коригуванні плану розвитку: 3 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) > 2 (Використання аналізу великих даних) – Перша стратегія краща.

Емоційний та мотиваційний вплив на студента: 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) = 2 (Використання аналізу великих даних) – рівні.

Мінімізація витрат: 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) > 0 (Використання аналізу великих даних) – Перша стратегія краща.

"Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента" демонструє переваги за такими критеріями, як точність плану розвитку, мінімізація часових витрат, гнучкість у коригуванні та мінімізація витрат. Проте "Використання

аналізу великих даних" може бути корисним для масштабованості й аналізу загальних тенденцій, особливо в контекстах, де необхідно працювати з великими обсягами інформації. Таким чином, обидві стратегії є Парето-оптимальними залежно від специфічних умов і завдань навчального процесу.

У результаті порівняння, кожна альтернатива має свої сильні та слабкі сторони в різних критеріях. Жодна з альтернатив не домінує абсолютно за всіма критеріями, тому кожна з них є Парето-оптимальною в контексті конкретних умов і вимог.

4.7.5 Порівняння "Використання великих мовних моделей" та "Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента"

Точність плану розвитку: 3 (Великі мовні моделі) > 2 (Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента) – Великі мовні моделі кращі.

Адаптивність до прогресу студента: 3 (Великі мовні моделі) = 3 (Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента) – рівні.

Масштабованість: 3 (Великі мовні моделі) > 2 (Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента) – Великі мовні моделі кращі.

Мінімізація часових витрат: 3 (Великі мовні моделі) > 2 (Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента) – Великі мовні моделі кращі.

Гнучкість у коригуванні плану розвитку: 3 (Великі мовні моделі) = 3 (Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента) – рівні.

Емоційний та мотиваційний вплив на студента: 3 (Великі мовні моделі) > 2 (Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента) – Великі мовні моделі кращі.

Мінімізація витрат: 0 (Великі мовні моделі) < 2 (Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента) – Адаптація краща.

"Використання великих мовних моделей" перевершує "Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента" за більшістю критеріїв, але адаптація має кращі показники щодо мінімізації витрат. Оскільки одна альтернатива не домінує за всіма критеріями, обидві альтернативи є Парето-оптимальними для різних умов і контекстів.

4.7.6 Порівняння "Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента" та "Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента"

Точність плану розвитку: 2 (Адаптація) = 3 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) – рівні.

Адаптивність до прогресу студента: 3 (Адаптація) > 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) – Адаптація краща.

Масштабованість: 2 (Адаптація) = 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) – рівні.

Мінімізація часових витрат: 2 (Адаптація) = 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) – рівні.

Гнучкість у коригуванні плану розвитку: 3 (Адаптація) > 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) – Адаптація краща.

Емоційний та мотиваційний вплив на студента: 2 (Адаптація) = 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) – рівні.

Мінімізація витрат: 2 (Адаптація) = 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) – рівні.

"Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента" перевершує "Генерацію шляху розвитку на основі досвіду студента" за кількома критеріями, такими як адаптивність, гнучкість та мотиваційний вплив. Оскільки обидві альтернативи рівні за кількома критеріями

(точність, масштабованість, мінімізація витрат), обидві альтернативи є Парето-оптимальними.

4.7.7 Порівняння "Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента" та "Використання аналізу великих даних"

Точність плану розвитку: 3 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) > 2 (Використання аналізу великих даних) – Перша стратегія краща.

Адаптивність до прогресу студента: 1 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) = 1 (Використання аналізу великих даних) – рівні.

Масштабованість: 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) = 2 (Використання аналізу великих даних) – рівні.

Мінімізація часових витрат: 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) > 1 (Використання аналізу великих даних) – Перша стратегія краща.

Гнучкість у коригуванні плану розвитку: 3 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) > 2 (Використання аналізу великих даних) – Перша стратегія краща.

Емоційний та мотиваційний вплив на студента: 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) = 2 (Використання аналізу великих даних) – рівні.

Мінімізація витрат: 2 (Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента) > 0 (Використання аналізу великих даних) – Перша стратегія краща.

"Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента" демонструє переваги за такими критеріями, як точність плану розвитку, мінімізація часових витрат, гнучкість у коригуванні та мінімізація витрат. Проте "Використання аналізу великих даних" може бути корисним для масштабованості й аналізу загальних тенденцій, особливо в контекстах, де необхідно працювати з великими обсягами інформації. Таким чином, обидві стратегії є Парето-оптимальними залежно від специфічних умов і завдань навчального процесу.

У результаті порівняння, кожна альтернатива має свої сильні та слабкі сторони в різних критеріях. Жодна з альтернатив не домінує абсолютно за всіма

критеріями, тому кожна з них є Парето-оптимальною в контексті конкретних умов і вимог.

4.8 Нормування оцінок за шкалами

Для точності вимірювання, точності плану розвитку, адаптивності до прогресу студента, масштабованості, мінімізації часових витрат, гнучкості у коригуванні плану розвитку, емоційного та мотиваційного впливу нормована оцінка визначається за формулою 4.1:

$$\frac{x-1}{3-1} = \frac{x-1}{2} \quad (4.1)$$

Для мінімізації витрат нормована оцінка визначається за формулою 4.2:

$$\frac{x}{3} \quad (4.2)$$

Результати зображено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Нормовані оцінки

Критерій/методи	Використання попередньо створених шляхів розвитку	Використання великих мовних моделей	Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента	Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента	Використання аналізу великих даних
Точність плану розвитку	0.5	1	0.5	1	0.5

Кінець таблиці 4.3.

Критерії/методи	Використання попередньо створених шляхів розвитку	Використання великих мовних моделей	Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента	Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента	Використання аналізу великих даних
Адаптивність до прогресу студента	0	1	1	0	0
Масштабованість	1	1	0.5	0.5	0.5
Мінімізація часових витрат	1	1	0.5	0.5	0
Гнучкість у коригувальних планів розвитку	0.5	1	1	1	0.5
Емоційний та мотиваційний вплив на студента	0.5	1	0.5	0.5	0.5
Мінімізація витрат	1	0	0	0,67	0

Всі значення таблиці приведено до форми, яка буде використовуватися в оцінці альтернатив за допомогою згорткової моделі.

4.9 Вибір згорткової моделі

Для оцінки альтернатив за допомогою згорткової моделі обрано лінійну адитивну згортку з ваговими коефіцієнтами. Ця модель дозволяє ефективно поєднувати різні критерії, враховуючи їх важливість для кінцевого результату. Метою є оцінка різних методів побудови плану розвитку студента, і кожен з критеріїв має різну вагу.

Є 7 критеріїв, для яких встановлюються вагові коефіцієнти, де 1 – це мінімальна важливість, а 7 – максимальна.

Адаптивність до прогресу студента (K2) – це найбільш важливий критерій, оскільки адаптивність є основою індивідуалізованого навчання. Саме цей критерій має найбільший вплив в персоналізації побудованих шляхів розвитку. Тому цьому критерію призначаємо 7 балів.

Точність плану розвитку (K1) є другим за важливістю критерієм, адже без відповідності побудованого плану розвитку до сучасних вимог індустрії та до рівня знань студенту, побудований план не зможе допомогти користувачу. Тому для точності призначаємо 6 балів.

Масштабованість (K3) методу також є важливим критерієм, оскільки система повинна бути здатна ефективно працювати з різними групами студентів і підлаштовуватись під різні обсяги даних. Так як все більше людей починає вчитися за допомогою онлайн технологій, кількість потенційних користувачів буде збільшуватися кожного року. Критерій масштабованості отримує 5 балів.

Мінімізація часових витрат (K4) має значення для оптимізації процесу навчання, зменшення часу на коригування та адаптацію плану. Тому часова ефективність отримує 4 бали.

Гнучкість у коригуванні плану розвитку (K5) є важливим критерієм, оскільки навчальний план має змінюватися відповідно до успіхів студента, щоб

максимально ефективно використовувати його потенціал. Гнучкість отримує 3 бали.

Емоційний та мотиваційний вплив на студента (К6) також є важливим критерієм, оскільки мотивація є ключовою для досягнення успіху в навчанні. Тому цей критерій отримає 2 бали.

Мінімізація витрат впровадження та підтримки методу (К7) – хоча це важливий критерій з точки зору економічної доцільності, для нас він має найменший пріоритет. Тому вартість отримує 1 бал.

Згорткова модель врахує ваги кожного критерія при оцінці методів, що зробить оцінку точнішою.

Згорткова модель для обраних критеріїв виглядає наступним чином(формула 4.3):

$$\begin{aligned} \max \sum_{j=1}^7 \beta_j a_{ij} = \\ = \frac{6}{28} \alpha_{i1} + \frac{7}{28} \alpha_{i2} + \frac{5}{28} \alpha_{i3} + \frac{4}{28} \alpha_{i4} + \frac{3}{28} \alpha_{i5} + \frac{2}{28} \alpha_{i6} + \frac{1}{28} \alpha_{i7} \end{aligned} \quad (4.3)$$

де β_j це ваговий коефіцієнт,

α_{ij} це нормоване значення для і-го методу і j-го критерію.

За допомогою сформульованої згорткової моделі, було оцінено кожен метод побудови персоналізованих шляхів розвитку.

Використання попередньо створених шляхів розвитку:

$$\frac{6}{28} * 0.5 + \frac{5}{28} + \frac{4}{28} + \frac{3}{28} * 0.5 + \frac{2}{28} * 0.5 + \frac{1}{28} = 0.55$$

Використання великих мовних моделей:

$$\frac{6}{28} + \frac{7}{28} + \frac{5}{28} + \frac{4}{28} + \frac{3}{28} + \frac{2}{28} = 0.96$$

Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента:

$$\frac{6}{28} * 0.5 + \frac{7}{28} + \frac{5}{28} * 0.5 + \frac{4}{28} * 0.5 + \frac{3}{28} + \frac{2}{28} * 0.5 = 0.66$$

Генерація шляху розвитку на основі досвіду студента

$$\frac{6}{28} + \frac{5}{28} * 0.5 + \frac{4}{28} * 0.5 + \frac{3}{28} + \frac{2}{28} * 0.5 + \frac{1}{28} * 0.67 = 0.54$$

Використання аналізу великих даних

$$\frac{6}{28} * 0.5 + \frac{5}{28} * 0.5 + \frac{3}{28} * 0.5 + \frac{2}{28} * 0.5 = 0.28$$

4.10 Аналіз результатів

За допомогою лінійної адитивної згорткової моделі з ваговими коефіцієнтами проведено обчислення інтегральних оцінок для кожної альтернативи. Найвищий результат отримав метод використання великих мовних моделей - 0.96, який показав найкращу ефективність за ключовими критеріями, такими як адаптивність, точність плану розвитку та масштабованість. Інші методи мають свої переваги в окремих аспектах, але за сумарною оцінкою поступаються цьому методу.

Крім цього, доволі ефективним виявився метод “Персоналізоване коригування навчального плану на основі аналізу досягнень студента”(0.66), це підтверджує можливість використання методів машинного навчання для побудови персоналізованих шляхів розвитку.

Методи “Використання попередньо створених roadmap” (0.55), “Генерація шляху розвитку на основі background студента” (0.54), “ Використання аналізу

великих даних” (0.29), виявились менш ефективними, так як вони поступаються іншим методам в адаптивності.

4.11 Розробка архітектури застосунку

Архітектура розробленого застосунку побудована за принципами багаторівневої організації з чітким поділом відповідальностей між компонентами. Система включає дві основні частини: серверну та клієнтську. Діаграма розгортання представлена на рисунку 4.1.

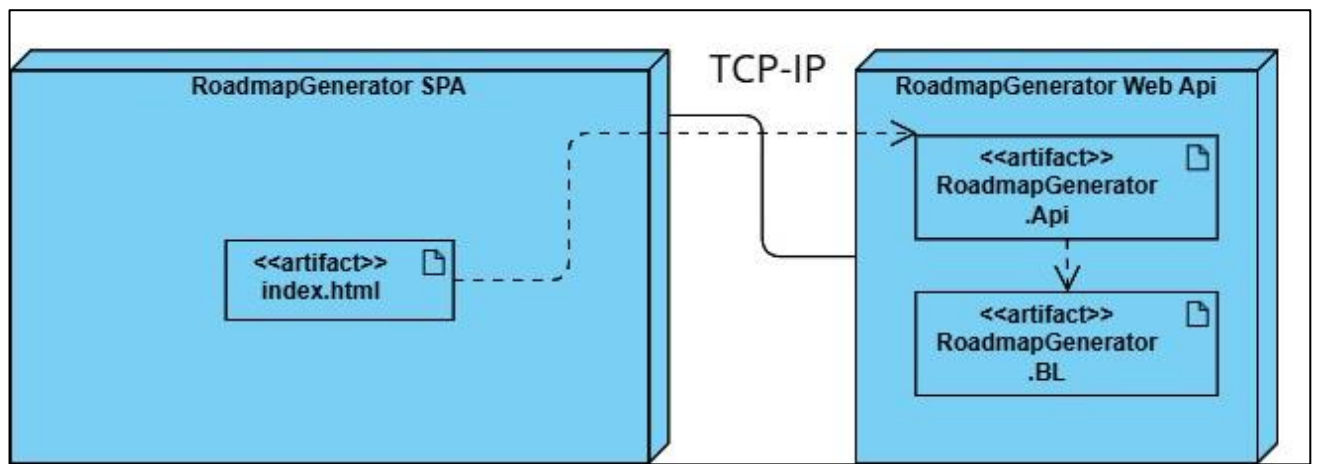


Рисунок 4.1 – Діаграма розгортання

Серверна частина реалізована за допомогою платформи .NET 8 із використанням концепції Minimal API, що дозволяє досягти високої швидкодії та спрощеної конфігурації. Архітектура поділена на рівень представлення, бізнес-логіки та рівень взаємодії з зовнішніми сервісами. Рівень представлення включає автоматичну реєстрацію ендпоінтів, які реалізуються через інтерфейс IEndpoint. Завдяки механізмам рефлексії усі класи, що реалізують цей інтерфейс, автоматично додаються до контейнера залежностей та реєструються у відповідній групі маршрутів без необхідності ручного додавання кожного ендпоінту. Такий підхід дозволяє легко масштабувати API без додаткових змін у точках входу застосунку.

У шарі бізнес-логіки ключову роль відіграє сервіс генерації навчальних планів, який реалізує інтерфейс IRoadmapGenerator. Цей сервіс, у свою чергу, використовує фабрику мовних моделей, що реалізує інтерфейс

ILanguageModelFactory. Фабрика відповідає за створення конкретної реалізації мовної моделі відповідно до назви моделі, що передається у запиті користувача. Такий підхід дозволяє легко змінювати або додавати нові моделі генеративного ШІ, не порушуючи існуючу архітектуру. Клієнтська частина системи розроблена як односторінковий додаток на Angular, у якому використовуються засоби інтерактивної візуалізації навчальних планів на основі бібліотеки ngx-graph. Це дозволяє представляти навчальний план як граф знань, де кожна вершина відповідає окремому концепту або темі, а зв'язки між ними – логічним переходам між кроками.

4.12 Розробка програмного забезпечення для проведення дослідження

Для забезпечення повноцінного дослідження ефективності генеративних моделей штучного інтелекту було розроблено двокомпонентне програмне забезпечення. Перша складова – це основна система генерації навчальних планів, реалізована як клієнт-серверна архітектура з серверною частиною на платформі .NET та клієнтським інтерфейсом, створеним за допомогою Angular. Основна система дозволяє користувачу через вебінтерфейс сформулювати запит, який містить персональні дані: ім'я, вік, освіту, досвід роботи, наявність сертифікатів, мету навчання та бажаний рівень складності. Також користувач обирає одну з доступних моделей генеративного ШІ, яка буде використана для формування плану. Серверна частина обробляє цей запит, формує промпт для моделі згідно з визначеним шаблоном, викликає відповідний сервіс та отримує результат у форматі структурованого JSON. Цей результат містить назву плану, опис, послідовні кроки з темами, поняттями та підтемами. Після цього дані повертаються клієнту, де візуалізуються як граф знань за допомогою бібліотеки ngx-graph. Така структура дозволяє не лише переглядати зміст плану, а й аналізувати зв'язки між темами та послідовність їх вивчення.

Другою складовою системи є окремий програмний модуль для проведення бенчмаркінгу, реалізований як консольна програма. Її головна мета – забезпечити автоматизоване порівняння продуктивності та якості генерації навчальних планів

різними моделями. Важливо, що ця програма не використовує HTTP-запити, а напряму викликає сервіси генерації через фабрику моделей, яка є частиною основного проекту. Це дозволяє уникнути мережових затримок, зосередитися на обчислювальних характеристиках моделей і спростити аналіз.

Під час тестування кожна модель викликається з однаковими вхідними даними користувача, і результат її роботи оцінюється за п'ятьма критеріями. Першим критерієм є середня швидкість генерації, яка вимірюється в мілісекундах за допомогою вбудованого таймера Stopwatch. Другим критерієм є кількість використаних токенів. Вона оцінюється як загальна кількість токенів, розділена на вхідні та вихідні, що дозволяє точніше розраховувати ресурсоспоживання моделі.

Третім критерієм є якість структури відповіді. Програма аналізує JSON-відповідь, перевіряючи наявність обов'язкових структурних елементів: заголовку, опису, списку кроків та правильності вкладених об'єктів. На основі цього формується умовна оцінка, яка дозволяє порівнювати структурну повноту відповідей різних моделей. Четвертий критерій – стислість або обсяг відповіді. Вона оцінюється за розміром JSON-рядка в символах, а також за кількістю кроків та концептів у кожному з них. Це дозволяє визначити рівень деталізації, який пропонує модель.

П'ятий критерій – орієнтовна вартість генерації, що розраховується виходячи з тарифів OpenAI на обробку токенів для кожної з моделей. Формула враховує різну вартість обробки вхідних і вихідних токенів, що дозволяє оцінити фінансову доцільність використання тієї чи іншої моделі в реальних умовах.

Кожен результат зберігається у файл, а в консолі формується зведена таблиця з усіма метриками для кожної моделі. Такий підхід дозволяє отримати не лише кількісну характеристику швидкодії моделей, але й провести якісний аналіз результатів генерації з урахуванням вартості, глибини змісту та структурної коректності. Бенчмарк-програма стала важливою складовою експериментальної частини дослідження, дозволивши об'єктивно порівняти моделі генеративного ШІ у контексті адаптивного навчання.

4.13 Проведення експериментального дослідження обраних моделей генеративного ШІ для побудови навчальних планів розвитку

Метою експериментального дослідження було визначення ефективності різних моделей генеративного штучного інтелекту під час побудови персоналізованих навчальних планів. Для цього було обрано чотири актуальні моделі: gpt-3.5-turbo, gpt-4o, gpt-4o-mini та o3-mini. Кожна з моделей використовувалась у однакових умовах – із фіксованим профілем користувача та однаковим форматом запиту. Для підвищення достовірності результатів кожна модель запускалась шість разів, після чого брались середні результати.

Тестування виконувалось за допомогою окремої консольної програми, яка викликає сервіси генерації планів безпосередньо, без використання HTTP-запитів. Такий підхід дозволив отримати більш точні метрики, на які не впливає мережа та час обробки на стороні API. Для кожного запиту фіксувались наступні параметри:

- середній час генерації – загальний час виконання запиту, що характеризує швидкість моделі;
- кількість токенів – кількість вхідних та вихідних токенів, що дає змогу оцінити обсяг обробленої інформації;
- кількість кроків – кількість кроків у навчальному плані, як індикатор деталізації;
- оцінка структури – автоматизована оцінка відповідності JSON-структурі очікуваного формату;
- розмір – довжина відповіді у символах;
- орієнтовна вартість – розрахована вартість запиту згідно з тарифами OpenAI на обробку токенів.

Результат проведеного дослідження наведено в таблиці 4.4.

Результати проведеного експерименту дозволили здійснити об'єктивне порівняння чотирьох актуальних моделей генеративного штучного інтелекту за низкою технічних та якісних критеріїв. Усі моделі виконували одну й ту ж задачу – генерацію персоналізованого навчального плану, що дає змогу прямо

порівнювати їх продуктивність, ефективність і доцільність використання у реальних умовах.

Таблиця 4.4 – Порівняння моделей генеративного інтелекту

Модел ь	Час, мс	Input токе ни	Output токен и	Всього токені в	Крок ів	Оцін ка	Розмір відповіді (символи)	Вартість (USD)
gpt-3.5-turbo	5029	634	490	1124	4	5	2090	0.00105
gpt-4o	8131	442	737	1179	6	5	3071	0.00846
gpt-4o-mini	12925	443	791	1234	7	5	3239	0.00055
o3-mini	10063	439	1658	2097	6	5	3261	0.00776

Модель gpt-3.5-turbo продемонструвала найкращий показник швидкості генерації серед усіх протестованих моделей (5029 мс у середньому). Вона є також найменш ресурсомісткою за обсягом використаних токенів та обсягом відповіді, а її вартість порівняно невелика - \$0.00105 за один запит. Однак ця модель створила навчальний план із найменшою кількістю кроків (4), що свідчить про менший рівень деталізації.

gpt-4o досягла високої якості результату за рахунок балансу між швидкістю (8131 мс), структурованістю та обсягом відповіді. Вона сформувала план із 6 кроків, мала вищий обсяг вихідних токенів, що дозволило краще розкрити тему. Проте ця модель має одну з найвищих вартостей (\$0.00846), що слід враховувати при масштабному використанні.

Найбільш економічною за вартістю генерації виявилася модель gpt-4o-mini (\$0.00055), що при цьому сформувала найбільш деталізований план із 7 кроків. Її

відповіді мають великий обсяг (3239 символів), хоча і формуються повільніше - у середньому за 12925 мс. Така модель підходить для задач, де пріоритетом є глибина змісту та економія коштів, а не швидкість.

Модель o3-mini сформувала найрозгорнутіші відповіді за обсягом токенів (2097) та символів (3261), забезпечивши також високу структурну якість. Водночас вона була другою за вартістю (\$0.00776) та мала середній час генерації 10063 мс. Вона є доцільною у випадках, коли важлива насиченість контенту.

Отже, вибір моделі повинен здійснюватися з урахуванням контексту застосування. Якщо пріоритетом є швидкодія та низька вартість - доцільним вибором є gpt-3.5-turbo. Якщо потрібно досягти балансу між глибиною та швидкістю - варто звернути увагу на gpt-4o. Для мінімізації витрат при збереженні якості і структурованості ідеально підходить gpt-4o-mini. У випадках, коли потрібно генерувати максимально повні плани з великим обсягом інформації, виправданим буде використання o3-mini.

5 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

Розроблене програмне забезпечення є результатом поєднання сучасних принципів архітектури, шаблонів проектування та інтеграції з генеративними моделями штучного інтелекту. Його реалізацію розділено на два компоненти: серверну частину, що працює на платформі .NET 8, та клієнтську, створену у вигляді односторінкового додатку на Angular. Основна функціональність полягає у створенні персоналізованого навчального плану на основі вхідних даних користувача. Цей план формується у структурованому форматі за допомогою обраної мовної моделі ШІ.

Серверна частина реалізована так, щоб динамічно обирати модель для генерації без необхідності змін у логіці генерації. Для цього використовується патерн "Стратегія", згідно з яким кожна модель ШІ має власну реалізацію інтерфейсу `ILanguageModelService`. Інтерфейс наведено на рисунку 5.1.

```
8 usages 4 inheritors 2 exposing APIs
public interface ILanguageModelService
{
    1 usage 4 implementations
    Task<GeneratedPlanResult> GenerateLearningPlanAsync(string userPrompt);
}
```

Рисунок 5.1 – Інтерфейс `ILanguageModelService`

Залежно від того, яку модель користувач вказує у запиті, система за допомогою фабрики `LanguageModelFactory` створює відповідний. Код сервісів наведено у додатку Г. Це дозволяє гнучко масштабувати систему під нові моделі, змінюючи лише склад сервісів, без переписування основного коду. Така реалізація забезпечує технічну гнучкість, відповідність принципам SOLID та спрощує підтримку і розвиток продукту. Діаграма класів представленого механізму зображена на рисунку 5.2.

Процес генерації навчального плану з математичної точки зору можна розглядати як побудову спрямованого графа знань, де вузли відповідають

основним темам і підтемам, а зв'язки між ними – це логічні переходи у навчальному процесі.

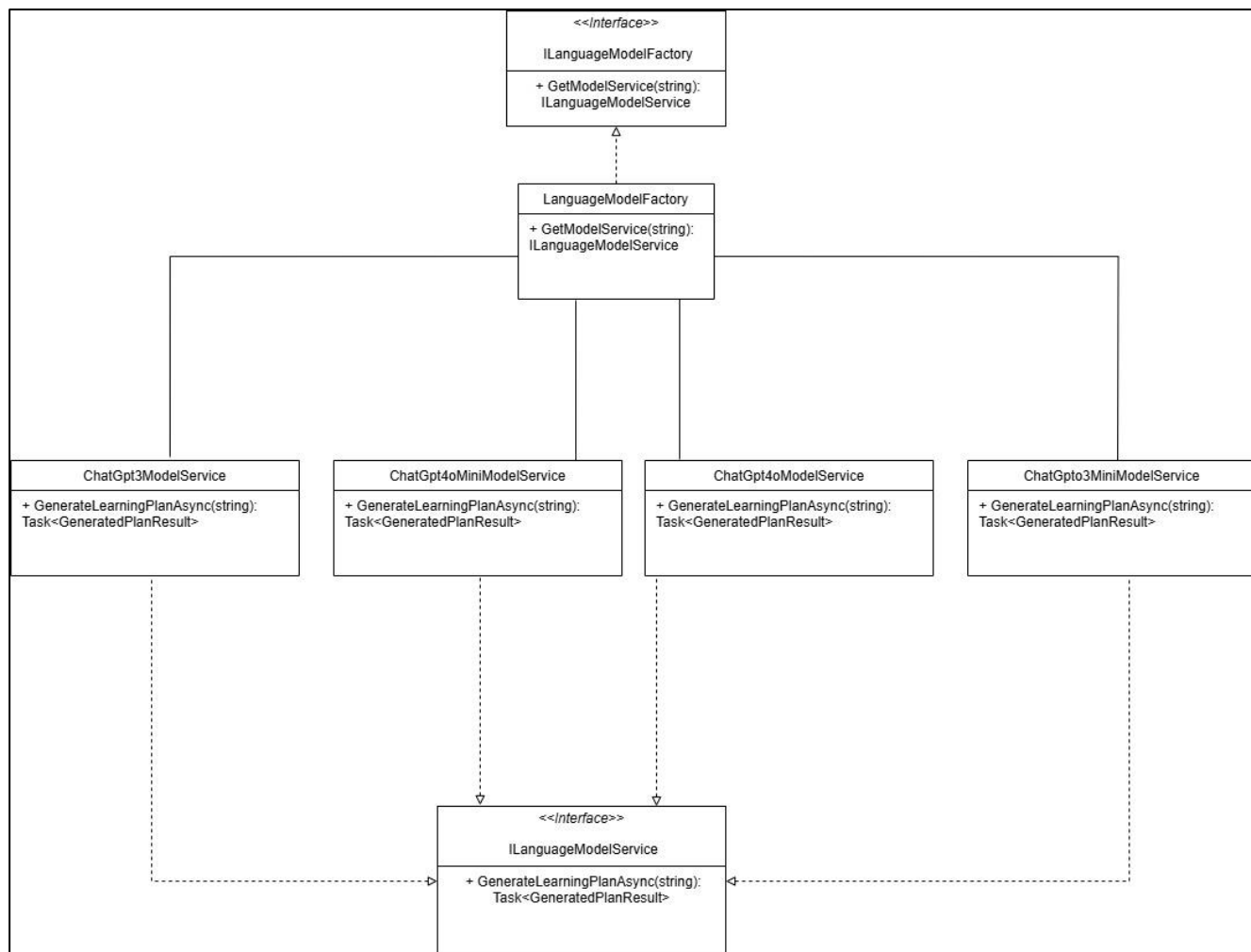


Рисунок 5.2 – Діаграма класів механізму вибору моделі

Функціонально, ШІ виступає у ролі перетворювача вхідних параметрів у структуру графа. Цей підхід дозволяє не просто отримувати перелік тем, а будувати логічно зв'язану модель навчання, яка може візуалізуватися та адаптуватися під потреби користувача. Формування промпт-запиту також відіграє важливу роль у реалізації, оскільки до мовної моделі передається не лише опис задачі, але й структура відповіді, приклад формату, а також правила, яких слід дотримуватися, зокрема суворий JSON-формат. Промпт наведений в додатку Г.

Для візуалізації результатів створено Angular-додаток, який дозволяє користувачу легко вводити вхідні дані, форма вводу даних наведена на рисунку

5.3, обирати модель генерації та переглядати згенерований план у графічному вигляді.

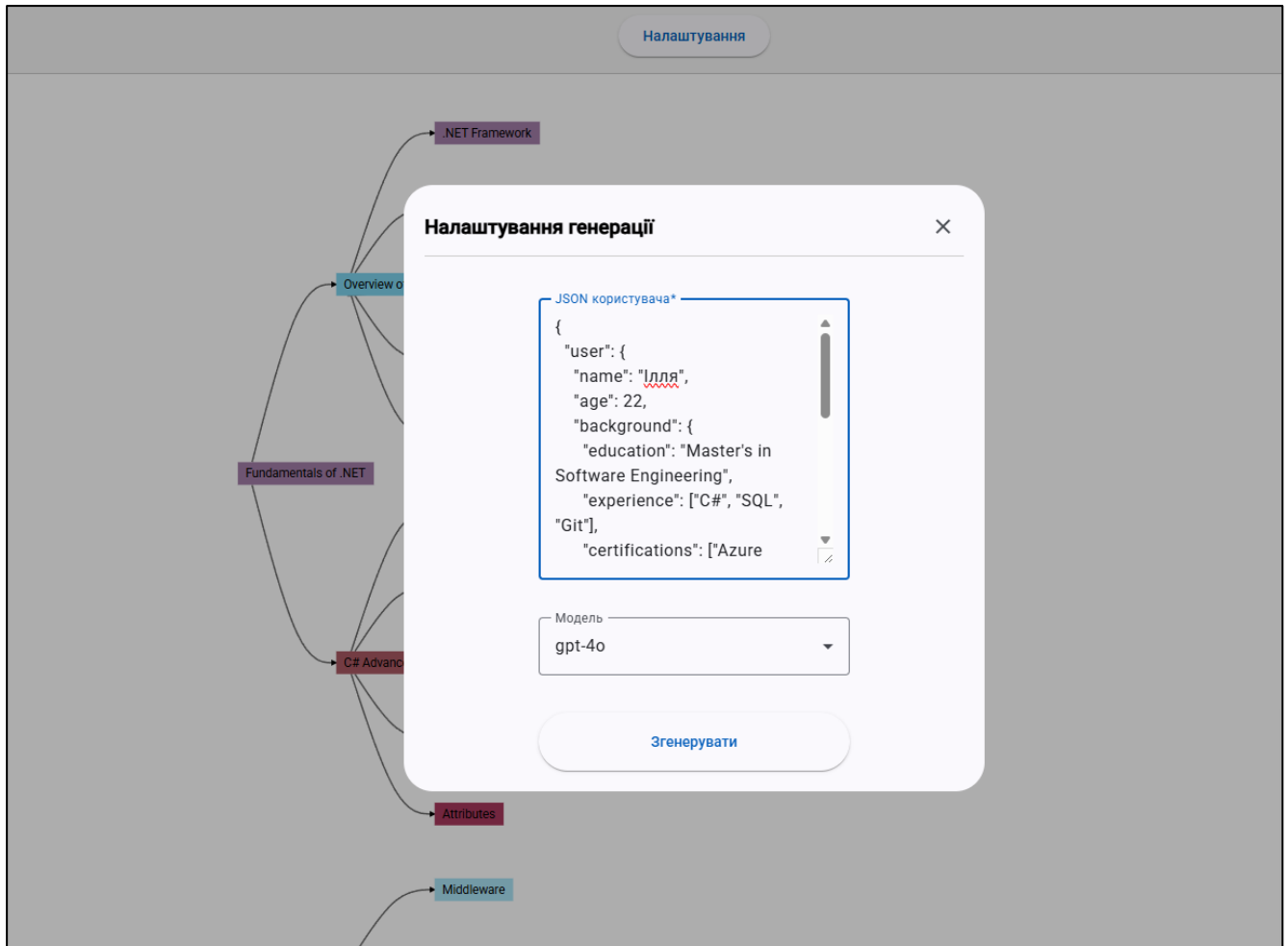


Рисунок 5.3 – Ввід даних про користувача та вибір моделі

Особливістю користувацького інтерфейсу є те, що він побудований на принципі послідовного заповнення даних, що зменшує когнітивне навантаження. Інтерфейс дозволяє переглядати згенерований граф знань з можливістю масштабування та навігації по вузлах. Застосовано бібліотеку `ngx-graph`, яка відображає теми, підтеми та зв'язки між ними у вигляді наочного графа. Загалом інтерфейс орієнтований на простоту, інтуїтивність і зручність сприйняття, що є важливим для навчальних систем. Вікно з згенерованим планом розвитку наведено на рисунку 5.4.

Для об'єктивного порівняння моделей розроблено окрему консольну програму, яка виконує роль бенчмарка. Вона не використовує HTTP-запити, а

напрямую через DI-контейнер викликає генератор планів і дозволяє автоматизовано зібрати статистику щодо швидкості, обсягу, структури відповіді та вартості генерації.

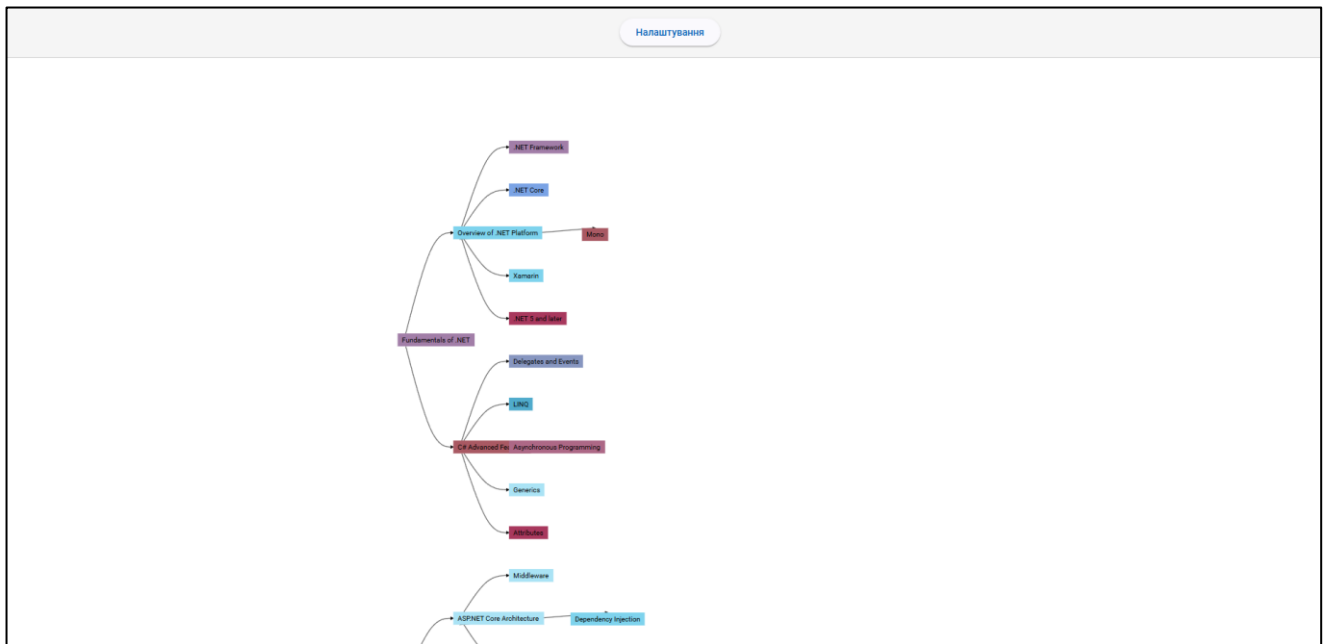


Рисунок 5.4 – Вікно з згенерованим графом

Для кожної моделі здійснюється 6 запусків із фіксованим запитом. Кожен результат аналізується за кількома параметрами: час виконання, кількість вхідних і вихідних токенів, загальна кількість кроків у плані, розмір відповіді у символах, відповідність структури очікуваному шаблону, а також орієнтовна вартість запиту згідно з офіційними тарифами OpenAI. Після завершення тестування результати зберігаються у форматі JSON, а також виводяться у вигляді зведеної таблиці з усередненими значеннями. Це дозволяє провести глибокий аналіз ефективності моделей, визначити найбільш збалансовані за швидкістю, ціною та якістю генерації.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було проведено всебічне дослідження методів і моделей адаптивного навчання, спрямованих на побудову персоналізованих навчальних планів для вивчення інформаційних технологій. Розроблені підходи враховують сучасні тенденції у цифровізації освіти та інтеграцію інноваційних технологій, таких як штучний інтелект і аналіз великих даних, що робить результати дослідження надзвичайно актуальними в умовах стрімкого розвитку освітніх технологій.

Особливу увагу було приділено порівнянню різних методів побудови персоналізованих навчальних планів, включаючи використання попередньо створених навчальних планів, алгоритмів машинного навчання, великих мовних моделей і аналізу великих даних. Було виявлено, що великі мовні моделі демонструють найкращий потенціал щодо точності, гнучкості й адаптивності навчальних планів, тоді як традиційні підходи залишаються конкурентними завдяки своїй доступності та мінімальним витратам на впровадження.

На основі аналізу було створено критерії оцінки методів побудови персоналізованих навчальних планів, що включають точність, адаптивність, масштабованість, час реалізації, мотиваційний вплив і економічну ефективність. Застосування багатокритеріального аналізу дозволило порівняти основні підходи та визначити Парето-оптимальні рішення для різних сценаріїв навчання.

Загалом проведене дослідження має важливе теоретичне та практичне значення для розвитку адаптивного навчання. Висновки роботи сприятимуть подальшому вдосконаленню методів персоналізації освітніх процесів, а отримані результати можуть бути використані для впровадження інноваційних технологій у навчальні заклади та підвищення ефективності навчання в умовах сучасного цифрового світу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Khan M. Impact of Personalized Learning Paths on Student Motivation and Achievement in Online High School Programs in Pakistan [Електронний ресурс] / Mariam Khan // International Journal of Online and Distance Learning 5(2):52-61. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/382010348_Impact_of_Personalized_Learning_Paths_on_Student_Motivation_and_Achievement_in_Online_High_School_Programs_in_Pakistan.
2. Nur H. Personalizing Learning Paths: A Study of Adaptive Learning Algorithms and Their Effects on Student Outcomes [Електронний ресурс] / H. Nur, B. Jastacia, A. Al- Mansoori // Journal Emerging Technologies in Education 2(4). – 2024. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/386544201_Personalizing_Learning_Paths_A_Study_of_Adaptive_Learning_Algorithms_and_Their_Effects_on_Student_Outcomes.
3. Dagunduro A. Adaptive Learning Models for Diverse Classrooms: Enhancing Educational Equity [Електронний ресурс] / A. Dagunduro, C. Chikwe // International Journal of Applied Research in Social Sciences 6(9):2228-2240. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/384304085_Adaptive_Learning_Models_for_Diverse_Classrooms_Enhancing_Educational_Equity.
4. Kumar P. T. Enhancing Learning Outcomes through Adaptive Learning Techniques in E-Learning Environments [Електронний ресурс] / P. T. Kumar, K. T. K, U. Roopa // Library Progress (International) 44(3):9423-9428. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/384894603_Enhancing_Learning_Outcomes_through_Adaptive_Learning_Techniques_in_E-Learning_Environments.
5. Asmara A. Enhancing Learning Outcomes through Adaptive Learning Systems in Education Technology [Електронний ресурс] / Adi Asmara // Global International Journal of Innovative Research 2(7):1568-1576. – 2024. – Режим доступу до ресурсу:

https://www.researchgate.net/publication/386002724_Enhancing_Learning_Outcomes_through_Adaptive_Learning_Systems_in_Education_Technology.

6. Using AI for developing personalized learning paths [Електронний ресурс] / R.Leon, Á. Ortiz, M. Díaz, A. E. Alvarez // International Journal of Advanced Statistics and IT&C for Economics and Life Sciences 14(1):13-19. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/387212548_Using_AI_for_developing_personalized_learning_paths.

7. Omar Jian M. Personalized learning through AI [Електронний ресурс] / Maher Joe Khan Omar Jian // Advances in Engineering Innovation. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/376814707_Personalized_learning_through_AI.

8. Huang Y. Design and Implementation of Personalized Learning Paths in the Era of Big Data [Електронний ресурс] / Yao Huang // Journal of Big Data and Computing. – 2023. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/381419305_Design_and_Implementation_of_Personalized_Learning_Paths_in_the_Era_of_Big_Data.

9. Can Generative AI Support Educators? Creating Learning Paths with PolyGloT [Електронний ресурс] / A.Bucchiarone, F. Gini, F. Bonetti, S. Bassanelli // General Aspects of Applying Generative AI in Higher Education (pp.393-428). – 2024. – Режим доступу до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/384418536_Can_Generative_AI_Support_Educators_Creating_Learning_Paths_with_PolyGloT.

10. Шубін І. Ю. Методи штучних нейронних мереж для адаптивного тестування знань [Електронний ресурс] / І. Ю. Шубін, Г. Г. Четвериков, В. А. Ляшик // Бионика интеллекта : научно-технический журнал. – 2021. – № (96). – С. 103–111.. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://openarchive.nure.ua/entities/publication/bb16832c-ee0d-47dc-9373-9da7f0cc7e84>.

11. Русанов І. С. Критерії оцінювання методів прогнозування рекомендаційних систем [Електронний ресурс] / І. С. Русанов, І. О. Лещинська // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології : тези доп. ІХ Міжнар. наук.-техн. конф., 14-18 травня 2024 р.. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://openarchive.nure.ua/entities/publication/e779e57e-df7e-4c61-a3ba-f1e37bcd89a>.

12. GitHub - TereshchenkoIL/AI-RoadmapGenerator. URL: <https://github.com/TereshchenkoIL/AI-RoadmapGenerator>



**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ ЗА НАУКОВИМИ НАПРЯМАМИ
КЕРІВНИКА ТА НАУКОВЦІВ КАФЕДРИ ПРОГРАМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ**

10. Шубін І. Ю. Методи штучних нейронних мереж для адаптивного тестування знань [Електронний ресурс] / І. Ю. Шубін, Г. Г. Четвериков, В. А. Ляшик // Бионика интеллекта : научно-технический журнал. – 2021. – № (96). – С. 103–111.. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://openarchive.nure.ua/entities/publication/bb16832c-ee0d-47dc-9373-9da7f0cc7e84>.

11. Русанов І. С. Критерії оцінювання методів прогнозування рекомендаційних систем [Електронний ресурс] / І. С. Русанов, І. О. Лещинська // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології : тези доп. ІХ Міжнар. наук.-техн. конф., 14-18 травня 2024 р.. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://openarchive.nure.ua/entities/publication/e779e57e-df7e-4c61-a3ba-f1e37bcd89a>.


ДОДАТОК А

ЗВІТ РЕЗУЛЬТАТІВ ПЕРЕВІРКИ НА УНІКАЛЬНІСТЬ ТЕКСТУ В БАЗІ ХНУРЕ

Дата звіту 6/5/2025

Дата редагування ---


Звіт не був оцінений

Звіт подібності

метадані

Назва організації
Kharkiv National University of Radio Electronics

Заголовок
2025_M_ПІ_ІПЗм-23-2_Терещенко_І_О_скорочений

Автор Науковий керівник / Експерт
Терещенко Ілля Олександрович
Олена Олійник

Ідентифікатор
каф. ПІ

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.

0.62%
0.62%

КП 1

3.75%
3.75%

КЦ

25

Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2

9893






Кількість слів

78380

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Тип спотворення	Кількість знайдених	Кількість
Заміна букв		10
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		4



Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Копії тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз			Копія тексту
ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)	
1	http://window.edu.ua/resource/505/1/8505/files/Mtdh1b8.pdf	12	0.12 %
2	http://window.edu.ua/resource/505/1/8505/files/Mtdh1b8.pdf	12	0.12 %
3	https://openarchive.nure.ua/bitstreams/ea45c707-e162-4f67-907b-d863b53c4253/download	12	0.12 %


ДОДАТОК Б

СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ

Дослідження методів та моделей адаптивного навчання для вивчення інформаційних технологій. Побудова плану розвитку.

Терещенко І.О., ІПЗм-23-2
Науковий керівник: Доц. Каук В.І.



12 червня 2025

Дослідження

Дослідження


- Адаптивне навчання є перспективним напрямом у цифровій освіті
- Персоналізовані навчальні шляхи підвищують мотивацію, успішність і залученість
- Генеративний ШІ, великі мовні моделі (LLM) і Big Data розширюють можливості адаптації
- ІТ-сфера динамічна → потреба в індивідуальних та гнучких підходах до навчання

Напрямок дослідження:

- Аналіз методів побудови персоналізованих планів розвитку
- Порівняння традиційних підходів і сучасних технологій (ML, LLM, Big Data)
- Побудова багатокритеріальної моделі для вибору оптимального підходу

Об'єкт дослідження:

- Методи та моделі адаптивного навчання для створення персоналізованих шляхів розвитку в ІТ



2

Огляд літератури (аналогів)

- Адаптивне навчання — позитивний вплив на успішність студентів (наприклад, [1], [3]);
- Великі дані — використання даних для створення персоналізованих навчальних шляхів ([7], [8]);
- Генеративний ШІ — автоматизація створення матеріалів, наприклад, інструмент PolyGloT ([6]);
- ШІ в навчанні — адаптація контенту та віртуальні тьютори ([5], [9]);
- Оцінка методів — критерії оцінювання прогнозування та навчальних шляхів ([11]).



3

Постановка задачі

1. Провести аналіз сучасних підходів до створення персоналізованих навчальних планів.
2. Дослідити традиційні методи та новітні технології (включаючи генеративний ШІ) для побудови навчальних траєкторій.
3. Розробити критерії оцінки якості планів розвитку:
 1. Адаптивність до індивідуальних особливостей користувача;
 2. Релевантність навчального контенту;
 3. Логічність побудови навчальної траєкторії.
4. Систематизувати результати дослідження та визначити перспективи вдосконалення методів.



4

Методологія

Методи дослідження:

- Аналіз літературних та наукових джерел
- Порівняльний аналіз адаптивних моделей навчання
- Багатокритеріальний аналіз для вибору оптимального підходу
- Огляд практичних кейсів впровадження персоналізованих планів
- Емпіричне тестування згенерованих навчальних шляхів

Інструментарій та технології:

- Великі мовні моделі (GPT-4o, GPT-4o-mini, GPT-3turbo, GPT-o3-mini)
- Методи нормалізації, Парето-аналіз і згорткове моделювання
- Технологічний стек: .NET, Angular, OpenAI API



5

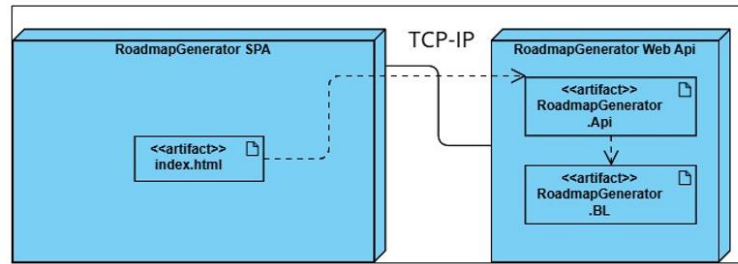
Критерії оцінки методів

- адаптивність до прогресу студента;
- точність плану розвитку;
- масштабованість методу; (різні групи студентів)
- часова ефективність;
- емоційний та мотиваційний вплив на студента;
- вартість впровадження та підтримки методу.

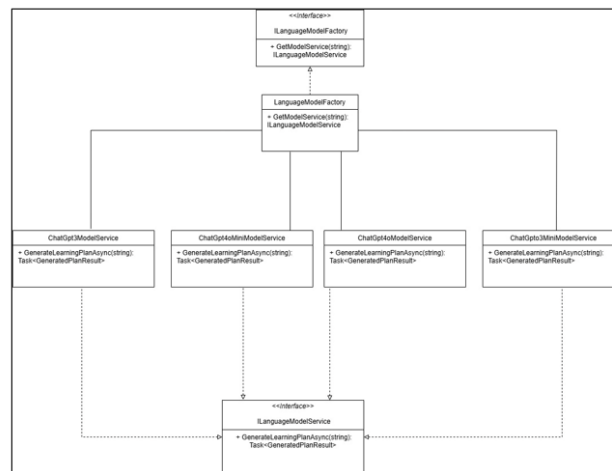


6

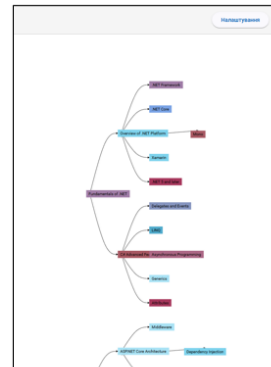
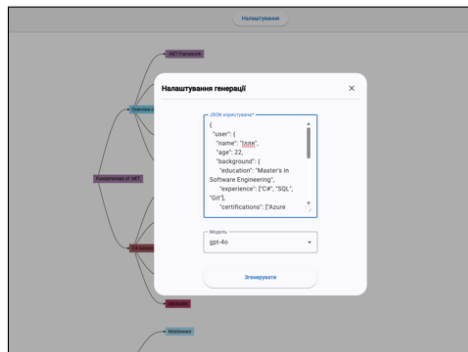
Архітектура система для проведення експериментального дослідження



Програмна реалізація. Реалізація вибору моделі



Програмна реалізація. Розроблена система



Зміст проведеного експерименту

Мета:

Порівняти моделі генеративного ШІ для побудови персоналізованих навчальних планів.

Методи:

- Емпіричне тестування моделей
- Збір та аналіз результатів генерації навчального плану

Вхідні дані:

- Дані профілю користувача (цілі, знання, досвід)
- Єдиний запит для всіх моделей

Зміст проведеного експерименту

Порівнювані моделі:

- GPT-4o
- GPT-4o-mini
- GPT-3turbo
- GPT-o3-mini



11

Результати експерименту

Модель	Час, мс	Input токени	Output токени	Всього токенів	Кроків	Оцінка	Розмір відповіді (символи)	Вартість (USD)
gpt-3.5-turbo	5029	634	490	1124	4	5	2090	0.00105
gpt-4o	8131	442	737	1179	6	5	3071	0.00846
gpt-4o-mini	12925	443	791	1234	7	5	3239	0.00055
o3-mini	10063	439	1658	2097	6	5	3261	0.00776



2

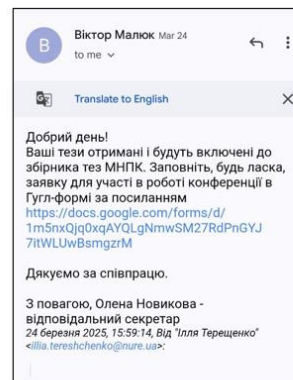
Аналіз отриманих результатів

- gpt-3.5-turbo (Для швидкості та економії)
- Найшвидша
 - Найдешевша
 - Найменша деталізація
- gpt-4o (Для балансу якості та часу)
- Помірна швидкість
 - Збалансований обсяг і структура
 - Вища вартість
- gpt-4o-mini (Для глибини при мінімальних витратах)
- Найповільніша
 - Найглибший і найдеталізованіший зміст
 - Найекономніша
- o3-mini (Для максимально насичених планів)
- Найбільший обсяг інформації
 - Висока якість структури
 - Помірна вартість



13

Публікація результатів



14

Підсумки

- Проведено дослідження методів адаптивного навчання для побудови персоналізованих шляхів розвитку;
- Встановлено ефективність адаптивного навчання для покращення успішності та мотивації студентів;
- Сформовано критерії оцінки методів для побудови персоналізованих навчальних планів;
- Було оцінено існуючі методи для побудови персоналізованих шляхів розвитку;
- Великі мовні моделі показали високий потенціал у точності й гнучкості навчальних планів;
- Виявлено обмеження: конфіденційність даних, висока вартість і потреба у кваліфікованому персоналі.

Дякую за увагу!

ДОДАТОК В

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

Журнал «Грааль Науки» випуск № 49 (лютий, 2025)



GS 210225-202 dated 21.02.2025



CERTIFICATE

OF PARTICIPATION AND PUBLICATION

Illia Tereshchenko

participated in the IV Correspondence International Scientific and Practical Conference

Science in motion: classic and modern tools and methods in scientific investigations

held on February 21st, 2025 by

NGO European Scientific Platform (Vinnytsia, Ukraine)
LLC International Centre Corporative Management (Vienna, Austria)

and published scientific paper

PERSPECTIVE DIRECTIONS OF ADAPTIVE LEARNING DEVELOPMENT

in Periodical scientific journal «**GRAIL OF SCIENCE**»

№ **49**: ISSN 2710-3056; Media identifier R30-02704;
DOI 10.36074/grail-of-science.21.02.2025



0.6 ECTS credits (18 hours)

Recommended by the Academic Council of the «Institute of Scientific and Technical Integration and Cooperations», Protocol № 7 from February 20th, 2025.

Head of the
NGO «European Scientific Platform»
Chairman of the Organizing committee
GOLDENBLAT MIRIAM



Head of Community Outreach at the
LLC «International Centre Corporative Management»
RACHAEL APARO













PERSPECTIVE DIRECTIONS OF ADAPTIVE LEARNING DEVELOPMENT

Luchenko Y. V.,

Student of the Faculty of Computer Science

Kharkiv National University of Radio Electronics

ORCID iD: 0000-0001-6242-6558

Tereshchenko I. O.,

Student of the Faculty of Computer Science

Kharkiv National University of Radio Electronics

ORCID iD: 0009-0000-4113-2526

Scientific adviser: Kauk V. I.,

PhD,

Associate Professor of the Department of Software Engineering,

Kharkiv National University of Radio Electronics

ORCID ID: 0000-0002-2780-2666

Ukraine

The modern world is experiencing extremely rapid changes, and technology is essential in all areas of our lives. The education system is also not left out of this process. We are rapidly moving away from traditional forms of education towards distance learning, online courses and blended learning, which allow us to acquire knowledge anytime and anywhere.

Adaptive learning is one of the most critical aspects of this evolution. By collecting data about each learner, adaptive learning systems can analyse their progress, weaknesses and strengths and then provide recommendations or adjust the course of study in real-time. This not only improves learning efficiency but also reduces stress and uncertainty for students as learning is tailored to their skill level.

Studies show that the introduction of such systems has already shown positive results [1]. Empirical evidence from another study shows significant improvements in learning outcomes in groups of students using adaptive technologies. For example, the average score of students in such groups exceeded the results of traditional approaches

(85.6 vs. 78.4) [2]. In addition, the retention rate was 92% vs. 85%, which demonstrates the effectiveness of the adaptive approach in maintaining interest and engagement in the learning process [2].

Two essential components of such systems are the assessment of students' competencies and the construction of personalised student development paths. The evaluation of students' competencies allows for the determination of the level of knowledge and skills needed for further adjustment of the learning process. Building personalised development paths enables each student to move at a pace that matches their abilities.

Adaptive assessment of competencies is an essential tool in personalised learning that allows not only the assessment of the level of knowledge of learners but also the tracking of their skills, behavioural characteristics, and overall progress. As Florian [3] shows, modern adaptive assessment systems rely on repositories of tasks that correlate with competencies, which allows for the creation of tests that can be tailored to the needs of different categories of learners. Technologies such as AEEA (Adaptive Evaluation Engine Architecture) are examples of such systems that provide not only competency assessment but also automatic generation of recommendations for further development of students.

Another key trend is the use of multidimensional competency assessment models that take into account not only the level of knowledge but also the context of its application. This enables the creation of more precise learner profiles that capture their progress over time. As noted by Sittisak [4], this approach enables students to monitor their progress and provide recommendations for further steps in their learning.

In addition, modern research pays special attention to the adaptive assessment of transversal competencies, such as critical thinking, communication and teamwork. These skills are essential for the development of students in the modern world, where the effectiveness of their application often determines success in real-life situations. Kleinhans and Schumann [5] mention that embedding these competencies in learning systems reduces testing time and improves both the accuracy and quality of assessments. Adaptive tasks create more detailed observation of learners' development in these skills, which is essential for their continuous professional advancement.

Existing methods for building personalised learning paths demonstrate a wide range of approaches based on the use of big data, artificial intelligence (AI) and generative models. For example, Yao Huang's study [6] highlights the importance of analysing data on students' interests, habits, and performance to create adaptive learning

paths. The use of this data guarantees that the learning process meets the unique needs of each student.

The paper 'Using AI for Developing Personalised Learning Paths' [7] considers the potential of AI in creating personalised learning paths, in particular through content adaptation and integration of virtual tutors. This helps to improve learning efficiency and academic performance.

The PolyGloT tool [8] demonstrates the use of generative AI to automate the creation of learning materials and design individualised learning paths. Despite the benefits, such approaches have some challenges, including ethical issues, data privacy, and the need for qualified teachers to work with such technologies.


Thus, modern research shows that competence assessment should be comprehensive and cover not only the level of knowledge but also transversal competencies and the context of knowledge application, making the assessment system more reliable. In addition, the use of generative AI and machine learning methods significantly improve the construction of personalised development paths. These methods show significant potential for improving adaptive learning while requiring further technology development and integration into educational practice.

References:



1. Khan, M. (2024). Impact of Personalized Learning Paths on Student Motivation and Achievement in Online High School Programs in Pakistan. *International Journal of Online and Distance Learning*, 5(2), 52–61. <https://doi.org/10.47604/ijodl.2748>
2. Hakim, N., Jastacia, B., & Mansoori, A. A. (2024). Personalizing Learning Paths: A Study of Adaptive Learning Algorithms and Their Effects on Student Outcomes. *Journal Emerging Technologies in Education*, 2(4). <https://doi.org/10.70177/jete.v2i4.1365>
3. Gaviria, B.E., Baldiris, S.M., & Fabregat, R. (2009). Adaptive Evaluation Based on Competencies. TUMAS-A@AIED.
4. Onjira Sitthisak, Gilbert, L., & Davis, H. C. (2007). Towards a competency model for adaptive assessment to support lifelong learning.


5. Kleinhans, J. (2015). Increase in testing efficiency through the development of an IT-based adaptive testing tool for competency measurement applied to a health worker training test case.
6. Huang, Y. (2023). Design and Implementation of Personalized Learning Paths in the Era of Big Data. *Journal of Big Data and Computing*, 1(4), 17–19. <https://doi.org/10.62517/jbdc.202301404>
7. Asmara, A. (2024). Enhancing Learning Outcomes through Adaptive Learning Systems in Education Technology. *Global International Journal of Innovative Research*, 2(7), 1568–1576. <https://doi.org/10.59613/global.v2i7.244>
8. Bucchiarone, A., Gini, F., Bonetti, F., Bassanelli, S., Schiavo, G., Martorella, T., Adami, F., Tommaso Guidolin, & Zambotto, L. (2012). Can Generative AI Support Educators? Creating Learning Paths with PolyGloT. 393–428. https://doi.org/10.1007/978-3-031-65691-0_20


Міжнародна науково практична конференція "Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку"



Віктор Малюк Mar 24
to me ▾





Translate to English 

Добрий день!
Ваші тези отримані і будуть включені до збірника тез МНПК. Заповніть, будь ласка, заявку для участі в роботі конференції в Гугл-формі за посиланням
<https://docs.google.com/forms/d/1m5nxQjq0xqAYQLgNmwSM27RdPnGYJ7itWLUwBsmgzrM>

Дякуємо за співпрацю.

З повагою, Олена Новикова -
відповідальний секретар
24 березня 2025, 15:59:14, Від "Ілля Терещенко"
<illia.tereshchenko@nure.ua>:

УДК 004.056:378.147:355

Терещенко І.О.

Лученко Я.В.

Каук В.І.

АДАПТИВНІ ОСВІТНІ СИСТЕМИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДГОТОВКИ КАДРІВ З КІБЕРБЕЗПЕКИ В СИЛОВИХ СТРУКТУРАХ

У тезах розглянуто можливості використання адаптивних освітніх систем у підготовці кадрів з кібербезпеки для силових структур. Проаналізовано проблеми skill gap, роль персоналізованого навчання, штучного інтелекту та сучасних педагогічних практик у цьому контексті.

У контексті зростаючої цифрової загрози та інтенсивної мілітаризації кіберпростору особливого значення набуває ефективна підготовка фахівців з кібербезпеки, зокрема у силових структурах. Сучасна аналітика вказує на суттєвий дисбаланс між вимогами ринку кібербезпеки та реальними навичками випускників відповідних освітніх програм. За даними [1], глобальний дефіцит кадрів у сфері кібербезпеки перевищує 3 мільйони, при цьому кваліфікація більшості претендентів не відповідає вимогам роботодавців. Основні розриви знань простежуються у напрямках управління безпекою, безпеки програмного забезпечення, комплаєнсу та сертифікації, а також інтелекту про кіберзагрози.

Особливістю освітнього процесу для силових структур є наявність специфічних вимог: обмежений час на навчання, потреба в захищеності даних, підвищене значення практичних навичок (цифрова криміналістика, інцидент-менеджмент, етичний хакинг), а також потреба в адаптації навчального контенту до типу служби (наприклад, військові, поліція, спецслужби)[2]. Як свідчить дослідження [3], більшість чинних навчальних програм недостатньо гнучкі, а підходи до підготовки персоналу є переважно однотипними й не враховують розмаїття початкових компетентностей.

У цьому контексті адаптивні освітні системи (АОС) виступають як ефективний інструмент індивідуалізації підготовки. АОС аналізують поточний рівень знань, навчальні цілі, темп навчання і навіть особистісні характеристики здобувача, коригуючи траєкторію та складність навчання в реальному часі. За даними [4], [5], такі системи суттєво покращують успішність та підвищують залученість. Адаптивне оцінювання компетентностей дозволяє виявити не лише знання, а й хід мислення, поведінкові шаблони й рівень критичного мислення – що особливо актуально для кадрів кібербезпеки.

У сфері безпеки доцільним є поєднання АОС із симуляційними платформами, STF-змаганнями та системами сценарного навчання. Наприклад, робота [6] підкреслює потенціал штучного інтелекту у цифровій криміналістиці та важливість навчання персоналу роботі з AI-системами для попередження кіберзагроз у режимі реального часу. Це також потребує розбудови освітніх програм, орієнтованих на Explainable AI, цифрову етику та розуміння обмежень алгоритмів.

Значущість адаптації освітнього контенту до ролі слухача підтверджена дослідженням [3], де встановлено, що найбільш важливим фактором ефективного навчання у сфері кібербезпеки є саме посадова роль. Отже, створення персоналізованих програм для, наприклад, аналітиків загроз, цифрових слідчих або спеціалістів SOC – необхідна умова підвищення якості кадрів.

Серед українських досліджень варто відзначити роботу [7], яка пропонує модель побудови адаптивної освітньої траєкторії з урахуванням індивідуальних особливостей, навчальних цілей та обмежень у часі. Застосування таких алгоритмів у середовищах дистанційного або гібридного навчання є перспективним інструментом підвищення ефективності підготовки фахівців.

Підготовка кадрів з кібербезпеки у силових структурах потребує переосмислення класичних підходів, зокрема з урахуванням досвіду США щодо перепрофілювання ветеранів через програми швидкої підготовки, як-от CREATES [8]. Адаптивні освітні системи дозволяють зменшити дефіцит навичок, підвищити швидкість та якість підготовки, враховуючи як технічні, так і поведінкові аспекти навчання.

Список використаних джерел

1. Goupil F., Laskov P., Pekaric I., Felderer M., Dürr A., Thiesse F. Towards Understanding the Skill Gap in Cybersecurity // ITiCSE '22. – 2022. – ACM. – DOI: 10.1145/1122445.1122456.
2. Nag A. K., Bhadauria V. S., Gibson C., Neupane R. C., Creider D. A Conceptual Learning Framework of Cybersecurity Education for Military and Law Enforcement: Workforce
3. Ben Salamah F., Palomino M. A., Papadaki M., Furnell S. The Importance of the Job Role in Social Media Cybersecurity Training // Proceedings of the Euro S&P Workshops. – 2022. – IEEE. – DOI: 10.1109/EuroSPW55150.2022.00054.
4. Khan M. Impact of Personalized Learning Paths on Student Motivation and Achievement in Online High School Programs in Pakistan // International Journal of Online and Distance Learning. – 2024. – Vol. 5, No. 2. – P. 52–61. – DOI: 10.47604/ijodl.2748.
5. Hakim N., Jastacia B., Mansoori A. A. Personalizing Learning Paths: A Study of Adaptive Learning Algorithms and Their Effects on Student Outcomes // Journal Emerging Technologies in Education. – 2024. – Vol. 2, No. 4. – DOI: 10.70177/jete.v2i4.1365.

6. Zaman K. T., Zaman S., Bai Y., Li J. Empowering Digital Forensics with AI: Enhancing Cyber Threat Readiness in Law Enforcement Training // SSRN. – 2024. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ssrn.com/abstract=5039717>
7. Barchenko N., Tolbatov A., Lavryk T., Tolbatov V., Obodiak V., Yakovliev V., Motorin Y., Artamonov Y. An Approach to the Formation of Adaptive Learning Paths for Students of Cybersecurity in E-learning System // CMiGIN 2022: 2nd International Conference on Conflict Management in Global Information Networks. – CEUR Workshop Proceedings. – 2022.
8. Zantua M., Dupuis M. Re-engineering the Cybersecurity Human Capital Crisis // University of Washington. – 2015. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/305778185>

ДОДАТОК Г

КОД ПРОГРАМИ

```
using System.Text.Json;
using RoadmapGenerator.BL.Model;

namespace RoadmapGenerator.BL.Services;

public class RoadmapGenerator : IRoadmapGenerator
{
    private readonly ILanguageModelFactory _factory;

    public RoadmapGenerator(ILanguageModelFactory factory)
    {
        _factory = factory;
    }

    public async Task<GeneratedPlanResult> GeneratePlanAsync(GeneratePlanRequest request)
    {
        var modelService = _factory.GetModelService(request.Model);

        var userPrompt = $"@"
```

ROLE:

Ти – експерт з розробки навчальних планів для ІТ-напрямків. Твоя задача – на основі інформації про користувача згенерувати послідовний навчальний план, який складається з кроків. Кожен крок має опис тем, понять, технологій або бібліотек, які потрібно вивчити.

USER DATA (JSON):

```
{JsonSerializer.Serialize(request, new JsonSerializerOptions { WriteIndented = true })}
```

RESPONSE FORMAT (STRICT JSON!):

```
{
  "title": "string",
  "description": "string",
  "steps": [
    {
      "step_number": number,
      "title": "string",
      "topics": [
        {
          "concept": "string",
          "subtopics": ["string", ...]
        }
      ]
    }
  ]
}
```

RULES:

- Вивід повинен бути тільки у форматі JSON. Без пояснень, без markdown.
- Кожен крок має фокус на темі або наборі тем, які мають логічний порядок
- Якщо немає підтем – повертай порожній масив

- Вказуй реальні поняття, бібліотеки або фреймворки
- Використовуй подвійні ASCII лапки (""), не типографічні (“ або ”)

🎯 Ціль – створити чіткий покроковий навчальний план, який можна легко конвертувати в структуру для фронтенду або графа знань.

```

";

    return await modelService.GenerateLearningPlanAsync(userPrompt);
}
}
using Microsoft.Extensions.DependencyInjection;

namespace RoadmapGenerator.BL.Services;

public class LanguageModelFactory : ILanguageModelFactory
{
    private readonly IServiceProvider _serviceProvider;

    public LanguageModelFactory(IServiceProvider serviceProvider)
    {
        _serviceProvider = serviceProvider;
    }

    public ILanguageModelService GetModelService(string modelName)
    {
        return modelName.ToLower() switch
        {
            ModelConstants.ChatGPT35 => _serviceProvider.GetRequiredService<ChatGpt3ModelService>(),
            ModelConstants.ChatGPT4o => _serviceProvider.GetRequiredService<ChatGpt4oModelService>(),
            ModelConstants.ChatGPT4oMini =>
                _serviceProvider.GetRequiredService<ChatGpt4oMiniModelService>(),
            ModelConstants.ChatGPT3Mini =>
                _serviceProvider.GetRequiredService<ChatGpt3MiniModelService>(),
            // "openai" => _serviceProvider.GetRequiredService<OpenAIService>(),
            // "mistral" => _serviceProvider.GetRequiredService<MistralService>(),
            _ => throw new ArgumentException($"Model '{modelName}' is not supported.")
        };
    }
}
using Microsoft.Extensions.Options;
using OpenAI.Chat;
using RoadmapGenerator.BL.Model;

namespace RoadmapGenerator.BL.Services;

public class ChatGpt3ModelService : ILanguageModelService
{
    private OpenApiSettings _openApiSettings;

    public ChatGpt3ModelService(IOptionsSnapshot<OpenApiSettings> openApiSettingsSnapshot)
    {
        _openApiSettings = openApiSettingsSnapshot.Value;
    }

    public async Task<GeneratedPlanResult> GenerateLearningPlanAsync(string userPrompt)

```

```

{
    ChatClient client = new(
        model: "gpt-3.5-turbo",
        apiKey: _openApiSettings.ApiKey
    );

    ChatCompletion completion = await client.CompleteChatAsync(userPrompt);

    return new GeneratedPlanResult
    {
        Plan = completion.Content[0].Text,
        InputTokens = completion.Usage.InputTokenCount,
        OutputTokens = completion.Usage.OutputTokenCount,
        TotalTokens = completion.Usage.TotalTokenCount,
    };
}
}
using Microsoft.Extensions.Options;
using OpenAI.Chat;
using RoadmapGenerator.BL.Model;

namespace RoadmapGenerator.BL.Services;

public class ChatGpt4oMiniModelService: ILanguageModelService
{
    private OpenApiSettings _openApiSettings;

    public ChatGpt4oMiniModelService(IOptionsSnapshot<OpenApiSettings> openApiSettingsSnapshot)
    {
        _openApiSettings = openApiSettingsSnapshot.Value;
    }

    public async Task<GeneratedPlanResult> GenerateLearningPlanAsync(string userPrompt)
    {
        ChatClient client = new(
            model: "gpt-4o-mini",
            apiKey: _openApiSettings.ApiKey
        );

        ChatCompletion completion = await client.CompleteChatAsync(userPrompt);

        return new GeneratedPlanResult
        {
            Plan = completion.Content[0].Text,
            InputTokens = completion.Usage.InputTokenCount,
            OutputTokens = completion.Usage.OutputTokenCount,
            TotalTokens = completion.Usage.TotalTokenCount,
        };
    }
}
using Microsoft.Extensions.Options;
using OpenAI.Chat;
using RoadmapGenerator.BL.Model;

```

```

namespace RoadmapGenerator.BL.Services;

public class ChatGpt4oModelService: ILanguageModelService
{
    private OpenApiSettings _openApiSettings;

    public ChatGpt4oModelService(IOptionsSnapshot<OpenApiSettings> openApiSettingsSnapshot)
    {
        _openApiSettings = openApiSettingsSnapshot.Value;
    }

    public async Task<GeneratedPlanResult> GenerateLearningPlanAsync(string userPrompt)
    {
        ChatClient client = new(
            model: "gpt-4o",
            apiKey: _openApiSettings.ApiKey
        );

        ChatCompletion completion = await client.CompleteChatAsync(userPrompt);

        return new GeneratedPlanResult
        {
            Plan = completion.Content[0].Text,
            InputTokens = completion.Usage.InputTokenCount,
            OutputTokens = completion.Usage.OutputTokenCount,
            TotalTokens = completion.Usage.TotalTokenCount,
        };
    }
}
using Microsoft.Extensions.Options;
using OpenAI.Chat;
using RoadmapGenerator.BL.Model;

namespace RoadmapGenerator.BL.Services;

public class ChatGpto3MiniModelService : ILanguageModelService
{
    private OpenApiSettings _openApiSettings;

    public ChatGpto3MiniModelService(IOptionsSnapshot<OpenApiSettings> openApiSettingsSnapshot)
    {
        _openApiSettings = openApiSettingsSnapshot.Value;
    }

    public async Task<GeneratedPlanResult> GenerateLearningPlanAsync(string userPrompt)
    {
        ChatClient client = new(
            model: "o3-mini",
            apiKey: _openApiSettings.ApiKey
        );

        ChatCompletion completion = await client.CompleteChatAsync(userPrompt);
        return new GeneratedPlanResult
        {

```

```

        Plan = completion.Content[0].Text,
        InputTokens = completion.Usage.InputTokenCount,
        OutputTokens = completion.Usage.OutputTokenCount,
        TotalTokens = completion.Usage.TotalTokenCount,
    };
}
}
namespace RoadmapGenerator.BL.Services;

public interface ILanguageModelFactory
{
    ILanguageModelService GetModelService(string modelName);
}

using System.Reflection;
using Microsoft.Extensions.DependencyInjection.Extensions;
using RoadmapGenerator.API.Endpoints;

namespace RoadmapGenerator.API.Extensions;

public static class EndpointRegistration
{
    public static IServiceCollection AddEndpoints(this IServiceCollection services, Assembly assembly)
    {
        var endpointTypes = assembly
            .DefinedTypes
            .Where(type => type is { IsAbstract: false, IsInterface: false } &&
                typeof(IEndpoint).IsAssignableFrom(type));

        foreach (var type in endpointTypes)
        {
            services.TryAddEnumerable(ServiceDescriptor.Transient(typeof(IEndpoint), type));
        }

        return services;
    }

    public static IApplicationBuilder MapEndpoints(this WebApplication app, RouteGroupBuilder? group = null)
    {
        var endpoints = app.Services.GetRequiredService<IEnumerable<IEndpoint>>();
        var builder = (IEndpointRouteBuilder?)group ?? app;

        foreach (var endpoint in endpoints)
        {
            endpoint.MapEndpoint(builder);
        }

        return app;
    }
}
}

```

ДОДАТОК Д

Експертний висновок результатів перевірки кваліфікаційної роботи на
відповідність оформлення вимогам ДСТУ 3008: 2015

1

Експертний висновок результатів перевірки кваліфікаційної роботи

студент
(посада)

програмної інженерії
(кафедра)

ІПЗм-23-2
(група)

Терещенко Ілля Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Зауваження

Пункт ДСТУ 3008-2015	Зміст пункту	Сторінка кваліфікаційної роботи
1	2	3
	7.1 Загальні положення	
	7.3 Нумерація сторінок звіту	
	7.4 Нумерація розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів	
	7.5 Рисунки	
	7.6 Таблиці	
	7.7 Переліки	
	7.8 Примітки	
	7.9 Вивоски	
	7.10 Формули та рівняння	
	7.11 Посилання	
	7.13 Список авторів	
	7.14 Скорочення та умовні позначки	
	7.15 Додатки	

Експерт

зауважень немає

05.06.2025

Олена ОЛІЙНИК

(прізвище, ім'я)