

«Жива траєкторія навчання» на основі редукованих моделей першого наближення в адаптивній платформі вивчення англійської мови

Юрій Катков

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, Україна

ORCID 0009-0007-1194-4014

Андрій Нечипорук

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ, Україна

ORCID 0009-0001-7188-0186

Анотація: У статті представлено концепцію інтелектуальної платформи з адаптивними алгоритмами для персоналізованого вивчення англійської мови. Для формалізації її роботи запропоновано математичні описання у вигляді редукованих моделей першого наближення, що забезпечує концептуальну чіткість, узагальненість та дає змогу уникнути надмірної математичної складності при збереженні коректного відображення динаміки навчального процесу. Розглянуто архітектуру системи, яка включає модулі користувача, адаптивного навчання, оцінювання, рекомендацій, аналітики, моніторингу словникового запасу та граматики. Для кожного модуля подано узагальнену математичну модель, що описує еволюцію параметрів у дискретному часі та забезпечує можливість коригування індивідуальної “живої траєкторії навчання”. Такий підхід підтримує динамічну персоналізацію навчального контенту, прогнозування результатів і безперервне вдосконалення мовних компетентностей. Проведено аналіз сучасних ШІ-платформ (Grammarly, Duolingo, ELSA Speak, Google Assistant, VoiceThread AI) з метою визначення їхніх переваг і обмежень для подальшого використання в адаптивних освітніх системах. Розроблена модель інтегрує поведінкові, когнітивні та емоційні параметри користувача, формуючи ефективне інтерактивне середовище для розвитку навичок читання, письма, вимови та говоріння. Результати дослідження підтверджують, що використання адаптивних алгоритмів у поєднанні з технологіями штучного інтелекту підвищує ефективність навчання, сприяє мотивації, саморегуляції та формуванню стійких мовних умінь.

Ключові слова: штучний інтелект, адаптивне навчання, персоналізація, інтелектуальна платформа, математичні моделі, англійська мова, алгоритми, аналіз даних.

1. Вступ

Вважається, що інтелектуальна платформа для вивчення мови є практичною реалізацією певної моделі мовного навчання, тобто технологічним продуктом або середовищем, яке відтворює відповідну теоретичну концепцію й забезпечує повний цикл освітньої взаємодії. Така платформа характеризується наявністю інтерфейсу користувача, розвинутої інфраструктури даних (сервер, база знань, аналітичні підсистеми), адаптивних механізмів добору навчального матеріалу, модулів опису й подання контенту та інших компонентів, необхідних для організації персоналізованого навчального процесу. Прикладами таких систем є Grammarly, Duolingo, ELSA Speak, Google Assistant та VoiceThread AI [1, 2, 3, 4].

Кожна з цих платформ ґрунтується на власній теоретичній моделі, що визначає принципи її функціонування. У такому контексті модель виступає «мозком» системи, тобто формальною структурою, яка описує, як система аналізує знання, приймає рішення та адаптує навчальні матеріали. Натомість платформа є її «тілом» — технічною інфраструктурою, яка реалізує зазначені механізми на практиці. Модель визначає

архітектуру платформи, структуру модулів, зв'язки між ними, а також алгоритми аналізу знань, прогнозування прогресу та формування рекомендацій. Наприклад, Grammarly є інтелектуальним асистентом для перевірки письмових текстів, що використовує поєднання граматичних правил і машинного навчання [1]. Duolingo впроваджує принципи гейміфікації, ELSA Speak застосовує нейронні мережі для аналізу вимови, а Google Assistant і VoiceThread AI забезпечують діалогові та мультимодальні форми взаємодії [4, 5].

Водночас наявні моделі, реалізовані у сучасних платформах, поступово втрачають актуальність, оскільки не завжди здатні відобразити складну динаміку змін у знаннях, мотивації та когнітивних характеристиках користувача. Це зумовлює необхідність пошуку нових підходів до побудови персоналізованих систем, які можуть швидко адаптуватися до індивідуальних особливостей учня та змін навчального контексту.

Одним із таких підходів є створення моделі “живої траєкторії навчання” на основі застосування адаптивних алгоритмів для персоналізованого вивчення англійської мови. Така модель формує основу інтелектуальної платформи, що забезпечує динамічну персоналізацію навчання та створення гнучкої індивідуальної траєкторії, яка враховує когнітивні особливості кожного учня і безперервно адаптується до його прогресу.

У цьому дослідженні для концептуального опису роботи інтелектуальної платформи, яка реалізує моделі “живої траєкторії навчання” запропоновано використовувати математичні формулювання у вигляді редукованих моделей першого наближення. Такий підхід дозволяє поєднати формальну чіткість моделювання з практичністю їх застосування. Редуковані моделі забезпечують достатній рівень точності для відображення ключових закономірностей навчального процесу, не потребуючи надмірно складного математичного апарату, що є характерним для повномасштабних стохастичних або багатовимірних систем. Це дає змогу створити узагальнений, але водночас інформативний формальний опис роботи модулів платформи, підтримати побудову адаптивних алгоритмів та сформулювати основу для реалізації концепції «живої траєкторії навчання».

2. Об'єкт та предмет дослідження

Об'єктом дослідження є процес персоналізованого вивчення англійської мови в інтелектуальних освітніх платформах.

Предметом дослідження є адаптивні алгоритми та редуковані моделі першого наближення, що формують живу траєкторію навчання та забезпечують динамічну персоналізацію мовної підготовки в інтелектуальній платформі.

3. Мета роботи та завдання дослідження.

Мета дослідження полягає в концептуальному обґрунтуванні та реалізації принципу «живої траєкторії навчання», що динамічно адаптується до когнітивних, поведінкових та емоційних параметрів користувача, за допомогою моделі інтелектуальної платформи для персоналізованого вивчення англійської мови, побудованої на основі адаптивних алгоритмів та редукованих моделей першого наближення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання дослідження:

1) провести порівняльний аналіз існуючих платформ у галузі навчання мов (Grammarly, Duolingo, ELSA Speak, Google Assistant, VoiceThread AI) для виявлення їхніх переваг, обмежень та рівня персоналізації навчального процесу;

2) визначити ключові компоненти інтелектуальної платформи, які забезпечують створення моделі “живої траєкторії навчання”;

3) розробити математичні формулювання у вигляді редукованих моделей першого наближення для кожного модуля платформи, які адекватно описують динаміку навчального процесу у дискретному часі та забезпечують можливість побудови адаптивних алгоритмів.

4. Аналіз літератури

Розвиток інтелектуальних освітніх систем пов'язаний із дослідженнями у сфері адаптивних гіпермедіа та штучного інтелекту, що заклали фундамент сучасних підходів до персоналізованого навчання. Ще у працях Brusilovsky сформульовано принцип побудови адаптивних систем, які створюють модель цілей, знань і переваг користувача для індивідуалізації навчального процесу. Цей підхід став основою трикомпонентної архітектурної моделі — модель учня, модель домену та модель адаптації — що забезпечує динамічну взаємодію між користувачем і системою [6, 7, 8, 9, 10]. Подальші дослідження Kobsa та Paramythis & Loidl-Reisinger дозволили стандартизувати процес побудови моделей користувачів і визначити алгоритмічні принципи персоналізації навчального контенту. Водночас низка авторів відзначає, що традиційні архітектури мають значні обмеження. [8, 9, 10]. Conati & Maclaren підкреслили, що інтеграція мультимодальних даних, зокрема емоційних і поведінкових показників, знижує швидкість реакції системи на 40–60%, зумовлюючи компроміс між глибиною персоналізації та продуктивністю [10]. Drachsler et al. виявили, що масштабованість є однією з головних проблем адаптивних освітніх платформ: при збільшенні кількості користувачів точність персоналізації зменшується на 15–25%. [11]. Dillenbourg & Tchounikine зазначають, що сучасні архітектурні підходи залишаються розрізненими, а їх інтероперабельність між різними освітніми системами - обмеженою [4, 12]. Це зумовлює потребу у розробці універсальної гнучкої архітектури, здатної інтегрувати різні типи даних і динамічно адаптуватися до змін у процесі навчання. Окремий напрям сучасних досліджень стосується застосування штучного інтелекту для автоматизації аналізу мовних навичок. Зокрема, у роботах [13, 14] наголошується, що ШІ-технології дозволяють створювати гнучкі освітні середовища, де кожен користувач отримує унікальну траєкторію навчання на основі аналітики його поведінкових даних. Подібні висновки роблять і автори статей [1, 2, 5, 12, 14], які пропонують інтегрувати в освітні системи генеративні моделі з мультимодальним зворотним зв'язком. Практичні реалізації концепцій адаптивного навчання демонструють популярні платформи: Grammarly, Duolingo, ELSA Speak, Google Assistant і VoiceThread AI. Grammarly поєднує граматичні правила з алгоритмами машинного навчання, забезпечуючи інтелектуальний зворотний зв'язок і підвищення мовної компетентності студентів. Duolingo реалізує адаптивну модель Half-Life Regression, яка оптимізує повторення навчального матеріалу для закріплення знань. Платформа ELSA Speak використовує розпізнавання мовлення на основі глибинних нейронних мереж для корекції вимови, забезпечуючи миттєвий зворотний зв'язок. Значну увагу дослідники приділяють питанням залученості користувачів і впливу емоційного компонента на навчальні результати, що використання генеративного ШІ підвищує мотивацію, упевненість і результативність навчання [1, 2, 4, 5, 12, 14].

Отже, аналіз літератури свідчить, що ефективність навчання англійської мови значно зростає за умов поєднання адаптивних алгоритмів, аналітики даних та інтеграції мультимодальних моделей. Проте наявні системи залишаються обмеженими у масштабованості, інтеграції емоційних показників та формуванні “живих” траєкторій навчання. Це визначає актуальність подальших досліджень у напрямі створення інтелектуальних платформ нового покоління, які здатні синтезувати переваги існуючих моделей і впроваджувати самонавчальні адаптивні механізми.

5. Методи дослідження

У дослідженні застосовано комплекс методів, що забезпечують теоретичне обґрунтування та практичну розробку адаптивної інтелектуальної платформи для персоналізованого вивчення англійської мови:

1. Методи теоретичного аналізу та синтезу — використано для систематизації наукових підходів до побудови інтелектуальних освітніх систем, вивчення моделей адаптивного навчання, методів персоналізації та принципів побудови мовних платформ.

2. Порівняльний аналіз — застосовано для оцінювання функціональних можливостей сучасних інтелектуальних платформ (Grammarly, Duolingo, ELSA Speak, Google Assistant, VoiceThread AI) з метою виявлення їхніх переваг і обмежень.

3. Методи математичного моделювання — використано для формалізації ключових компонентів адаптивної платформи. Зокрема, запропоновано редуковані моделі першого наближення для опису динаміки параметрів навчального процесу в дискретному часі. Такий підхід забезпечує збереження змістовної точності при зменшенні математичної складності моделі.

4. Методи системного аналізу — застосовано для визначення архітектури платформи, структури взаємодії між її модулями та формування цілісної концепції “живої траєкторії навчання”.

5. Методи алгоритмічного проектування — використано для розроблення адаптивних механізмів, що коригують індивідуальну освітню траєкторію відповідно до поведінкових, когнітивних та емоційних характеристик користувача.

6. Результати дослідження

Постановка проблеми. Незважаючи на активний розвиток інтелектуальних освітніх систем, сучасні платформи для вивчення англійської мови все ще не забезпечують повноцінної персоналізації навчального процесу. Більшість із них використовують статичні або надмірно спрощені моделі адаптації, які не враховують динамічну еволюцію знань, зміни рівня мотивації та індивідуальні когнітивні особливості користувачів. Це призводить до зниження ефективності навчання, обмеженої залученості студентів і невідповідності навчальних матеріалів їхнім поточним освітнім потребам. Ключовою проблемою є відсутність універсальної та масштабованої архітектури інтелектуальної платформи, здатної інтегрувати різноманітні типи даних — поведінкові, освітні, емоційні — та на основі їх аналізу автоматично формувати індивідуальні траєкторії навчання в режимі реального часу. Крім того, складні багатовимірні моделі навчального процесу часто потребують значних обчислювальних ресурсів і є важкими для практичної імплементації у реальних освітніх системах. У цьому контексті постає потреба у використанні редукованих моделей першого наближення, які дають змогу формалізувати ключові компоненти навчальної платформи без надмірної математичної складності. Такі моделі є достатньо інформативними для опису динаміки навчання, дозволяють відобразити зміну параметрів у часі та забезпечують основу для побудови адаптивних алгоритмів. Їх застосування відкриває можливість створення гнучкої, «живої» траєкторії навчання, здатної оперативно реагувати на зміни в поведінці та прогресі студента. Отже, актуальним є розроблення інтелектуальної платформи, що поєднує адаптивні алгоритми, редуковані математичні моделі та мультимодальну аналітику для підвищення якості мовної освіти, підтримки автономності користувачів і забезпечення ефективної взаємодії людини зі штучним інтелектом у процесі вивчення англійської мови.

6.1. Порівняльний аналіз існуючих платформ у галузі навчання мов (Grammarly, Duolingo, ELSA Speak, Google Assistant, VoiceThread AI).

В результаті виконаного аналізу була отримана можливість створення наступної табл.1:

Таблиця 1. Порівняльний аналіз існуючих платформ сфері навчання мов [16,17, 18]

Платформа	Основна мета	Технологічна база	Тип адаптивності	Основні освітні результати
Grammarly	Розвиток письмової грамотності	AI + NLP	Персоналізація рекомендацій	Поліпшення письмових навичок, граматики і стилю
Duolingo	Комплексне засвоєння лексики й граматики	ML + гейміфікація	Адаптивний підбір завдань	Мотиваційне навчання, повторення та закріплення знань
ELSA Speak	Вдосконалення вимови	Speech AI + нейронні мережі	Реальний зворотний зв'язок	Корекція акценту, розвиток фонетичних навичок
Google Assistant	Розмовна практика	NLP + голосові технології	Інтерактивне реагування	Тренування говоріння та слухання
VoiceThread AI	Комунікативна взаємодія	AI + мультимедія	Колаборативне середовище	Розвиток усного мовлення та групових навичок

З метою систематизації та порівняльного аналізу сучасних ШІ-технологій, що застосовуються у сфері навчання мов проведено узагальнення ключові характеристики, архітектурні особливості, функціональні можливості та рівень персоналізації популярних інструментів — Grammarly, Duolingo, ELSA Speak, Google Assistant та VoiceThread AI.

Порівняння дає змогу виявити переваги й обмеження кожного сервісу, визначити їхню доцільність для різних категорій користувачів (від початківців до викладачів) і сприяє обґрунтованому вибору оптимального інструмента для підвищення ефективності мовного навчання (табл. 2).

Таблиця 2. Порівняння характеристики популярних платформ у сфері навчання мов [16, 20, 21, 22, 23]

Параметр / Інструмент	Grammarly	Duolingo	ELSA Speak	Google Assistant	VoiceThread AI
Архітектура	Transformer (GPT-подібні LLM + власні NLP-моделі)	ML+NLP, адаптивні алгоритми, гейміфікація	Speech Recognition (ASR), Deep Learning (CNN, RNN, Transformer)	Multimodal LLM (PaLM 2, Gemini, ASR+TTS)	AI-моделі для аналізу мови, інтеграція з LMS
Призначення	Перевірка граматики, стилю, тону	Вивчення мов через ігрову форму	Покращення англійської вимови	Віртуальний асистент, розпізнавання голосу, дії за запитом	Освітні дискусії, асинхронна співпраця через голос/відео
Основні функції	Перевірка тексту, переписування, стиль, анти-плагіат	Курси з багатьох мов, щоденні уроки, тестування	Аналіз вимови, тренування зворотного зв'язку	Голосові команди, пошук, переклад, управління пристроями	Обговорення презентацій, коментарі голосом/відео, інтеграція з навчанням
Можливості	Розширення Chrome, MS Office, мобільні додатки	Понад 40 мов, гейміфікація, адаптація складності	Покрокове тренування вимови, AI-оцінка голосу	Інтеграція зі смартфонами, підтримка багатьох мов	Використання в онлайн-курсах, інтерактивна взаємодія
Позитивні аспекти	Точність перевірки, багатофункціональність, інтеграції	Легко почати, гейміфікований формат, безкоштовний базовий доступ	Персоналізований фідбек, спеціалізація на вимові	Універсальність, багатомовність, швидкість	Сприяє груповій роботі, інтеграція в освіту

Продовження таблиці 2

Негативні аспекти	Потребує інтернету, обмеження у free-версії	Обмежена глибина знань, реклама	Орієнтована лише на англійську, підписка дорога	Залежність від інтернету, питання приватності	Менш популярний, крива навчання для нових користувачів
Інтеграції	Google Docs, MS Office, Slack, браузер	Мобільні додатки, браузер	Android, iOS, деякі LMS	Android, iOS, смарт-пристрої	LMS (Moodle, Canvas), Google Drive
Рівень персоналізації	Високий (налаштування тону, стилю)	Середній (адаптивні вправи)	Дуже високий (точний аналіз вимови)	Високий (контекстні відповіді)	Середній (залежить від викладача/курсу)
Офлайн-робота	Ні	Частково (деякі уроки)	Обмежено	Частково (деякі функції)	Ні
Вартість / Підписка	Free + Premium (~ \$12/mic)	Free + Super Duolingo (\$7–13/mic)	Free + Premium (\$11/mic)	Безкоштовно	Ліцензії для освітніх закладів
Цільова аудиторія	Студенти, професіонали, письменники	Початківці й середній рівень у мовах	Ті, хто вчить англійську	Масовий користувач, бізнес, побут	Викладачі та студенти онлайн-курсів

Проаналізовані платформи демонструють різні підходи до використання адаптивних технологій у процесі вивчення англійської мови. Grammarly орієнтована на розвиток письмових навичок, Duolingo — на комплексне адаптивне навчання, ELSA Speak — на вдосконалення вимови, Google Assistant — на діалогову практику, а VoiceThread AI — на інтерактивне спілкування у групах. Усі ці системи є прикладами ефективного впровадження штучного інтелекту в освітні середовища, що забезпечують персоналізований і динамічний процес навчання англійської мови.

6.2. Визначити ключові компоненти інтелектуальної платформи, які забезпечують створення моделі “живої траєкторії навчання”.

Забезпечення персоналізованого навчання англійської мови є критично важливим завданням для подальшого вдосконалення системи мовної освіти та забезпечення максимальної ефективності навчального процесу. Для вирішення цього завдання пропонується впровадження наступного підходу, якій умовно має назву “живої траєкторії навчання”. Сутність запропонованого підходу полягає у побудові та застосуванні адаптивних алгоритмів для персоналізованого вивчення англійської мови, які здатні створювати гнучку динамічну персоналізовану траєкторію навчання, яка формується з урахуванням когнітивних особливостей кожного учня та безперервно оновлюється на основі комплексного аналізу освітніх і поведінкових даних про учня в режимі реального часу (рівень знань, цілі, інтереси, типові помилки, темп засвоєння матеріалу, стиль навчання, динамічну адаптацію до змін у навчальному прогресі та інші). Завдяки гнучкому управлінню складністю та підбором релевантного контенту визначає інтервал повторення для стійкого засвоєння мовного матеріалу. Отже, навчання набуває характер “живої” моделі, що самокоригується відповідно до поставлених цілей та потреб конкретного користувача.

Основними компонентами інтелектуальної платформи є: user module (модуль користувачів), adaptive learning module (модуль адаптивного навчання), assessment and testing module (модуль оцінювання та тестування), recommendations module (модуль рекомендацій), analytics and reporting module (модуль аналітики та звітності) (Рис.1).

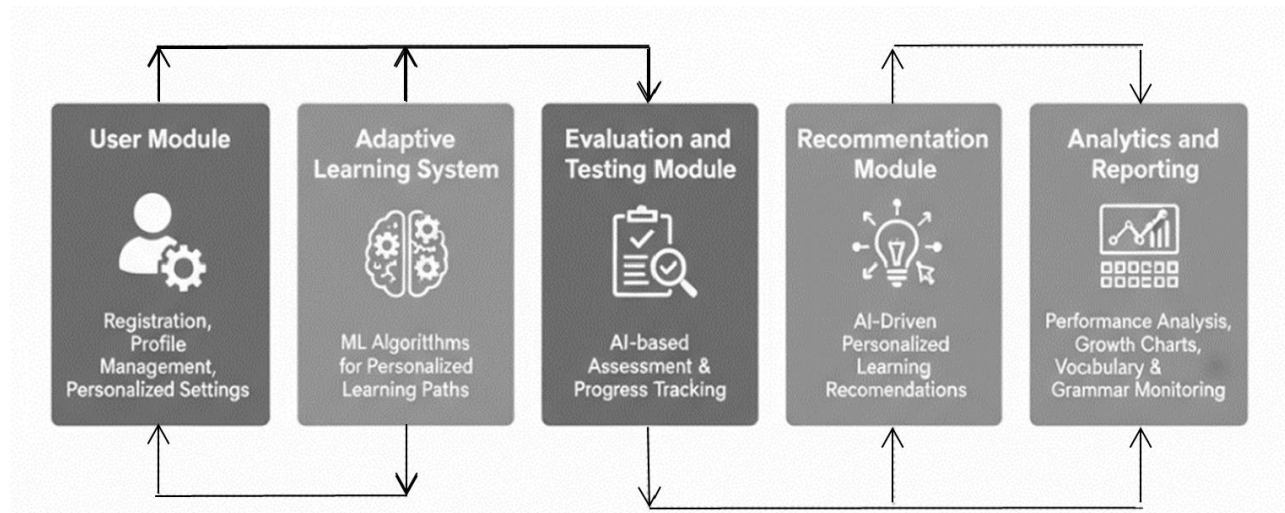


Рисунок 1. Основні компонентами платформи та їх взаємодія [15].

Стислий опис компонент платформи наданий у таблиці 1.

Таблиця 3. Математичні моделі модулів інтелектуальної платформи

№	Назва модуля	Математична модель	Опис параметрів та сутність моделі
1	User Module (модуль користувача).	$K_{i,t} = (I_{i,t}, L_{ni,t}, G_{i,t}, P_{i,t}, T_{ni,t}, \bar{U}_{i,t}, C_{i,t+1}, S_{i,t}, R_{i,t}, A_{i,t}, V_{i,t}, G_{i,t+1})$ дискретний час (сесії) для всіх $t \in N$, $i = 1, 2, \dots$, (1)	Формує фундаментальну основу інтелектуальної платформи для вивчення англійської мови, забезпечуючи повний спектр функцій управління користувачами та персоналізації.
2	Registration (user profile module-модуль профілю користувача)	$\bar{U}_{i,t} = [L_{i,t}, M_{i,t}, P_{i,t}, T_{i,t}, A_{i,t}, S_{i,t}, E_{i,t}]$, $i = 1, 2, \dots, n$ (2)	Основа User module - це профіль користувача. Це багатовимірний вектор параметрів користувача $\bar{U}_{i,t}$, де кожна компонента - окремий параметр, що зберігається у базі даних і використовується іншими модулями підсистемами.
3	Adaptive Learning System (модуль адаптивного навчання)	$C_{i,t+1} = C_{i,t} + f(A_{i,t}, P_{i,t}, \alpha_{i,t}, R_{i,t}, F_{i,t}, E_{i,t}) - \beta_{i,t}, C_{i,t}$, $i = 1, 2, \dots, n$ (4)	Рівень засвоєння контенту $C_{i,t}$ змінюється у часі залежно від активності користувача A_i , когнітивного профілю P_i та рівня складності завдань R_i . Функція $f(\cdot)$ реалізує адаптацію навчального матеріалу.
4	Evaluation and Testing Module (модуль оцінювання та тестування)	$S_{i,t} = w_{1,t}R_{i,t} + w_{2,t}L_{i,t} + w_{3,t}W_{i,t} + w_4S_{torst,t}$, $i = 1, 2, \dots, n$ (5)	Інтегральна оцінка користувача $S_{i,t}$ визначається як зважена сума результатів тестів із читання $R_{i,t}$, лексики $L_{i,t}$, письма $W_{i,t}$ та усного мовлення $S_{torst,t}$. Вагові коефіцієнти $w_{1,t} \dots w_{4,t}$ задають важливість кожного аспекту.

Продовження таблиці 3

5	Recommendations Module (модуль рекомендацій)	$R_{i,t} = \arg \max_{x \in M_t(i)} U_{i,t}(\theta, P_{i,t}, H_{i,t}), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$	Формує набір рекомендованих навчальних матеріалів $R_{i,t}$, що максимізують функцію корисності $U_{i,t}$, враховуючи переваги $P_{i,t}$ та історію навчання $H_{i,t}$.
6	Analytics and Reporting Module (модуль аналітики та звітності)	$A_{i,t} = g(C_{i,t}, R_{i,t}, T_{i,t}), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$	Аналітичний профіль користувача $A_{i,t}$ формується на основі рівня засвоєння контенту $C_{i,t}$, результатів тестування $S_{i,t}$ та часових параметрів активності $T_{i,t}$. Функція $g(\cdot)$ формує індивідуальну траєкторію навчання.
7	Модуль моніторингу словникового запасу	$V_{i,t} = \alpha V_{i,t-1} + \beta L_{i,t} - \gamma F_{i,t}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$	Динаміка словникового запасу користувача залежить від коефіцієнтів утримання α , навчання β та забування γ . $L_{i,t}$ - нові слова, $F_{i,t}$ - забуті.
8	Модуль моніторингу граматики	$G_{i,t+1} = G_{i,t} + \delta C_{i,t} - \varepsilon E_{i,t}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$	Грамотичний прогрес залежить від кількості правильно виконаних завдань $C_{i,t}$ та кількості помилок $E_{i,t}$. Коефіцієнти δ та ε задають вплив успіхів і помилок.

Пояснення до таблиці:

- Усі моделі мають спрощений вигляд, щоб показати як моделі відображають адаптивну поведінку системи — тобто зміни параметрів у часі залежно від активності користувача.
- Кожен модуль має власну цільову функцію, яка оптимізується під індивідуальні характеристики студента.
- Моделі взаємопов'язані: вихідні параметри одного модуля на основі первинного оцінювання використовуються в інших модулях, наприклад, в аналітиці чи рекомендаціях.

6.3. Математичні формулювання у вигляді редукованих моделей першого наближення для кожного модуля платформи, які адекватно описують динаміку навчального процесу у дискретному часі та забезпечують можливість побудови адаптивних алгоритмів

6.3.1. Модуль користувача

Цей модуль формує фундаментальну основу інтелектуальної платформи для вивчення англійської мови, забезпечуючи повний спектр функцій управління користувачами та персоналізації. В статті розглядається тільки дискретний час (номер навчальної сесії) $t \in N$. Тобто в кожному показнику є присутність дискретного часу (номеру навчальної сесії) $K_{i,t}$. Математична модель модуля i -го користувача можна представити наступним чином:

$$K_{i,t} = (I_{i,t}, L_{pi,t}, G_{i,t}, P_{i,t}, T_{pi,t}, \bar{U}_{i,t}, C_{i,t+1}, S_{i,t}, R_{i,t}, A_{i,t}, V_{i,t}, G_{i,t+1}) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

де: $I_{i,t}$ - унікальний ідентифікатор користувача; $L_{pi,t}$ - поточний рівень знань користувача (за шкалою CEFR, що поділяють знання на рівні: A1 (початковий), A2 (елементарний), B1 (середній), B2 (вище середнього), C1 (просунутий) та C2 (вільний).); $G_{i,t}$ - навчальні цілі

(вектор цілей); $P_{i,t}$ - набір персональних параметрів (темп, тип вправ, інтерфейс, переваги); $T_{pi,t}$ - прогрес у часі (динамічна функція, що описує навчальні зміни); $\bar{U}_{i,t}$ - багатовимірний вектор параметрів користувача; $C_{i,t+1}$ - здатність динамічно адаптувати навчальний контент до індивідуальних потреб; $S_{i,t}$ - дискретна інтегральна оцінка користувача; $R_{i,t}$ - набір рекомендованих навчальних матеріалів у дискретний момент часу t ; $A_{i,t}$ - аналітичний профіль користувача; $V_{i,t}$ - поточний обсяг активного словникового запасу; $G_{i,t+1}$ - прогноз рівня засвоєння граматичних структур; n - кількість користувачів.

Модуль користувача — це архітектурний компонент інтелектуальної платформи, який реалізує функції: Registration (реєстрація), Profile Management (керування профілем) та Personalized Settings (персоналізовані налаштування). Модуль користувача є архітектурним контейнером, що відповідає за керування всіма аспектами взаємодії користувача із системою. До його складу входить підсистема “Профіль користувача”, яка є ядром зберігання та аналізу індивідуальних характеристик студента.

Модуль користувача складається з таких підсистем:

1. Підсистема реєстрації та автентифікації $I_{i,t}$. Забезпечує створення унікального облікового запису, ідентифікацію користувача, захист даних.
2. Підсистема персональних налаштувань $L_{pi,t}$, $P_{i,t}$. Визначає індивідуальні уподобання інтерфейсу, швидкість подачі матеріалу, нотифікації, розклад занять.
3. Підсистема моніторингу активності $G_{i,t}$, $T_{pi,t}$. Збирає статистику навчальної поведінки (кількість завдань, час сесій, успішність).
4. Підсистема профілю користувача. Профіль користувача - це багатовимірний вектор параметрів користувача $\bar{U}_{i,t}$, де кожна компонента - окремий параметр, що зберігається у базі даних і використовується іншими модулями підсистемами. Математична модель профілю користувача можна представити наступним чином:

$$\bar{U}_{i,t} = [L_{i,t}, M_{i,t}, P_{i,t}, T_{i,t}, A_{i,t}, S_{i,t}, E_{i,t}], \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

де кожна компонента — це вимір параметрів користувача: $L_{i,t}$ - рівень володіння мовою на поточний момент (0–1); $M_{i,t}$ - мотиваційний коефіцієнт; $P_{i,t}$ - когнітивний стиль або швидкість навчання; $T_{i,t}$ - середній час навчання за сесію; $A_{i,t}$ - активність (кількість виконаних завдань); $S_{i,t}$ - середній результат тестів; $E_{i,t}$ - коефіцієнт емоційного залучення (за даними поведінкової аналітики); n - кількість користувачів.

Тобто кожен користувач — це точка у Ω -вимірному просторі параметрів. Для відображення вектору параметрів користувача $\bar{U}_{i,t}$, можуть застосовуватися такі методи візуалізацій: радіальна (павутинна) діаграма, тривимірна модель (3D scatter plot), просторова карта кластерів (2D проєкція).

В статті використовується наочний спосіб для презентації профілю - радіальна (павутинна) діаграма, де кожна вісь відповідає одному параметру вектора $\bar{U}$; довжина від центра до точки - значення параметра; з'єднавши точки на осях, утворюється багатокутник, який відображає "форму" профілю користувача. Щоб усі параметри мали спільний масштаб треба нормування параметрів для візуалізації.

$$X_k = \frac{x_k - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \quad k = 1, \dots, n \quad (3)$$

де : $X_k \in [0,1]$ - нормалізоване значення, яке можна відобразити на осі діаграми; x_k - вихідне значення параметра,

Приклад радіальної діаграми надається на Рис.2.



Рисунок 2. Радіальна (павутинна) діаграма профілю користувача [15].

На Рис. 2 надано радіальна діаграма, яка призначена відображати динамічний аспект у часі профілю користувача, тобто траєкторію навчання. У візуальній формі радіальна діаграма представлена як симетричний багатокутник. Він відображає повну гармонізацію когнітивних, мотиваційних та поведінкових характеристик користувача системи. На рис. 2 надано ідеальний профіль n -го користувача на t -сесію має вигляд $\bar{U}_{i,t} = [1,1,1,1,1,1]$. Ідеальний профіль користувача — це багатовимірний вектор параметрів, значення яких досягають оптимальних рівнів. Ідеальний профіль використовується як: еталон (reference vector) для порівняння з реальними досягненнями користувача та як міра подібності. Ідеальний профіль означає: рівень володіння мовою — високий (C1–C2), мотивація — стабільна й внутрішня, когнітивний стиль — оптимально узгоджений з адаптивними алгоритмами, час навчання — регулярний і продуктивний, активність — систематична, результати тестів — високі, емоційне залучення — позитивне, без вигорання.

Слід підкреслити, що користувач не обов'язково одразу повинний мати високі значення - головне, щоб його траєкторія у просторі параметрів стабільно зростала до ідеального профілю користувача, а це свідчить про безперервне вдосконалення навичок і адаптацію до навчальної системи. Тому чим більша площа багатокутника та симетрична форма, тим розвинутіший загальний профіль, а асиметрія свідчить на сильні й слабкі сторони (наприклад, високий рівень лексики, але слабка граматики).

Резюмуючи бачимо, що профіль користувача є центральним елементом, інші підсистеми забезпечують його створення, оновлення і використання. Він відображає індивідуальні навчальні, когнітивні та поведінкові параметри конкретного студента, використовується адаптивними алгоритмами для персоналізації навчального процесу.

6.3.2. Модуль адаптивного навчання

Модуль адаптивного навчання — є «серцевиною» інтелектуальної платформи для вивчення англійської мови, що використовує алгоритми машинного навчання. Основою такої системи є $C_{i,t+1}$ - здатність динамічно адаптувати навчальний контент до індивідуальних потреб, стилів навчання та темпу засвоєння матеріалу кожного студента на основі аналізу даних профілю користувача. Це дає змогу системі оптимізувати освітні шляхи в реальному часі, навчаючись на основі взаємодії зі студентами та коригуючи стратегії навчання для максимізації ефективності засвоєння знань. Алгоритми особливо ефективні для адаптації складності завдань, оскільки вони можуть прогнозувати оптимальний рівень складності на основі поточних показників успішності студента.

Математична модель модуля адаптивного навчання наступний вигляд:

$$C_{i,t+1} = C_{i,t} + f(A_{i,t}, P_{i,t}, \alpha_{i,t}, R_{i,t}, F_{i,t}, E_{i,t}) - \beta_{i,t}, C_{i,t}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

де: $C_{i,t} \in [0,1]$ - рівень засвоєння контенту користувачем i у дискретний момент часу $t = 1$, тобто навчальної сесії 1 існує початкова умова, наприклад за діагностичним тестом. $f(A_{i,t}, P_{i,t}, \alpha_{i,t}, R_{i,t}, F_{i,t}, E_{i,t})$ - функція адаптації, що визначає, як контент оновлюється на основі продуктивності; $A_{i,t}$ - набір параметрів активності користувача (кількість виконаних завдань, час навчання); $P_{i,t}$ - когнітивний профіль користувача; $\alpha_{i,t} \geq 0$ - швидкість адаптації; $R_{i,t}$ - поточний рівень складності навчального матеріалу; $F_{i,t}$ - якість зворотного зв'язку; $E_{i,t}$ - емоційне залучення, $\beta_{i,t} \in [0,1]$ - коефіцієнт забування за крок.

Ця модель реалізує адаптивний цикл, у якому складність навчання змінюється відповідно до поточного прогресу користувача. Її можна візуалізувати подібно до профілю користувача за допомогою радарної діаграми модульного адаптивного навчання (Рис. 3)



Рисунок 3. Радіальна (павутинна) діаграма модульного адаптивного навчання [15].

На Рис. 3 подано ілюстрацію ключових компонент математичної моделі у вигляді радіальної діаграми модульного адаптивного навчання: засвоєння контенту, активності, когнітивного профілю, рівня складності, швидкість адаптації, якість зворотного зв'язку, емоційне залучення.

6.3.3. Модуль оцінювання та тестування

Модуль оцінювання та тестування є критично важливим компонентом інтелектуальної платформи для вивчення англійської мови, який забезпечує об'єктивне, ефективне та персоналізоване визначення рівня мовної компетенції студентів. Цей модуль інтегрує технології штучного інтелекту для створення багатовимірної системи оцінювання, що здатна адаптуватися до індивідуальних потреб кожного користувача. Інтелектуальні системи зворотного зв'язку забезпечують персоналізовані рекомендації на основі комплексного аналізу результатів оцінювання. Системи використовують алгоритми глибокого навчання для ідентифікації специфічних прогалин у знаннях та генерації цільових вправ для їх усунення. Технології обробки природної мови дозволяють створювати автоматичні звіти з детальним аналізом сильних та слабких сторін студента. Адаптивне тестування навичок читання та лексики використовує спеціалізовані алгоритми для визначення словникового запасу та розуміння прочитаного.

Математична модель модуля оцінювання та тестування наступний вигляд:

$$S_{i,t} = w_{1,t}R_{i,t} + w_{2,t}L_{i,t} + w_{3,t}W_{i,t} + w_{4,t}S_{iorsl,t}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

де: $S_{i,t}$ - інтегральна оцінка користувача; $w_{1,t}R_{i,t} + w_{2,t}L_{i,t} + w_{3,t}W_{i,t} + w_{4,t}S_{iorsl,t}$ - результати тестів із читання (Reading), лексики (Lexical skills), письма (Writing) та усного

мовлення (Speaking); $w_{1,t}; w_{2,t}; w_{3,t}; w_{4,t}$ - вагові коефіцієнти 1) — reading, 2) — lexicon, 3) — writing, 4) — speaking. (визначають важливість кожного аспекту на момент часу t). Процедуру вибору вагових коефіцієнтів може бути: або експертно фіксуються, або оцінюються з даних (Maximum Likelihood Estimation (MLE) – це статистика, яка визначає моделі параметрів у техніці навчання або навчання з валідації), або персоналізуються для кожного користувача.

Ця модель використовує зважену лінійну комбінацію результатів тестів для визначення мовного рівня та подальшого налаштування курсу. Її можна візуалізувати подібно до профілю користувача за допомогою радарної діаграми модуля оцінювання та тестування (Рис. 4)

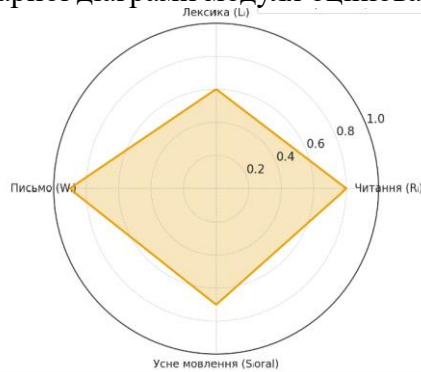


Рисунок 4. Радіальна (павутинна) діаграма модуля оцінювання та тестування [15].

На Рис. 4 подано ілюстрацію математичної моделі у вигляді радіальної діаграми модуля адаптивного навчання. Вона відображає внесок кожного виду навичок (читання, лексика, письмо, усне мовлення) у загальну інтегральну оцінку користувача.

6.3.4. Модуль рекомендацій

Модуль рекомендацій є інтелектуальним ядром платформи, забезпечуючи персоналізоване конструювання навчальних траєкторій на підставі всебічного аналізу індивідуальних характеристик, поведінкових шаблонів та динаміки навчального прогресу кожного студента. Застосовуючи передові алгоритми штучного інтелекту, цей модуль формує адаптивне середовище, яке безперервно оптимізує процес засвоєння знань, узгоджуючи його з унікальними потребами користувача.

Математична модель модуля рекомендацій має наступний вигляд. Нехай існує M -множина матеріалів (items). Для кожного матеріалу $m \in M$ визначте вектор ознак $\phi(m)$ та очікуваний ефект $\Delta C_{i,t+1}(m)$. Тоді рекомендація може бути визначена як вирішення оптимізаційної задачі:

$$R_i(t) = \arg \max_{x \in M_t(i)} U_{i,t}(\Theta, P_{i,t}, H_{i,t}), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

де: $R_i(t)$ - набір рекомендованих навчальних матеріалів у момент часу t ; M — множина всіх доступних матеріалів; $U_{i,t}(\Theta, P_{i,t}, H_{i,t})$ - функція корисності для користувача i , що враховує преференції P_i , історію навчання $H_{i,t}$ та Θ - параметри моделі (оцінені за даними).

Опис: Алгоритм рекомендацій обирає матеріали з максимальним очікуваним навчальним ефектом. Її можна візуалізувати подібно до профілю користувача за допомогою радарної діаграми модуля рекомендацій (Рис. 5)



Рисунок 5. Радіальна (павутинна) діаграма модуля рекомендацій [5].

На Рис. 5 подано ілюстрацію математичної моделі у вигляді радіальної діаграми модуля рекомендацій. Вона відображає якість конструювання навчальних траєкторій на підставі всебічного аналізу індивідуальних характеристик.

6.3.5. Модуль аналітики та звітності

Модуль аналітики та звітності використовує адаптивні алгоритми машинного навчання для створення індивідуальних профілів навчання, що враховують особистий темп засвоєння матеріалу, преференції щодо типів завдань та когнітивні характеристики кожного студента.

Математична модель аналітики та звітності має спрощений вигляд:

$$A_{i,t} = g(C_{i,t}, R_{i,t}, T_{i,t}), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

де: $A_{i,t}$ - аналітичний профіль користувача; $g(C_{i,t}, R_{i,t}, T_{i,t})$ - функція побудови індивідуальної траєкторії навчання; $C_{i,t}$ - рівень засвоєння контенту; $R_{i,t}$ - результати тестування; $T_{i,t}$ - часові параметри активності під час сесії навчання t .

Опис: Модуль аналітики та звітності зумовлює динамічні звіти, прогнозує успішність і дає зворотний зв'язок через графічні та числові показники. Її можна візуалізувати подібно до профілю користувача за допомогою радарної діаграми модуля аналітики та звітності (Рис. 6)

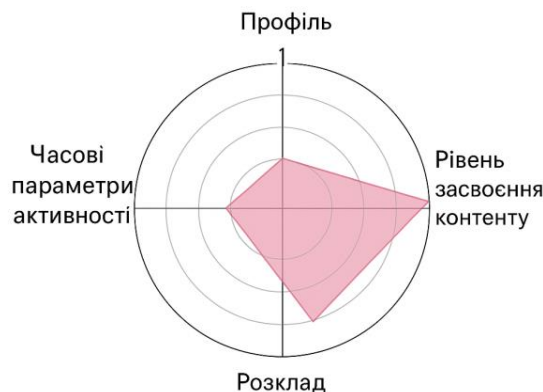


Рисунок 6. Радіальна (павутинна) діаграма модуля аналітики та звітності [15].

На Рис. 6 подано ілюстрацію математичної моделі у вигляді радіальної діаграми модуля аналітики та звітності. Вона відображає якість створення індивідуальних профілів навчання.

6.3.6. Модуль моніторингу словникового запасу. Використовує технології природної обробки мови для точного відстеження засвоєння нових лексичних одиниць. Модуль фіксує швидкість запам'ятовування нових слів, рівень їх утримання в довгостроковій пам'яті, здатність використовувати вивчену лексику в різних контекстах та прогрес у розумінні

синонімів і антонімів. Модуль також надає прогнози щодо досягнення певних лексичних цілей на основі поточного темпу навчання. Dashboard візуалізує цю інформацію через інтерактивні графіки росту словника, теплові карти активності та персоналізовані рекомендації щодо повторення забутих слів (приклад надано на Рис. 7).

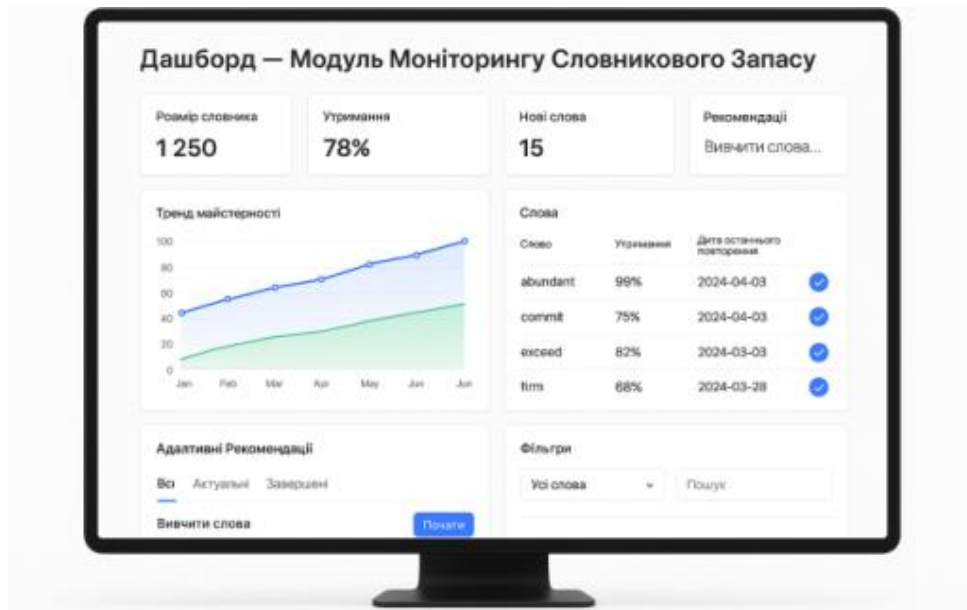


Рисунок 7. Приклад Dashboard модуля моніторингу словникового запасу [15].

На рис. 7 показано, як студенти можуть відстежувати свої показники засвоєння словникового запасу через динамічні діаграми, що показують кількість нових слів, вивчених за певний період, рівень утримання для раніше вивчених термінів та точність використання у контексті при виконанні письмових та усних вправ.

Математична модель моніторингу словникового запасу у абстрактній формі має наступний вигляд:

$$V_{i,t} = \alpha V_{i,t-1} + \beta L_{i,t} - \gamma F_{i,t}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

де: $V_{i,t}$ - поточний обсяг активного словникового запасу; $V_{i,t-1}$ - попередній обсяг активного словникового запасу; $L_{i,t}$ - кількість нових слів, вивчених у момент часу t ; $F_{i,t}$ - кількість забутих слів; α, β, γ - коефіцієнти утримання, навчання і забування.

Опис: Модель описує динаміку зростання та втрати словникового запасу користувача. Її можна візуалізувати подібно до профілю користувача за допомогою радарної діаграми модуля моніторингу словникового запасу (Рис. 8)

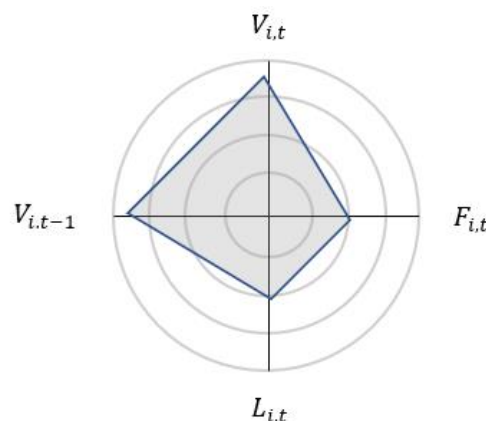


Рисунок 8. Радіальна діаграма модуля моніторингу словникового запасу [15].

На Рис. 8 подано ілюстрацію математичної моделі у вигляді радіальної діаграми модуля моніторингу словникового запасу. Вона відображає якість засвоєння словникового запасу через динамічну діаграму.

6.3.7. Модуль моніторингу граматики

Граматичний прогрес відстежується через комплексну систему аналізу помилок та успішного застосування граматичних правил. Платформа використовує ШІ для ідентифікації шаблонів у граматичних помилках та створення персоналізованих планів їх виправлення. Dashboard показує прогрес у засвоєнні конкретних граматичних структур через індикатори успішності, детальний розбір помилок за категоріями (часи дієслів, узгодження підмета та присудка, використання артиклів тощо), а також рекомендації для подальшого вдосконалення (приклад надано на Рис. 9).

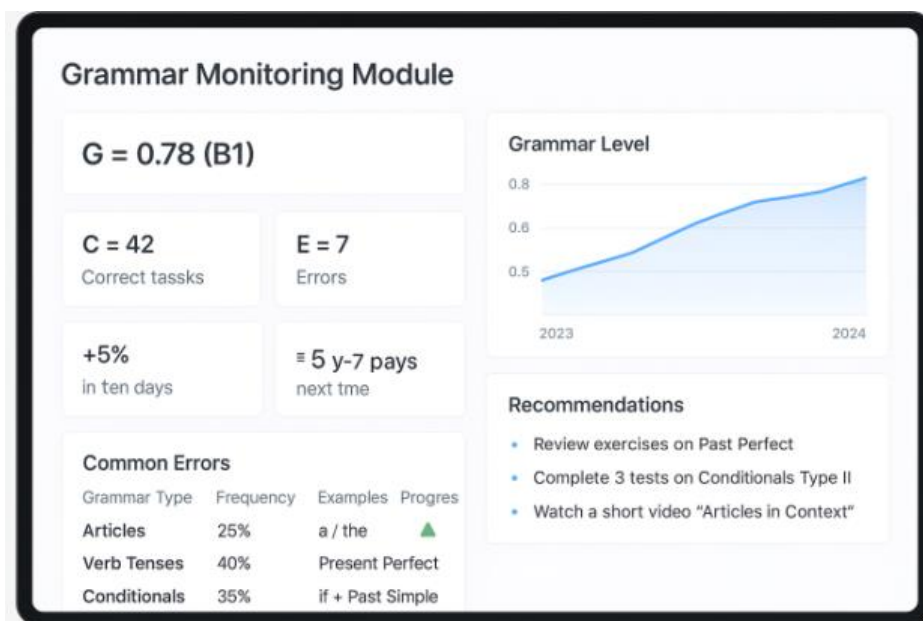


Рисунок 9. Приклад Dashboard модуля моніторингу граматики [15].

На рис. 9 показано, як студенти можуть відстежувати свої показники помилок та успішного застосування граматичних правил.

Математична модель моніторингу граматики має наступний вигляд:

$$G_{i,t+1} = G_{i,t} + \delta C_{i,t} - \varepsilon E_{i,t}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

де: $G_{i,t} = [0,1]$ - рівень засвоєння граматичних структур, має нормування; $C_{i,t}$ - кількість правильно виконаних граматичних завдань; $E_{i,t}$ - число граматичних помилок (або кількість помилок у граматиці); $\delta, \varepsilon \geq 0$ - коефіцієнти впливу успішності та помилок відповідно, які мають нормування.

Опис: Модель моніторингу граматики аналізує частоту помилок, визначає типові граматичні помилки та прогнозує прогрес користувача у вивченні граматики. Її можна візуалізувати подібно до профілю користувача за допомогою радарної діаграми модуля моніторингу граматики (Рис. 10).

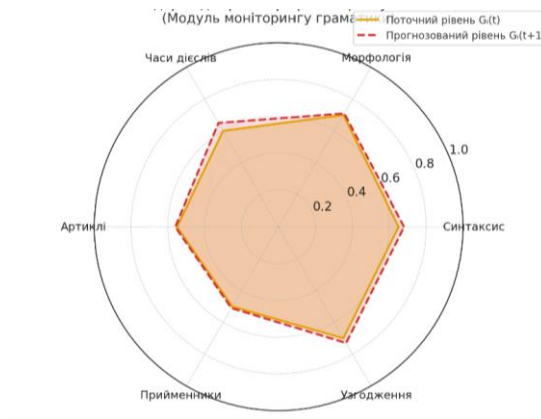


Рисунок 10. Радіальна (павутинна) діаграма модуля моніторингу граматики [15].

На Рис. 10 подано ілюстрацію математичної моделі у вигляді радіальної діаграми модуля моніторингу граматики. Вона показує поточний рівень засвоєння граматичних структур та прогнозований прогрес користувача з урахуванням правильних відповідей і типових помилок.

6.4. Висновки та рекомендації

Наукова новизна полягає у розробці моделі “живої траєкторії навчання”, яка динамічно адаптує навчальний контент на основі емоційних та когнітивних параметрів студента. Розроблена інтелектуальна платформа довела ефективність поєднання адаптивних алгоритмів із персоналізованим підходом до навчання. Її модульна архітектура забезпечує гнучке керування процесом засвоєння знань, формує індивідуальні освітні траєкторії та підвищує мотивацію користувачів. Використання штучного інтелекту дає змогу автоматизувати оцінювання й рекомендації, роблячи навчання динамічним і результативним.

Рекомендації: доцільно впроваджувати розроблену платформу у системи дистанційного навчання для підтримки студентів різного рівня підготовки. Рекомендується розширити аналітичні модулі за рахунок емоційної аналітики та прогнозування результатів. Подальші дослідження передбачають створення прототипу платформи на базі Python з використанням TensorFlow та модулів обробки мови Natural Language Toolkit (NLTK)

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні та поглибленні запропонованої концепції інтелектуальної платформи шляхом інтеграції нових математичних, алгоритмічних та технологічних рішень. У подальшому передбачається:

1. Удосконалення редукованих моделей першого наближення, зокрема їх адаптація до нелінійних процесів навчання, стохастичних впливів та індивідуальних когнітивних відмінностей користувачів.
2. Розроблення гібридних адаптивних алгоритмів, що поєднуюватимуть редуковані моделі з методами машинного навчання для підвищення точності прогнозування освітніх результатів і формування рекомендацій.
3. Створення прототипу програмної реалізації інтелектуальної платформи, яка дозволить експериментально перевірити ефективність запропонованої архітектури, уточнити параметри моделей та оцінити вплив “живої траєкторії навчання” на прогрес користувачів.
4. Розширення набору даних для аналітики, включаючи поведінкові, когнітивні, мотиваційні та емоційні показники, що забезпечить більш глибоке персоналізоване моделювання та підвищення точності адаптивних рішень.

5. Вивчення можливостей мультимодальної взаємодії, зокрема використання голосових, візуальних і текстових підказок, а також технологій розпізнавання мовлення та емоцій.

6. Проведення експериментальних педагогічних досліджень, спрямованих на оцінювання впливу інтелектуальної платформи на мотивацію, автономність і результати навчання студентів.

Реалізація зазначених напрямів сприятиме подальшому розвитку адаптивних мовних платформ нового покоління та дозволить підвищити ефективність персоналізованого вивчення англійської мови в цифровому освітньому середовищі.

8. Висновки

Основні результати: У результаті проведеного дослідження запропоновано концепцію інтелектуальної платформи для персоналізованого вивчення англійської мови, побудовану на адаптивних алгоритмах і редукованих моделях першого наближення. Розроблена архітектура платформи охоплює модулі користувача, адаптивного навчання, оцінювання, рекомендацій, аналітики, моніторингу словникового запасу та граматики, що забезпечує цілісне охоплення ключових аспектів навчального процесу. Використання редукованих моделей першого наближення дозволило формалізувати динаміку навчання в дискретному часі без надмірної математичної складності, зберігши при цьому необхідну точність і узагальненість опису. Запропонована “жива траєкторія навчання” забезпечує гнучке, динамічне та індивідуалізоване коригування навчального контенту відповідно до когнітивних, поведінкових і мотиваційних характеристик студента. Отримані результати свідчать, що інтеграція адаптивних алгоритмів, математичного моделювання та освітньої аналітики сприяє підвищенню ефективності мовного навчання, мотивації користувачів і формуванню стійких мовних компетентностей.

Практичне значення: Практичне значення роботи полягає в тому, що запропонована модель інтелектуальної платформи може бути використана як основа для створення реальної адаптивної системи навчання англійської мови.

Редуковані моделі першого наближення забезпечують простоту реалізації та можливість інтеграції в освітні програмні комплекси без суттєвих вимог до обчислювальних ресурсів.

Запропоновані адаптивні алгоритми можуть бути впроваджені в існуючі мовні платформи для підвищення рівня персоналізації, оптимізації рекомендацій, покращення якості навчальних матеріалів та прогнозування навчальних результатів.

Модель “живої траєкторії навчання” відкриває можливості для індивідуального підходу до кожного студента, підтримки автономного навчання та розвитку цифрових освітніх екосистем.

Список літератури:

- 1) Postgraduate students' voices on leveraging Grammarly as an AI-powered tool in academic writing. [URL]: https://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2520-98682025000100007&lng=en&nrm=iso&tlng=en (date of access: 02.09.2025).
- 2) Mobile language app learners' self-efficacy increases after using generative AI [URL]: <https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2025.1499497/full> (date of access: 02.09.2025).
- 3) Drachsler, H., Hummel, H. G. K., & Koper, R. (2015). Navigation support for learners in informal learning networks. *Journal of Computer Assisted Learning*, 31(3), 292–308.
- 4) Dillenbourg, P., & Tchounikine, P. (2007). Flexibility in macro-scripts for computer-supported collaborative learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(1), 1–13.
- 5) AI Chatbots in English Language Teaching and Learning: A Critical Review Lam Thi Quynh Anh [URL]: <https://jklst.org/index.php/home/article/view/208/181> (date of access: 02.09.2025).

- 6) Brusilovsky, P. (1996). Methods and Techniques of Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 6(2–3), 87–129, DOI:10.1007/BF00143964
- 7) Brusilovsky, P. (2001). Adaptive hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11(1–2), 87–110.
- 8) Weber, G., & Brusilovsky, P. (2001). ELM-ART: An adaptive versatile system for Web-based instruction. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12(4), 351–384.
- 9) Kobsa, A. (2001). Generic user modeling systems. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11(1–2), 49–63.
- 10) Paramythis, A., & Loidl-Reisinger, S. (2004). Adaptive learning environments and e-learning standards. *Electronic Journal of e-Learning*, 2(1), 181–194.
- 11) Dillenbourg, P., & Tchounikine, P. (2007). Flexibility in macro-scripts for computer-supported collaborative learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(1), 1–13.
- 12) Duolingo Half-Life Regression study. (2025). *Frontiers in Education*.
- 13) Adaptive Learning with AI: How Bots Personalize Foreign Language Education [URL]: <https://doi.org/10.69760/lumin.20250001002>(date of access: 02.09.2025).
- 14) Personalized Multimodal Feedback Generation in Education [URL]: <https://aclanthology.org/2020.coling-main.166/> (date of access: 02.09.2025).
- 15) OpenAI. (2025). Зображення, згенероване ChatGPT на основі даних, наданих користувачем. <https://chat.openai.com/>
- 16) Advancing AI-Powered Intelligent Writing Assistance across Multiple Languages (2025) [URL]:. <https://www.grammarly.com/blog/engineering/advancing-intelligent-writing/> (date of access: 02.09.2025).
- 17) Using Grammarly to support students' source-based writing practices (2021) [URL]:<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1075293521000532> (date of access: 02.09.2025).
- 18) Duolingo Doubles Down on AI With Bold New Tech-led Strategy (2025) [URL]:<https://technologymagazine.com/ai-and-machine-learning/duolingos-ai-first-strategy-explained>(date of access: 02.09.2025).
- 19) ELSA Speak: The world's best way to improve your English (2025) [URL]:<https://elsaspeak.com/en/>(date of access: 02.09.2025).
- 20) Grammarly Review – Is Grammarly Worth it? (2025) Update] [URL]: <https://paperpal.com/blog/news-updates/grammarly-review-alternatives/>(date of access: 02.09.2025).
- Erra Malinda*, Sholihatul Hamidah Daulay (2024)The Effectiveness of Duolingo as an English Learning Platform for Students: A Students Feedback DOI: <https://doi.org/10.33122/ejeset.v5i2.242>
- 22) Google Search Rolls Out AI-Powered Speaking Practice for Language Learners (2024) [URL]:<https://voicebot.ai/2023/10/24/google-search-rolls-out-ai-powered-speaking-practice-for-language-learners> (date of access: 02.09.2025).
- 23) Evidence Trailblazer Spotlight: VoiceThread [URL]: <https://www.instructure.com/resources/blog/evidence-trailblazer-spotlight-voicethread> (date of access: 02.09.2025).

Living learning trajectory based on reduced first-order approximation models in an adaptive english language learning platform

Yurii Katkov

State University of Information and Communication Technologies, Kyiv, Ukraine
ORCID 0009-0007-1194-4014

Andriy Nechyporuk

State University of Information and Communication Technologies, Kyiv, Ukraine

ORCID 0009-0001-7188-0186

Abstract: The article presents the concept of an intelligent platform employing adaptive algorithms for personalized English language learning. To formalize its operation, the study introduces mathematical formulations expressed as reduced first-order approximation models, which ensure conceptual clarity, generalization, and avoidance of unnecessary mathematical complexity while adequately reflecting the dynamics of the learning process. The system architecture is examined, comprising user, adaptive learning, assessment, recommendation, analytics, vocabulary monitoring, and grammar modules. For each component, a simplified mathematical model is provided to describe parameter evolution in discrete time, enabling real-time adjustment of the individual “living learning trajectory.” This approach supports dynamic content personalization, result prediction, and continuous improvement of language competencies. Contemporary AI-based platforms (Grammarly, Duolingo, ELSA Speak, Google Assistant, VoiceThread AI) are analyzed to identify their strengths and limitations for integration into adaptive learning systems. The developed model incorporates behavioral, cognitive, and emotional parameters of users, forming an effective interactive environment for developing reading, writing, pronunciation, and speaking skills. The results confirm that the integration of adaptive algorithms with artificial intelligence technologies substantially enhances learning efficiency, supports motivation and self-regulation, and contributes to the formation of stable language competencies.

Keywords: E-commerce, Fashion E-commerce, Disruptive information technologies, Open Source Intelligence, Content analysis
