

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. Визначення рівня компетентностей
(тема)

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

_____ Ярослав ЛУЧЕНКО _____
(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 _____
 Освітня програма _____ Інженерія програмного забезпечення _____
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
 (підпис)

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Лученко Ярославу Валентиновичу _____
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження методів та моделей адаптивного навчання для вивчення інформаційних технологій. Визначення рівня компетентностей»

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 Наукові роботи що містять: результати тестів студентів, звіти про виконання практичних завдань, дані освітніх платформ, результати аналізу навчальної діяльності за допомогою адаптивних систем; мови програмування C#, TypeScript, технології .NET 8.0, Angular, СУБД Microsoft SQL Server, середовища розробки Rider, WebStorm

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

Дослідження тенденцій в галузі адаптивного навчання, пошук науково обґрунтованих моделей побудови адаптивних моделей навчання, аналіз методів оцінювання компетентностей студентів.

РЕФЕРАТ / ABSTRACT

Пояснювальна записка містить: 83 с., 5 рис., 3 табл., 43 джерела.

АДАПТИВНЕ НАВЧАННЯ, АДАПТИВНІ СИСТЕМИ, ЦИФРОВА ОСВІТА, МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ, ОСВІТА У ГАЛУЗІ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, ПЕРСОНАЛІЗОВАНЕ НАВЧАННЯ, ОСВІТНІ ПЛАТФОРМИ, ОЦІНЮВАННЯ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ.

Об'єктом дослідження є методи та моделі адаптивного навчання [1], орієнтовані на вивчення інформаційних технологій та визначення рівня компетентностей студентів.

Метою роботи є проведення аналізу ефективності різних методів оцінювання компетентностей, таких як тести [2], практичні завдання, адаптивні системи, аналіз освітніх платформ та портфоліо, з використанням багатокритеріального підходу.

Методами дослідження є аналіз наукових джерел, розробка багатокритеріальної моделі оцінювання, а також систематизація даних за такими критеріями, як точність, об'єктивність, адаптивність, універсальність і часова ефективність.

У результаті роботи виконано теоретичне дослідження та розроблено рекомендації щодо використання найефективніших методів оцінювання компетентностей, які можуть бути інтегровані в адаптивні освітні системи.

ADAPTIVE LEARNING, ADAPTIVE SYSTEMS, DIGITAL EDUCATION, ASSESSMENT METHODS, IT EDUCATION, PERSONALIZED LEARNING, EDUCATIONAL PLATFORMS, COMPETENCY ASSESSMENT.

The object of research is methods and models of adaptive learning [1] focused on the study of information technology and determining the level of students' competencies.

The purpose of the study is to analyze the effectiveness of various methods of competency assessment, such as tests [2], practical tasks, adaptive systems, analysis of educational platforms and portfolios, using a multicriteria approach.

The research methods are the analysis of scientific sources, the development of a multicriteria assessment model, and the systematization of data according to such criteria as accuracy, objectivity, adaptability, versatility, and time efficiency.

As a result of the work, a theoretical study was carried out and recommendations were developed on the use of the most effective methods of competence assessment that can be integrated into adaptive educational systems.

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, Лученко Ярослав Валентинович, студент гр. ІПЗм-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. Визначення рівня компетентностей», що буде представлена в екзаменаційну комісію для публічного захисту, виконана самостійно, в ній не містяться елементи плагіату і вона може бути опублікована в репозиторії "EIArKhNURE". Погоджуюся з авторським договором, відповідно до Положення про репозиторій ХНУРЕ "EIArKhNURE". Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання.

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

12.06.2025

ЗМІСТ

Вступ.....	10
1 Аналіз предметної галузі	12
1.1 Специфіка адаптивного навчання в інформаційних технологіях	12
1.2 Оцінка компетентностей у рамках адаптивного навчання	13
1.3 Існуючі підходи до адаптивного навчання.....	14
1.4 Обмеження існуючих підходів	14
1.5 Тенденції та перспективи	15
1.6 Висновки щодо аналізу.....	16
2 Огляд й аналіз літературних, наукових джерел	17
2.1 Огляд основних джерел	17
2.2 Аналіз літератури	18
2.3 Оцінка актуальності та новизни	20
2.4 Висновки з огляду	20
3 Постановка задачі.....	22
3.1 Формулювання задачі	22
3.2 Обґрунтування вибору методів дослідження.....	22
3.2.1 Аналіз наукових публікацій	22
3.2.2 Метааналіз.....	23
3.2.3 Статистичний аналіз	23
3.2.4 Кейс-стаді.....	23
3.3 Обмеження дослідження	23
3.4 Необхідні ресурси	24
3.5 Очікувані результати	24
4 Теоретичне дослідження	25
4.1 Змістовно сформульована задача багатокритеріального вибору	25
4.2 Опис множини альтернатив для задачі вибору	26
4.2.1 Стандартизовані тести	26
4.2.2 Практичні завдання	26
4.2.3 Аналіз статистики освітніх платформ.....	26

	8
4.2.4 Оцінка портфоліо	27
4.2.5 Аналіз результатів навчальної діяльності за допомогою адаптивних систем	27
4.3 Опис множини критеріїв для задачі багатокритеріального вибору.....	28
4.3.1 Точність вимірювання знань і навичок.....	28
4.3.2 Об'єктивність оцінки.....	28
4.3.3 Можливість маніпуляції оцінками	28
4.3.4 Адаптивність до індивідуальних особливостей студентів	29
4.3.5 Можливість моніторингу.....	29
4.3.6 Універсальність і масштабованість	29
4.3.7 Часова ефективність оцінювання	30
4.4 Опис та аналіз шкал за кожним з обраних критеріїв.....	30
4.4.1 Точність вимірювання	30
4.4.2 Об'єктивність оцінки.....	30
4.4.3 Можливість маніпуляції оцінками	31
4.4.4 Адаптивність до індивідуальних особливостей студентів	31
4.4.5 Можливість моніторингу.....	32
4.4.6 Універсальність і масштабованість	32
4.4.7 Часова ефективність оцінювання	32
4.5 Векторний опис альтернатив за обраними критеріями.....	33
4.6 Перетворення векторного опису з метою приведення всіх шкал до принципу оптимальності «за максимумом».....	37
4.7 Аналіз Парето-оптимальності альтернатив	38
4.7.1 Порівняння тестів та практичних завдань:	38
4.7.2 Порівняння тестів та завдань з відкритими відповідями	39
4.7.3 Порівняння тестів та аналізу освітніх платформ	39
4.7.4 Порівняння практичних завдань та оцінки портфоліо	39
4.8 Нормування оцінок за шкалами.....	40
4.9 Вибір згорткової моделі.....	41
4.10 Висновки щодо аналізу.....	43

5 Програмна реалізація	44
5.1 Опис програмної реалізації	44
5.2 Архітектура системи	45
5.3 Модель даних.....	45
5.4 Алгоритм розрахунку рівня засвоєння навичок	47
5.5 Інтерфейс користувача.....	49
5.6 Потенціал подальшого розвитку	51
Висновки	53
Перелік джерел посилання	55
Перелік джерел посилання за науковими напрямками керівника та науковців кафедри програмної інженерії	60
Додаток А Звіт результатів перевірки на унікальність тексту в базі Хнуре.....	61
Додаток Б Слайди презентації	62
Додаток В Апробація результатів роботи.....	73
Додаток Г Експертний висновок результатів перевірки кваліфікаційнох роботи на відповідність оформлення вимогам ДСТУ 3008:2015.....	82
Додаток Д Код алгоритму визначення освоєння навички	83

ВСТУП

Сучасні інформаційні технології стали невід'ємною частиною навчального процесу в різних сферах освіти, роблячи навчання більш доступним, гнучким і ефективним. Дистанційне навчання, онлайн-курси, платформи для самостійного освоєння матеріалу – все це відкриває нові можливості для здобуття знань, дозволяючи навчатися в будь-який час і в будь-якому місці [3]. Проте з розвитком технологій постає нова задача – забезпечення налаштування навчального контенту під потреби конкретного учня, щоб він максимально відповідав його індивідуальним потребам, рівню підготовки та стилю навчання. Тут важливою є роль адаптивних методів навчання, які здатні підлаштовувати процес навчання під особливості кожного учасника, забезпечуючи персоналізований підхід. Адаптивне навчання дозволяє зробити освітній процес не тільки більш доступним, а й більш ефективним, оскільки з його допомогою можна коригувати темп навчання, рівень складності завдань, а також типи матеріалів, що подаються, залежно від прогресу та потреб учня. Таким чином процес навчання стає рівномірним, а результати якіснішими.

Метою даного дослідження є аналіз методів та моделей адаптивного навчання для ефективного вивчення інформаційних технологій та визначення рівня компетентностей учнів і студентів у цій галузі.

Об'єктом дослідження є процеси адаптивного навчання, що орієнтовані на вивчення інформаційних технологій.

Предметом дослідження є методи та моделі адаптивного навчання, а також їх застосування для визначення рівня компетентностей у галузі інформаційних технологій.

Методи дослідження та аналізу:

- аналіз наукових публікацій – для визначення існуючих підходів до адаптивного навчання та оцінки рівня компетентностей в галузі інформаційних технологій;
- метааналіз – для порівняння ефективності різних моделей адаптивного навчання;

- статистичний аналіз – для оцінки результатів застосування адаптивних методів в навчанні, аналізу їх впливу на досягнення студентами бажаних результатів;
- кейс-стаді – для детального вивчення прикладів впровадження адаптивного навчання в різних навчальних закладах.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ

1.1 Специфіка адаптивного навчання в інформаційних технологіях

Однією з ключових характеристик адаптивного навчання є здатність системи підлаштовувати зміст навчання відповідно до рівня знань, уподобань та прогресу учня. У контексті інформаційних технологій, де навчальний процес охоплює такі широкий спектр тем таких, як програмування, кібербезпека або обробка великих даних, цей підхід є надзвичайно важливим. Він дозволяє враховувати різні рівні підготовки студентів, а також їхні специфічні потреби та способи засвоєння матеріалу.

Згідно з дослідженнями Мартіна та його колег [4], більшість сучасних адаптивних систем орієнтовані на індивідуальне тестування знань учнів, виявлення прогалин у їхньому розумінні матеріалу та коригування навчального плану на основі цих даних. Такий підхід дозволяє системі зберігати високий рівень персоналізації та забезпечувати ефективність навчання, адже студент отримує саме той матеріал, який йому потрібен для подальшого розвитку.

Одним із важливих компонентів таких систем є використання когнітивних діагностичних моделей, які допомагають точніше оцінити знання та виявити слабкі місця у навчанні учня. Вони дозволяють не лише визначити, на якому етапі навчання виникають труднощі, а й точно вказати, які саме аспекти матеріалу потребують додаткової уваги.

Найбільш прогресивні адаптивні навчальні системи сьогодні активно інтегрують штучний інтелект та машинне навчання, що дає змогу розробляти динамічні траєкторії навчання в реальному часі. Як зазначено у дослідженні Ванга та Ляна [5], такі системи можуть прогнозувати майбутні труднощі учнів на основі їхнього попереднього досвіду та адаптувати навчальний процес таким чином, щоб кожен студент отримував найбільш підходящий контент саме в той момент, коли це необхідно. Це дозволяє значно підвищити ефективність навчання, оскільки учні отримують необхідну підтримку вчасно.

Інтелектуальні навчальні системи, що інтегрують ці технології, також можуть допомогти не лише з персоналізацією контенту, а й з управлінням

навчальними процесами. Наприклад, вони можуть враховувати не лише знання учня, а й його мотивацію, стиль навчання, а також навіть емоційний стан, що дає можливість ще більш точно налаштувати підхід до кожного учня.

Адаптивні навчальні системи дозволяють не лише ефективно використовувати час навчання, а й гарантують, що кожен учень отримає індивідуальну підтримку та матеріал, необхідний для успішного освоєння складних тем. Технології, засновані на ШІ та машинному навчанні, можуть в майбутньому створити ще більш адаптивні та ефективні освітні системи, які дозволять значно покращити якість навчання на всіх етапах.

1.2 Оцінка компетентностей у рамках адаптивного навчання

Адаптивна оцінка компетентностей є важливою складовою персоналізованого навчання, оскільки дозволяє оцінювати не лише знання учнів, але й їхні навички та поведінкові характеристики, що впливають на прогрес. Як зазначено у роботі Флоріан [8], ефективна система оцінювання базується на репозиторіях завдань, пов'язаних із компетентностями, що дозволяє створювати адаптивні тести для різних категорій учнів. Системи, на кшталт АЕЕА (Adaptive Evaluation Engine Architecture), використовують архітектуру, яка підтримує оцінку компетентностей і автоматизовану генерацію рекомендацій для покращення навчання.

Дослідження Сіттсак [9] описує багатовимірну модель компетентностей, яка враховує не лише рівень знань, а й контекст їхнього застосування. Це дає змогу зберігати профіль компетентностей учнів для довгострокового моніторингу їхніх досягнень і забезпечує більш точну оцінку навичок у реальних ситуаціях.

Особливо важливою є адаптивна оцінка трансверсальних компетентностей, таких як критичне мислення, комунікація та робота в команді. Як підкреслюють Кляйнханс і Шуман [10], інтеграція таких моделей у навчальні системи зменшує час тестування та підвищує якість результатів. Оцінка таких навичок може здійснюватися через адаптивні завдання, що дозволяють краще відстежувати розвиток цих важливих компетентностей.

Загалом, адаптивне оцінювання забезпечує гнучкий та індивідуалізований підхід до оцінки знань і навичок учнів, підвищуючи ефективність навчального процесу та дозволяючи надавати більш точні рекомендації для подальшого розвитку.

1.3 Існуючі підходи до адаптивного навчання

Наукові дослідження останніх років ілюструють різноманіття підходів до адаптивного навчання. Одним із ключових напрямів є розробка систем, орієнтованих на когнітивні особливості учнів. Як зазначає дослідження Мартіна [4], більшість таких систем ґрунтується на використанні моделей когнітивної діагностики, які дозволяють точно визначати прогалини в знаннях та пропонувати відповідний контент. Інший підхід, описаний у статті Ванга [5], передбачає створення так званих пре-концептуальних систем, які аналізують індивідуальні характеристики учнів та їхнє сприйняття навчального матеріалу. Подібний підхід пропонується також у роботах [7], де системи адаптації інтегрують емоційні та соціальні стилі навчання для кращої персоналізації.

Дослідження Кляйнханса [10] демонструють можливості комп'ютеризованого адаптивного тестування (CAT), яке базується на індивідуальних відповідях учнів. Такий підхід зменшує кількість запитань, необхідних для оцінки рівня компетентностей, що підвищує точність і ефективність тестування. Крім того, у роботі Сіттсак [9] підкреслюється важливість використання багатовимірних підходів для інтеграції компетентностей у моделі адаптивного навчання, що робить їх більш придатними для реальних освітніх середовищ.

1.4 Обмеження існуючих підходів

Попри значні успіхи у розробці адаптивних систем, існують певні обмеження, які стримують їхнє широке впровадження. Як зазначається у дослідженнях [4], [5], однією з головних проблем є недостатня інтеграція адаптивного навчання у традиційні освітні програми. Крім того, висока

залежність від великих даних створює виклики щодо конфіденційності інформації та її точності. Ще одним важливим аспектом є обмеженість алгоритмів, які не завжди здатні точно враховувати складні когнітивні процеси учнів.

Додатково, як зазначає Ванг [5], ефективність адаптивного навчання значною мірою залежить від правильної інтерпретації результатів діагностики. Помилки на цьому етапі можуть призводити до формування неправильних навчальних траєкторій, що знижує якість освіти. У роботі [7] описуються також труднощі, пов'язані з інтеграцією нових характеристик учнів, таких як емоційний стан або культурний контекст, у процес адаптації.

Ще одним викликом є недостатнє охоплення трансверсальних компетентностей у процесі оцінки. Як зазначається у роботі Флоріан [8], багато сучасних систем зосереджені на технічних навичках, ігноруючи важливі аспекти співпраці та міжособистісної взаємодії, що є важливими для навчання інформаційних технологій.

1.5 Тенденції та перспективи

Сучасні дослідження демонструють значний потенціал адаптивного навчання у майбутньому. Наприклад, інтеграція когнітивної діагностики з елементами штучного інтелекту дозволяє створювати високоточні системи персоналізації. Це підтверджується роботами Мартіна [4], де описується можливість використання адаптивних платформ для масових відкритих онлайн-курсів (МООС), що значно розширює доступ до якісної освіти. Крім того, дослідження у роботах [6], [7] показують, як адаптивні моделі можуть підтримувати навчання у реальному часі шляхом аналізу поведінки учнів.

Ще одним перспективним напрямом є розробка систем, орієнтованих на інклюзію. Як зазначається у роботі Ванга [5], адаптивне навчання може бути корисним для учнів з різними потребами, забезпечуючи рівний доступ до знань. У дослідженнях Сіттісака [9] підкреслюється важливість багатовимірних моделей, які підтримують інтеграцію навчальних та оцінювальних процесів, підвищуючи їхню ефективність.

Інтеграція трансверсальних компетентностей є ще одним важливим аспектом, який потребує подальшого вивчення. Як зазначається у роботах Флоріан [8] та Кляйнханса [10], адаптивні системи повинні включати механізми для розвитку і оцінки таких навичок, як комунікація, лідерство та критичне мислення, що дозволить готувати учнів до складних завдань у реальному світі.

1.6 Висновки щодо аналізу

Адаптивне навчання у сфері інформаційних технологій є інноваційним підходом, який дозволяє значно підвищити ефективність освітнього процесу. Використання сучасних технологій, таких як штучний інтелект, когнітивна діагностика та багатовимірні моделі компетентностей, створює нові можливості для персоналізації освіти. Попри існуючі обмеження, перспективи розвитку цієї галузі залишаються оптимістичними завдяки активному впровадженню новітніх технологій.

2 ОГЛЯД Й АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ, НАУКОВИХ ДЖЕРЕЛ

2.1 Огляд основних джерел

Для виконання даного огляду було використано широкий спектр наукових статей, опублікованих у фахових журналах, конференційних збірниках і електронних бібліотеках. Основними критеріями для відбору джерел стали:

- авторитетність (статті, опубліковані у високорейтингових виданнях, таких як Educational Technology Research & Development, Scientific Programming, а також у провідних IEEE конференціях);
- актуальність (джерела, опубліковані переважно після 2015 року, що враховують сучасний стан технологій та освіти; вибір акцентовано на новітніх дослідженнях у галузі адаптивного навчання та оцінки компетентностей);
- об'єктивність (вибрані джерела базуються на емпіричних дослідженнях, систематичних оглядах і прозорих методологіях, що забезпечує їх надійність);
- достовірність (перевагу надано роботам, які використовують перевірені алгоритми та методи аналізу, підтверджені реальними результатами впровадження).

У контексті адаптивного навчання важливим було відібрати джерела, які охоплюють як теоретичні основи, так і прикладні аспекти. Наприклад, роботи Мартіна та його колег [4] пропонують фундаментальний аналіз методів адаптивного навчання за останнє десятиліття, зосереджуючи увагу на персоналізованих траєкторіях і використанні великих даних. Дослідження Ванга та Ляна [5] додають глибини, зосереджуючи увагу на когнітивній діагностиці, що є ключовим компонентом багатьох сучасних систем. Особливу увагу було приділено джерелам, які висвітлюють моделі оцінки компетентностей, зокрема роботам Сіттісака [9] та Флоріан [8], які розробляють інноваційні підходи до оцінювання в адаптивних середовищах. Крім того, Кляйнханс [10] запропонував практичні рішення для автоматизації тестування.

Додатково, відбір джерел був орієнтований на ті, які демонструють прикладний потенціал у реальних освітніх середовищах. Наприклад, робота Сіттисака детально аналізує багатовимірні моделі, що дозволяють розвивати не лише технічні навички, а й трансверсальні компетентності, такі як співпраця і критичне мислення. У свою чергу, дослідження Кляйнханса підкреслює важливість адаптивного тестування для оптимізації освітніх процесів у великих групах.

2.2 Аналіз літератури

Адаптивне навчання базується на низці теоретичних концепцій, які включають когнітивну діагностику, інтеграцію великих даних і штучного інтелекту в освітній процес. Дослідження Мартіна [4] підкреслює важливість адаптації навчальних траєкторій через виявлення прогалів у знаннях учнів. Ця теорія підтримується роботами Ванга [5], який пропонує використовувати ієрархічні структури для діагностики та прогнозування навчальних викликів. Такі підходи забезпечують не лише індивідуалізацію навчання, але й можливість динамічного налаштування змісту, що підвищує ефективність навчального процесу.

Інша важлива концепція полягає у використанні багатовимірних моделей, які охоплюють різні аспекти навчального досвіду. Сіттисак [9] запропонував інтегрувати технічні, когнітивні та соціальні компетентності в єдину систему, що дозволяє отримати більш комплексну картину навчальних результатів. Наприклад, модель оцінювання, описана у його дослідженні, враховує як академічні досягнення, так і міжособистісні навички, що робить її придатною для реальних освітніх середовищ. Водночас, Кляйнханс [10] наголошує на необхідності автоматизації процесу тестування, що дозволяє значно зменшити час на оцінювання без втрати точності.

Розглядаючи адаптивне навчання в контексті сучасних платформ, таких як MOOC, слід зазначити, що ці платформи інтегрують штучний інтелект для аналізу прогресу учнів. Наприклад, у Coursera застосовуються алгоритми

машинного навчання для персоналізації контенту відповідно до індивідуальних потреб користувачів. Такі концепції дозволяють не лише підвищувати ефективність навчання, але й знижувати рівень відсіву учнів, який є типовим для масових онлайн-курсів. Додатково, важливим є інтеграція елементів гейміфікації для підвищення залученості учнів.

Методи, застосовані в розглянутих джерелах, є різноманітними й охоплюють як якісні, так і кількісні підходи. Наприклад, Флоріан [8] застосував архітектуру АБЕА для створення автоматизованої системи оцінки компетентностей, яка інтегрує когнітивні моделі з алгоритмами машинного навчання. У дослідженні Ванга [5] використовувалися алгоритми прогнозування на основі великих даних, що дозволяють створювати точніші навчальні траєкторії.

Особливістю підходів, представлених у літературі, є їхня орієнтація на аналіз поведінкових даних. Наприклад, система, запропонована Вангом, дозволяє не лише оцінювати рівень знань, але й передбачати потенційні труднощі на основі історичних даних про учнів. Подібні методи широко застосовуються у MOOC-платформах, таких як Coursera та edX, де адаптивні алгоритми використовуються для персоналізації навчального досвіду. У роботі Сіттсака [9] також зазначається важливість врахування емоційного стану учнів, що може впливати на якість засвоєння матеріалу.

Методи багатовимірної діагностики, запропоновані Сіттсаком, включають комплексний аналіз когнітивних та емоційних факторів. Наприклад, використання анкет для оцінки самопочуття учнів дозволяє системам адаптувати складність навчального контенту відповідно до емоційного стану, що знижує рівень стресу та підвищує мотивацію до навчання. Крім того, ці моделі можуть інтегрувати дані з зовнішніх джерел, таких як результати попередніх тестів чи відгуки викладачів, що робить процес оцінки ще точнішим.

2.3 Оцінка актуальності та новизни

Усі розглянуті джерела відповідають сучасним викликам цифрового навчання, зокрема потребі в персоналізації та інтеграції технологій. Наприклад, дослідження Мартіна [4] пропонує нові підходи до масового онлайн навчання через MOOC-платформи, тоді як Ванг [5] досліджує когнітивні моделі, що забезпечують індивідуалізацію навчального досвіду. У роботах Сіттисака [9] розглядаються багатовимірні оцінювальні моделі, які дозволяють забезпечити глибокий аналіз трансверсальних компетентностей учнів.

Сучасна освіта стикається з викликами, пов'язаними зі швидкими змінами у вимогах до компетентностей. Наприклад, розвиток інформаційних технологій вимагає постійного вдосконалення знань і навичок. У цьому контексті адаптивні системи навчання стають ключовим інструментом для задоволення цих потреб. Дослідження, розглянуті в огляді, пропонують рішення для ефективного впровадження таких систем, що підтверджує їхню актуальність.

Наукова новизна розглянутих джерел полягає в інноваційних підходах до оцінки компетентностей і навчальних траєкторій. Наприклад, Флоріан [8] запропонував інтеграцію автоматизованих систем оцінки з багатовимірними моделями, що дозволяє підвищити точність і швидкість оцінювання. У роботах Кляйнханса [10] досліджується ефективність адаптивного тестування, яке знижує рівень стресу учнів і оптимізує навчальний процес.

Іншою ключовою новизною є інтеграція трансверсальних компетентностей у системи навчання, як це пропонує Сіттисак [9]. Такий підхід дозволяє створювати навчальні платформи, які одночасно розвивають когнітивні, технічні та соціальні навички. Це не лише покращує освітній процес, але й забезпечує учнів необхідними компетентностями для сучасного світу.

2.4 Висновки з огляду

Огляд літератури показав, що адаптивне навчання є надзвичайно перспективною галуззю, яка активно розвивається. Основні ідеї:

- адаптивні моделі навчання дозволяють значно підвищити ефективність освітнього процесу завдяки персоналізації навчального досвіду та інтеграції сучасних технологій;
- значні прогалини у впровадженні трансверсальних компетентностей відкривають нові можливості для досліджень і вдосконалення систем навчання;
- інноваційні методи, такі як багатовимірне оцінювання та комп'ютеризоване тестування, демонструють значний потенціал для оптимізації освітніх програм;
- подальші дослідження повинні зосереджуватися на створенні інклюзивних адаптивних систем, які враховують емоційні та соціальні аспекти навчання, а також на інтеграції штучного інтелекту для покращення когнітивної діагностики.

Таким чином, сучасні дослідження створюють міцну основу для подальшого розвитку адаптивного навчання, яке відповідає потребам сьогодення та забезпечує нові можливості для учнів і педагогів.

3 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

3.1 Формулювання задачі

Основна задача цього дослідження полягає у визначенні найбільш актуальних і сучасних методів, які використовуються для оцінювання компетентностей студентів у рамках адаптивного навчання. Ця задача включає:

- а) аналіз існуючих методів оцінювання компетентностей:
 1. огляд найбільш поширених моделей і підходів до оцінювання компетентностей;
 2. визначення їхніх переваг, обмежень та особливостей використання у різних навчальних середовищах;
- б) вибір критеріїв для порівняння. Ця задача полягає в розробці критеріїв оцінювання методів, які включають точність, об'єктивність, швидкість отримання результатів та адаптованість до потреб учнів;
- в) систематизація даних. Порівняння методів за обраними критеріями та визначення найбільш ефективних підходів для використання в адаптивному навчанні.

3.2 Обґрунтування вибору методів дослідження

Методи дослідження включають:

- аналіз наукових публікацій;
- метааналіз;
- статистичний аналіз;
- кейс-стаді.

3.2.1 Аналіз наукових публікацій

Цей метод є ключовим для систематизації знань про існуючі підходи до оцінювання компетентностей. Він дозволяє виявити, які моделі є найбільш ефективними, а які – застарілими або такими, що мають обмеження у практичному застосуванні.

3.2.2 Метааналіз

Метааналіз забезпечує можливість порівняння результатів попередніх досліджень у цій галузі. Це дає змогу оцінити, наскільки ефективними є різні методи в реальних умовах навчання.

3.2.3 Статистичний аналіз

Використання статистичних методів дозволяє отримати кількісну оцінку результатів застосування різних методів оцінювання компетентностей. Це включає аналіз даних про точність, надійність і об'єктивність результатів.

3.2.4 Кейс-стаді

Цей метод забезпечує детальний аналіз конкретних прикладів впровадження адаптивного навчання. Він дозволяє дослідити, як різні моделі працюють у практиці та які результати вони демонструють у реальних навчальних умовах.

3.3 Обмеження дослідження

Дослідження має наступні обмеження:

- часові обмеження (дослідження обмежене часовими рамками, що може вплинути на глибину аналізу всіх доступних методів);
- ресурсні обмеження (використовуються лише ті дані та матеріали, які доступні у відкритих джерелах або надані освітніми установами);
- теоретичний характер (дослідження не передбачає розробки чи тестування нових моделей, а зосереджується на теоретичному аналізі);
- обмежений доступ до емпіричних даних (у дослідженні можуть використовуватись лише доступні загальнодоступні дані, що впливає на можливість оцінки унікальних практичних випадків);
- різноманітність навчальних середовищ (через різні умови, в яких використовуються адаптивні моделі, результати дослідження можуть бути обмежені до загальних висновків і рекомендацій, а не специфічних для кожного середовища);

- суб'єктивність оцінки (не зважаючи на використання об'єктивних методів, частина оцінки може залежати від інтерпретації дослідників, що впливає на повну нейтральність висновків).

3.4 Необхідні ресурси

Для виконання дослідження потрібні наукові джерела, зокрема статті у фахових журналах з освітніх технологій, а також огляди та метааналізи попередніх досліджень. Додатково використовуватимуться платформи для збору та систематизації наукових статей, такі як Scopus або Web of Science. Усі ці ресурси створять основу для систематизації даних і формування висновків.

3.5 Очікувані результати

Результатом дослідження стане систематизований огляд сучасних методів оцінювання компетентностей студентів у рамках адаптивного навчання. Це дослідження дозволить сформувані обґрунтовані рекомендації щодо вибору найбільш ефективних підходів, які можуть бути використані в адаптивних системах навчання. Крім того, будуть визначені ключові тенденції розвитку методів оцінювання, що забезпечить їхню адаптацію до сучасних вимог освітнього процесу. Отримані висновки стануть основою для подальших теоретичних і практичних досліджень у галузі адаптивного навчання.

4 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Змістовно сформульована задача багатокритеріального вибору

Точність і об'єктивність оцінювання компетентностей є критичними для забезпечення прозорості та ефективності освітнього процесу. Згідно із дослідженнями Ванга та Ляна [5], методи оцінювання, які інтегрують аналіз статистичних даних і когнітивні моделі, дозволяють досягти значного підвищення точності оцінки. Аналогічно, роботи Сіттісака [9] демонструють важливість використання багатовимірного підходу, який включає тести, практичні завдання, а також аналіз результатів навчальної діяльності. Такі підходи дозволяють більш повно оцінити рівень підготовки студентів і їх здатність застосовувати знання у реальних умовах.

Задача полягає у виборі найбільш ефективних методів або моделей для визначення рівня компетентностей студентів у галузі інформаційних технологій. Ці методи будуть використані для подальшої комбінації та створення програмної реалізації адаптивної системи. При оцінці ефективності враховуються наступні критерії:

- точність вимірювання;
- об'єктивність оцінки;
- можливість маніпуляції оцінками;
- адаптивність до індивідуальних особливостей студентів;
- можливість моніторингу;
- універсальність і масштабованість;
- часова ефективність оцінювання.

Вибір методів, що відповідають цим критеріям, дозволить підвищити якість навчального процесу, оптимізувати витрати часу та ресурсів, а також забезпечити об'єктивність і достовірність результатів оцінювання.

4.2 Опис множини альтернатив для задачі вибору

4.2.1 Стандартизовані тести

Тести, що перевіряють теоретичні знання студентів з предмету. Студентам пропонуються питання з вибором правильної відповіді, множинного вибору або відкриті питання.

Переваги. Цей підхід є швидким, стандартизованим (дозволяє систематизувати процес оцінювання) і є легким для подальшого аналізу. Дозволяє автоматичне оцінювання. За рахунок швидкості та простоти проходження, дозволяє оцінити загальний рівень знань по темі.

Недоліки. Не дозволяють оцінити практичні навички повною мірою. Крім цього результати залежать від підходу студента до навчання (при перевазі практичного підходу, студент може знати відповідь на питання, але мати проблеми з термінологією).

4.2.2 Практичні завдання

Завдання, орієнтовані на виконання практичних задач (розробка програмного забезпечення, налаштування мережі, розв'язання технічних проблем). Оцінка здійснюється на основі результату роботи студента. Враховується точність виконання та універсальність рішення для різних вхідних умов.

Переваги. Дозволяють оцінити не лише теоретичний рівень знань, а й практичні навички. Підходить для точної оцінки конкретних компетенцій.

Недоліки. Можуть вимагати значних витрат часу. При цьому, формування стандартизованих критеріїв оцінки може бути складним, а при автоматизації перевірки, необхідно робити систему, яка враховуватиме усі можливі рішення. Для збільшення точності, може потребувати перевірки завдань людьми. Може не завжди відображати рівень теоретичних знань студента.

4.2.3 Аналіз статистики освітніх платформ

Аналіз статистики освітніх платформ передбачає використання даних, отриманих із платформ онлайн навчання (Coursera, Udemy, EdX тощо). Збір

інформації про активність студентів, їхній прогрес, кількість успішно завершених курсів та завдань, кількість взаємодій з контентом, оцінки за тестування та інших параметрів.

Переваги. Може надавати об'єктивну картину рівня компетенцій за рахунок оцінки виконання практичних та теоретичних завдань. Потребує мінімальних витрат часу і зусиль (для зчитування даних з платформ та оцінки). Також можливо моніторити прогрес на постійній основі, підтримуючи дані про рівень компетентностей студента актуальними.

Недоліки. Можуть потребувати глибокого аналізу контенту платформ для більш точної оцінки компетентностей. Платформи можуть мати певні обмеження по доступним для збирання даним.

4.2.4 Оцінка портфоліо

Оцінка набору робіт студента, який складається з різних документів, проектів, вправ, розв'язків задач і відгуків, що фіксують його процес навчання та досягнення.

Переваги. Підхід дозволяє оцінити компетентності студента поза навчальними платформами та тестовими завданнями. Також враховує різноманітні навички (креативність, критичне мислення, аналітичні здібності).

Недоліки. Вимагає значного часу для підготовки та оцінки. Може бути складним для стандартизованого оцінювання через різноманітність форматів робіт. Вимагає оцінки людьми. Потребує складної і чіткої методології оцінювання.

4.2.5 Аналіз результатів навчальної діяльності за допомогою адаптивних систем

Використання системи, що збирають дані про прогрес студента в реальному часі і автоматично підлаштовують навчальні матеріали та завдання під потреби студента.

Переваги. Забезпечує безперервний моніторинг навчальної діяльності студента. Покращує точність оцінок за рахунок адаптованих завдань та покращує навчальний процес.

Недоліки. Потребує створення та налаштування системи перед використанням. Необхідний час на адаптацію і покращення точності системи до навчальних матеріалів (за рахунок збору відгуків, визначення компетенцій після проходження адаптованих матеріалів).

4.3 Опис множини критеріїв для задачі багатокритеріального вибору

4.3.1 Точність вимірювання знань і навичок

Критерій оцінює, наскільки методи здатні точно відобразити реальний рівень знань і навичок студента. Це включає визначення, наскільки ефективно метод дозволяє оцінити як теоретичні, так і практичні знання.

Є важливим для того, щоб результат був репрезентативним і точно відображав рівень компетентностей. Без точного вимірювання неможливо зробити правильні висновки щодо прогресу та необхідних для покращення областей.

4.3.2 Об'єктивність оцінки

Оцінює, наскільки метод дозволяє отримати об'єктивні результати, враховуючи суб'єктивний вплив викладача. Об'єктивність важлива для того, щоб оцінка точно відображала рівень компетентностей студентів, без зовнішніх упереджень.

Дозволяє забезпечити справедливі умови для всіх студентів. Дозволяє оцінити наскільки оцінка залежить від суб'єктивних чинників, таких як симпатії чи оцінка викладача.

4.3.3 Можливість маніпуляції оцінками

Цей критерій визначає, наскільки метод оцінювання є вразливим до можливості маніпулювання результатами. Включає використання сторонніх осіб

для виконання завдань, пошук відповідей в інтернеті та можливість залучення знайомих людей для оцінювання виконаних робіт.

Якщо система дозволяє студентам «обійти» систему, то оцінка може виявитися неточною і спричинити проблеми при визначенні реального рівня знань. Оцінювання, що дозволяє маніпуляції оцінками, не є надійним інструментом для виявлення реальних компетентностей.

4.3.4 Адаптивність до індивідуальних особливостей студентів

Критерій оцінює наскільки ефективно система оцінювання адаптується до індивідуальних особливостей і прогресу.

Дозволяє точніше оцінити рівень компетентностей студентів. Адаптивність методів оцінювання сприяє розвитку потенціалу кожного студента і підвищує ефективність навчання.

4.3.5 Можливість моніторингу

Визначає, наскільки легко оцінка та її методика дозволяють здійснювати моніторинг прогресу студентів, а також адаптувати методи та стратегії навчання на основі отриманих результатів.

Оцінює можливість постійного моніторингу для коригування навчального процесу та системи оцінювання в залежності від успіхів або труднощів студентів. Це дозволяє зробити навчання більш ефективним за рахунок вчасного виявлення проблем.

4.3.6 Універсальність і масштабованість

Визначає здатність методу працювати не лише для окремих студентів, але й для групи студентів з різними рівнями знань, а також для масштабування на більші групи або курси.

Важливо щоб метод дозволяв його ефективну використання у різних навчальних ситуаціях та для різних за розмірів груп студентів, без необхідності значних змін.

4.3.7 Часова ефективність оцінювання

Визначає, скільки часу потрібно для реалізації методу оцінювання. Враховує час на виконання завдань і час на оцінювання.

Важливо готувати та проводити оцінювання швидко для забезпечення бездоганного користувацького досвіду і, відповідно, підтримки високого рівня задоволеності роботою системи. Крім того, оцінка повинна бути швидкою, щоб не затримувати навчальний процес і не вимагати надмірних ресурсів для перевірки.

4.4 Опис та аналіз шкал за кожним з обраних критеріїв

4.4.1 Точність вимірювання

Шкала для вимірювання того, наскільки точно оцінка відображає реальний рівень знань студента.

Тип шкали. Порядкова шкала (вимірювання точності, але без точного вимірювання відстаней між рівнями).

Значення шкали:

- 1 – низька точність (оцінка не відображає реальний рівень знань через невідповідність завдань або неадекватні критерії оцінки);
- 2 – середня точність (оцінка досить точно відображає рівень знань, але є певні неточності);
- 3 – висока точність (оцінка повністю відповідає реальному рівню знань студента).

4.4.2 Об'єктивність оцінки

Шкала для вимірювання наскільки суб'єктивний вплив людей впливає на оцінку.

Тип шкали. Порядкова шкала (можна оцінити рівень об'єктивності, але без точного вимірювання відстаней між рівнями).

Значення шкали:

- 1 – низька об'єктивність (оцінка значно залежить від упереджень викладача або інших чинників);

- 2 – середня об'єктивність (оцінка більш-менш об'єктивна, але є певна суб'єктивність);
- 3 – висока об'єктивність (оцінка чітко відображає досягнення студента без суб'єктивних впливів).

4.4.3 Можливість маніпуляції оцінками

Шкала для визначення того, який рівень маніпуляцій допускається методом.

Тип шкали. Порядкова шкала (визначення відсутності або наявності маніпуляцій, без точного вимірювання величини).

Значення шкали:

- 1 – висока можливість маніпуляції (легко маніпулювати оцінками через недосконалі механізми перевірки);
- 2 – середня можливість маніпуляції (є певні можливості маніпуляцій, але вони обмежені);
- 3 – низька можливість маніпуляції (оцінка важко піддається маніпуляціям завдяки надійним системам контролю та перевірки).

4.4.4 Адаптивність до індивідуальних особливостей студентів

Шкала для визначення рівня адаптивності методу.

Тип шкали. Порядкова шкала (дозволяє оцінити порядок і рівень адаптації без точного вимірювання відстані між значеннями).

Значення шкали:

- 1 – низька адаптивність (метод не враховує індивідуальні особливості студентів або враховує дуже обмежено);
- 2 – середня адаптивність (метод частково враховує індивідуальні потреби студентів, але без детальної персоналізації);
- 3 – висока адаптивність (метод максимально персоналізує навчальний процес для кожного студента, враховуючи його індивідуальні особливості – рівень знань, темп засвоєння матеріалу).

4.4.5 Можливість моніторингу

Шкала для оцінки можливостей моніторингу і застосування цих даних для подальшої адаптації.

Тип шкали. Порядкова шкала (щоб оцінити рівень моніторингу без точного вимірювання відстані між рівнями).

Значення шкали:

- 1 – низька можливість моніторингу (мінімальна здатність до моніторингу та адаптації, можливості обмежені);
- 2 – середня можливість моніторингу (система дозволяє моніторинг, але є обмеження використання цих даних для адаптації системи);
- 3 – висока можливість моніторингу (система ефективно відстежує прогрес студента та дозволяє використовувати ці дані для точної адаптації до потреб студента).

4.4.6 Універсальність і масштабованість

Вимірює, наскільки метод оцінювання підходить для різних груп студентів і як його можна масштабувати для великих груп.

Тип шкали. Порядкова шкала (рівень без точного вимірювання відстані між рівнями).

Значення шкали:

- 1 – низька універсальність (метод підходить лише для окремих груп студентів або обмежених умов);
- 2 – середня універсальність (метод можна використовувати для кількох груп, але з обмеженнями);
- 3 – висока універсальність (метод легко масштабувати для великої кількості студентів та різних умов).

4.4.7 Часова ефективність оцінювання

Визначає ефективність оцінювання в часі.

Тип шкали. Порядкова шкала (рівень без точного вимірювання відстані між рівнями).

Значення шкали:

- 1 – не потребує участі людей для оцінки;
- 2 – середні витрати часу (до 15 хвилин) на оцінювання одного студента;
- 3 – високі витрати часу (від 16 хвилин до 2 годин).

4.5 Векторний опис альтернатив за обраними критеріями

В таблиці 4.1 наведено векторний опис альтернатив за обраними критеріями.

Таблиця 4.1 – Векторний опис альтернатив за обраними критеріями.

Критерії/методи	Тести	Практичні завдання	Завдання з відкритим і відповідями	Аналіз освітніх платформ	Оцінка портфоліо
Точність вимірювання	2 (Середня)	3 (Висока)	3 (Висока)	2 (Середня)	3 (Висока)
Об'єктивність оцінки	3 (Висока)	2 (Середня)	2 (Середня)	2 (Середня)	2 (Середня)
Можливість маніпуляції оцінками	2 (Середня)	2 (Середня)	2 (Середня)	2 (Середня)	2 (Середня)
Адаптивність до індивідуальних особливостей студентів	3 (Висока)	3 (Висока)	3 (Висока)	2 (Середня)	3 (Висока)
Можливість моніторингу	3 (Висока)	2 (Середня)	2 (Середня)	1 (Низька)	1 (Низька)
Універсальність і масштабованість	3 (Висока)	2 (Середня)	2 (Середня)	2 (Середня)	2 (Середня)
Часова ефективність оцінювання	1 (Не потребує участі людей)	2 (Середні витрати часу)	2 (Середні витрати часу)	1 (Не потребує участі людей)	3 (Високі витрати часу)

Тестування може оцінювати знання з високою надійністю для об'єктивних фактів і понять, але менш ефективно при оцінюванні глибини розуміння або креативності. Точність тестів може бути нижчою через випадкові здогадки та недостатню гнучкість завдань [11]. Практичні завдання дозволяють оцінити, як добре студент може застосовувати знання на практиці, що часто точніше відображає реальний рівень компетенції [12]. Завдання з відкритими відповідями дозволяють глибше оцінити розуміння студентом матеріалу, його аналітичні та критичні навички. Цей тип завдань сприяє виявленню рівня мислення вищого порядку [13]. Освітні платформи мають ті самі недоліки, оскільки використовують попередньо вказані завдання для оцінки знань студентів. При цьому в більшості онлайн курсів переважають саме тестові завдання, оскільки для їх перевірки необхідно менше ресурсів, в той час як практичні завдання з оцінками сокурсників показують низьку точність оцінювання [14]. Портфоліо дозволяє глибоко оцінити знання та навички студента, оскільки включає різноманітні роботи, що демонструють прогрес. Дослідження показують, що портфоліо сприяє розвитку критичного мислення та саморефлексії, що підвищує точність оцінювання [15].

Стандартизовані тести забезпечують високу об'єктивність, особливо з автоматизованим оцінюванням, оскільки автоматизоване тестування мінімізує людський фактор [16]. При оцінюванні практичних завдань можливий суб'єктивізм – оцінки залежать від критеріїв та інтерпретації викладача. Можна підвищити об'єктивність через рубрики [17]. Оцінювання відкритих відповідей може бути суб'єктивним через різні інтерпретації відповідей оцінювачами. Так само як і з практичними завданнями, використання чітких рубрик та критеріїв оцінювання може підвищити об'єктивність, але повністю усунути суб'єктивність складно [18]. Незважаючи на перевагу тестів в навчальних курсах, деякі дисципліни неможливо об'єктивно оцінити з їх допомогою. Для них використовуються практичні завдання що оцінюються сокурсниками, які мають відносно низьку об'єктивність, яка підвищується лише з кураторами курсів [19]. Оцінювання портфоліо може бути суб'єктивним через різні інтерпретації

викладачів. Використання чітких рубрик та критеріїв оцінювання може підвищити об'єктивність [20].

Існують ризики списування, повторного проходження, підготовки лише до конкретних завдань [21]. Але системи типу proctoring знижують ці ризики [22]. Для практичних завдань є ризик плагіату або використання сторонньої допомоги, особливо без перевірки автентичності [23][24]. Відповіді на відкриті запитання в навчальних системах мають ризик бути створені зі сторонньою допомогою, або з використанням нейромереж [25]. Онлайн курси стикаються з плагіатом, копіюванням з онлайн-джерел, участю у несанкціонованій співпраці, шахрайством під час онлайн-іспитів, купівлею або обміном відповідями, використанням інструментів для шахрайства та доступ до несанкціонованих ресурсів [26]. Але певні освітні платформи використовують proctoring системи, що покарашують систему [22]. Існує ризик, що студенти можуть включати в портфоліо роботи, не створені самостійно. Однак вимога надання чернеток, рефлексій та процесуальних матеріалів зменшує цю можливість [27].

Тести в стандартному вигляді є статичними з однаковим набором питань для усіх учнів, але існують комп'ютеризовані адаптивні тести (CAT), які можуть досягти такої ж точності, як і звичайні, але з меншою кількістю тестових завдань, забезпечуючи високий рівень сприйняття серед студентів [28]. Практичні завдання можуть бути адаптовані до рівня студента, його інтересів, темпу тощо – особливо в умовах персоналізованого навчання [29]. Завдання з відкритими відповідями дозволяють студентам виражати свої думки та підходи до вирішення проблем, що сприяє врахуванню індивідуальних особливостей та стилів навчання [30]. Адаптивність освітніх платформ базується на можливості обрати будь яку платформу та будь який курс під свій рівень і їх результати будуть враховані в оцінку знань. З точки зору автоматичної адаптації під рівень знань студентів, наразі цей напрям активно розвивається, але на практиці меншість платформ мають такі інструменти [31]. Портфоліо дозволяє студентам обирати роботи, що відображають їхні інтереси та сильні сторони – відповідно, сприяючи персоналізації навчання [32].

Онлайн-платформи фіксують результати виконання завдань, час виконання, частоту спроб, що дозволяє будувати аналітику прогресу [33]. Відповідно це стосується як результатів тестів, так і практичних завдань із завданнями з відкритими відповідями. Прогрес у практичних завданнях відслідковувати важче, особливо без автоматизації. Але можлива побудова аналітики через трекінг етапів виконання [34]. Моніторинг прогресу студентів через відкриті завдання може бути складнішим порівняно з тестами з закритими відповідями. Однак аналіз змін у якості відповідей та використання аналітичних інструментів може забезпечити певний рівень моніторингу [35]. А що стосується аналізу освітніх платформ, дані з їх API є обмеженими і їх обсяг і детальність залежить від самої платформи. Оцінка портфоліо є процесом з низькими можливостями до моніторингу, оскільки відомий лише фактичний результат виконання роботи без додаткових параметрів таких як співвідношення витрат часу на різні етапи роботи, кількість виправлень (наприклад рефакторинг коду) та інших.

Тести, практичні завдання, завдання з відкритими відповідями можуть бути ефективно масштабовані для тисяч користувачів за умови використання сучасних технічних рішень, автоматизації та оптимізації процесів. Проте для стабільної роботи важливо враховувати технічні обмеження платформи та впроваджувати системи контролю якості й надійності [36]. Практичні завдання важко масштабувати на великі групи без автоматичного або частково автоматичного оцінювання. Придатність залежить від галузі (краще для IT, гірше для масових MOOC з гуманітарних предметів), але не всі IT теми однаково добре масштабуються [37]. Для завдань з відкритими відповідями існують ефективні методи автоматизованої оцінки, але вони потребують використання нейромереж з достатньою кількістю даних для тренування [38]. Разом з тим, аналіз даних з освітніх платформ мають певні обмеження, оскільки кожна з них має власний API, а отже потребує окремих налаштувань для збору даних. Крім цього відсутній стандартний вигляд даних між усіма освітніми платформами. Оцінювання портфоліо потребує участі людей, оскільки роботи усіх учнів є унікальними, а значить складно спроектувати автоматизовану систему, що аналізуватиме усі

особливості наданих робіт, хоч часткова автоматизація і можлива [39]. Масштабування оцінювання портфоліо впирається в кількість людей, що займаються оцінкою.

Автоматизоване оцінювання тестів в освітніх системах може досягати більш послідовних результатів та зменшувати ресурсоємність порівняно з оцінюванням людиною [40]. При цьому не всі практичні завдання можуть бути оцінені автоматично (наприклад завдання з UI/UX), але для програмування точність може бути до 98,5% [41]. Автоматичне оцінювання відкритих запитань показує різні результати, але поки що є недостатньо точними, тож застосовуються змішані моделі [42]. Оцінювання студентів по їх результатам навчання на інших освітніх платформах не потребує участі людей, оскільки для отримання даних потрібен лише доступ до API та прив'язка облікових записів інших платформ. Автоматизовані системи оцінки портфоліо передбачають автоматизацію супутніх процесів, а не самого оцінювання, тож часові витрати є великими [39].

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

В таблиці 4.2 зображено результати приведення всіх шкал до принципу оптимальності.

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

Критерії/методи	Тести	Практичні завдання	Завдання з відкритими відповідями	Аналіз освітніх платформ	Оцінка портфоліо
Точність вимірювання	2	3	3	2	3
Об'єктивність оцінки	3	2	2	2	2
Мінімізація можливості маніпуляції оцінками	1	1	1	1	1

Кінець таблиці 4.2

Критерії/методи	Тести	Практичні завдання	Завдання з відкритими відповідями	Аналіз освітніх платформ	Оцінка портфоліо
Адаптивність до індивідуальних особливостей студентів	3	3	3	2	3
Можливість моніторингу	3	2	2	1	1
Універсальність і масштабованість	3	2	2	2	2
Мінімізація часових витрат	2	1	1	2	0

Оскільки мета системи мінімізувати маніпуляції оцінками і мінімізація часових витрат, змінюються значення цих шкал.

4.7 Аналіз Парето-оптимальності альтернатив

4.7.1 Порівняння тестів та практичних завдань

Точність вимірювання: 2 (Тести) < 3 (Практичні завдання) – практичні завдання кращі.

Об'єктивність оцінки: 3 (Тести) > 2 (Практичні завдання) – тести кращі.

Мінімізація можливості маніпуляції оцінками: 1 (Тести) = 1 (Практичні завдання) – рівні.

Адаптивність до індивідуальних особливостей студентів: 3 (Тести) = 3 (Практичні завдання) – рівні.

Можливість моніторингу: 3 (Тести) > 2 (Практичні завдання) – тести кращі.

Універсальність і масштабованість: 3 (Тести) > 2 (Практичні завдання) – тести кращі.

Мінімізація часових витрат: 2 (Тести) > 1 (Практичні завдання) – тести кращі.

Обидві альтернативи є Парето-оптимальними.

4.7.2 Порівняння тестів та завдань з відкритими відповідями

Точність вимірювання: 2 (Тести) $<$ 3 (Відкриті відповіді) – відкриті відповіді кращі.

Об'єктивність оцінки: 3 (Тести) $>$ 2 (Відкриті відповіді) – тести кращі.

Мінімізація можливості маніпуляції оцінками: 1 (Тести) $=$ 1 (Відкриті відповіді) – рівні.

Адаптивність: 3 (Тести) $=$ 3 (Відкриті відповіді) – рівні.

Можливість моніторингу: 3 (Тести) $>$ 2 (Відкриті відповіді) – тести кращі.

Універсальність і масштабованість: 3 (Тести) $>$ 2 (Відкриті відповіді) – тести кращі.

Мінімізація часових витрат: 2 (Тести) $>$ 1 (Відкриті відповіді) – тести кращі.

Не можна сказати, що одна альтернатива домінує, оскільки кожна має свої сильні та слабкі сторони. Обидві альтернативи є Парето-оптимальними.

4.7.3 Порівняння тестів та аналізу освітніх платформ

Точність вимірювання: 2 (Тести) $=$ 2 (Освітні платформи) – рівні.

Об'єктивність оцінки: 3 (Тести) $>$ 2 (Освітні платформи) – тести кращі.

Мінімізація можливості маніпуляції оцінками: 1 (Тести) $=$ 1 (Освітні платформи) – рівні.

Адаптивність: 3 (Тести) $>$ 2 (Освітні платформи) – тести кращі.

Можливість моніторингу: 3 (Тести) $>$ 1 (Освітні платформи) – тести кращі.

Універсальність і масштабованість: 3 (Тести) $>$ 2 (Освітні платформи) – тести кращі.

Мінімізація часових витрат: 2 (Тести) $=$ 2 (Освітні платформи) – рівні.

Тести домінують за кількома критеріями. Аналіз освітніх платформ не є Парето-оптимальним.

4.7.4 Порівняння практичних завдань та оцінки портфоліо

Точність вимірювання: 3 (Практичні завдання) $=$ 3 (Портфоліо) – рівні.

Об'єктивність оцінки: 2 (Практичні завдання) $=$ 2 (Портфоліо) – рівні.

Мінімізація можливості маніпуляції оцінками: 1 (Практичні завдання) = 1 (Портфоліо) – рівні.

Адаптивність до індивідуальних особливостей студентів: 3 (Практичні завдання) = 3 (Портфоліо) – рівні.

Можливість моніторингу: 2 (Практичні завдання) > 1 (Портфоліо) – практичні завдання кращі.

Універсальність і масштабованість: 2 (Практичні завдання) = 2 (Портфоліо) – рівні.

Мінімізація часових витрат: 1 (Практичні завдання) > 0 (Портфоліо) – практичні завдання кращі.

Практичні завдання мають переваги в аспектах можливості моніторингу та часових витрат. Оцінки портфоліо не є Парето-оптимальними.

Отже, парето-оптимальні альтернативи:

- тести;
- практичні завдання;
- питання з відкритими відповідями.

Аналіз освітніх платформ та оцінка портфоліо виявилися Парето не оптимальними альтернативами.

4.8 Нормування оцінок за шкалами

Для точності вимірювання, об'єктивності оцінки, адаптивності до індивідуальних особливостей студентів, можливостей моніторингу, а також універсальності та масштабованості нормована оцінка визначається за формулою 4.1:

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

Для мінімізації можливості маніпуляції оцінками й мінімізації часових витрат нормована оцінка визначається за формулою 4.2:

$$\frac{x - 0}{2 - 0} = \frac{x}{2} \quad (4.2)$$

Результати зображено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Нормовані оцінки

Критерії/методи	Тести	Практичні завдання	Завдання з відкритими відповідями	Аналіз освітніх платформ	Оцінка портфоліо
Точність вимірювання	0,5	1	1	0,5	1
Об'єктивність оцінки	1	0,5	0,5	0,5	0,5
Мінімізація можливості маніпуляції оцінками	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Адаптивність до індивідуальних особливостей студентів	1	1	1	0,5	1
Можливість моніторингу	1	0,5	0,5	0	0
Універсальність і масштабованість	1	0,5	0,5	0,5	0,5
Мінімізація часових витрат	1	0,5	0,5	1	0

В результаті отримано діапазон кожного критерія від 0 до 1.

4.9 Вибір згорткової моделі

В якості згорткової моделі обрано лінійну адитивну згортку з ваговими коефіцієнтами. Ця модель дозволяє врахувати різну важливість критеріїв та ефективно комбінувати їх у єдину оцінку. Враховуючи кінцеву мету – визначення рівня компетентностей, не всі з описаних критеріїв мають однаковий вплив на результат.

Оскільки маємо 7 критеріїв, найнижчою кількістю балів буде 1, а найвищою 7. Оскільки мова йде про адаптивну систему навчання, найважливішим критерієм

є можливість адаптації під особливості студентів при оцінюванні. Тому призначаємо критерію К4 7 балів.

Точність вимірювання (К1) є другою за важливістю, оскільки, якщо система не точна, то результати адаптації навчання не будуть відповідати потребам студента. Призначаємо 6 балів.

Наступним за важливістю є критерій «Об'єктивність оцінки», причина як і в попередньому випадку. Призначаємо К2 5 балів.

Можливість моніторингу є важливою для підтримки актуальності даних, тому призначаємо К5 4 бали.

Наступним критерієм є «Універсальність і масштабованість», оскільки це впливає на пропускну спроможність системи і чим більше вона, тим краще можна адаптувати систему, маючи великий обсяг даних для дослідження. К6 3 бали.

Мінімізація можливості маніпуляції оцінками є передостанньою по важливості, оскільки система розглядається з точки зору набуття знань та навичок, підходящих точно для рівня студента, а отже вони самі зацікавлені в чесній оцінці своїх знань. Але оскільки неправдиві відповіді можуть впливати на адаптивність системи, створюючи шуми, цей критерій є певним чином важливим. К3 2 бали.

Мінімізація часових витрат є останньою за важливістю, оскільки впливає на результат лише опосередковано і більше впливає на користувацький досвід. К7 1 бал. Отже, для обраної згорткової моделі і критеріїв, визначення корисності альтернатив буде виглядати наступним чином (формула 4.3):

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

де β_j це ваговий коефіцієнт,

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

Маємо:

Тести:

$$\frac{6}{28} \times 0,5 + \frac{5}{28} + \frac{2}{28} \times 0,5 + \frac{7}{28} + \frac{4}{28} + \frac{3}{28} + \frac{1}{28} = 0,86$$

Практичні завдання:

$$\frac{6}{28} + \frac{5}{28} \times 0,5 + \frac{2}{28} \times 0,5 + \frac{7}{28} + \frac{4}{28} \times 0,5 + \frac{3}{28} \times 0,5 + \frac{1}{28} \times 0,5 = 0,73$$

Питання з відкритими відповідями:

$$\frac{6}{28} + \frac{5}{28} \times 0,5 + \frac{2}{28} \times 0,5 + \frac{7}{28} + \frac{4}{28} \times 0,5 + \frac{3}{28} \times 0,5 + \frac{1}{28} \times 0,5 = 0,73$$

4.10 Висновки щодо аналізу

Тести показали найкращий результат (0,86), оскільки набрали найвищі бали по усім критеріям окрім точності вимірювання і мінімізації маніпуляцій оцінками. Цей метод забезпечить найкращий результат для системи.

Другими за ефективністю виявилися практичні завдання та питання з відкритими відповідями (0,73). Хоч вони і програють по більшості критеріїв тестам, але вони дозволяють точніше визначати рівень знань студентів, тому є ефективним методом для системи адаптивного навчання.

Інші методи виявились Парето не оптимальними через низькі оцінки по різним критеріям при присутності більш ефективних методів у списку.

5 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

5.1 Опис програмної реалізації

У рамках даного дослідження було реалізовано прототип інформаційної системи для моніторингу та оцінювання рівня засвоєння навичок студентами на основі результатів тестових, практичних завдань та питань з відкритими відповідями, оскільки ці методи виявились найефективнішими в результаті теоретичного дослідження. Основною метою розробки є демонстрація можливості об'єктивного та адаптивного оцінювання компетентностей у сфері інформаційних технологій із застосуванням зважених статистичних методів.

Система реалізована у вигляді веб-застосунку, що складається з двох основних частин: серверної (бекенд) та клієнтської (фронтенд). Серверна частина побудована з використанням платформи .NET Core та Entity Framework Core, що забезпечує ефективну роботу з базою даних та розширювану бізнес-логіку. Клієнтська частина розроблена з використанням Angular та бібліотеки PrimeNG для зручного відображення інформації у вигляді таблиць, тегів і динамічних інтерфейсів.

Основу моделі даних складають такі сутності: користувачі, навички, тестові завдання, практичні завдання, відповіді, оцінки, а також зв'язки між ними, які дозволяють точно вказувати, які навички і з якою вагою перевіряє кожне завдання або питання. Для кожного користувача система автоматично розраховує рівень засвоєння кожної навички, що враховує кількість прикладів (оцінок) та рівень їхньої варіативності (стандартне відхилення).

Користувач має можливість переглядати аналітику через інтерфейс: при виборі конкретного студента система відображає таблицю прогресу по всіх навичках, з відповідним рівнем засвоєння у відсотках, кількістю прикладів та індикатором надійності результату. Таким чином реалізація підтримує ключові принципи адаптивного навчання та формувального оцінювання, дозволяючи викладачу чи системі автоматично реагувати на реальні потреби студента.

5.2 Архітектура системи

Розроблена система має класичну архітектуру типу клієнт-сервер, що забезпечує розділення відповідальностей та масштабованість. Архітектура побудована на основі трирівневої моделі: фронтенд, бекенд і база даних.

Клієнтська частина реалізована з використанням Angular та бібліотеки PrimeNG, що дозволяє створити адаптивний і зручний інтерфейс для користувача. Вона відповідає за взаємодію з користувачем, відображення прогресу по навичках, вибір студента та представлення аналітичних показників (у вигляді таблиць, тегів, кольорових індикаторів тощо).

Серверна частина розроблена на платформі .NET Core. Вона реалізує REST API, обробляє запити з клієнта, виконує бізнес-логіку розрахунків (зокрема, зважене оцінювання навичок, підрахунок кількості джерел, стандартного відхилення) та взаємодіє з базою даних через ORM Entity Framework Core.

База даних зберігає всі необхідні сутності: студентів, навички, питання, варіанти відповідей, результати практичних завдань, з'єднання між завданнями та навичками із вказаними ваговими коефіцієнтами. Таке структурування дозволяє формувати гнучку модель оцінювання, де одна навичка може бути перевірена у різних контекстах.

5.3 Модель даних

Модель даних побудована на основі принципів адаптивного оцінювання, які були проаналізовані у теоретичній частині дослідження. Під час порівняння методів було визначено ключові аспекти, які впливають на якість оцінки – зокрема, врахування вагомості кожного завдання для певної навички, комбінування джерел оцінювання, можливість часткового виконання та масштабованість. Основними сутностями є:

- AppUser – користувач системи (студент), для якого ведеться облік результатів;
- Skill – навчальна навичка, яку система оцінює (наприклад, «Аналіз даних», «Алгоритмічне мислення»);

- Test / Question / AnswerOption – тести з питаннями, кожне з яких може бути пов'язане з однією чи кількома навичками через QuestionSkillWeight. Кожна відповідь має оцінку (Score) від 0 до 1;
- PracticalAssignment / PracticalStage – практичні завдання, що можуть мати кілька етапів. Кожен етап також пов'язаний з певними навичками через PracticalStageSkillWeight;
- OpenEndedQuestion / QuestionRubric – окрема форма запитань із відкритою відповіддю, що мають кілька рубрик. Кожна рубрика містить опис критерію, ваговий коефіцієнт та пов'язана з відповідною навичкою через RubricSkillWeight;
- StudentAnswer / PracticalResult / OpenAnswer / RubricScore – результати, які зберігають, що саме і як виконав студент, із вказаним балом;
- SkillWeight (зв'язки між питаннями/етапами та навичками) – дозволяють задати, яку частку кожна активність вносить у формування конкретної навички. Важливо, що ці ваги є глобальними, тобто не залежать від інших навичок, з якими пов'язане завдання.

На рисунку 5.1 зображено ER-діаграму розробленої бази даних.

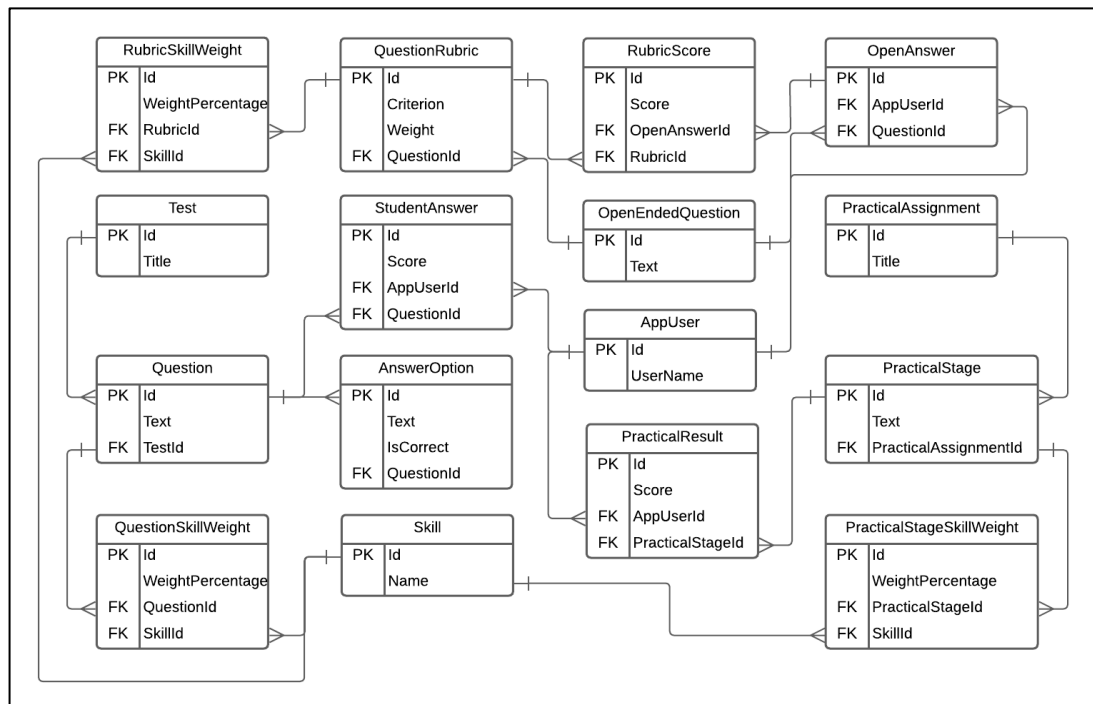


Рисунок 5.1 – ER діаграма бази даних (виконано самостійно)

Вся логіка обрахунку компетентностей побудована на аналізі цих зв'язків: для кожної навички враховується сума $\text{Score} \times \text{Weight}$ для всіх відповідних активностей користувача. На базі цього розраховується оцінка, а також кількість джерел (що впливали на результат) і стандартне відхилення – показник варіативності оцінювання.

Такий підхід до зберігання даних дозволяє досягти високого рівня гнучкості та точності в оцінюванні навіть при наявності змішаних або неповних даних, що особливо важливо для адаптивного навчання в умовах реального освітнього процесу.

5.4 Алгоритм розрахунку рівня засвоєння навичок

Алгоритм розрахунку рівня засвоєння навичок у системі базується на накопиченні зважених результатів виконаних завдань, де кожне завдання має фіксовану вагу впливу на певну навичку, доповненого метаінформацією – кількістю джерел (відповідей/результатів) та стандартним відхиленням. Такий підхід забезпечує гнучкість, адаптивність і підвищену достовірність результатів оцінювання.

У процесі розрахунку враховуються усі типи навчальної активності системи: тестові питання, практичні завдання та відкриті питання. Кожне з них пов'язане з однією або кількома навичками через окрему таблицю зв'язків, у якій вказано ваговий коефіцієнт – числове значення, що визначає, наскільки сильно ця активність впливає на формування відповідної навички. Важливо, що ці коефіцієнти є глобальними, тобто не залежать від розподілу ваг усередині питання або етапу.

Для кожного користувача система здійснює вибірку всіх відповідей на тестові питання, результатів виконання практичних етапів та результатів оцінки відкритих питань за рубриками, які мають зв'язок із певною навичкою. Далі для кожного такого елемента обчислюється добуток оцінки (Score , від 0 до 1) та ваги (WeightPercentage). Усі добутки підсумовуються і діляться на 100 (що визначено як максимальну оцінку, яку необхідно накопичити для повного засвоєння).

Формула 5.1 обчислення рівня засвоєння виглядає наступним чином:

$$R = \min\left(1, \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times s_i}{100}\right) \quad (5.1)$$

де R – рівень засвоєння навички,

s_i – оцінка користувача за i -ту активність,

w_i – вага цієї активності щодо навички.

Друга формула показує наскільки добре студент виконує завдання (нормалізована оцінка) (формула 5.2):

$$NormalizedR = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times s_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (5.2)$$

Комбінація з формул 5.1 та 5.2 дозволяє врахувати ситуації при яких студент тільки почав засвоювати навичку в системі, але має хороший прогрес і готовий до складніших завдань, а також ситуації при яких студент займається давно і накопичив балів на 100% засвоєння, але його оцінки ще коливаються.

Додатково система обчислює кількість джерел, які вплинули на оцінку – це дозволяє оцінити обґрунтованість результату; стандартне відхилення, що показує варіативність оцінок – низьке значення свідчить про стабільність, а високе – про нестійкість або неоднорідність знань. Код наведено в додатку Д.

Оцінки, сформовані цим алгоритмом, відображаються у користувацькому інтерфейсі у вигляді відсотка (від 0 до 100), з додатковими тегами, що сигналізують про рівень достовірності (на основі кількості прикладів та стандартного відхилення). Отримані дані дозволяють проводити подальший аналіз і побудову шляху навчання студента. Крім того, завдяки цьому викладач або адміністратор системи може оперативно і об'єктивно оцінити, наскільки добре студент засвоїв конкретну навичку, і чи потребує він додаткової підтримки або переоцінювання.

5.5 Інтерфейс користувача

Клієнтська частина системи розроблена за допомогою фреймворку Angular з використанням компонентної бібліотеки PrimeNG, що дозволило створити функціональний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Інтерфейс орієнтований переважно на викладача або адміністратора системи, який аналізує прогрес студентів та ухвалює рішення щодо подальшої освітньої траєкторії.

Основним елементом інтерфейсу є випадаючий список з переліком студентів. Після вибору конкретного користувача, система надсилає запит до API та отримує детальну інформацію про рівень сформованості кожної навички у вибраного студента.

Отримані дані відображаються у вигляді таблиці, де кожен рядок представляє окрему навичку. Для кожної навички вказуються:

- назва навички;
- рівень засвоєння у відсотках, розрахований як накопичувальна оцінка;
- нормалізована оцінка, розрахована як зважене середнє;
- кількість прикладів, які були використані в оцінюванні (для оцінки надійності результату);
- стандартне відхилення, що вказує на варіативність відповідей;
- інтерфейсні теги, які автоматично змінюють свій колір відповідно до рівня засвоєння, кількості джерел та стандартного відхилення (зелений – надійно, жовтий – середня впевненість, червоний – недостатньо даних або нестабільність).

Приклад таблиці прогресу навичок користувача наведено на рисунку 5.2.

Прогрес навичок				
Навичка	Відсоток освоєння	Нормалізована оцінка	Кількість оцінок	Стандартне відхилення
Алгоритмічне мислення	2.07%	0.59	12	0.06
Аналіз даних	2.18%	0.65	8	0.05
Оптимізація алгоритмів	0.80%	0.55	5	0.05
Проектування інтерфейсів	1.01%	0.63	4	0.02
Робота з базами даних	1.71%	0.58	6	0.06

Рисунок 5.2 – Прогрес навичок користувача (виконано самостійно)

Такий підхід дозволяє викладачеві швидко орієнтуватися у результатах навчання та виявляти слабкі місця у підготовці студента. Наприклад, низький рівень засвоєння за наявності високої кількості прикладів і стабільних оцінок свідчатиме про реальну прогалину в знаннях, тоді як низький рівень при малій кількості джерел – про недостатність даних для достовірної оцінки.

Також для кращої зрозумілості надається таблиця з результатами практики для поточного студента (див. рис. 5.3).

Результати практики			
Етап	Оцінка	Навички (максимальне значення)	Навички зараховано як
Проектування структури таблиць	0.78	Робота з базами даних 0.70% Алгоритмічне мислення 0.30%	Робота з базами даних 0.55% Алгоритмічне мислення 0.23%
Нормалізація бази даних	0.84	Робота з базами даних 0.50% Аналіз даних 0.40%	Робота з базами даних 0.42% Аналіз даних 0.34%
Реалізація SQL-запитів	0.73	Робота з базами даних 0.60% Алгоритмічне мислення 0.20% Оптимізація алгоритмів 0.30%	Робота з базами даних 0.44% Алгоритмічне мислення 0.15% Оптимізація алгоритмів 0.22%
Створення прототипу інтерфейсу	0.74	Проектування інтерфейсів 0.60% Алгоритмічне мислення 0.20%	Проектування інтерфейсів 0.44% Алгоритмічне мислення 0.15%
Реалізація UI у фреймворку	0.78	Проектування інтерфейсів 0.50% Оптимізація алгоритмів 0.40%	Проектування інтерфейсів 0.39% Оптимізація алгоритмів 0.31%
Юзабіліті-тестування	0.78	Аналіз даних 0.50% Проектування інтерфейсів 0.30%	Аналіз даних 0.39% Проектування інтерфейсів 0.24%

Рисунок 5.3 – Результати практики (виконано самостійно)

Така сама таблиця реалізована для тестів (див. рис. 5.4). Вони демонструють які завдання вплинули на оцінку навичок і яким чином.

Результати тестів			
Питання	Оцінка	Навички (максимальне значення)	Навички зараховано як
Оберіть складність алгоритму сортування бульбашкою.	0.41	Алгоритмічне мислення 0.20% Оптимізація алгоритмів 0.15%	Алгоритмічне мислення 0.08% Оптимізація алгоритмів 0.06%
Як ви будете проектувати базу даних для системи управління бібліотекою?	0.62	Робота з базами даних 0.60% Алгоритмічне мислення 0.30%	Робота з базами даних 0.37% Алгоритмічне мислення 0.19%
Які методи аналізу даних ви знаєте? Опишіть один з них.	0.90	Аналіз даних 0.50% Алгоритмічне мислення 0.20%	Аналіз даних 0.45% Алгоритмічне мислення 0.18%
Яка різниця між стеком і чергою в структурі даних?	0.00	Алгоритмічне мислення 0.40% Оптимізація алгоритмів 0.30%	Алгоритмічне мислення 0.00% Оптимізація алгоритмів 0.00%
Напишіть приклад рекурсивної функції обчислення факторіалу.	0.57	Алгоритмічне мислення 0.50% Аналіз даних 0.25%	Алгоритмічне мислення 0.28% Аналіз даних 0.14%
Що таке виключення (exception) в програмуванні і як їх обробляти?	0.03	Алгоритмічне мислення 0.30% Робота з базами даних 0.30%	Алгоритмічне мислення 0.01% Робота з базами даних 0.01%
Назвіть три типи атак на веб-додатки та опишіть одну з них.	0.88	Аналіз даних 0.40% Робота з базами даних 0.25%	Аналіз даних 0.35% Робота з базами даних 0.22%
Що таке двофакторна автентифікація і для чого вона використовується?	0.82	Проектування інтерфейсів 0.20% Аналіз даних 0.30%	Проектування інтерфейсів 0.16% Аналіз даних 0.25%
Як працює шифрування даних і чому воно важливе в IT-безпеці?	0.96	Аналіз даних 0.50% Алгоритмічне мислення 0.30%	Аналіз даних 0.48% Алгоритмічне мислення 0.29%

Рисунок 5.4 – Результати тестування (виконано самостійно)

Також реалізовано таблицю для відкритих запитань (див. рис. 5.5).

Результати відкритих запитань			
Питання	Оцінка	Навички (максимальне значення)	Навички зараховано як
Опишіть, як би ви реалізували механізм кешування у веб-додатку.	0.79	Алгоритмічне мислення 0.20% Оптимізація алгоритмів 0.15% Аналіз даних 0.25% Алгоритмічне мислення 0.10%	Алгоритмічне мислення 0.14% Оптимізація алгоритмів 0.11% Аналіз даних 0.22% Алгоритмічне мислення 0.09%

Рисунок 5.5 – Результати відкритих запитань (виконано самостійно)

Окрім зручності, інтерфейс також реалізує принципи прозорості результатів, що є важливими вимогами до будь-яких систем адаптивного навчання та освітньої аналітики. Таким чином, система стає не лише інструментом для підрахунку оцінок, а й засобом підтримки прийняття педагогічних рішень.

5.6 Потенціал подальшого розвитку

Попри те, що реалізована система вже дозволяє виконувати об'єктивне та статистично обґрунтоване оцінювання рівня сформованості навичок, її архітектура передбачає можливості для подальшого функціонального розвитку та дослідницького вдосконалення.

Одним із перспективних напрямів є візуалізація прогресу в динаміці, яка дозволить аналізувати зміну рівня сформованості навичок з часом. Це дасть змогу не лише фіксувати кінцеві результати, а й виявляти тенденції – як позитивні (прогрес), так і негативні (регрес або стагнацію). Така функція буде особливо цінною у випадках довготривалого навчання або серійної перевірки знань, коли студент проходить тести та практичні завдання в кілька етапів.

Ще одним важливим кроком є впровадження рівневої складності навичок. Зараз система оцінює навички як одномірну величину, але у реальних освітніх практиках важливо враховувати глибину володіння: базовий рівень, середній або просунутий. Це дозволить оцінювати не просто наявність знання, а його якість і застосовність у складніших контекстах. Такий підхід може бути реалізований

через введення додаткових ознак для завдань, що відповідають певному рівню володіння кожною навичкою.

Крім того, перспективним є використання методів машинного навчання для автоматичного визначення набору навичок, які задіяні під час виконання конкретного завдання або відповіді на тестове питання. Наразі такі зв'язки встановлюються вручну, але можливе тренування моделей, що самостійно ідентифікують ключові навички на основі тексту завдання, типу активності, поведінки студентів або їхніх результатів. Це дозволить значно зменшити ручну роботу при наповненні системи контентом і забезпечити її масштабованість.

Ще одним напрямом, що має потенціал, є використання зовнішніх освітніх даних для попередньої оцінки рівня навичок нових студентів. На основі їх активності на освітніх платформах, результатів зовнішніх курсів або сертифікацій можна формувати початковий профіль компетентностей одразу після реєстрації в системі. Це дозволить персоналізувати подальше навчання, уникнути дублювання вивченого матеріалу та забезпечити більш релевантне тестування.

У сукупності ці напрями розвитку не лише розширять функціональні можливості системи, а й відкриють нові шляхи для глибшої освітньої аналітики та адаптивного втручання. Система зможе не лише обчислювати рівень компетентностей, але й пояснювати динаміку змін, які стоять за оцінками, а також формувати основи для автоматичного оновлення контенту й структури курсів у майбутньому.

ВИСНОВКИ

В роботі реалізовано аналіз предметної галузі, огляд й аналіз літературних, наукових джерел, постановка задачі, теоретичне дослідження. Аналіз предметної області виявив, що однією з ключових проблем є необхідність забезпечення точності, об'єктивності та адаптивності методів оцінювання, що відповідають різноманітним потребам сучасної освіти. Важливим аспектом предметної області є інтеграція цифрових інструментів для аналізу навчальної діяльності. Такі платформи, як Coursera та edX, успішно застосовують адаптивні підходи для моніторингу прогресу студентів і формування індивідуальних траєкторій навчання. Проте недостатня інтеграція даних про індивідуальні результати навчання та труднощі у стандартизації підходів до оцінювання залишаються викликами для широкого впровадження таких систем. Додатково, практичне застосування методів оцінювання, зокрема тестів і практичних завдань, вимагає зниження трудомісткості процесу перевірки та підвищення прозорості результатів.

Аналіз літературних і наукових джерел продемонстрував значний інтерес до розробки і вдосконалення методів оцінювання в умовах цифрової трансформації освіти. Роботи Ванга та Ляна [5] підтверджують ефективність когнітивних моделей та адаптивних алгоритмів у забезпеченні високої точності та об'єктивності оцінювання. Сіттісак [9] акцентує увагу на важливості багатовимірного підходу, який дозволяє враховувати технічні, соціальні та когнітивні аспекти компетентностей студентів. Дослідження Флоріана [8] демонструє успішне використання адаптивних систем для моніторингу та оцінювання прогресу учнів у реальному часі.

Результати аналізу, вхідні дані яких базуються на різних наукових джерелах [11-42], демонструють, що тести показали найвищу ефективність (0,86) серед усіх розглянутих методів. Це робить тести найбільш придатним методом для інтеграції в систему оцінювання в умовах адаптивного навчання.

На другому місці за ефективністю опинилися практичні завдання та питання з відкритими відповідями (0,73). Попри дещо нижчі оцінки за більшістю критеріїв

у порівнянні з тестами, ці методи демонструють вищу точність у визначенні реального рівня знань студентів, оскільки дозволяють глибше аналізувати компетентності. Це робить їх важливими компонентами для адаптивної системи, орієнтованої на індивідуалізацію навчального процесу.

Натомість аналіз освітніх платформ та оцінка портфоліо виявилися Парето-неоптимальними. Вони поступалися більш ефективним методам за усіма параметрами. Через це їх доцільність для включення в адаптивну систему оцінювання є обмеженою.

На основі теоретичних висновків та проаналізованих наукових джерел було реалізовано програмну систему для автоматизованого оцінювання рівня сформованості навичок студентів. Вона поєднує результати тестових, практичних та відкритих завдань, враховує вагу кожного завдання для певної навички, розраховує рівень засвоєння навички, зважене середнє значення, кількість джерел оцінки та стандартне відхилення. Таким чином, реалізація дозволяє не лише визначати рівень сформованості навичок, а й оцінювати якість виконання завдань та надійність отриманих результатів.

Результати роботи доводять можливість створення автоматизованої системи оцінювання, яка відповідає принципам адаптивного навчання та дозволяє проводити комплексний аналіз навчальних досягнень студентів. Отримані висновки можуть бути використані як у практичній освітній діяльності, так і в подальших дослідженнях, спрямованих на вдосконалення методів оцінювання, моделювання індивідуальних освітніх траєкторій та аналіз освітніх даних.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. І. Ю. Шубін, Г. Г. Четвериков, В. А. Ляшик, Н. О. Шанідзе, “Методи штучних нейронних мереж для адаптивного тестування знань”, *Бионика интеллекта: научно-технический журнал*, 2021, № 3 (96). С. 103–111.
2. І. Ю. Шубін, Г. Г. Четвериков, В. А. Ляшик, Н. О. Шанідзе, ”Адаптивне тестування знань методами логічних мереж”, *Бионика интеллекта : научно-технический журнал*, 2020. № 2 (95). С. 82–90.
3. В.Г. Тер-Ованес`ян, В.Г. Вем`ян “Дистанційне навчання як умова ефективного рішення завдань модернізації освіти”, *Національна академія наук України, Науково-учбовий центр прикладної інформатики. Інститут освітньої та молодіжної політики*, 2015. С.77-81.
4. Martin, F., Chen, Y., Moore, R.L., & Westine, C. “Systematic review of adaptive learning research designs, context, strategies, and technologies from 2009 to 2018”. *Educational Technology Research & Development*, 2020. № 68(4), 1903-1929. DOI: 10.1007/s11423-020-09793-2.
5. Wang, J., & Liang, K. “A cognitive diagnosis method in adaptive learning system based on preconceptions”. *Scientific Programming*, Volume 2022, Article ID 5011804. DOI: 10.1155/2022/5011804.
6. Bourkougou, O., El Bachari, E., & El Adnani, M. “A recommender model in e-learning environment”. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2017, 42, 607-617.
7. S Ennouamani, Z Mahani. “An overview of adaptive e-learning systems”. *Eighth international conference on intelligent computing and information systems (ICICIS)*, 2017, 342-347.
8. Florián, B., S. Baldiris, and R. Fabregat. "Adaptive evaluation based on competencies." *Proceedings of the Third Workshop Towards User Modeling and Adaptive Systems for All (TUMAS-A 2009): Modeling and Evaluation of Accessible Intelligent Learning Systems*, held in conjunction with the 14th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED 2009), Brighton, United Kingdom. 2009.

9. Sitthisak, O., Gilbert, L., & Davis, H. C. “Towards a competency model for adaptive assessment to support lifelong learning”, 2007. Article ID 231456.
10. Kleinhans, J., & Schumann, M. “Increase in testing efficiency through the development of an IT-based adaptive testing tool for competency measurement”. International Conference on e-Learning, 2015.
11. Burton, R. Quantifying the Effects of Chance in Multiple Choice and True/False Tests: Question selection and guessing of answers. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 2001. № 26, c. 41–50. DOI: 10.1080/02602930020022273.
12. Olivier, E., Galand, B., Hospel, V., & Dellisse, S. “Understanding behavioural engagement and achievement: The roles of teaching practices and student sense of competence and task value”. *The British Journal of Educational Psychology*. 2020. DOI: 10.1111/bjep.12342.
13. Agustianingsih, R., & Mahmudi, A. “How to design open-ended questions? : Literature review”. *Journal of Physics: Conference Series*, Volume 1320, Article ID 012003, 2019. DOI: 10.1088/1742-6596/1320/1/012003.
14. Admiraal, W., Huisman, B., & Pilli, O. Assessment in Massive Open Online Courses. *Electronic Journal of e-Learning*, 2015. № 13, c. 207–216.
15. Santos, A. Reflective Portfolios: A Learning and Self-assessment Tool. *South Florida Journal of Development*, 2024. DOI: 10.46932/sfjdv5n10-023.
16. Williamson, B., & Piattoeva, N. Objectivity as standardization in data-scientific education policy, technology and governance. *Learning, Media and Technology*, 2018. № 44, c. 64–76. DOI: 10.1080/17439884.2018.1556215.
17. Nawrin, T., & Sadek, A. “Role of Rubric in Assessment of Language Learning in Higher Education”. *Teacher’s World: Journal of Education and Research*, Volume 48, Issue 2, 2023. DOI: 10.3329/twj.v48i2.67555.
18. Meitinger, K., Behr, D., & Braun, M. “Using Apples and Oranges to Judge Quality? Selection of Appropriate Cross-National Indicators of Response Quality in Open-Ended Questions”. *Social Science Computer Review*, Volume 39, pp. 434–455, 2019. DOI: 10.1177/0894439319859848.

19. Inayah, A., Anwer, L., Shareef, M., Nurhussen, A., Alkabbani, H., Alzahrani, A., Obad, A., Zafar, M., & Afsar, N. Objectivity in Subjectivity: Do Students' Self and Peer Assessments Correlate with Examiners' Subjective and Objective Assessment in Clinical Skills? A Prospective Study. *BMJ Open*, 2017. № 7. DOI: 10.1136/bmjopen-2016-012289.

20. Rattiya, M., Minoru, N., Theppharat, P., & Nanthon, B. Creating Electronic Portfolio Rubrics for General Education Course Assessments in Thailand. *International Journal of Information and Education Technology*, 2022. DOI: 10.18178/ijiet.2022.12.4.1621.

21. Huynh Thi Trang, Tran Kha Han, Phuong Thi Cam Loan. Cheating Behaviours in Online Exams. *International Journal of Science and Management Studies (IJSMS)*, 2022. № 5(6), c. 32–37. DOI: 10.51386/25815946/ij sms-v5i6p103.

22. Balash, D.G., Kim, D., Shaibekova, D., та ил. Examining the Examiners: Students' Privacy and Security Perceptions of Online Proctoring Services. *arXiv*, 2021.

23. Dixon, Z., & George, K. “Monitoring Uncharted Communities of Crowdsourced Plagiarism”. *Journal of Academic Ethics*, Volume 19, pp. 291–301, 2020. DOI: 10.1007/s10805-020-09381-2.

24. Pudasaini, S., Miralles-Pechuán, L., Lillis, D., & Salvador, M. “Survey on AI-Generated Plagiarism Detection: The Impact of Large Language Models on Academic Integrity”. *Journal of Academic Ethics*, 2024. DOI: 10.1007/s10805-024-09576-x.

25. Drori, I., Zhang, S., Shuttleworth, R., Tang, L., Lu, A., Ke, E., Liu, K., Chen, L., Tran, S., Cheng, N., Wang, R., Singh, N., Patti, T., Lynch, J., Shporer, A., Verma, N., Wu, E., & Strang, G. “A neural network solves, explains, and generates university math problems by program synthesis and few-shot learning at human level”. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Volume 119, 2021. DOI: 10.1073/pnas.2123433119.

26. Adha, M., M., Mahfirah, T., Ariyanti, N., Krissanya, N., Sumardi, N., & Musyaffi, A. Understanding Online Cheating Behavior among Education Students.

2024 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET), 2024. c. 1–6. DOI: 10.1109/ICECET61485.2024.10698220.

27. Little, T. *Assessing Student Portfolios for College Credit: Everything You Need to Know to Ensure Academic Integrity in Portfolio Assessment*. 2018.

28. Müller, U., Huelmann, T., Haustermann, M., Hamann, F., Bender, E., & Sitzmann, D. First results of computerized adaptive testing for an online physics test. *Towards a New Future in Engineering Education: New Scenarios That European Alliances of Tech Universities Open Up*, 2022. DOI: 10.5821/conference-9788412322262.1273.

29. Cornelisz, I., & Van Klaveren, C. “Student engagement with computerized practising: Ability, task value, and difficulty perceptions”. *J. Comput. Assist. Learn.*, Volume 34, pp. 828–842, 2018. DOI: 10.1111/JCAL.12292.

30. Varveris, D., Saltas, V., & Tsiantos, V. “Exploring the Role of Metacognition in Measuring Students’ Critical Thinking and Knowledge in Mathematics: A Comparative Study of Regression and Neural Networks”. *Knowledge*, Volume 3, Issue 3, 2023. DOI: 10.3390/knowledge3030023.

31. Sayed, W., Noeman, A., Abdellatif, A., Abdelrazek, M., Badawy, M., Hamed, A., & El-Tantawy, S. AI-based Adaptive Personalized Content Presentation and Exercises Navigation for an Effective and Engaging E-learning Platform. *Multimedia Tools and Applications*, 2022. № 82, c. 3303–3333. DOI: 10.1007/s11042-022-13076-8.

32. Hughes, J., Herrington, M., McDonald, T., & Rhodes, A. E-portfolios and Personalized Learning: Research in Practice with Two Dyslexic Learners in UK Higher Education. *Dyslexia*, 2011. № 17(1), c. 48–64. DOI: 10.1002/dys.418.

33. Siemens, G. Learning Analytics: The Emergence of a Discipline. *American Behavioral Scientist*, 2013. № 57, c. 1380–1400. DOI: 10.1177/0002764213498851.

34. Josué, A., Bedoya-Flores, M., Mosquera-Quiñonez, E., Mesías-Simisterra, Á., & Bautista-Sánchez, J. “Educational Platforms: Digital Tools for the teaching-learning process in Education”. *Ibero-American Journal of Education & Society Research*, 2023. DOI: 10.56183/iberoeds.v3i1.626.

35. Baral, S., Botelho, A., Erickson, J., Benachamardi, P., & Heffernan, N. Improving Automated Scoring of Student Open Responses in Mathematics. 2021.

36. Saefullah, A., Ferdiana, R., & Hantono, B. “Load Testing Method For Measure The Capability Of MOOC Platform To Handle Massive User”. 2024 International Conference on TVET Excellence & Development (ICTeD), 2024, pp. 219–224. DOI: 10.1109/ICTeD62334.2024.10844671.

37. Liebenberg, J., & Pieterse, V. “Investigating the Feasibility of Automatic Assessment of Programming Tasks”. J. Inf. Technol. Educ. Innov. Pract., Volume 17, pp. 201–223, 2018. DOI: 10.28945/4150.

38. Tulu, C., Ozkaya, O., & Orhan, U. “Automatic Short Answer Grading With SemSpace Sense Vectors and MaLSTM”. IEEE Access, Volume 9, pp. 19270–19280, 2021. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3054346.

39. Zheng, Y. Design of a Blockchain-Based e-Portfolio Evaluation System to Assess the Education and Teaching Process. International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET), 2021. № 16(5). DOI: 10.3991/ijet.v16i05.21081.

40. Wahlen, A., Kuhn, C., Zlatkin-Troitschanskaia, O., Gold, C., Zesch, T., & Horbach, A. “Automated Scoring of Teachers’ Pedagogical Content Knowledge – A Comparison Between Human and Machine Scoring”. Frontiers in Education, Volume 5, Article ID 149. DOI: 10.3389/feduc.2020.00149.

41. Kumar, K., Kumar, R., S., S., & Ruby, J. “Automated Grading and Feedback Systems for Programming in Higher Education Using Machine Learning”. Journal of Informatics Education and Research, 2025. DOI: 10.52783/jier.v5i1.2142.

42. Del Gobbo, E., Guarino, A., Cafarelli, B., Grilli, L., & Limone, P. Automatic Evaluation of Open-ended Questions for Online Learning: A Systematic Mapping. Studies in Educational Evaluation, 2023. DOI: 10.1016/j.stueduc.2023.101258.

43. GitHub - yarluch/ 2025_M_PI_IPZm-23-2_Luchenko_Y_V. *GitHub*. URL: https://github.com/yarluch/2025_M_PI_IPZm-23-2_Luchenko_Y_V (дата звернення: 11.06.2025).



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

1. І. Ю. Шубін, Г. Г. Четвериков, В. А. Ляшик, Н. О. Шанідзе, “Методи штучних нейронних мереж для адаптивного тестування знань”, Бионика интеллекта: научно-технический журнал. 2021, № 3 (96). С. 103–111.

2. І. Ю. Шубін, Г. Г. Четвериков, В. А. Ляшик, Н. О. Шанідзе, ”Адаптивне тестування знань методами логічних мереж”, Бионика интеллекта : научно-технический журнал. 2020. № 2 (95). С. 82–90.

ДОДАТОК А

ЗВІТ РЕЗУЛЬТАТІВ ПЕРЕВІРКИ НА УНІКАЛЬНІСТЬ ТЕКСТУ В БАЗІ ХНУРЕ

StrikePlagiarism.com  Дата звіту 6/3/2025
Дата редагування ---  Звіт не був оцінений


Звіт подібності

метадані

Назва організації
Kharkiv National University of Radio Electronics
Заголовок
2025_М_ПІ_ІПЗм-23-2_Лученко_Я_В_скорочений
Автор Науковий керівник / Експерт
Лученко Ярослав Валентинович **Євген Кардаш**
підрозділ
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.



25
Довжина фрази для коефіцієнта подібності 2






8702
Кількість слів



69970
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.

Заміна букв		2
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		1

Подібності за списком джерел

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір 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

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	Колір тексту
1	Дипломна робота Спажев_О_перевірка на плагіат.docx 11/23/2023 Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskiy State Pedagogical University course papers (Vinnytsya State Pedagogical University named after Myhaylo Kotsyubynskiy course work)	6 0.07 %
2	Дипломна робота Спажев_О_перевірка на плагіат.docx 11/23/2023 Vinnytsia Mykhailo Kotsiubynskiy State Pedagogical University course papers (Vinnytsya State Pedagogical University named after Myhaylo Kotsyubynskiy course work)	5 0.06 %

ДОДАТОК Б

СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ



МІНІСТЕРСТВО
ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ



ХАРКІВСЬКИЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
РАДІОЕЛЕКТРОНИКИ

Дослідження методів та
моделей адаптивного
навчання для вивчення
інформаційних
технологій. Визначення
рівня компетентностей.

Лученко Я. В. ІПЗм-23-2
Науковий керівник: доц. каф. ПІ Каук В. І.



12 червня 2025

Дослідження

Актуальність:

- Зростаюча потреба в точному та об'єктивному оцінюванні знань;
- Поширення персоналізованого та адаптивного навчання;
- Недостатність універсальних підходів у традиційних системах.

Стан розвитку галузі:

- Активні дослідження в галузі адаптивного навчання;
- Використання статистичних і когнітивних моделей;
- Популяризація цифрових інструментів оцінювання (Coursera, edX, Udemy тощо).



Дослідження

Напрямок дослідження:

- Вибір ефективних методів оцінки навичок;
- Формування багатокритеріальної моделі;
- Орієнтація на інтеграцію в адаптивні системи.

Об'єкт дослідження:

- Проходження завдань (тести, практичні завдання);
- Використання даних з освітніх платформ і портфоліо проектів.



3

Огляд літератури

Ключові джерела:

- Wang, J., & Liang, K. "A cognitive diagnosis method in adaptive learning system based on preconceptions" — аналіз ефективності когнітивних моделей та адаптивних алгоритмів;
- Florián, B., S. Baldiris, and R. Fabregat. "Adaptive evaluation based on competencies." — роль адаптивних систем у точному моніторингу прогресу студентів;
- Sitthisak, O., Gilbert, L., & Davis, H. C. "Towards a competency model for adaptive assessment to support lifelong learning" — необхідність багатовимірного підходу до оцінки компетентностей та важливість контексту.



4

Огляд літератури

Основні підходи оцінювання знань в освітніх системах:

– Когнітивне моделювання знань

Використовується для побудови моделей, що відображають структуру знань студентів, наприклад, Bayesian Knowledge Tracing, що дозволяє передбачати майбутні відповіді студентів на основі попередніх.

– Адаптивне тестування

Теорія Item Response Theory (IRT) є основою адаптивного тестування, де система підлаштовує складність наступного питання залежно від відповіді на попереднє. Це дозволяє швидко і точно визначити рівень знань.

– Аналіз освітніх даних (Educational Data Mining)

Використовується для виявлення закономірностей у поведінці учнів, ефективності завдань та навчальних траєкторій.



5

Огляд літератури

Виявлені прогалини:

– Низька інтеграція у традиційну освіту;

– Ризик помилкової інтерпретації результатів;

– Обмежений рівень об'єктивності оцінки.



6

Постановка задачі

Проблема:

Пошук точного, об'єктивного та гнучкого методу (або комбінації методів) оцінювання компетентностей студентів в умовах адаптивного навчання.

Очікувані результати:

- Визначення найбільш ефективних методів оцінювання для використання в адаптивних системах;
- Побудова порівняльної моделі на основі чітко сформульованих критеріїв;
- Обґрунтовані рекомендації щодо інтеграції методів у програмні рішення;
- Розробка прототипу інформаційної системи, яка реалізує шаблон оцінювання навичок на основі найкращих практик, виявлених у результаті дослідження.



7

Методологія

Використані методи дослідження:

- Аналіз наукових публікацій – вивчення сучасних підходів до оцінювання компетентностей у контексті адаптивного навчання;
- Метааналіз – порівняння ефективності методів за даними попередніх досліджень;
- Статистичний аналіз – побудова багатокритеріальної моделі та порівняння методів за точністю, об'єктивністю, адаптивністю тощо.



8

Зміст проведеного дослідження

Вхідні дані:

- Дані з наукових джерел;
- Характеристики методів за визначеними критеріями;
- Результати практичного впровадження адаптивних систем у навчанні, описані в наукових джерелах.



9

Зміст проведеного дослідження

Критерії:

- Точність вимірювання;
- Об'єктивність;
- Можливість маніпуляцій;
- Адаптивність;
- Можливість моніторингу;
- Масштабованість;
- Часова ефективність.

Послідовність:

1. Пошук релевантних джерел;
2. Виділення методів оцінювання;
3. Формалізація критеріїв;
4. Присвоєння оцінок;
5. Проведення багатокритеріального аналізу.



10

Результати дослідження



11

Результати дослідження

Тести:

$$\frac{6}{28} \times 0,5 + \frac{5}{28} + \frac{2}{28} \times 0,5 + \frac{7}{28} + \frac{4}{28} + \frac{3}{28} + \frac{1}{28} = 0,86$$

Практичні завдання та питання з відкритими відповідями:

$$\frac{6}{28} + \frac{5}{28} \times 0,5 + \frac{2}{28} \times 0,5 + \frac{7}{28} + \frac{4}{28} \times 0,5 + \frac{3}{28} \times 0,5 + \frac{1}{28} \times 0,5 = 0,73$$

12

Архітектура прототипу

Архітектура:

- Клієнтська частина (Angular) – візуалізація рівня засвоєння навичок;
- Серверна частина (ASP.NET Core):
 - REST API для отримання й обробки результатів;
 - Логіка розрахунку засвоєння навичок, нормалізованої оцінки, обчислення стандартного відхилення;
- База даних (EF Core / SQL Server) – зберігання користувачів, навичок, завдань, результатів виконання завдань.

Ключові компоненти:

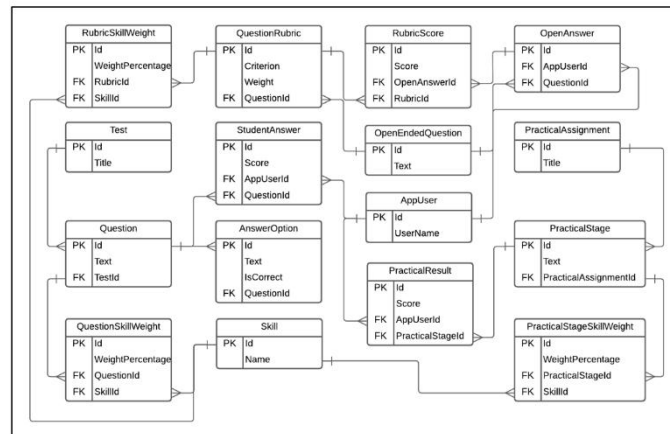
- StatisticsService – обчислення засвоєння навичок з урахуванням ваг, кількості оцінок, стандартного відхилення;
- UsersController – API-ендпоінти для статистики, тестів, практик і відкритих відповідей;
- Seeder – початкове наповнення системи демонстраційними даними (користувачі, тести, питання, відповіді, навички).



13

Архітектура прототипу

Схема бази даних



14

Опис програмного забезпечення

Опис процесу розробки:

- Розробка велася на основі результатів теоретичного дослідження: вибрані найефективніші методи оцінювання навичок;
- Метою було створення шаблонної системи, яка може адаптуватися під різні навчальні предмети й формати завдань;
- Етапи розробки:
 - проектування структури даних;
 - розробка алгоритмів оцінювання;
 - створення серверного API;
 - реалізація клієнтської частини;
 - тестування та наповнення демонстраційними даними.



15

Опис програмного забезпечення

Формула обчислення рівня засвоєння:

$$R = \min\left(1, \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times s_i}{100}\right)$$

Формула нормалізованої оцінки:

$$\text{Normalized } R = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \times s_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

Формула стандартного відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n w_i \times (s_i - \bar{s})^2}{\sum_{i=1}^n w_i}}$$



16

Опис програмного забезпечення

Таблиця результатів практики для користувача

Результати практики			
Етап	Оцінка	Навички (максимальне значення)	Навички зараховано як
Проектування структури таблиць	0.78	Робота з базами даних 0.70% Алгоритмічне мислення 0.30%	Робота з базами даних 0.55% Алгоритмічне мислення 0.23%
Нормалізація бази даних	0.84	Робота з базами даних 0.50% Аналіз даних 0.40%	Робота з базами даних 0.42% Аналіз даних 0.34%
Реалізація SQL-запитів	0.73	Робота з базами даних 0.60% Алгоритмічне мислення 0.20% Оптимізація алгоритмів 0.30%	Робота з базами даних 0.44% Алгоритмічне мислення 0.15% Оптимізація алгоритмів 0.22%
Створення прототипу інтерфейсу	0.74	Проектування інтерфейсів 0.60% Алгоритмічне мислення 0.20%	Проектування інтерфейсів 0.44% Алгоритмічне мислення 0.15%
Реалізація UI у фреймворку	0.78	Проектування інтерфейсів 0.50% Оптимізація алгоритмів 0.40%	Проектування інтерфейсів 0.39% Оптимізація алгоритмів 0.31%
Юзєбіліті-тестування	0.78	Аналіз даних 0.50% Проектування інтерфейсів 0.30%	Аналіз даних 0.39% Проектування інтерфейсів 0.24%

Опис програмного забезпечення

Таблиця прогресу навичок користувача

Прогрес навичок				
Навичка	Відсоток освоєння	Нормалізована оцінка	Кількість оцінок	Стандартне відхилення
Алгоритмічне мислення	2.07%	0.59	12	0.08
Аналіз даних	2.18%	0.65	8	0.05
Оптимізація алгоритмів	0.80%	0.55	5	0.05
Проектування інтерфейсів	1.01%	0.63	4	0.02
Робота з базами даних	1.71%	0.58	6	0.06

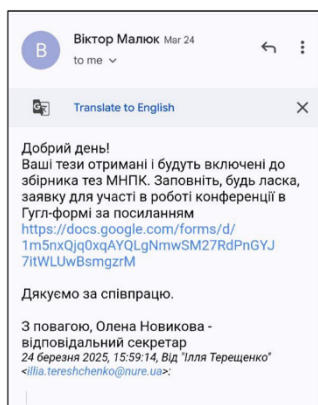
Публікація результатів



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



Публікація результатів



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



Підсумки

- Результати теоретичного дослідження доводять ефективність тестів, практичних завдань та питань з відкритими відповідями, разом з тим, акцентуючи увагу як на їх перевагах, так і недоліках;
- Реалізована система поєднує різні типи завдань, що забезпечує комплексну оцінку навичок і спрямована на зниження суб'єктивності;
- Завдяки використанню традиційних способів оцінювання, прототип системи є сумісним з існуючими підходами у навчанні, що сприяє його легшому впровадженню в освітню практику;
- Алгоритм оцінювання враховує вагу навичок, кількість оцінок та їх варіативність, що підвищує достовірність результатів і зменшує ризик їх хибної інтерпретації.



21

Підсумки

Можливий розвиток дослідження:

- Аналіз прогресу студентів в динаміці для виявлення тенденцій;
- Впровадження рівневої складності навичок;
- Використання ML методів для автоматичного присвоєння навичок новим завданням;
- Інтеграція з LMS (Moodle, Coursera, Udemy, edX) для автоматичного збору даних для попередньої оцінки студентів.



22

ДОДАТОК В

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

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

	GS 210225-201 dated 21.02.2025	
<h1>CERTIFICATE</h1> <h2>OF PARTICIPATION AND PUBLICATION</h2>		      
<h2>Yaroslav Luchenko</h2>		
<p>participated in the IV Correspondence International Scientific and Practical Conference</p>		
<p>Science in motion: classic and modern tools and methods in scientific investigations</p>		
<p>held on February 21st, 2025 by NGO European Scientific Platform (Vinnytsia, Ukraine) LLC International Centre Corporative Management (Vienna, Austria)</p>		
<p>and published scientific paper PERSPECTIVE DIRECTIONS OF ADAPTIVE LEARNING DEVELOPMENT</p>		
<p>in Periodical scientific journal «GRAIL OF SCIENCE» № 49; ISSN 2710-3056; Media identifier R30-02704; DOI 10.36074/grail-of-science.21.02.2025</p>		
<div style="background-color: #ffffcc; padding: 10px; border: 1px solid black;">  <p>0.6 ECTS credits (18 hours) Recommended by the Academic Council of the «Institute of Scientific and Technical Integration and Cooperation». Protocol № 7 from February 20th, 2025.</p> </div>		
<p>Head of the NGO «European Scientific Platform» Chairman of the Organizing committee GOLDENBLAT MIRIAM</p>  	<p>Head of Community Outreach at the LLC «International Centre Corporative Management» RACHAEL APARO</p>  	

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, CTF-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 Д

КОД АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ ОСВОЄННЯ НАВИЧКИ

```
1. public async Task<(double mastery, double normalizedMastery, int
   sampleCount, double stddev)> CalculateSkillMasteryWithMeta(AppUser
   user,
2.     Skill skill)
3. {
4.     var userAnswers = await context.StudentAnswers
5.         .Where(a => a.AppUserId == user.Id &&
   a.Question!.SkillWeights.Any(w => w.SkillId == skill.Id))
6.         .Include(a => a.Question)!.ThenInclude(q =>
   q!.SkillWeights)
7.         .ToListAsync();
8.
9.     var practicalResults = await context.PracticalResults
10.        .Where(r => r.AppUserId == user.Id &&
   r.PracticalStage!.SkillWeights.Any(w => w.SkillId == skill.Id))
11.        .Include(r => r.PracticalStage)!.ThenInclude(s =>
   s!.SkillWeights)
12.        .ToListAsync();
13.
14.    var openAnswers = await context.OpenAnswers
15.        .Where(a => a.AppUserId == user.Id &&
   a.RubricScores.Any(rs => rs.Rubric.SkillWeights.Any(sw =>
   sw.SkillId == skill.Id)))
16.        .Include(a => a.RubricScores)!.ThenInclude(rs =>
   rs.Rubric)!.ThenInclude(r => r.SkillWeights)
17.        .ToListAsync();
18.
19.    double totalScore = 0;
20.    double totalWeight = 0;
21.    int sampleCount = 0;
22.    var weightedScores = new List<(double score, double
   weight)>();
23.
24.    foreach (var answer in userAnswers)
25.    {
26.        var relevantWeights =
   answer.Question!.SkillWeights.Where(w => w.SkillId == skill.Id);
27.        foreach (var weight in relevantWeights)
28.        {
29.            totalScore += answer.Score *
   weight.WeightPercentage;
30.            totalWeight += weight.WeightPercentage;
31.            weightedScores.Add((answer.Score,
   weight.WeightPercentage));
32.            sampleCount++;
33.        }
34.    }
35.
36.    foreach (var result in practicalResults)
37.    {
38.        var relevantWeights =
   result.PracticalStage!.SkillWeights.Where(w => w.SkillId ==
   skill.Id);
```

```

39.         foreach (var weight in relevantWeights)
40.         {
41.             totalScore += result.Score *
weight.WeightPercentage;
42.             totalWeight += weight.WeightPercentage;
43.             weightedScores.Add((result.Score,
weight.WeightPercentage));
44.             sampleCount++;
45.         }
46.     }
47.
48.     foreach (var answer in openAnswers)
49.     {
50.         foreach (var rubricScore in answer.RubricScores)
51.         {
52.             var relevantRubricWeights =
rubricScore.Rubric.SkillWeights.Where(sw => sw.SkillId ==
skill.Id);
53.             foreach (var weight in relevantRubricWeights)
54.             {
55.                 totalScore += rubricScore.Score *
weight.WeightPercentage;
56.                 totalWeight += weight.WeightPercentage;
57.                 weightedScores.Add((rubricScore.Score,
weight.WeightPercentage));
58.                 sampleCount++;
59.             }
60.         }
61.     }
62.
63.     var mastery = totalWeight > 0 ? Math.Min(totalScore / 100,
1) : 0;
64.     var normalizedMastery = totalWeight > 0 ? totalScore /
totalWeight : 0;
65.
66.     double stddev = 0;
67.     if (totalWeight > 0 && weightedScores.Count > 1)
68.     {
69.         var varianceSum = weightedScores.Sum(x => x.weight *
Math.Pow(x.score - normalizedMastery, 2));
70.         stddev = Math.Sqrt(varianceSum / totalWeight);
71.     }
72.
73.     return (mastery, normalizedMastery, sampleCount, stddev);
74. }

```