

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження моделі інтелектуальної системи електронного навчання з використанням методу раціонального компромісу цілей

Виконав: студент IV курсу, групи СН-41

спеціальності 122 Комп'ютерні науки

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Кірашук О.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Млинко Б.Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Шимчук Г.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Гурик О.Я., доцент кафедри МТ		

7. Дата видачі завдання 26 січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	26.01.2026	Виконано
2.	Підбір джерел за темою роботи	27.01.2026-02.02.2026	Виконано
3.	Опрацювання джерел по темі кваліфікаційної роботи	02.02.2026-16.02.2026	Виконано
4.	Виконання дослідження щодо технологій необхідних для реалізації програмного прототипу	27.05.2026-29.05.2026	Виконано
5.	Оформлення розділу «Аналіз предметної області та постановка завдання»	28.05.2026-31.05.2026	Виконано
6.	Оформлення розділу «Проектування структури та дослідження моделі інтелектуальної системи електронного навчання»	31.05.2026-05.06.2026	Виконано
7.	Оформлення розділу «Алгоритм та практична реалізація рішення»	05.06.2026-08.06.2026	Виконано
8.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності»	01.06.2026-08.06.2026	Виконано
9.	Виконання завдання до підрозділу «Основи охорони праці»	01.06.2026-08.06.2026	Виконано
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	09.06.2026-11.06.2026	Виконано
11.	Нормоконтроль	16.06.2026	Виконано
12.	Перевірка на плагіат	22.06.2026	Виконано
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи		
14.	Захист кваліфікаційної роботи	27.06.2026	Виконано

Студент

_____ (підпис)

Кірашук О.А.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Млинко Б.Б.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дослідження моделі інтелектуальної системи електронного навчання з використанням методу раціонального компромісу цілей // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Кірашук Олександр Андрійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СН-41 // Тернопіль, 2026 // С. 89 , рис. – 7, табл. – 3, додат. – 24, бібліогр. – 37.

Ключові слова: система електронного навчання, інтелектуальна система електронного навчання, модель дистанційного навчання, система дистанційного навчання (СДН), модель інформаційних взаємозв'язків, системна методологія, зворотній зв'язок, метод раціонального компромісу цілей.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню моделі інтелектуальної системи електронного навчання, її інформаційних взаємозв'язків на основі системної методології, розробці алгоритму та створенню прототипу системи.

В першому розділі кваліфікаційної роботи описано актуальність роботи, проведено аналіз існуючих систем електронного навчання, їх особливості. Розглянуто вимоги до таких систем, а також представлена суть методу раціонального компромісу цілей.

У другому розділі обгрунтовано вибір структури СДН та досліджено модель інтелектуальної системи електронного навчання.

У третьому розділі описано алгоритм та практичну реалізацію рішення, а саме описано створення навчального прототипу програмної системи.

У четвертому розділі розглянуто питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

ANNOTATION

Research on an Intelligent E-Learning System Model Using the Rational Goal Compromise Method // Qualification work of the educational level «Bachelor» // Kirashuk Oleksandr // Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Faculty of Computer and Information Systems and Software Engineering, Department of Computer Sciences, group SN-41 // Ternopil, 2026 // P. 89, fig. – 7, tabl. – 3, annexes – 24, references – 37.

Keywords: e-learning system, intelligent e-learning system, distance learning model, distance learning system (DLS), model of information relationships, system methodology, feedback, method of rational compromise of goals.

The qualification work is devoted to the research of the model of the intelligent system of electronic learning, its information relationships based on the system methodology, the development of the algorithm and the creation of a prototype of the system.

In the first section of the qualification work, the relevance of the work is described, an analysis of existing e-learning systems and their features is carried out. The requirements for such systems are considered, and the essence of the method of rational compromise of goals is also presented.

In the second section, the choice of the SDN structure is justified and the model of the intelligent e-learning system is investigated.

The third chapter describes the algorithm and practical implementation of the solution, namely the creation of an educational prototype of the software system.

The fourth section examines issues of occupational safety and life safety.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

е – навчання – електронне навчання

ДН – дистанційне навчання

СДН – система дистанційного навчання

ДО – дистанційна освіта

ЦНПО – центр навчальної та професійної орієнтації

ЄКІ – єдиний каталог інформації

ІКТ – інформаційні комп'ютерні технології

LMS (Learning Management Systems) – система керування навчанням

.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Роль електронного навчання в сучасних освітніх інформаційних системах.....	10
1.2 Огляд сучасних систем електронного навчання та їх функціональних моделей.....	11
1.3 Моделі інтелектуальних систем електронного навчання.....	14
1.4 Метод раціонального компромісу цілей у задачах електронного навчання.....	16
1.5 Висновок до першого розділу	20
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ	21
2.1 Вибір структури системи електронного навчання.....	21
2.2 Дослідження моделі інтелектуальної системи електронного навчання.....	25
2.3 Математичне підґрунтя методу раціонального компромісу цілей	31
2.4 Висновок до другого розділу	39
РОЗДІЛ 3. АЛГОРИТМ ТА ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РІШЕННЯ.....	40
3.1 Взаємодія агентів і компонентів системи освіти	40
3.2 Практична задача забезпечення раціонального компромісу цілей	44
3.3 Алгоритм розв'язку задачі.....	48
3.4 Створення навчального прототипу програмної системи	51
3.5 Висновок до третього розділу	54
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	55
4.1 Оцінка ризику перевтоми при багатогодинній роботі з СДН у середовищах із високим когнітивним навантаженням.....	55

4.2 Профілактика мікротравм кистей та зап'ясть у фахівців при тривалому використанні периферійних пристроїв	57
4.3 Висновок до четвертого розділу	59
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ	62
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. Інформаційна революція і світова глобалізація створили інформаційне суспільство і передумови для переходу до суспільства знань, істотно змінили спосіб життя більшості людей. Система навчання повинна адаптуватися до цих змін, і тому одна з важливих задач — узгодження навчання з потребами людей і особливостями інформаційного суспільства. В даний час в області дистанційного навчання проводиться багато досліджень, у яких велика увага приділяється безупинному активному навчанню, упровадженню нових технологій і новому розумінню ролі суб'єкта навчання, викладача й освітньої установи.

Нові моделі систем електронного навчання, автоматизація окремих механізмів керування процесом навчання будуть більш ефективні, якщо їх розглядати як складові частини єдиної системи. Це дозволить організувати обмін даними між підсистемами і налагодити взаємодію при рішенні задач. Звідси випливає необхідність побудови моделі системи, що представляє складну міждисциплінарну проблему.

Актуальність створення динамічної, ітераційної моделі пояснюється тим, що ефективне існування будь-якої системи має циклічний характер і можливо лише при наявності зворотного зв'язку [1]. Розробка математичної моделі прийняття рішень важлива тому, що сучасні інформаційні комп'ютерні технології (ІКТ) винятково формалізовані і їхнє ефективне використання в дистанційному навчанні можливо лише при одночасній формалізації предметної області.

У зв'язку з цим актуальним є: на базі системної методології дослідити механізми узгодження діяльності суб'єктів у дистанційному навчанні для знаходження раціонального компромісу цілей суб'єктів навчання, навчальних закладів і агентів ринку праці. Запропонувати математичну постановку задачі забезпечення раціонального компромісу цілей та розробити алгоритм її рішення.

Мета і завдання дослідження. Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є дослідження моделі інтелектуальної системи електронного навчання, визначення її основних компонентів, інформаційних потоків, критеріїв та розробки алгоритму практичної реалізації компромісного вибору.

Для досягнення мети потрібно виконати такі завдання:

- проаналізувати сучасні системи електронного навчання та їх функціональні моделі;
- обґрунтувати вибір структури системи дистанційного навчання;
- дослідити вхідні та вихідні інформаційні потоки системи дистанційного навчання;
- визначити суб'єкти електронного навчання та групи їхніх цілей;
- розробити прототип інтелектуальної системи електронного навчання на основі дослідження моделі інформаційних взаємозв'язків інтелектуальної системи електронного навчання.

Практичне значення одержаних результатів. Програмний прототип інтелектуальної системи електронного навчання призначений для розв'язку окремих задач в області освіти та інтеграції існуючих напрацювань у єдину систему.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Роль електронного навчання в сучасних освітніх інформаційних системах

Електронне навчання у сучасному закладі вищої освіти вже не розглядається лише як допоміжний засіб розміщення лекційних матеріалів. Воно перетворилося на складну інформаційну систему, яка об'єднує керування навчальним контентом, комунікацію між учасниками освітнього процесу, контроль результатів навчання, накопичення цифрових слідів студента та підтримку адміністративних рішень. У такій системі взаємодіють різні суб'єкти: студент, викладач, кафедра, адміністрація закладу, роботодавець, а також зовнішні сервіси, що надають інструменти тестування, відеозв'язку, аналітики або створення навчального контенту. Саме тому електронне навчання є предметною областю, в якій технічні, педагогічні та організаційні задачі повинні розглядатися узгоджено [1].

Поширення дистанційного та змішаного навчання суттєво змінило вимоги до навчальних платформ. Якщо перші системи керування навчанням були переважно електронними сховищами матеріалів і тестів, то сучасні платформи мають підтримувати персоналізовані траєкторії, гнучке оцінювання, аналітику залученості, інтеграцію з відеосервісами та зовнішніми освітніми застосунками. У сучасній літературі таку еволюцію пов'язують з розвитком інтелектуальних освітніх технологій, адаптивного навчання, learning analytics та генеративного штучного інтелекту [2-5]. Важливим є не тільки факт наявності цифрового середовища, а його здатність підтримувати прийняття рішень щодо того, який навчальний ресурс, темп, складність завдання або форма зворотнього зв'язку є найбільш доцільними для конкретного студента.

Доцільно розглядати електронне навчання саме як об'єкт математичного та комп'ютерного моделювання. З одного боку, освітня система має дані: профілі користувачів, журнали подій, результати тестів, траєкторії проходження курсів, оцінки, коментарі викладача, час виконання завдань. З іншого боку, вона має цілі: підвищення успішності, зменшення відсіву, збереження академічної доброчесності, економне використання ресурсів, забезпечення вимог освітньої програми та потреб ринку праці. Між цими цілями часто виникає суперечність. Наприклад, індивідуальна підтримка студента підвищує якість навчання, але збільшує навантаження викладача; суворий контроль підвищує достовірність оцінювання, але може знижувати комфорт і мотивацію студента; максимальна автоматизація зменшує витрати часу, але потребує перевірки справедливості алгоритмів.

У цьому контексті особливої актуальності набуває підхід раціонального компромісу цілей. У [1] запропоновано розглядати дистанційну освіту як систему узгодження цілей різних агентів: тих, хто навчається, освітніх установ і ринку праці [1]. Для сучасної інтелектуальної системи електронного навчання ця ідея може бути інтерпретована як задача побудови модуля підтримки рішень, який не оптимізує лише один показник, а шукає прийнятне рішення для кількох груп критеріїв. Такий підхід відповідає практиці системного аналізу та синтезу інтелектуальних програмних систем, оскільки освітня платформа є соціотехнічною системою з багатьма зацікавленими сторонами.

1.2 Огляд сучасних систем електронного навчання та їх функціональних моделей

Системи електронного навчання зазвичай поділяють на кілька класів. Перший клас становлять класичні LMS (Learning Management Systems), які забезпечують створення курсів, розміщення матеріалів, керування групами, виконання завдань, тестування та ведення журналу оцінок. Другий клас становлять платформи масових відкритих онлайн-курсів, орієнтовані на

масштабоване навчання великої кількості користувачів. Третій клас утворюють колаборативні середовища, що виростили з комунікаційних платформ, але використовуються для навчання завдяки підтримці завдань, оцінювання і відеозустрічей. Четвертий клас – адаптивні та інтелектуальні системи, в яких важливу роль відіграють моделі студента, рекомендаційні алгоритми, автоматизований зворотний зв'язок і аналітика [6-8].

Moodle є одним із найпоширеніших прикладів відкритої LMS. Офіційна документація характеризує Moodle як безкоштовну онлайн-систему керування навчанням, що дає змогу викладачам створювати приватний освітній вебпростір із динамічними курсами [9]. Її модель є модульною: курс складається з ресурсів і активностей, користувачі мають ролі та права доступу, а функціональність може розширюватися плагінами. Це робить Moodle придатною для університетів, які потребують контролю над даними та адаптації системи до локальних правил. Водночас якість користувацького досвіду й аналітичні можливості значною мірою залежать від налаштувань, технічної підтримки та встановлених розширень.

Canvas LMS є прикладом хмарної комерційної системи, яка акцентує увагу на зручності інтерфейсу, інструментах оцінювання, комунікації та аналітиці. В офіційних матеріалах Instructure Canvas описується як веборієнтована LMS для доступу до навчальних матеріалів, управління курсами, комунікації щодо розвитку навичок і досягнення результатів навчання [10]. У цій платформі важливою є модель курсу, який поєднує модулі, завдання, рубрики, результати навчання, календар і комунікаційні засоби. Canvas демонструє тенденцію сучасних LMS до підтримки outcomes-based education, коли оцінювання пов'язується не лише з балами, а й з досягненням конкретних компетентностей.

У таблиці 1.1 наведено узагальнене порівняння сучасних систем електронного навчання з погляду функціональної моделі, аналітики та обмежень, важливих для побудови інтелектуальної системи. Важливу роль у такій інтеграції відіграють освітні стандарти і специфікації. LTI 1.3 та LTI

Advantage описують безпечний запуск зовнішніх інструментів з LMS і взаємодію між платформою та навчальним застосунком [16].

Таблиця 1.1 – Порівняння сучасних систем електронного навчання

Система	Функціональна модель	Сильні сторони	Аналітика та персоналізація	Типові обмеження
Moodle	Відкрита LMS із модульною архітектурою курсів, ролями користувачів і плагінами.	Гнучке налаштування, велика спільнота, підтримка різних активностей і тестів.	Журнали подій, звіти, плагіни аналітики, інтеграція зовнішніх модулів.	Потребує адміністрування; якість UX залежить від теми, плагінів і налаштувань.
ATutor	Відкрита веб-LMS/LCMS для створення, керування, пакування і поширення онлайн-курсів та навчального контенту.	Акцент на доступності й адаптивності; підтримка тем, модулів, імпорту/експорту навчального контенту.	Підтримує соціальне й адаптивне навчальне середовище; може використовуватися для інклюзивного e-learning.	Менш поширена у сучасних університетських впровадженнях; екосистема і розвиток слабші, ніж у Moodle або Canvas.
Canvas LMS	Хмарна LMS із курсами, результатами навчання, рубриками, календарем і комунікаціями.	Зручний інтерфейс, інтеграції, розвинені інструменти оцінювання.	Course Analytics/New Analytics, оцінювання за результатами, повідомлення студентів за статусом.	Комерційна модель, залежність від політик постачальника і ліцензії.
Google Classroom	Спрощена класно-орієнтована система керування завданнями у Google Workspace.	Швидке створення класів, завдань, матеріалів, коментарів і оцінок.	Персоналізований зворотний зв'язок, інтеграція з Google Forms, Drive, Meet.	Менше засобів глибокої аналітики та складної адаптації, ніж у повноцінних LMS.
Microsoft Teams for Education	Комунікаційно-коллаборативна модель: команди класів, завдання, оцінки, зустрічі, файли.	Сильна підтримка синхронної роботи, відеозустрічей, файлів і корпоративної інфраструктури.	Insights відстежує активність, завдання, залученість і тенденції у роботі студентів.	Не є класичною LMS у вузькому сенсі; часто потребує поєднання з іншими системами.
Open edX	Відкрита масштабована платформа з LMS і CMS для курсів, зокрема масових онлайн-курсів.	Масштабованість, відкритість, підтримка авторингу курсів і сертифікації.	Події платформи, Aspects/аналітичні рішення, можливість власних дашбордів.	Складніше розгортання та підтримка, потребує технічної команди.
Blackboard Learn Ultra	Комерційна LMS з курсами, контентом, оцінюванням, журналом оцінок, аналітичними звітами.	Інструменти оцінювання, рубрики, гнучке керування контентом, інтеграція з SIS.	Analytics for Learn і звіти щодо успішності, активності, здавання робіт.	Комерційна екосистема; доступність функцій залежить від ліцензії й налаштування закладу.

xAPI використовується для фіксації навчальних подій з різних середовищ, включно з онлайн-курсами, симуляціями та офлайн-активностями [17]. IEEE

1484.12.1-2020 визначає схему метаданих для опису learning objects, тобто цифрових або нецифрових об'єктів, що використовуються для навчання, освіти чи тренування [18]. Для досліджуваної моделі це означає, що інтелектуальний модуль повинен працювати не ізольовано, а як частина освітньої екосистеми, де дані та ресурси мають узгоджений формат.

1.3 Моделі інтелектуальних систем електронного навчання

Інтелектуальна система електронного навчання відрізняється від звичайної LMS тим, що вона використовує формалізовані моделі навчального процесу і дані про користувача для підтримки адаптації. У найпростішому випадку адаптація може полягати у виборі складності тесту залежно від попередніх відповідей. У складнішому випадку система оцінює стан знань студента, прогнозує ризик невиконання курсу, рекомендує матеріали, формує індивідуальну траєкторію або генерує пояснення. Огляд сучасних інтелектуальних освітніх технологій показує, що вони охоплюють системи рекомендацій, адаптивне тестування, інтелектуальні тьютори, автоматизоване оцінювання, навчальну аналітику, чат-боти та системи з генеративним ШІ [2-5].

Класична архітектура інтелектуальної навчальної системи часто описується через чотири компоненти: модель предметної області, модель студента, педагогічну модель і користувацький інтерфейс [4]. Модель предметної області містить знання про навчальний курс: теми, поняття, правила, приклади, типові помилки, зв'язки між компетентностями. Модель студента відображає поточний стан знань, навички, помилки, темп роботи, мотиваційні або контекстні характеристики. Педагогічна модель визначає, як система має діяти: коли дати підказку, коли запропонувати повторення, коли ускладнити завдання або коли передати ситуацію викладачеві. Інтерфейс забезпечує взаємодію студента і викладача із системою.

У персоналізованих освітніх системах центральним є поняття learner model. Огляди персоналізованого навчального програмного забезпечення

виділяють моделі користувача, навчального контенту, середовища і механізми рекомендації як ключові складові [6]. Контекстно-орієнтовані підходи додатково враховують поточну ситуацію студента: рівень знань, ціль навчання, доступний час, мотивацію, пристрій, місце, формат діяльності та соціальні зв'язки [7]. Це важливо, оскільки метод раціонального компромісу потребує не одного показника успішності, а множини критеріїв, які можуть бути отримані з різних моделей і джерел даних.

На рисунку 1.1 подано узагальнену архітектуру інтелектуальної системи електронного навчання, яка може бути використана як початкова модель для даної роботи.

Окремим сучасним напрямом є застосування генеративного ШІ в освіті. UNESCO у своїх рекомендаціях наголошує на потребі людиноцентричного бачення генеративного ШІ, регулювання, захисту даних і розвитку людської спроможності користуватися такими технологіями [19]. Європейська Комісія у рекомендаціях для педагогів підкреслює, що використання ШІ та даних у навчанні має супроводжуватися усвідомленням потенціалу й ризиків [20].

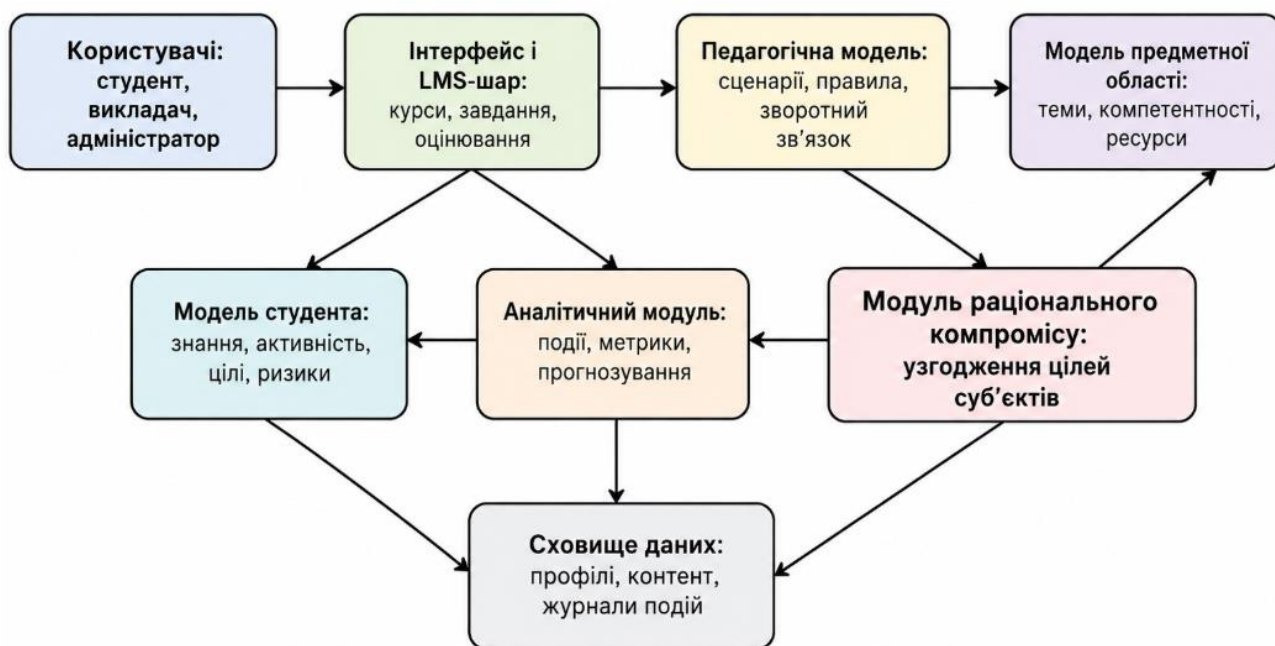


Рисунок 1.1 – Узагальнена структура інтелектуальної системи електронного навчання

Для інтелектуальної системи електронного навчання це означає, що модуль ШІ не може розглядатися лише як генератор відповідей. Він повинен бути вбудований у систему контролю якості, прозорості, пояснюваності та захисту персональних даних.

1.4 Метод раціонального компромісу цілей у задачах електронного навчання

Метод раціонального компромісу цілей є природним для задач, у яких існує кілька суб'єктів із частково суперечливими інтересами. У дистанційній освіті такими суб'єктами можуть бути студент, викладач, освітня установа та зовнішнє середовище, зокрема роботодавці або вимоги освітньої програми [1]. Студент прагне отримати знання з прийнятним навантаженням, зручним темпом і зрозумілим зворотним зв'язком. Викладач прагне забезпечити якість навчання, об'єктивність оцінювання, академічну доброчесність і кероване навантаження. Заклад освіти прагне виконати стандарти, підвищити якість освітніх послуг, ефективно використовувати ресурси та отримати достовірну аналітику. Ринок праці зацікавлений у сформованих компетентностях випускника.

Якщо система оптимізує лише одну ціль, вона може створити небажані наслідки. Наприклад, максимізація середнього бала може спонукати до надто простих завдань. Мінімізація часу проходження курсу може знизити глибину засвоєння матеріалу. Максимізація кількості тестів може підвищити формальний контроль, але погіршити мотивацію. Мінімізація навантаження викладача може зменшити якість індивідуального зворотного зв'язку. Тому рішення інтелектуальної системи має бути компромісним: воно повинно покращувати загальний стан системи, не допускаючи критичного погіршення важливих критеріїв.

Формально задачу можна подати так. Нехай X – множина допустимих альтернатив, наприклад можливих навчальних траєкторій, режимів контролю

або наборів рекомендованих ресурсів. Для кожної альтернативи x з X обчислюються критерії $f_1(x)$, $f_2(x)$, ..., $f_m(x)$, які відповідають цілям різних суб'єктів. Оскільки критерії можуть мати різну природу, їх доцільно нормувати, перетворюючи на шкалу корисності або задоволення $\mu_i(x)$, де більше значення означає кращу відповідність відповідній цілі. Тоді компромісне рішення може визначатися як альтернатива, що максимізує інтегральну функцію компромісу або забезпечує належний мінімальний рівень задоволення всіх ключових цілей.

$$x^* = \arg \max F(\mu_1(x), \mu_2(x), \dots, \mu_m(x)), x \in X, \quad (1.1)$$

де x^* – компромісна альтернатива,

$\mu_i(x)$ – нормована оцінка відповідності альтернативи i -й цілі,

F – функція узгодження критеріїв.

Для практичного використання формула (1.1) має бути конкретизована: потрібно визначити перелік критеріїв, спосіб нормування, ваги або пріоритети, обмеження та правила інтерпретації результату.

У межах досліджуваної теми можна виділити такі групи критеріїв. До критеріїв студента належать очікувана успішність, зрозумілість матеріалу, зручність темпу, кількість повторних спроб, потреба у додаткових поясненнях. До критеріїв викладача належать об'єктивність оцінювання, керованість курсу, зниження рутинних операцій, можливість втручання в проблемних випадках. До критеріїв закладу належать відповідність освітній програмі, стабільність платформи, захист даних, масштабованість, вартість підтримки. До критеріїв зовнішнього середовища можна віднести відповідність компетентностей вимогам професійної діяльності.

На рисунку 1.2 показано спрощену схему застосування методу раціонального компромісу цілей у моделі інтелектуальної системи електронного навчання.

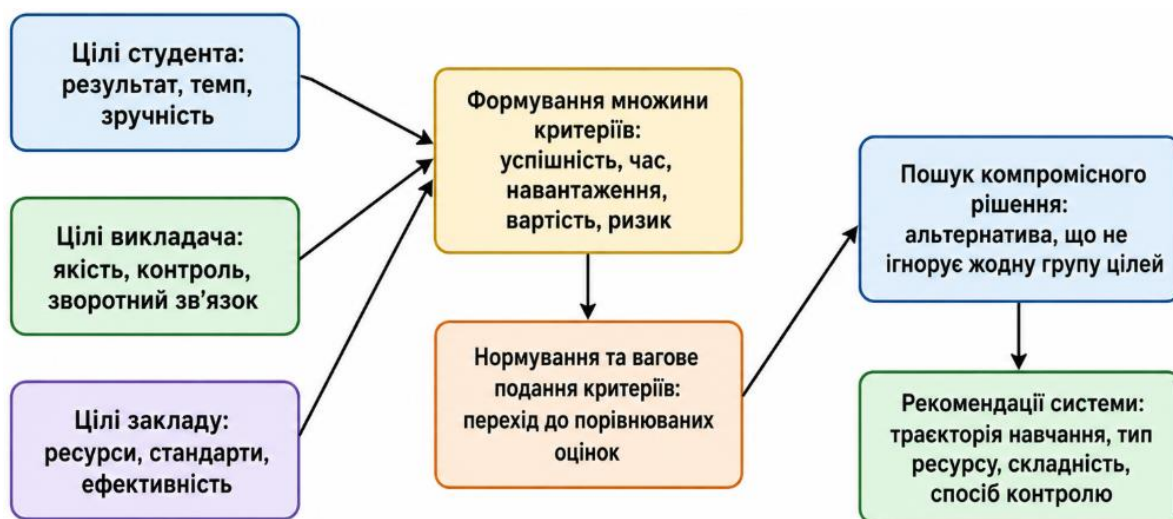


Рисунок 1.2 – Схема застосування методу раціонального компромісу цілей

Схема підкреслює, що компроміс починається не з алгоритму, а з виділення суб'єктів, їхніх цілей і критеріїв. Після цього критерії нормуються, порівнюються та використовуються модулем прийняття рішень для формування рекомендацій.

На основі проведеного аналізу можна сформулювати задачі роботи. Сучасні системи електронного навчання накопичують значний обсяг даних і підтримують багато навчальних функцій, однак здебільшого не мають спеціалізованого механізму раціонального узгодження цілей різних суб'єктів освітнього процесу. Інтелектуальні системи та адаптивні платформи розвивають персоналізацію, але часто оптимізують окремі показники, наприклад успішність або рекомендацію контенту. Для університетського середовища важливо враховувати ширший набір критеріїв: якість навчання, об'єктивність оцінювання, навантаження викладача, мотивацію студента, ресурсні обмеження, вимоги освітньої програми і принципи відповідального використання даних.

Об'єктом дослідження є процес електронного навчання у дистанційному освітньому середовищі.

Предметом дослідження є модель інтелектуальної системи електронного навчання із використанням раціонального компромісу цілей.

Метою роботи є дослідження моделі інтелектуальної системи електронного навчання, визначення її основних компонентів, інформаційних потоків, критеріїв і алгоритмічної логіки компромісного вибору.

Для досягнення мети потрібно виконати такі завдання:

- проаналізувати сучасні системи електронного навчання та їх функціональні моделі;
- обґрунтувати вибір структури системи дистанційного навчання;
- дослідити вхідні та вихідні інформаційні потоки системи дистанційного навчання;
- визначити суб'єкти електронного навчання та групи їхніх цілей;
- розробити прототип інтелектуальної системи електронного навчання на основі дослідження моделі інформаційних взаємозв'язків інтелектуальної системи електронного навчання.

Вхідними даними для моделі можуть бути профіль студента, дані про успішність, історія активності в LMS, результати тестів, структура курсу, метадані навчальних ресурсів, налаштування викладача, правила оцінювання та обмеження освітньої програми. Вихідними даними є рекомендації щодо навчального маршруту, складності наступного завдання, типу ресурсу, необхідності повторення теми, способу контролю або потреби у втручанні викладача. Додатковим виходом має бути пояснення рекомендації, тобто опис того, які критерії вплинули на вибір.

Функціональні вимоги до моделі інтелектуальної системи можна сформулювати так. Система повинна зберігати та оновлювати модель студента; підтримувати опис навчальних ресурсів і компетентностей; обчислювати критерії успішності, активності, ризику і навантаження; нормувати критерії до порівнюваної шкали; виконувати компромісний вибір між альтернативами; формувати рекомендацію і пояснення; надавати викладачу можливість змінювати ваги або пороги критеріїв; забезпечувати експорт або інтеграцію результатів з LMS. Такі вимоги відповідають сучасній тенденції переходу від ізольованих навчальних платформ до освітніх екосистем [16, 17].

Нефункціональні вимоги є не менш важливими. Система повинна забезпечувати захист персональних даних, розмежування доступу, прозорість логіки прийняття рішень, стійкість до помилок даних, масштабованість для роботи з групою студентів, можливість аудиту результатів та пояснюваність рекомендацій. Оскільки освітні рішення можуть впливати на навчальну траєкторію студента, система не повинна бути «чорною скринькою». Навіть якщо на практиці застосовуються алгоритми машинного навчання, викладач має отримувати зрозумілі індикатори: який критерій був критичним, які альтернативи порівнювалися, чому вибрано саме цю рекомендацію.

1.5 Висновок до першого розділу

У першому розділі проаналізовано предметну область електронного навчання та показано, що сучасна LMS є не лише сховищем матеріалів, а складною освітньою інформаційною системою, яка накопичує дані про навчальний процес і підтримує комунікацію, оцінювання, керування курсами та аналітику. Розглянуто функціональні моделі Moodle, Atutor, Canvas LMS, Google Classroom, Microsoft Teams for Education, Open edX і Blackboard Learn Ultra. Показано, що ці системи надають важливі інструменти організації навчання, однак не вирішують повністю задачу багатокритеріального узгодження цілей студента, викладача, закладу освіти та зовнішнього середовища.

Розглянуто моделі інтелектуальних систем електронного навчання, зокрема модель предметної області, модель студента, педагогічну модель, інтерфейс, аналітичний модуль і модуль прийняття рішень. Обґрунтовано доцільність застосування методу раціонального компромісу цілей як механізму підтримки рішень у ситуаціях, коли потрібно збалансувати успішність, темп навчання, навантаження викладача, ресурсні обмеження, мотивацію студента та вимоги освітньої програми.

РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ

2.1 Вибір структури системи електронного навчання

Перш за все, варто зауважити, що системи електронного навчання утотожуються із системами дистанційного навчання (СДН), це є синонімічні поняття, які є, відповідно, рівнозначними у вживанні. Першочерговим завданням при розробці будь-якої системи є розробка її структури, під час якої необхідно керуватися вимогами до систем відповідного типу. Обґрунтування структури для проектування та розробки складних СДН повинен опиратися на чітко визначені вимоги, які висуваються до таких систем і наведені у розділі 1.

Для реалізації зазначених у розділі 1 вимог пропонується наступна структура СДН, схема якої представлена на рис. 2.1

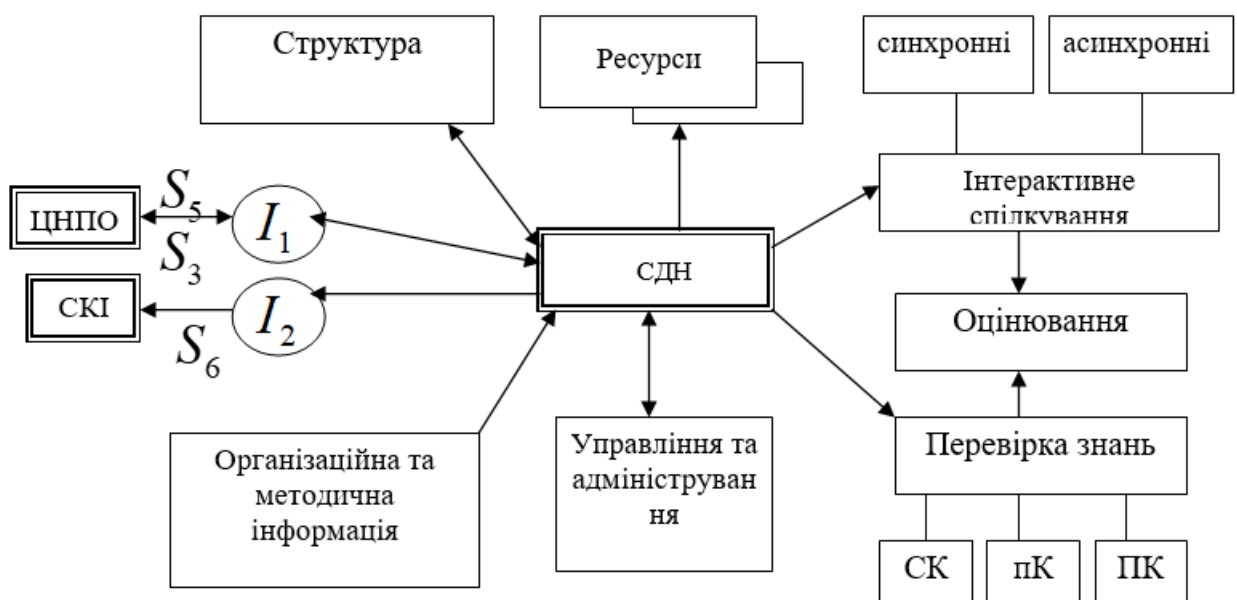


Рисунок 2.1 - Структура і зв'язки СДН

За даною схемою підсистема «Структура» виконує функції формалізованого представлення структури дистанційного курсу, що дозволяє

здійснювати реалізацію індивідуальних навчальних сценаріїв, інтелектуальну навігацію по курсу, виробляти план навчання по профайлу студента. Структуру можна представити у вигляді графа:

$$CS = \{Y, G, v(x_i, y_j)\},$$

де $Y = \{y_j\}$ — множина елементарних частин курсу (юнітів);

$G = \|g_{ij}\|$ — матриця, кожен елемент якої відповідає перевазі переходу до юніту j із юніта i ;

$v(x_i, y_j)$ — функція кореляції між множиною Y і множиною областей знань X .

Підсистема «Ресурси» містить статичні навчальні матеріали курсу (наприклад, веб-сторінки, відеоролики, аудіо матеріали, посилання на зовнішні джерела). СДН повинна містити інструментарій, що дозволяє створювати і редагувати дані ресурси. Кожен ресурс зв'язаний з певною частиною курсу, хоча один юніт може містити кілька різних ресурсів.

Наступною підсистемою СДН є підсистема «інтерактивне спілкування». Вона представляє набір засобів, що дозволяють здійснювати спілкування між студентами і персоналом навчального закладу в різних формах. Цю підсистему можна розглядати на двох рівнях — технічному і методологічному. Технічні засоби спілкування можна розділити на два типи: синхронні — спілкування в реальному часі (on-line) і асинхронні — розділене у часі спілкування (off-line).

До першої групи відносяться такі технології, як відеоконференції, аудіоконференції, чати. До другої групи — телеконференції (групи новин), веб-форуми. В даний час розглянуті технології спілкування широко використовуються, але їхня ефективність зазвичай невелика. Причина цього полягає у тому, що повинні існувати зв'язки між технологіями і цілями навчального процесу, а ці зв'язки реалізуються на методологічному рівні. Одні й ті ж технології спілкування можна використовувати для організації різних

форм активного набування знань. Наприклад, синхронні технології можна використовувати для проведення рольових ігор, семінарських занять, моделювання проблемних ситуацій. Асинхронні технології можуть використовуватися для організації дискусійних груп, рольових ігор, обміну досвідом рішення практичних задач. Саме ця частина СДН в майбутньому повинна стати основою набування знань, формування умінь і навиків. Кожна елементарна частина спілкування (наприклад, семінар або тематична дискусія) є елементом множини Y . Крім того, у СДН можливе застосування такої форми навчання, як віртуальні лабораторії, у яких студенти працюють із програмними аналогами реальних приладів або устаткування. Це також відображає концепцію активного навчання, хоча і не входить у підсистему спілкування.

Підсистема «Перевірка знань» є однією з найбільш досліджених частин СДН. У неї традиційно поєднують сукупність тестових питань і завдань, що служать для оцінки засвоєння матеріалу курсу. У режимі активного навчання роль подібних перевірок значно зменшується, оскільки більш ефективну оцінку знань (особливо неформальних, глибоких знань) дають результати спілкування і рішення практичних задач. Тим не менше, оболонка СДН повинна забезпечувати реалізацію самоконтролю (СК), поточного (пК) і підсумкового контролю (ПК) у формі тестових питань різних типів і тестових завдань. Кожен елементарний набір тестових завдань є юнітом і входить у множину Y .

Підсистема «Оцінювання» виконує формування оцінки знань за результатами як інтерактивного спілкування, так і перевірки знань. У першому випадку основою оцінки можуть бути участь у семінарах, дискусіях, рольових іграх, розв'язанні проблемних задач; у другому — результати відповідей на тестові питання і завдання. Оцінка не обов'язково повинна бути числом, більш того, при оцінюванні участі в різних формах спілкування може бути винятково цінним включити в неї коментарі працівників навчального закладу. Проте, оцінка повинна бути формалізованою:

$$q_i = Q(y_i),$$

де q_i — оцінка за юніт y_i . Технічно це може бути як числове, так і текстове поле в базі даних; у випадку числової оцінки відповідей на тести може бути передбачена можливість її покращення в результаті повторного виконання тестових завдань.

Підсистема «Керування й адміністрування» включає наступні інтерфейси:

- інтерфейс розробника — набір засобів, за допомогою яких автор курсу може створювати і редагувати його структуру, ресурси, матеріали тестових завдань, організаційну і методичну інформацію;
- інтерфейс персоналу підтримки — набір засобів, за допомогою яких професорсько-викладацький склад навчального закладу зможе більш ефективно сприяти студентам в одержанні знань, керувати їх спілкуванням, супроводжувати просування за курсом навчання, оцінювати знання і т.д.;
- інтерфейс адміністратора — набір засобів, за допомогою яких адміністратор системи керує програмними засобами СДН (базами даних, доступом користувачів до СДН і т.п.).

Підсистема «Організаційна і методична інформація» являє собою набір інформаційних блоків, які дають студентам загальні відомості про дистанційні курси, СДН, персональні підтримки, а також містять методичні рекомендації з проведення інтерактивного спілкування і виконання індивідуальних та групових завдань (лабораторних, курсових робіт і ін.).

У структуру СДН також входять наступні інтерфейси:

- I_1 — інтерфейс, що забезпечує обмін інформацією СДН з центрами освітньої і професійної орієнтації (потіки S_3 , S_5);
- I_2 — інтерфейс, що забезпечує обмін інформацією СДН з єдиним каталогом (потік S_6);

Крім того, може бути інтерфейс взаємозв'язків, що дозволяє одній СДН використовувати інформаційні ресурси або технічні засоби іншої СДН.

Інтерфейси являють собою не просто засоби одержання чи відправлення деякої інформації, вони також забезпечують трансляцію внутрішнього представлення структури курсу (у термінах юнітів) у його зовнішній опис у термінах областей знань. Важливість функціонування стандартизованих інтерфейсів обумовлена тим, що вони є посередниками між різними СДН. Внутрішня реалізація систем може розрізнятися, але протоколи обміну інформацією, точки входу і формати даних повинні бути уніфіковані, оскільки в противному випадку неможливо налагодити ефективну взаємодію цих систем.

Запропонована структура СДН дозволяє враховувати вимоги, що накладаються на систему навчання при її взаємодії і взаємозв'язку з іншими СДН, а також у вигляді елемента системи більш високого рівня. Побудова оболонки СДН на основі запропонованої структури дає можливість реалізувати концепцію активного навчання і забезпечити новий рівень взаємин «студент-викладач-навчальний заклад».

2.2 Дослідження моделі інтелектуальної системи електронного навчання

На основі запропонованої структури СДН уже можна вирішувати задачу побудови моделі системи дистанційного навчання на основі інтеграції окремих СДН в єдину систему більш високого рівня. На базі даної моделі можна вирішити наступні задачі: встановити зв'язки між СДН; розробити протоколи обміну інформацією і сумісного використання ресурсів, створити відповідні інтерфейси. Потім СДН об'єднуються зовнішніми зв'язками з іншими елементами системи навчання, визначаються зв'язки системи з зовнішнім середовищем, форми інформаційного обміну. При цьому необхідно враховувати, що система дистанційного навчання є відкритою, активно обмінюється інформацією з базами даних і знань по різних напрямках науки й навчання, електронними бібліотеками, віртуальними науковими й освітніми

лабораторіями, системами пошуку інформації і різними категоріями індивідуальних користувачів. Тому основні властивості системи дистанційного навчання визначаються властивостями й особливостями різних потоків інформації. Вхідні і вихідні потоки інформації, які тією чи іншою мірою присутні в системі дистанційного навчання, приведені в табл. 2.1. Ці потоки відображають обмін інформацією між системою навчання і зовнішнім середовищем. Крім цих потоків, існують і внутрішні інформаційні потоки, за допомогою яких відбувається інформаційний обмін між компонентами системи.

Таблиця 2.1 – Вхідні і вихідні потоки інформації

	Вхідний потік	Вихідний потік
Суб'єкт навчання	Професійні прагнення. Інтереси і схильності	Досвід навчання (може бути у формі оцінки, сертифіката, свідоцтва, диплома)
Навчальні заклади	Можливості, ресурси. Статистична інформація про поточний розподіл студентів по спеціальностях	Актуальні спеціальності і курси ДО. Оцінка ефективності поточних спеціальностей і курсів ДО
Роботодавець	Поточний попит на фахівців. Тенденції на ринку праці	Майбутня пропозиція на ринку праці. Спеціалісти для заповнення вакансій

Для підвищення ефективності використання інформації пропонується організувати зворотній зв'язок у системі дистанційного навчання шляхом напрямку вихідного потоку «досвід навчання» на вхід системи. Зворотній зв'язок надасть системі нової якості: вона дозволить враховувати накопичений багаж знань, умінь і навиків при формуванні стратегії навчання, тим самим

забезпечуючи можливість адаптуватися до потреб студентів і сприяти кращому досягненню їх цілей. Зворотній зв'язок також дозволить навчальним закладам більш ефективно організовувати процес навчання кожного конкретного суб'єкта, враховуючи попередній досвід. Крім того, зворотній зв'язок дозволить навчальним закладам формувати базу даних про кількість і працевлаштування випускників, що працюють за фахом, ступені їх задоволення отриманим навчанням, визначати ефективність своєї роботи і найбільш актуальні і дефіцитні спеціальності. На основі розглянутих вище інформаційних потоків і зв'язків пропонується модель інформаційних взаємозв'язків системи дистанційного навчання (рис. 2.2).

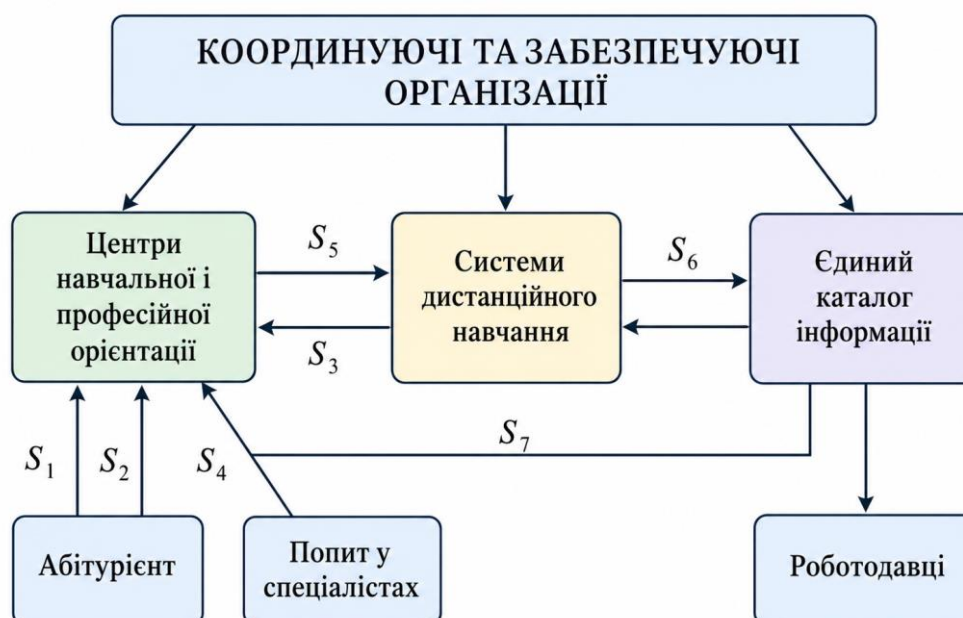


Рисунок 2.2 - Інформаційні потоки в системі дистанційного навчання

«Центри освітньої і професійної орієнтації» є організаціями, призначення і діяльність яких полягає у погодженні цілей і задач системи навчання: цілей її підсистем, цілей окремих суб'єктів, цілей навчання по номенклатурі професій, а також формування і реалізація стратегії навчання і технологічного й інформаційного забезпечення СДН. Вони виконують наступні функції:

- надання необхідної інформації абітурієнтам;
- створення бази знань і даних про навчальні заклади і дистанційні курси;
- облік суспільних потреб у робочій силі, аналіз ситуації на ринку праці, рекомендації при виборі навчального закладу і форми ДО;
- генерація індивідуального навчального сценарію для різних категорій абітурієнтів з метою подальшого використання в навчальних закладах;
- формування бази знань і даних про індивідуальні особливості і запити абітурієнтів.

Центри освітньої і професійної орієнтації оперують наступними формалізованими потоками інформації:

- інтереси і схильності абітурієнта (вхідний потік) представляються у вигляді:

$$S_1 = \{(s_{i_1}, \mu(s_{i_1})) \mid i_1 = \overline{1, n_1}\}, \quad (2.1)$$

де s_{i_1} - показник інтересів абітурієнта; $\mu(s_{i_1})$ - функція приналежності елемента s_{i_1} множині S_1 ;

- цілі професійного позиціонування (вхідний потік), що визначають запити на ринку праці,

$$S_2 = \{(p_{i_2}, \mu(p_{i_2})) \mid i_2 = \overline{1, n_2}\}, \quad (2.2)$$

де p_{i_2} — показник позицій номенклатури професій на ринку праці, $\mu(p_{i_2})$ — функція приналежності елемента p_{i_2} множині S_2 ,

- пропозиції на ринку освітніх послуг (вхідний потік), у якості яких може бути інформація про спеціальність і курси, по яких здійснюється навчання,

$$S_3 = \{(c_{i_3}, v(x_j, c_{i_3})) \mid i_3 = \overline{1, n_3}; j = \overline{1, m}\}, \quad (2.3)$$

де C_{i_3} — показник пропонованих навчальними закладами послуг (це можуть бути окремі курси або їх набори, наприклад, у формі напрямків підготовки або спеціальностей); x_j — області знань, елементи спеціальної множини, яка служить для узгодження цілей; $v(x_j, c_{i_3})$ — функція кореляції між курсом (спеціальністю) C_{i_3} і областю знань x_j ;

- поточна ситуація на ринку праці (вхідний потік):

$$S_4 = \{\xi(p_{i_4}) \mid i_4 = \overline{1, n_4}\}, \quad (2.4)$$

де $\xi(p_{i_4})$ — випадкова величина, що описує поточний попит на ринку робочої сили (можуть бути задані статистичні параметри, наприклад, вибіркове середнє і дисперсія);

- профайл студента (внутрішній потік) формується на основі визначеної раніше стратегії навчання і дозволяє СДН будувати індивідуальний навчальний сценарій студента:

$$S_5 = \{(x_{i_5}, \mu(x_{i_5})) \mid i_5 = \overline{1, n_5}\}, \quad (2.5)$$

де x_{i_5} — показник області знань; $\mu(x_{i_5})$ — функція приналежності елемента x_{i_5} множині S_5 ;

- відомості про досвід навчання абітурієнта (внутрішній потік): S_7 див. опис S_6 .

«Системи дистанційного навчання» у системі дистанційної освіти (рис.

2.2) оперують наступними потоками інформації:

- пропозиція освітніх послуг (внутрішній потік) — (3)
- профайл студента (внутрішній потік) — (5)
- відомості про досвід навчання (внутрішній потік):

$$S_6 = \{(x_{i_6}, q(x_{i_6}), p_q(x_{i_6})) \mid i_6 = \overline{1, n_6}; q = \overline{1, q_0}\}, \quad (2.6)$$

де x_{i_6} — показник області знань; $q(x_{i_6})$ — деяке представлення досвіду навчання в цій області, наприклад, якісна оцінка знань (добре, задовільно і т.д.); $p(x_{i_6})$ — релевантність оцінки, яка визначає відповідність курсу і досліджуваної області знань.

На основі введеної формалізації показників навчання можна вирішувати задачі оцінювання різних процесів навчання, формувати кількісні і якісні оцінки курсу навчання в цілому.

«Єдиний каталог інформації» реалізує інформаційне забезпечення всіх компонентів системи. Зокрема, він повинен містити таку інформацію про всіх слухачів СДН, що може знадобитися для рішення різних задач: аналіз переваг студента чи його цільова орієнтація, прослухані курси, оцінки знань, інтегральна характеристика навчання (наприклад, освітньо-кваліфікаційний рівень). До задач каталогу відноситься також врахування додаткових відомостей, що надходять із СДН, їх систематизація і підтримка цілісності. Таким чином, каталог являє собою інтелектуальне сховище знань (репозиторій). За наявною інформацією каталог може формувати і зберігати статистичні дані (наприклад, рейтинги, сертифікати, свідоцтва, дипломи), а також враховувати запити, що надходять (наприклад, для визначення найбільш ефективних у розумінні працевлаштування спеціальностей, курсів або навчальних закладів).

Єдиний каталог інформації (ЄКІ) оперує наступними потоками інформації:

- відомості про досвід навчання студента (внутрішній потік) (6);
- відомості про досвід навчання суб'єкта (вихідний потік): цей потік поєднує в собі інформацію про досвід навчання, отриману від усіх СДН по даному суб'єкту, і являє собою обробку потоків (1.6);
- відомості про фахівців для заповнення вакансій (вихідний потік) — результат інформаційного запиту роботодавця по пошуку фахівців;
- відомості про актуальні спеціальності і курси, рейтингах спеціальностей, курсів і навчальних закладів по успішності працевлаштування й інших критеріїв — результати відповідних інформаційних запитів до баз даних каталогу, що зберігають відповідну інформацію.

«Координуючі й забезпечуючі організації» виконують задачі координації діяльності підсистем ДО, їх всебічного теоретичного і методологічного забезпечення, проведення досліджень і вироблення типових рішень, а також підготовки викладацького і технічного персоналу. Ці організації безпосередньо беруть участь в інформаційній взаємодії різнотипної природи.

Таким чином, на основі схеми інформаційних потоків у системі дистанційного навчання можна установити, як елементи системи дистанційної освіти обмінюються між собою і з зовнішнім інформаційним середовищем, що включає бази даних і знань по різних напрямках науки й навчання, електронні бібліотеки, віртуальні наукові й освітні лабораторії, системи пошуку інформації і різних категорій індивідуальних користувачів.

2.3 Математичне підґрунтя методу раціонального компромісу цілей

Системи дистанційного навчання (СДН) — це складні відкриті системи, до складу яких входять різнорідні підсистеми, що активно обмінюються інформацією з зовнішнім середовищем. Аналіз взаємозв'язків, структури і поведінки цих систем являє собою системну задачу міждисциплінарного

дослідження. Складність його обумовлена рядом факторів. Один з них — наявність безлічі суперечливих цілей навчання при обмеженнях на інформаційні і технічні ресурси.

Введення зворотного зв'язку в моделі інформаційних взаємозв'язків, що описаний у попередньому підрозділі дає підставу говорити про динамічний характер поведінки системи, завдяки чому вона набуває важливих властивостей (наприклад, можливість адаптації до зміни зовнішнього стосовно самої системи середовища, зокрема, нормативно-правової бази, динаміки попиту та пропозиції на ринку освітніх послуг і ринку праці, впровадженню нових технологічних рішень). Запропонована модель дозволяє також більш чітко розділити задачі, розв'язувані системою навчання в цілому, і власне задачі навчання, що є лише підмножиною перших. Зворотній зв'язок служить для надання процесу одержання навчання циклічного, ітераційного характеру, що відображає концепцію неперервного навчання. У той же час зворотній зв'язок у процесі навчання може використовуватися для коректування навчального процесу в рамках одного курсу або його окремих елементів. Необхідно враховувати, що проблеми розвитку системи освіти знаходяться на якісно більш високому рівні, ніж задачі навчання, і тому, слідуючи загальній ідеї взаємозв'язків і взаємодії в системі «навчання — наука — виробництво», їх доцільно розглядати в єдиному контексті відносин «суспільство — система навчання», «ринок праці — ринок освітніх послуг».

Досвід навчання, що зберігається в Єдиному каталозі, використовується для прийняття рішень про подальше навчання з урахуванням поточних потреб суб'єкта і попитом на ринку праці. Минулий досвід, представлений у профайлі студента, стає доступний і СДО.

У рамках запропонованої моделі можна виділити три різні категорії суб'єктів інформаційної взаємодії із системою.

1. Суб'єкти навчання — особи, які навчаються, навчалися або планують навчатися в майбутньому (студенти, випускники, абітурієнти).
2. Навчальні заклади — організація, що надають послуги в навчанні.

3. Агенти ринку праці — роботодавці, кадрові агентства.

Для позначення представника якої-небудь категорії суб'єктів використовується термін агент. Кожен агент володіє своєю специфічною інформацією і прагне досягнути власних цілей, зіштовхуючись при цьому з дефіцитом і невизначеністю інформації (див. таблицю 2.2).

Таблиця 2.2 - Агенти освітньої системи та їх інформаційні характеристики

Агент	Володіє інформацією	Зацікавлений в інформації
Суб'єкт навчання	Про особисті інтереси і схильності, бажане працевлаштування, колишній навчальний і професійний досвід	Про стратегію подальшого навчання
Навчальний заклад	Про програми навчання, можливостях персоналу і ресурсах, майбутньому пропозиції на ринку праці (нинішній розподіл студентів по спеціальностях)	Про стратегію подальшої пропозиції освітніх послуг, розробці нових курсів, індивідуальних особливостях навчання суб'єкта
Ринок праці	Про поточний попит, тенденції і прогнози ринку праці	Про майбутні пропозиції робочої сили, відомості для відбору фахівців на плановані вакансії

Кожен агент ставить свої цілі в освітньому процесі:

Суб'єкт навчання — реалізувати свої особисті інтереси і схильності, зайняти гідну позицію в суспільстві і на ринку робочої сили.

Навчальний заклад — успішно діяти на ринку освітніх послуг (зокрема, бути конкурентоздатним на ринку послуг і ринку праці).

Ринок праці (в цілому) — досягти раціонального компромісу між попитом та пропозицією робочої сили.

У більш загальній постановці задачі раціонального використання можливостей освітнього процесу важлива роль відводиться державі. Державу можна розглядати як своєрідного агента. У числі його головних цілей — вибір і реалізація раціональних рішень соціальних проблем. Практична необхідність їх реалізації визначається багатьма факторами, з яких варто виділити істотне зростання вимог до багатьох сторін практичної діяльності різних шарів населення, що обумовлено сучасними умовами широкого розвитку туризму, міжнародних наукових форумів, виставок, різних форм і видів міграції населення. Серед цих вимог особливе значення мають вимоги до професіоналізму, культурного рівня, поведінки й інших якостей фахівців різних професій, що повною мірою визначаються поняттям «активна громадянська позиція». Реалізація цих вимог можлива тільки на основі системної погодженості цілей агентів.

Непогодженість і суперечливість цілей агентів, недостатня кількість інформації для прийняття рішень суб'єктами навчання приводять до того, що їх інтереси часто залишаються нереалізованими. Не виключені випадки, коли навчальні заклади пропонують неактуальні і незатребувані курси, а пропозиції по працевлаштуванню мають мало спільного з отриманими знаннями. Усе це веде до значних втрат трудових і матеріальних ресурсів на макрорівні. Якщо замість інтуїтивного рішення прийняти раціональне, що представляє собою компроміс інтересів всіх агентів [8], то такі втрати будуть зменшені. У даній роботі під компромісом розуміється рішення, що приймається при взаємному погодженні власних інтересів різних агентів, а під раціональністю розуміється властивість процедури вибору альтернативи, що дозволяє без зайвих витрат ресурсів досягти компромісу суперечливих цілей.

Сучасні математичні методи дозволяють знаходити раціональне рішення, використовуючи, наприклад, механізм нечіткої логіки і багатокритеріальної оптимізації. Ще одна перевага використання математичних методів — можливість врахування не тільки поточних цілей, але і минулого досвіду. Для суб'єкта навчання найчастіше складно зробити аналіз взаємозв'язків усіх пройдених курсів навчання, виявити їх взаємну погодженість, оцінити їх вплив на ті курси, що він планує вивчати далі. Разом з тим, одержання об'єктивної інформації з перерахованих питань особливо є важливою в післядипломній професійній освіті, де в суб'єкта навчання є свобода вибору своєї стратегії на рівні окремих курсів.

Як показано вище, ряд задач, що постають перед різними агентами — визначення стратегії навчання суб'єктами, пропозиція послуг навчальними закладами, індивідуалізація навчального процесу, прогнозування майбутньої ситуації на ринку праці, — зв'язані між собою і можуть вирішуватися сумісно. Загальний результат рішення, отриманий з використанням математичних методів прийняття рішень і враховуючи цілі й інтереси різних агентів, назовемо раціональним компромісом цілей. Структурні взаємозв'язки процесів і суб'єктів при формуванні раціонального компромісу цілей приведені на рис. 2.3.

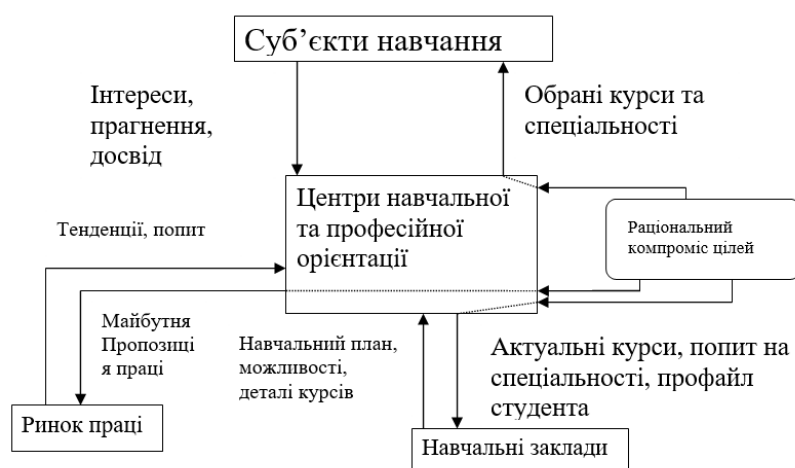


Рисунок 2.3 - Структурні взаємозв'язки цілей і можливостей суб'єктів компромісу

Рішення у вигляді раціонального компромісу цілей дає можливість зробити декомпозицію загальних цілей. Сутність декомпозиції полягає в перетворенні складних цілей більш високого рівня ієрархії в послідовність більш простих цілей, які можна ставити і досягати на більш низьких рівнях ієрархії. Задача декомпозиції цілей покладається в запропонованій моделі на центри освітньої і професійної орієнтації (див. рис. 2.2).

На рис. 2.4 наведено узагальнену use-case діаграму інтелектуальної системи електронного навчання з використанням методу раціонального компромісу цілей, яка створена з використанням представленої вище моделі.

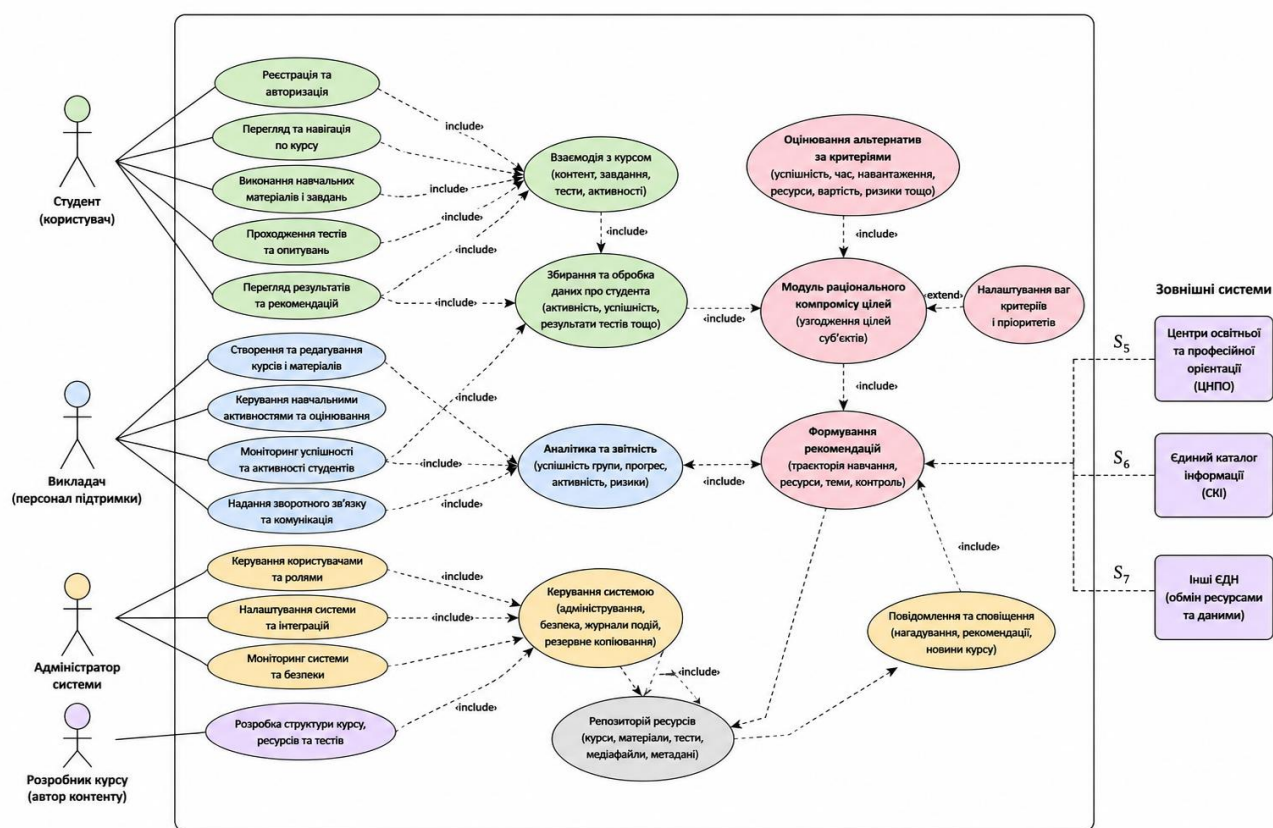


Рисунок 2.4 - Use-case діаграма інтелектуальної системи електронного навчання з використанням методу раціонального компромісу цілей

Діаграма відображає основних акторів системи, функціональні можливості, з якими вони взаємодіють, а також внутрішні модулі, що

забезпечують збір даних, аналітику, компромісне оцінювання альтернатив і формування рекомендацій.

Основними акторами системи є студент, викладач, адміністратор системи та розробник курсу. Студент виступає основним користувачем навчального середовища. Він проходить реєстрацію та авторизацію, переглядає структуру курсу, виконує навчальні матеріали і завдання, проходить тести та опитування, а також переглядає власні результати і рекомендації системи. Через ці варіанти використання студент взаємодіє з курсом, навчальними ресурсами, тестовими завданнями та модулем рекомендацій.

Викладач або персонал підтримки забезпечує організаційний і педагогічний супровід навчального процесу. До його основних варіантів використання належать створення та редагування курсів і матеріалів, керування навчальними активностями та оцінюванням, моніторинг успішності й активності студентів, а також надання зворотного зв'язку і підтримка комунікації. Викладач також може аналізувати результати студентів і коригувати параметри навчального процесу, зокрема ваги критеріїв або порогові значення, які використовуються під час пошуку компромісного рішення.

Адміністратор системи відповідає за технічне функціонування інтелектуальної системи електронного навчання. Його варіанти використання охоплюють керування користувачами та ролями, налаштування системи й інтеграцій, моніторинг безпеки, адміністрування журналів подій, резервне копіювання та підтримку стабільної роботи системи. Таким чином адміністратор забезпечує надійну експлуатацію програмного середовища, розмежування доступу і захист даних.

Окремим актором є розробник курсу, або автор навчального контенту. Він відповідає за розроблення структури курсу, навчальних ресурсів і тестових матеріалів. Результати його роботи надходять до репозиторію ресурсів, у якому зберігаються курси, навчальні матеріали, тести, медіафайли та метадані. Репозиторій ресурсів є важливим внутрішнім компонентом системи, оскільки

саме на його основі формуються навчальні траєкторії, завдання, рекомендації та варіанти подальшого навчання.

Центральну роль у діаграмі відіграють інтелектуальні модулі системи. Після взаємодії студента з курсом система виконує збирання та обробку даних про його активність, успішність, результати тестування і проходження навчальних матеріалів. Ці дані передаються до аналітичного модуля, який формує показники прогресу, активності, ризику невиконання завдань і загальної успішності. Отримані аналітичні показники використовуються модулем раціонального компромісу цілей.

Модуль раціонального компромісу цілей є ключовим елементом досліджуваної системи. Його призначення полягає в узгодженні цілей різних суб'єктів освітнього процесу: студента, викладача, закладу освіти та зовнішнього середовища. Перед вибором рішення система оцінює альтернативи за множиною критеріїв, серед яких можуть бути успішність, час навчання, навчальне навантаження, доступні ресурси, вартість, ризики, складність матеріалу та спосіб контролю. На основі цих критеріїв модуль виконує компромісний вибір, тобто знаходить таку альтернативу, яка не ігнорує жодну важливу групу цілей.

Результатом роботи інтелектуального модуля є формування рекомендацій. Система може рекомендувати студенту подальшу траєкторію навчання, тип навчального ресурсу, складність наступного завдання, необхідність повторення теми, спосіб контролю або потребу у додатковому поясненні. Для викладача система може формувати аналітичні звіти, попередження про ризики, повідомлення про проблемні випадки та рекомендації щодо педагогічного втручання.

На діаграмі також показано зв'язки із зовнішніми системами. До них належать центри освітньої та професійної орієнтації, єдиний каталог інформації та інші системи дистанційного навчання. Такі зв'язки відображають можливість обміну інформаційними потоками, ресурсами, метаданими, описами курсів або зовнішніми рекомендаціями. Наявність зовнішніх систем підкреслює відкритий

характер моделі, у якій електронне навчання розглядається не як ізольована платформа, а як частина ширшої освітньої інформаційної екосистеми.

Зв'язки типу «include» на діаграмі показують, що певний варіант використання обов'язково включає інший функціональний процес. Наприклад, перегляд результатів і рекомендацій передбачає обробку даних студента та звернення до модуля формування рекомендацій. Керування курсами і матеріалами передбачає використання репозиторію ресурсів. Аналітика та звітність включає збирання й обробку даних, а компромісний вибір включає оцінювання альтернатив за критеріями. Зв'язок типу «extend» відображає розширення базового сценарію, наприклад можливість налаштування ваг критеріїв і пріоритетів під час роботи модуля раціонального компромісу.

Отже, use-case діаграма показує, що інтелектуальна система електронного навчання має підтримувати не лише стандартні функції LMS, такі як робота з курсами, матеріалами, тестами та оцінками, а й інтелектуальні функції підтримки прийняття рішень.

2.4 Висновок до другого розділу

У другому розділі кваліфікаційної роботи було здійснено обґрунтування вибору структури системи електронного навчання, яка, власне дає можливість реалізувати концепцію активного навчання та забезпечити новий рівень взаємовідносин «студент-викладач-навчальний заклад».

Представлено функціональні можливості кожної із підсистем такої системи. Досліджено вхідні та вихідні інформаційні потоки системи дистанційного навчання.

На основі розглянутих потоків інформації і зв'язків було запропоновано модель інформаційних взаємозв'язків системи дистанційного навчання, яка дозволяє реалізувати нові важливі властивості СДН, зокрема доведено необхідність введення зворотнього зв'язку.

РОЗДІЛ 3. АЛГОРИТМ ТА ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РІШЕННЯ

3.1 Взаємодія агентів і компонентів системи освіти

При рішенні задачі узгодження цілей важливо не тільки визначити структуру взаємозв'язків компромісу цілей і можливостей, але і показати, як агенти і компоненти системи освіти взаємодіють між собою при його пошуку і реалізації. Процеси, що протікають в запропонованій моделі, достатньо складні і залежать від багатьох чинників. Доцільно розглянути їх з точки зору кожного агента окремо.

Першою фазою процесу отримання освіти для суб'єкта навчання є вибір курсу або спеціальності. Ця фаза є процесом прийняття рішення, коли доцільно використовувати раціональний компроміс цілей. Саме тут відбувається визначення або коректування стратегії навчання.

Друга фаза — власне фаза навчання. Її мета — активне набування знань, формування умінь і навиків. На цьому етапі можлива індивідуалізація процесу навчання, оскільки потреби суб'єкта вже відомі і формалізовані. Вхідною інформацією для СДН може служити профайл студента, що генерується при знаходженні раціонального компромісу.

Завершальною фазою є отримання документа про освіту, який видає уповноважена організація, в загальному випадку незалежна від СДН. За результатами навчання із СДО в Єдиний каталог поступають відомості на кожного студента про одержані знання, сформовані уміння і навички, а також оцінки, відгуки і коментарі. Все це і являє собою той досвід навчання, на основі якого здійснюється прийняття рішення в процесі подальшого отримання освіти. Таким чином процесу навчання надається ітераційний, циклічний характер з динамічним коректуванням стратегії. Все це відповідає концепції безперервного навчання.

У хемах взаємодії використовуються терміни в наступному їх значенні:

- провайдери навчальних матеріалів (рис. 3.2) — організації, які забезпечують навчальними матеріалами по курсах;
- провайдери навчальних засобів — організації, які забезпечують засобами навчання (програмними, апаратними і іншими);
- клієнтські учбові заклади — учбові заклади, які підтримують суб'єкти навчання (слухачів, студентів);
- уповноважена організація — організація, що має право видавати свідоцтво про здобуту освіти (дипломи, сертифікати);
- цифрова бібліотека — компонент системи освіти, що забезпечує доступ до учбових матеріалів і засобів навчання, незалежно від організації зберігання даних (портал, централізований репозиторій);
- профайл студента — дані, які дозволяють коректувати учбову програму курсу під індивідуальну специфіку суб'єкта навчання.

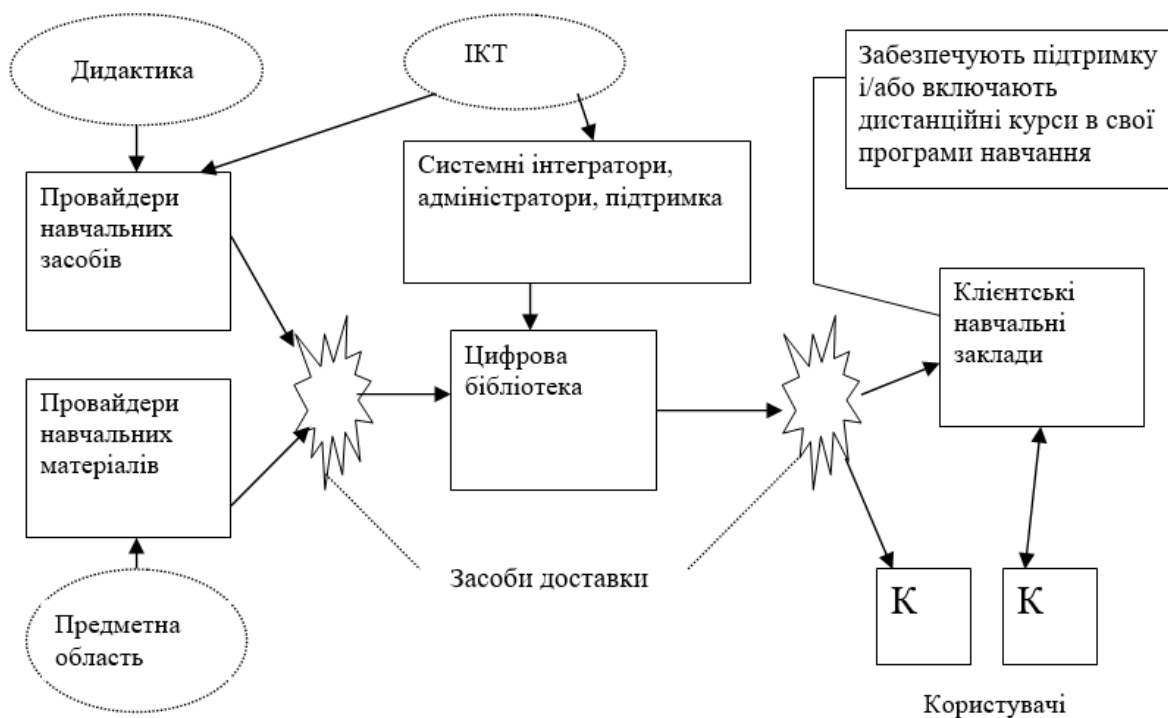


Рисунок 3.1 - Схема взаємодії навчальних закладів у процесі надання послуг

Пропозиція освітніх послуг учбовими закладами визначається їх інтересами, ресурсами і можливостями. В процесі навчання можлива взаємодія

декількох учбових закладів, кожний з яких спеціалізується на наданні певних послуг. Наприклад, навчальні заклади у великих містах можуть надавати актуальні курси, але не підтримку для віддалених місць. Місцеві навчальні заклади можуть забезпечити таку підтримку, але в них можливості розробки нових курсів значно скромніші. Тому навчальні заклади можна розділити по їх ролі в процесі навчання чи по стадії процесу навчання, на якій вони задіяні, як було запропоновано в моделі на основі інформаційних комп'ютерних технологій [9]. Існують три основні категорії задач і цілей навчальних закладів.

1. Забезпечення навчальними матеріалами — розробка змісту курсу, його підтримка і оновлення, підготовка завдань для окремих слухачів і груп, а також даних для підсистем перевірки знань.

2. Забезпечення засобами навчання — розробка навчальних програмних засобів, включаючи програмне забезпечення курсу, засобу доставки, зворотнього зв'язку і комунікаційної підтримки.

3. Підтримка суб'єктів навчання — організація підтримки слухачів наставником або тьютором, забезпечення зворотного зв'язку, допомога в рішенні поточних проблем у процесі навчання, а також збір пропозицій по удосконаленню курсів і запитів на їх розробку.

Схема взаємодії цих трьох категорій навчальних закладів показана на рис.

3.1. Таким чином, агент «навчальні заклади», що представляє і підтримує компоненти схеми «дистанційні курси» (див. рис. 2.2), у дійсності поділяється на кілька типів (чи ролей) закладів. Звичайно, один заклад може виконувати одразу дві чи всі три функції, але і тоді в ньому можна виділити відповідні цим функціям підсистеми. Саме ця модульна структура дозволяє застосовувати різні методи спільного доступу до навчальних матеріалів і засобів навчання (наприклад, одна СДН може при наявності відповідної угоди між навчальними закладами включати у свій курс частину матеріалів іншої СДН).

Раціональний компроміс цілей дає можливість навчальним закладам оцінювати попит на послуги в області навчання й у такий спосіб визначати стратегію пропозиції послуг на даному ринку. Однак є і ще одна важлива

перевага. При прийнятті рішення виконується формалізація потреб суб'єкта і досвіду його минулого навчання, у результаті генерується структура даних спеціального виду, названа профайлом студента. Використовуючи запропоновану в роботі [6] формалізацію інформаційних потоків і структури курсу в СДО, а також даний профайл, можна запропонувати єдині протоколи обміну даними між різними типами навчальних закладів у процесі їх взаємодії.

Участь агентів ринку праці в розглянутих вище процесах значно менша. Можна виділити три основні форми їх участі.

1. Забезпечення даних про поточний стан і перспективи попиту на ринку робочої сили і, як результат, ранжування актуальності курсів і спеціальностей.

2. Консультація з центрами для визначення відповідності курсів чи спеціальностей тієї чи іншої позиції на ринку праці.

3. Інформаційний запит у Єдиний каталог на пошук найкращих фахівців на вакансії.

Оскільки механізм раціонального компромісного рішення містить формалізацію наданих навчальними закладами послуг, то з'являється можливість зв'язати ці послуги з описом позицій на ринку праці. З огляду на те, що майбутня пропозиція на ринку праці багато в чому визначається поточним розподілом студентів по курсах і спеціальностях навчальних закладів, можна буде визначити специфіку і переваги пропозиції по тих чи інших позиціях. Крім того, з'явиться можливість виявляти результативність навчання по тій чи іншій спеціальності, для якої є вакансії в роботодавця. Це дозволить автоматизувати пошук фахівців для заповнення вакансій по дефіцитних і рідкісних спеціальностях.

Таким чином, запропонована схема раціонального компромісу цілей враховує інтереси трьох агентів, дозволяє включити функції агентів у загальну модель взаємодії компонентів системи навчання і реалізує концепцію неперервного навчання.

3.2 Практична задача забезпечення раціонального компромісу цілей

Відомі інтереси і побажання суб'єктів навчання, є відомості про отримані ними знання (минулий досвід навчання), можливості навчальних закладів по наданню послуг СДН, тенденціях попиту та пропозиціях на ринку праці.

Необхідно виробити раціональний компроміс цілей і видати рекомендації про варіант наступного навчання, зміни спектра наданих освітніх послуг і майбутніх пропозицій на ринку праці. Крім того, необхідно визначити профайл студента, використовуваний у СДО для генерації індивідуального навчального сценарію, якщо є дані, достатні для його створення.

Загальне рішення задачі пропонується виконувати поетапно.

1. Виділити необхідну інформацію з побажань суб'єкта з використанням нечіткої логіки і ймовірнісних обмежень.

2. Створити базу знань про можливості навчальних закладів.

3. Вирішити багатокритеріальну задачу прийняття рішень про раціональний варіант навчання чи стратегії пропозиції освітніх послуг.

4. Використовувати наявні знання про індивідуальні особливості суб'єкта, виділити в них індивідуальні особливості для рішення задачі вибору навчального закладу.

5. Проаналізувати динаміку і врахувати суспільні потреби в робочій силі, ситуації на ринку праці при рішенні задачі вибору навчального закладу.

6. Визначити профайл студента, що передається в СДН як вхідна інформація про суб'єкта навчання.

Для формалізації поставленої задачі і розробки алгоритму її рішення необхідна математична модель предметної області. У даному випадку вона погано формалізується, тому для моделювання пропонується використовувати апарат нечітких множин, приналежність елементу яких буде задаватися вербально (велика, середня, мала і т.п.). Деякі сутності мають ймовірнісний характер (попит на фахівців, конкурс у навчальному закладі). Їх доцільно

представити випадковими величинами з параметрами, оцінюваними статистично [21 - 27]. Введемо наступні позначення:

1. Области знань — множина

$$x = \{x_n \mid n = \overline{1, N_x}\}$$

для узгодження суперечливих інтересів агентів. Його елементи X_n — представлення досить цілісних і незалежних областей знань. Загальне число заданих областей — N_x .

2. Напрямок навчання — ієрархія множин

$$S = \{s_{i_s} \mid i = \overline{1, N_s}\}$$

які описують класифікацію пропонованих у сфері навчання послуг. На верхньому рівні ієрархії знаходяться найбільш загальні напрямки (математика, фізика, економіка), у міру поглиблення — усе більш частинні. Дані множини служать для представлення інтересів суб'єктів навчання.

Ієрархічність з довільним числом рівнів на цій множині й інших множинах далі може бути введена за допомогою відношення «батько»:

- якщо s_{i_s} — об'єкт верхнього рівня ієрархії, то його батько не визначений;
- у протилежному випадку батько s_{i_s} , — такий елемент, що знаходиться на один рівень ієрархії вище, і до його області відноситься s_{i_s} .

Наукові напрямки зв'язані з областями знань функцією нечіткої кореляції $v(s_{i_s}, x_n)$, де $s_{i_s} \in S$, $x_n \in X$, $v(s_{i_s}, x_n) \in [0, 1]$. Нульове значення функції відповідає відсутності взаємозв'язку, одиничне — повній відповідності напрямку навчання s_{i_s} , області знань X_n .

3. Ключові слова — це терміни, які можна використовувати для опису області знань. Вони також служать для представлення інтересів суб'єкта навчання. Множина ключових слів вводиться в такий спосіб:

$$K = \{K_{i_k} \mid i_k = \overline{1, N_k}\}$$

Ключові слова зв'язані з областями знань функцією нечіткої кореляції $\nu(k_{i_k}, x_n)$, де, $k_{i_k} \in K$ $x_n \in X$ $\nu(k_{i_k}, x_n) \in [0,1]$.

4. Навчальні заклади — ієрархія множин

$$E = \{e_{i_e} \mid i_e = \overline{1, N_E}\},$$

що описують навчальні заклади, їх підрозділи і спеціальності, по яких відбувається навчання. Ці множини служать для представлення можливостей навчальних закладів по наданню освітніх послуг.

Пропоновані навчальними закладами послуги можна формалізувати введенням множини курсів

$$C = \{c_{i_c} \mid i_c = \overline{1, N_C}\}.$$

Кожен курс зв'язаний з тими навчальними закладами (їх підрозділами), що його надають.

Курси зв'язані з областями знань функцією нечіткої кореляції $\nu(c_{i_c}, x_n)$, де, $c_{i_c} \in C$, $x_n \in X$, $\nu(c_{i_c}, x_n) \in [0,1]$.

Для курсу C_{i_c} чи спеціальності e_{i_e} може бути задана випадкова величина *конкурс*, що описує, наприклад, середнє число абітурієнтів на місце і його дисперсію

$$\xi(c_{i_c}) \sim U(E_{i_c}^C, D_{i_c}^C).$$

Для курсу також можуть бути задані вхідні вимоги, що описують початковий рівень знань і враховують оцінки по родинним курсам. Наприклад, можна задавати рекомендований рівень знань, по інших курсах, якими повинен володіти абітурієнт для роботи з даним курсом у вигляді матриці:

$$Q^R = \| q_{i_c, j_c} \|, i_c, j_c = \overline{1, N_c}$$

де q_{i_c, j_c} — мінімальна оцінка рівня знань, отримана в результаті прослуховування курсу C_{i_c} , необхідна для успішного засвоєння матеріалу курсу C_{i_c} .

Інформація про оцінки знань, отриманих по результатах навчання, зберігається в Єдиному каталозі інформації, наприклад у вигляді вектора Q^M для кожного слухача:

$$Q^M = \| m_{i_c} \|, i_c = \overline{1, N_c}$$

де m_{i_c} — оцінка знань слухача з курсу C_{i_c} .

5. Позиції на ринку праці — ієрархія множин

$$P = \{ p_{i_p} \mid i_p = \overline{1, N_p} \},$$

що описують класифікацію позицій на ринку праці (професій), а також враховують попит та пропозицію.

Ці позиції зв'язані з областями знань функцією нечіткої кореляції $v(p_{i_p}, x_n)$, де $p_{i_p} \in P$, $x_n \in X$, $v(p_{i_p}, x_n) \in [0, 1]$.

Крім того, може бути задана випадкова величина *попит на фахівців*, що визначає середню потребу у фахівцях професії P_{i_p} і її дисперсію

$$\xi(P_{i_p}) \sim U(E_{i_p}^p, D_{i_p}^p).$$

6. Показники психологічної сумісності — деякі додаткові показники, зв'язані з областями знань (сумісність суб'єкта з конкретною областю знань), а також з курсами (сумісність суб'єкта з реалізацією курсу) і визначені психологами центру на співбесіді.

Розглянемо задачу вибору варіанта навчання на основі побажань суб'єкта навчання і попиту на ринку праці. У приведених позначеннях математична постановка задачі може бути представлена в наступному вигляді.

Задані нечіткі множини $\{(s_{i_s}, \mu_{s_{i_s}}(s_{i_s}))\}, \{(k_{i_k}, \mu_{k_{i_k}}(k_{i_k}))\}, \{(p_{i_p}, \mu_{p_{i_p}}(p_{i_p}))\}$ функції нечіткої кореляції $v(s_{i_s}, x_n), v(k_{i_k}, x_n), v(p_{i_p}, x_n), v(c_{i_c}, x_n)$. Відомі розподіли випадкових величин $\xi(c_{i_c}), \xi(p_{i_p})$ матриця вимог Q^R і інформаційний вектор Q^M .

Необхідно знайти множину компромісних варіантів навчання $\{c_m, \mu_C(c_m) | c_m \in C\}$ і визначити профайл студента $\{(x_n, \mu_X(x_n))\}$.

3.3 Алгоритм розв'язку задачі

1. Вибір областей знань відповідно до потреб суб'єкта.

$$\begin{aligned} \mu_I(x_n) = & p_s \sum_{i_s=1}^{N_s} v(x_n, s_{i_s}) \mu(s_{i_s}) + p_k \sum_{i_k=1}^{N_k} v(x_n, k_{i_k}) \mu(k_{i_k}) + \\ & + p_p \sum_{i_p=1}^{N_p} v(x_n, p_{i_p}) \mu(p_{i_p}) \rightarrow \max \end{aligned} \quad (3.1)$$

де функції приналежності побажанням абітурієнта і ваги критеріїв врахування відповідності позначені як $\mu(s_{i_s})$ і p_s для спрямованості навчання; $\mu(k_{i_k})$ - для ключових слів, $\mu(p_{i_p})$ - для позицій на ринку праці. При цьому виконана умова нормування $p_s + p_k + p_p = 1$.

2. Врахування перспективності позиції на ринку праці у відповідності з попитом на професії.

Перспективність позиції визначається, у першу чергу, математичним сподіванням попиту на фахівців даної професії. Більш перспективною

вважається позиція, невизначеність попиту (виражається дисперсією випадкової величини), для якої менше

$$\mu_2(x_n) = \mu_1(x_n) \times \sum_{i_p=1}^{N_p} v(x_n, p_{i_p}) \left[1 - p_d \exp\left\{-\frac{E_{i_p}^p}{1 + D_{i_p}^p}\right\} \right] \rightarrow \max \quad (3.2)$$

де $\mu_1(x_n)$ — значення функції приналежності, $E_{i_p}^p, D_{i_p}^p$ параметри випадкової величини; p_d — вага критерію врахування попиту на фахівців обраної професії.

Якщо ж така інформація задана не по всіх професіях, можна ввести у формулу (3.2) додатковий штрафний коефіцієнт (3.3), що буде знижувати вагу тих областей, інформація по яких недостатня. Він повинний варіювати від $1 - p_d$ для випадку повної відсутності інформації з області X_n до 1 — для випадку максимально доступної інформації. А саме:

$$K_2(x_n) = (1 - p_d) + p_d a^{-(N_p - N_p(x_n))}, \quad (3.3)$$

де $N_p(x_n)$ — число визначених для позиції P_i , параметрів $E_{i_p}^p, D_{i_p}^p$

$N_p^* = \max_{x_n} N_p(x_n)$, a — ваговий коефіцієнт, що показує, наскільки різко буде зменшуватися значимість даної області при недоліку інформації. Значення цього коефіцієнта визначається емпірично по ступені повноти опису позицій на ринку праці.

3. Вибір курсу відповідно до областей знань.

$$\mu_3(c_m) = \sum_{m=1}^{N_c} v(x_n, c_m) \mu_x(x_n) \rightarrow \max, \quad (3.4)$$

де $\mu_x(x_n) = \mu_2(x_n)$ — функція приналежності, що описує відповідність області знань X_n потребам суб'єкта навчання, розрахована по формулі (3.2).

4. Коректування переваги курсу відповідно до конкурсу і вхідних вимог.

$$\begin{aligned} \mu_c(c_m) = \mu_4(c_m) = \mu_3(c_m) \times \\ \times \left[1 - p_c \exp \left\{ - \frac{1}{1 + \phi(c_m)} \cdot \frac{E_m^C}{1 + D_m^C} \right\} \right] \rightarrow \max \end{aligned} \quad (3.5)$$

де $\mu_3(c_m)$ — значення функції приналежності, обчислене по формулі (3.4); E_m^C, D_m^C — параметри випадкової величини, задані для $c_m \in C$; $\phi(c_m)$ — деяка штрафна функція за невідповідність вхідним вимогам.

Значення цієї функції повинне бути нульовим при відповідності вимогам і зростати при збільшенні неузгодженості між наявним і необхідним рівнями знань. Наприклад, можна задавати її у виді

$$\phi(c_m) = \left[\sum_{i:m_i < q_{i,m}} (q_{i,m} - m_i)^2 \right]^{1/2}, \quad (3.6)$$

де $q_{i,m}$ — елемент матриці Q^R (1.8), а m — елемент вектора Q^M .

Знаходження компромісних варіантів навчання по спеціальностях $\{e_k, \mu_E(e_k) | e_k \in E\}$ здійснюється аналогічно, тільки на кроках 3-4 замість формул (3.4), (3.5) використовуються відповідні їм формули (3.7), (3.8). А саме:

$$\mu_3(e_k) = \sum_{k=1}^{N_k} v(x_n, e_k) \mu_x(x_n) \rightarrow \max \quad (3.7)$$

$$\begin{aligned} \mu_E(e_k) = \mu_4(e_k) = \mu_3(e_k) \times \\ \times \left[1 - p_c \exp \left\{ - \frac{1}{1 + \phi(e_k)} \cdot \frac{E_k^C}{1 + D_k^C} \right\} \right] \rightarrow \max \end{aligned} \quad (3.8)$$

Важливим обмеженням є обсяг даних, що використовуються для розрахунку на кожному кроці алгоритму. Для раціонального використання

обчислювальних ресурсів і мінімізації мережевого трафіку можна відбирати на кожному кроці не усі функції приналежності, а лише задане число найкращих. Інший варіант — задання порогу відбору на кожному кроці з його динамічною зміною при появі занадто великого чи занадто малого числа придатних значень.

Задання вхідних даних для рішення задачі здійснюється так:

- функції $v(s_{i_s}, x_n)$ і $v(k_{i_k}, x_n)$ — працівниками центру орієнтації на основі вибраних множин X , S і K ;
- приналежність курсів спеціальностям навчання, навчальним закладам і їх підрозділам — працівниками відповідних навчальних закладів;
- функції $v(c_{i_c}, x_n)$ — розробником курсу на основі множини X ;
- функція $v(p_{i_p}, x_n)$ — працівниками центру і/чи фахівцями в області ринку праці на основі множини X і професійних вимог;
- матриця Q^R — розробником (автором) курсу;
- параметри випадкової величини $\xi(c_{i_c})$ — працівниками навчального закладу;
- параметри випадкової величини $\xi(p_{i_p})$ — фахівцями в області ринку праці.

У результаті роботи алгоритму отримуються наступні дані:

- курси, що рекомендуються для проходження навчання $\{c_m, \mu_C(c_m) | c_m \in C\}$ або спеціальності $\{e_k, \mu_E(e_k) | e_k \in E\}$,
- профайл студента $\{(x_n, \mu_X(x_n))\}$.

3.4 Створення навчального прототипу програмної системи

Прототип програмної інтелектуальної системи електронного навчання виконано мовою Python [28] із використанням бібліотеки Streamlit [29] для побудови веб-орієнтованого UI/UX інтерфейсу. Розроблений застосунок є прототипом інтелектуального модуля підтримки рішень, який може бути

використаний у складі LMS. Його призначення полягає у виборі раціональної навчальної альтернативи з урахуванням профілю студента, параметрів навчальних ресурсів, критеріїв викладача, обмежень закладу освіти та зовнішнього контексту.

Вхідними даними програми є профіль студента, показники активності, успішності та тестування, опис навчальних альтернатив, ваги критеріїв і параметри компромісу. Вихідними даними є ранжований список альтернатив, рекомендована траєкторія навчання, тип ресурсу, складність, спосіб контролю та пояснення того, чому обрано саме цей варіант.

Проект має модульну структуру. Файл `app.py` формує інтерфейс Streamlit, організовує введення даних, налаштування ваг, запуск розрахунків і виведення результатів. Модуль `modules/compromise.py` містить алгоритмічне ядро: нормування критеріїв, обчислення контекстних показників, ранжування альтернатив і формування пояснення. Модуль `modules/io_utils.py` відповідає за завантаження демонстраційних CSV-файлів та експорт результатів. Дані зберігаються у каталозі `data` у файлах `students.csv`, `alternatives.csv` і `labour_market.csv`.

Лістинг 3.1 – Ініціалізація Streamlit-застосунку

```
import streamlit as st
from modules.compromise import (
    CompromiseSettings,
    add_contextual_criteria,
    rank_alternatives,
    explain_choice,
    recommend_action,
)

st.set_page_config(layout="wide")
```

У лістингу 3.1 показано підключення основних функцій алгоритмічного ядра та налаштування сторінки застосунку. Інтерфейс організовано у вигляді послідовності кроків: вибір або введення профілю студента, налаштування ваг

критеріїв, редагування альтернатив, запуск компромісного оцінювання та перегляд рекомендації.

Кожна навчальна альтернатива оцінюється за множиною критеріїв. До критеріїв виграшу належать очікувана успішність, відповідність компетентностям, доступність ресурсу, відповідність цілі студента, педагогічна якість і відповідність потребам ринку праці. До критеріїв витрат належать час навчання, навантаження студента і викладача, ресурсні витрати закладу та ризик невиконання. Оскільки ці показники мають різні шкали, вони нормуються до інтервалу $[0; 1]$, де більше значення означає кращу відповідність цілі.

Компромісне рішення визначається не лише за максимальною зваженою сумою. Додатково враховується гарантований рівень задоволення всіх критеріїв та штраф за ті критерії, які опускаються нижче заданого порогу. Це дозволяє уникнути ситуації, коли альтернатива має високий загальний бал, але є неприйнятною для окремої групи цілей.

Лістинг 3.2 – Фрагмент обчислення компромісного показника

```
def rank_alternatives(df, settings):
    weights = normalize_weights(settings.weights)
    criteria = list(weights.keys())
    mu = normalize_criteria(df, criteria)

    weighted_sum = sum(mu[c] * w for c, w in weights.items())
    guaranteed = mu[criteria].min(axis=1)
    below = (settings.threshold - mu[criteria]).clip(lower=0.0)
    penalty = below.mean(axis=1) ** settings.penalty_power
    score = settings.alpha * weighted_sum + (1.0 -
settings.alpha) * guaranteed - 0.35 * penalty
```

Параметр α задає співвідношення між інтегральною корисністю та гарантованим рівнем задоволення критеріїв. Якщо α збільшити, система більше орієнтується на сумарну оцінку. Якщо α зменшити, посилюється вимога збалансованості рішення. Порогове значення threshold задає мінімально прийнятний рівень нормованої оцінки за кожним критерієм.

Під час запуску програми користувач обирає студента з демонстраційної бази або вводить дані вручну: рівень знань, середній бал, активність у LMS, результат тесту, кількість пропущених дедлайнів, навчальну ціль, доступний час і потребу в підтримці. На основі цих даних система уточнює контекстні критерії, зокрема відповідність альтернативи цілі студента та ризик невиконання.

Після цього користувач налаштовує ваги критеріїв. Передбачено кілька режимів: збалансований, акцент на студента, акцент на якість викладання, акцент на ресурсні обмеження та власні ваги. Такий механізм дає змогу моделювати різні управлінські ситуації в електронному навчанні.

Після запуску розрахунку програма виводить найкращу альтернативу, її компромісний бал, гарантований рівень задоволення критеріїв, педагогічну дію та текстове пояснення. Окремо відображається повна таблиця ранжування, що дає змогу порівняти всі варіанти і перевірити прозорість рішення [30, 31].

Розроблений прототип демонструє повний цикл роботи інтелектуального модуля: введення даних, формування критеріїв, нормування, компромісне ранжування, пояснення результату та експорт. У подальшому програму можна розширити підключенням реальних даних, збереженням результатів у базі даних, реалізацією авторизації користувачів та автоматичним оновленням моделі студента.

Приклад роботи прототипа наведено у додатках.

3.5 Висновок до третього розділу

У третьому розділі роботи виконано реалізацію ключових компонентів інтелектуальної системи електронного навчання. На базі розробленої схеми інформаційної взаємодії в електронному навчанні запропонована формалізація, побудовано математичну модель алгоритму рішення задачі вибору стратегії навчання й узгодження діяльності суб'єктів на основі раціонального компромісу цілей. Програмно реалізовано прототип інтелектуальної системи.

РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Оцінка ризику перевтоми при багатогодинній роботі з СДН у середовищах із високим когнітивним навантаженням

У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій фахівці дедалі частіше зіштовхуються з необхідністю виконання складних когнітивних завдань, що супроводжуються високим рівнем інтелектуального навантаження. Зокрема, навчання із використанням інтелектуальних систем електронного навчання вимагає тривалого утримання уваги та прийняття рішень у ситуаціях невизначеності. Такий режим навчання спричиняє інтенсивне розумове напруження, яке за умови тривалої безперервної роботи може призводити до втоми, а в окремих випадках – до перевтоми.

Згідно з міжнародним стандартом ISO 10075-1 [32], психічна втома визначається як тимчасове зниження розумової та фізичної функціональної здатності, зумовлене інтенсивністю, тривалістю і характером попереднього навантаження, усунення якого можливе лише шляхом відпочинку. Отже, надмірне розумове навантаження викликає тимчасове зниження функціональної ефективності мозку, відновлення якої потребує відповідних пауз у роботі.

Ризику розвитку перевтоми у процесі використання систем електронного навчання пов'язані насамперед із накопиченням розумової втоми. Об'єктивними проявами цього стану є зниження продуктивності інтелектуальної праці, суб'єктивними – почуття виснаженості та труднощі з концентрацією. Дослідження в галузі гігієни праці засвідчують, що розумова втома супроводжується зменшенням продуктивності мислення, зниженням уваги та уповільненням когнітивних процесів [33]. Особливо швидко втома розвивається за умов монотонної, нецікавої роботи. У випадку дистанційного навчання це означає необхідність тривалого підтримання високого рівня

когнітивної активності, що без відповідної регуляції може призвести до перевтоми.

Перевтома є більш небезпечним станом, ніж звичайна втома, оскільки має хронічний характер і проявляється у формі стійкого зниження працездатності, порушень сну, підвищеної дратівливості та фізіологічних порушень, таких як ослаблення імунітету та загострення хронічних захворювань [34].

Для збереження високої продуктивності та запобігання перевтомі при інтенсивній розумовій праці необхідно впроваджувати профілактичні заходи, що спираються на принципи ергономіки та гігієни праці. Перш за все, робочий день слід планувати з урахуванням регулярних коротких пауз: кожної години варто відводити 3–5 хвилин на відновлення концентрації, а після двох-трьох годин безперервної інтелектуальної роботи доцільно робити більш тривалу перерву. Для зменшення монотонності та рівномірного розподілу розумового навантаження слід чергувати складні аналітичні завдання з рутинною документацією або невеликими фізичними вправами, що активізують різні ділянки мозку та допомагають уникнути одноманітної втоми. Крім того, оптимальне робоче середовище, у якому ергономічне розташування обладнання, комфортне освітлення, відсутність зайвого шуму й зручні меблі забезпечують мінімізацію психофізіологічного навантаження, сприяє тривалому збереженню уваги. Практика самомасажу кистей та шиї або виконання легких вправ офісної йоги під час мікропауз істотно покращує кровообіг і розслаблює напружені м'язи, що прискорює відновлення ментальної активності та знижує рівень стресу.

Організація робочого місця повинна відповідати вимогам ДСТУ 7950:2015 «Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги» [35]. Згідно з цим стандартом, поверхня столу має розташовуватися на висоті, що забезпечує згин рук у ліктях під кутом близько 90 градусів, а клавіатура та інші пристрої введення – на одному рівні для уникнення надмірного згинання зап'ясть. Монітор слід встановлювати так, щоб його верхня межа була на рівні очей або трохи нижче, підтримуючи

нейтральне положення шиї і зменшуючи напругу м'язів шиї та плечей. Стілець повинен мати регульовану висоту, підтримку поперекового вигину та м'яку, але достатньо тверду основу, аби рівномірно розподіляти навантаження на стегна й попереk. Важливим є створення вільного простору під столом для вільного розміщення ніг і зміни поз, а також забезпечення оптимального кута між стегнами та корпусом (90-110 градусів). Усі елементи робочого місця повинні мати плавні контури без гострих кутів, а відстань до екрана – 50-70 см, щоб виключити перенапруження зорового апарату. Дотримання цих рекомендацій гарантує мінімізацію фізичного дискомфорту та створює умови для максимально ефективного дистанційного навчання.

Профілактика розумової втоми та перевтоми є необхідною умовою ефективної та безпечної роботи із системами електронного навчання. Забезпечення балансу між працею і відпочинком, належна організація робочого середовища та регулярні перерви сприяють збереженню когнітивної продуктивності й загального здоров'я як розробників такого роду систем так і користувачів. У контексті електронного навчання, де тривалі навантаження є нормою, застосування превентивних заходів дозволяє не лише підтримувати високий рівень діяльності, а й уникати довготривалих негативних наслідків для організму.

4.2 Профілактика мікротравм кистей та зап'ясть при тривалому використанні периферійних пристроїв

У процесі дистанційного навчання студенти значну частину часу проводять у статичних позах, виконуючи численні дрібні рухи пальцями та кистями під час взаємодії з клавіатурою, мишею або тачпадом. Такий характер діяльності пов'язаний із підвищеним ризиком розвитку патологічних змін у структурах верхніх кінцівок. Повторювані рухи, статичне навантаження на суглоби зап'ясть і передпліччя можуть призводити до поступового формування кумулятивних ушкоджень м'язів, сухожилів і нервів – так званих мікротравм.

У контексті охорони праці ці порушення класифікуються як професійні м'язово-скелетні розлади, зокрема травми від повторного навантаження (RSI, Repetitive Strain Injuries) [36]. Найбільш відомим прикладом є синдром зап'ясткового каналу, зумовлений компресією серединного нерва на тлі запалення сухожиль у карпальному каналі. До інших поширених патологій належать тендініти, епіконділіти, а також загальний синдром перенапруження кистей. Особливо виразим це є у людей, які протягом тривалого часу інтенсивно працюють з мишею або здійснюють великий обсяг набору тексту.

Симптоматика таких порушень розвивається поступово і включає біль, втому, оніміння пальців, поколювання та зниження сили хвату. У разі відсутності належної профілактики вказані явища можуть прогресувати до стадій, що потребують тривалого медичного втручання.

Мікротравми верхніх кінцівок є одними з найпоширеніших форм професійних захворювань серед працівників інтелектуальної праці. За статистичними даними, до 65% нових випадків професійних патологій пов'язані з повторною травматизацією м'яких тканин. Зокрема, розлади кистей і зап'ясть є основною причиною тривалих тимчасових втрат працездатності. Епідеміологічні дослідження засвідчують, що понад 5-7 годин щоденної роботи за комп'ютером значно підвищують ризик появи болю, оніміння та інших порушень у ділянці кистей. Особливо шкідливою є надмірна експлуатація комп'ютерної миші – використання її понад 20 годин на тиждень суттєво корелює з підвищеною імовірністю розвитку синдрому зап'ясткового каналу [37].

Такі порушення не лише спричиняють дискомфорт, а й призводять до зниження загальної продуктивності праці, потребують значних витрат на лікування та можуть стати причиною втрати професійної придатності. З огляду на це, профілактика мікротравм кистей слід розглядати як пріоритетну складову системи охорони праці. Ергономічна організація робочого місця полягає в тому, щоб забезпечити нейтральне положення зап'ясть під час роботи: клавіатуру, мишу та монітор слід розташовувати таким чином, щоб

кисті не зазнавали зайвого напруження (про це описано в попередньому розділі), а доступ до всіх периферійних пристроїв був зручним і не вимагав ротацій кистей. Виконання регулярних мікропауз – зокрема, згідно з вимогами ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Гігієнічні вимоги до роботи за дисплеями ПЕОМ», робочий час операторів, які тривалий час виконують роботу перед відеотерміналами, слід організувати з обов'язковими внутрішньозмінними перервами. Зокрема, при роботі з інтенсивним набором текст рекомендовано після кожної години безперервної роботи відпочивати 10 хвилин. Такий підхід дозволяє тканинам відновлюватися та запобігти накопиченню мікропошкоджень й своєчасно давати кистям необхідний відпочинок.

Щоб зменшити м'язове напруження та покращити кровообіг, рекомендується періодично виконувати спеціальні вправи для розтягнення передпліч, згинання й обертання зап'ясть, а також самомасаж долонь і зап'ястків. Використання сучасних ергономічних засобів – наприклад, вертикальних мишок, розділених клавіатур, підкладок із гелевою вставкою під зап'ястя – сприяє рівномірному розподілу навантаження на опорно-руховий апарат і суттєво знижує ризик перевантажень. Усі перелічені заходи в сукупності формують ефективну систему профілактики професійних травм кистей і сприяють збереженню здоров'я та працездатності ІТ-спеціалістів.

4.3 Висновок до четвертого розділу

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи описано основні аспекти безпеки життєдіяльності та охорони праці для користувачів систем електронного навчання. Розглянуто два ключові напрями: когнітивне навантаження під час використання систем електронного навчання, що зумовлює ризики перевтоми та фізичне навантаження на кисті та зап'ястки, що може призводити до мікротравм верхніх кінцівок.

У межах розділу було проаналізовано характерні фактори ризику, пов'язані з розумовою втомою і перенапруженням опорно-рухового апарату,

їхній вплив на працездатність і стан здоров'я користувачів. Наведено сучасні наукові підходи до профілактики цих станів, серед яких – ергономічна організація робочого місця, дотримання режиму праці й відпочинку, виконання релаксаційних і фізичних вправ.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі досліджено модель інтелектуальної системи електронного навчання з використанням методу раціонального компромісу цілей.

У першому розділі проаналізовано предметну область електронного навчання, розглянуто сучасні системи й платформи. Обґрунтовано доцільність використання методу раціонального компромісу цілей для вибору навчальних рішень у ситуаціях, коли потрібно одночасно враховувати успішність, темп навчання, навантаження, ресурси, ризики та вимоги освітньої програми.

У другому розділі досліджено структуру інтелектуальної системи електронного навчання та її зв'язки із зовнішнім середовищем. Побудовано концептуальну модель системи, у якій модуль раціонального компромісу цілей використовує дані про студента, навчальні ресурси, критерії оцінювання та обмеження для формування рекомендацій.

У третьому розділі сформульовано практичну задачу забезпечення раціонального компромісу цілей і запропоновано алгоритм її розв'язання. Для практичної демонстрації запропонованої моделі створено навчальний прототип програмної системи мовою Python із використанням бібліотеки Streamlit для побудови UI/UX інтерфейсу.

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» висвітлено основні ризики, що виникають під час виконання інтелектуально та фізично навантажених завдань у сфері інформаційних технологій, а також окреслено заходи профілактики розумової перевтоми та мікротравм верхніх кінцівок шляхом впровадження ергономічних, гігієнічних і організаційних рішень.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

- 1 N. D. Pankratova, V. Yu. Khokhlov Rational compromise of agent purposes in distance education // System Research and Information Technologies. 2003. No. 4. P. 44-59. URL: <https://journal.iasa.kpi.ua/article/view/172663>.
- 2 Kerimbayev N., et al. Intelligent educational technologies in individual learning: a systematic literature review // Smart Learning Environments. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40561-024-00360-3>.
- 3 Létourneau A., Deslandes Martineau M., Charland P., Karran J. A., Boasen J., Léger P. M. A systematic review of AI-driven intelligent tutoring systems (ITS) in K-12 education // npj Science of Learning. 2025. Vol. 10. Article 29. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41539-025-00320-7>.
- 4 Zerkouk M., Mihoubi M., Chikhaoui B. A Comprehensive Review of AI-based Intelligent Tutoring Systems: Applications and Challenges. arXiv:2507.18882. 2025. URL: <https://arxiv.org/abs/2507.18882>.
- 5 Denny P., Gulwani S., Heffernan N. T., Käser T., Moore S., Rafferty A. N., Singla A. Generative AI for Education (GAIED): Advances, Opportunities, and Challenges. arXiv:2402.01580. 2024. URL: <https://arxiv.org/abs/2402.01580>.
- 6 Ismail H., Hussein N., Harous S., Khalil A. Survey of Personalized Learning Software Systems: A Taxonomy of Environments, Learning Content, and User Models // Education Sciences. 2023. Vol. 13(7). Article 741. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci13070741>.
- 7 Abu-Rasheed H., Weber C., Fathi M. Context based learning: a survey of contextual indicators for personalized and adaptive learning recommendations – a pedagogical and technical perspective // Frontiers in Education. 2023. Vol. 8. Article 1210968. DOI: <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1210968>.
- 8 du Plooy E., Casteleijn D., Franzsen D. Personalized adaptive learning in higher education: A scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement // Heliyon. 2024. Vol. 10. Article e39630. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39630>.

- 9 MoodleDocs. Features. URL: <https://docs.moodle.org/en/Features>.
- 10 Instructure Community. What is Canvas? Canvas LMS Basics Guide. URL: <https://community.canvaslms.com/>.
- 11 Google Classroom Help. About Classroom. URL: <https://support.google.com/edu/classroom/answer/6020279>.
- 12 Microsoft Support. Assignments and grades in your class team. URL: <https://support.microsoft.com/en-us/education/teams/assignments-and-grades-in-your-class-team>.
- 13 Microsoft Support. Educator's guide to Insights in Microsoft Teams. URL: <https://support.microsoft.com/en-us/education/teams/educator-s-guide-to-insights-in-microsoft-teams>.
- 14 Open edX. Open edX Platform. URL: <https://openedx.org/platform/>.
- 15 Anthology Help. Analytics for Learn. URL: <https://help.anthology.com/blackboard/instructor/en/analytics/analytics-for-learn.html>.
- 16 EdTech Consortium. Learning Tools Interoperability (LTI) Core Specification 1.3. URL: <https://www.imsglobal.org/spec/lti/v1p3>.
- 17 Experience API. xAPI Overview. URL: <https://xapi.com/overview/>.
- 18 IEEE Std 1484.12.1-2020. IEEE Standard for Learning Technology – Learning Object Metadata. URL: https://standards.ieee.org/standard/1484_12_1-2020.html.
- 19 Miao F., Holmes W. Guidance for generative AI in education and research. UNESCO. 2023. URL: <https://www.unesco.org/en/articles/guidance-generative-ai-education-and-research>.
- 20 European Commission. Ethical guidelines on the use of artificial intelligence (AI) and data in teaching and learning for educators. Publications Office of the European Union. 2022. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d81a0d54-5348-11ed-92ed-01aa75ed71a1/language-en>.

21 Fryz M., Mlynko B. Determination of the characteristic function of discrete-time conditional linear random process and its application // Scientific Journal of TNTU. 2023. Vol. 109, № 1. P. 16–23.

22 A. Zaporozhets, Y. Kuts, B. Mlynko, M. Fryz, and L. Scherbak, “EEG Signal Classification Using Linear Process Model-Based Feature Extraction and Supervised Learning,” in *Advanced System Development Technologies II. Studies in Systems, Decision and Control*, M. Bezuglyi, N. Bouraou, V. Mykytenko, G. Tymchyk, and A. Zaporozhets, Eds., Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, pp. 235–257. doi: 10.1007/978-3-031-82035-9_7.

23 M. Fryz, L. Scherbak, B. Mlynko, and T. Mykhailovych, “Linear Random Process Model-Based EEG Classification Using Machine Learning Techniques,” in *Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023)*, 2023, vol. 3468, pp. 126–132. [Online]. Available: <https://ceur-ws.org/Vol-3468/short5.pdf>

24 V. Babak, A. Zaporozhets, Y. Kuts, M. Fryz, L. Scherbak. *Noise signals: Modelling and Analyses*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025. 222 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-71093-3>

25 Бабак В.П., Марченко Б.Г., Фриз М.Є. *Теорія ймовірностей, випадкові процеси та математична статистика*. – К.: Техніка, 2004. – 288 с.

26 Фриз М.Є., Млинко Б.Б. Умовні лінійні випадкові процеси з дискретним часом та їх властивості // *Вісник Хмельницького національного університету*. Серія: Технічні науки. 2022 (309), № 3. С. 7–12.

27 Fryz M., Mlynko B. Property analysis of multivariate conditional linear random processes in the problems of mathematical modelling of signals // *Technol. Audit Prod. Reserv.* 2022. Vol. 3, No 2(65). P. 29–32.

28 Python Software Foundation. *Python 3 Documentation*. URL: <https://docs.python.org/3/> (дата звернення: 13.06.2026).

29 Streamlit Documentation. *Streamlit: A faster way to build and share data apps*. URL: <https://docs.streamlit.io/> (дата звернення: 13.06.2026).

30 The pandas development team. pandas documentation. URL: <https://pandas.pydata.org/docs/> (дата звернення: 13.06.2026).

31 NumPy Developers. NumPy Documentation. URL: <https://numpy.org/doc/stable/> (дата звернення: 13.06.2026).

32 ISO 10075:1995. Ergonomic principles related to mental workload — General terms and definitions. URL: <https://www.scribd.com/document/268051954/ISO-10075-1995-Ergonomic-Mental-Workload-General-Terms>

33 Державна служба України з питань праці. Втома та її профілактика. URL: <https://dp.dsp.gov.ua/novyny/vtoma-ta-ii-profilaktyka>

34 ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги. - Чинний від 2016-09-01. - Київ : УкрНДНЦ, 2016. - III, 7 с. : рис. - (Національний стандарт України).

35 Профілактика «офісного синдрому» у осіб першого періоду зрілого віку засобами оздоровчого фітнесу. URL: <https://reposit.uni-sport.edu.ua/server/api/core/bitstreams/58b6fcb8-901d-49de-a275-79461f2cf21d/content4>

36 Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Hand and Wrist: Epidemiology, Pathophysiology, and Sensorimotor Changes. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1557630/>

37 Желібо Є. П. Безпека Життєдіяльності / Є. П. Желібо, Н. М. Заверуха, В. В. Задарний. – Київ: Каравела, 2008. – 344 с.

ДОДАТКИ

Лістинги основних модулів

Лістинг 1 – Код модуля compromise.py

```
from __future__ import annotations

from dataclasses import dataclass
from typing import Dict, Iterable, List, Tuple

import numpy as np
import pandas as pd

BENEFIT_CRITERIA = {
    "expected_success",
    "competency_match",
    "accessibility",
    "student_goal_fit",
    "teacher_quality",
    "institution_fit",
    "labour_market_fit",
}

COST_CRITERIA = {
    "time_hours",
    "student_load",
    "teacher_load",
    "institution_cost",
    "risk",
}

CRITERION_LABELS = {
    "expected_success": "Очікувана успішність",
    "time_hours": "Час навчання",
    "student_load": "Навантаження студента",
```

```

"teacher_load": "Навантаження викладача",
"institution_cost": "Вартість / ресурсні витрати",
"risk": "Ризик невиконання",
"competency_match": "Відповідність компетентностям",
"accessibility": "Доступність ресурсу",
"student_goal_fit": "Відповідність цілі студента",
"teacher_quality": "Педагогічна якість",
"institution_fit": "Відповідність вимогам закладу",
"labour_market_fit": "Відповідність ринку праці",
}

@dataclass(frozen=True)
class CompromiseSettings:
    weights: Dict[str, float]
    alpha: float = 0.65 # частка зваженої суми в інтегральному
показнику
    threshold: float = 0.35 # мінімально прийнятний рівень за
кожним критерієм
    penalty_power: float = 1.0

def normalize_weights(weights: Dict[str, float]) -> Dict[str,
float]:
    """Normalize a dictionary of non-negative weights to sum to
1."""
    safe = {key: max(0.0, float(value)) for key, value in
weights.items()}
    total = sum(safe.values())
    if total <= 0:
        n = len(safe) or 1
        return {key: 1.0 / n for key in safe}
    return {key: value / total for key, value in safe.items()}

```

```

def _minmax(series: pd.Series, benefit: bool) -> pd.Series:
    x = pd.to_numeric(series, errors="coerce").astype(float)
    if x.isna().all():
        return pd.Series(np.ones(len(series)) * 0.5,
index=series.index)
    x = x.fillna(x.median())
    mn, mx = float(x.min()), float(x.max())
    if np.isclose(mx, mn):
        return pd.Series(np.ones(len(series)) * 0.5,
index=series.index)
    norm = (x - mn) / (mx - mn)
    return norm if benefit else 1.0 - norm

def add_contextual_criteria(
    alternatives: pd.DataFrame,
    student_profile: Dict[str, float | str | bool],
    labour_market_demand: float = 80.0,
) -> pd.DataFrame:
    """Add derived criteria that depend on selected student and
external context."""
    df = alternatives.copy()

    goal = str(student_profile.get("goal", "")).lower()
    knowledge_level = str(student_profile.get("knowledge_level",
"середній")).lower()
    available_hours =
float(student_profile.get("available_hours_per_week", 6.0))
    needs_support = str(student_profile.get("needs_support",
"ні")).lower() in {"так", "true", "1", "yes"}

    # Goal fit reflects student preferences and current state.
    goal_fit = []
    for _, row in df.iterrows():
        score = 65.0

```

```

res = str(row.get("resource_type", "")).lower()
diff = str(row.get("difficulty", "")).lower()
time_h = float(row.get("time_hours", 0))
if "поглиб" in goal and diff == "висока":
    score += 20
    if "успіш" in goal and ("лаборатор" in res or "консульта"
in res or "мікро" in res):
        score += 15
    if "швид" in goal and time_h <= max(2.5, available_hours /
2):
        score += 20
    if needs_support and ("консульта" in res or "мікро" in res
or diff == "легка"):
        score += 15
    if knowledge_level == "низький" and diff == "висока":
        score -= 25
    if knowledge_level == "високий" and diff == "легка":
        score -= 10
    if time_h > available_hours:
        score -= min(30, 5 * (time_h - available_hours))
    goal_fit.append(np.clip(score, 0, 100))
df["student_goal_fit"] = goal_fit

# Teacher quality favors objective control and meaningful
feedback, penalizes very high teacher load.
control_bonus = df["control_mode"].map({"самоконтроль": 55,
"поточний контроль": 80, "підсумковий контроль": 72}).fillna(65)
df["teacher_quality"] = np.clip(0.55 * df["expected_success"]
+ 0.45 * control_bonus - 0.15 * df["teacher_load"], 0, 100)

# Institution fit combines competency coverage, resource cost
and scalability/accessibility.
df["institution_fit"] = np.clip(0.45 * df["competency_match"]
+ 0.35 * df["accessibility"] + 0.20 * (100 -
df["institution_cost"]), 0, 100)

```

```

    # Labour market fit is a soft interaction of competency match
    and external demand.
    df["labour_market_fit"] = np.clip(0.65 *
df["competency_match"] + 0.35 * labour_market_demand, 0, 100)
    return df

def normalize_criteria(df: pd.DataFrame, criteria: Iterable[str])
-> pd.DataFrame:
    """Convert each criterion to utility scale [0, 1], where
larger is better."""
    out = pd.DataFrame(index=df.index)
    for criterion in criteria:
        if criterion in BENEFIT_CRITERIA:
            out[criterion] = _minmax(df[criterion], benefit=True)
        elif criterion in COST_CRITERIA:
            out[criterion] = _minmax(df[criterion], benefit=False)
        else:
            # Conservative default: benefit criterion.
            out[criterion] = _minmax(df[criterion], benefit=True)
    return out.clip(0.0, 1.0)

def rank_alternatives(df: pd.DataFrame, settings:
CompromiseSettings) -> pd.DataFrame:
    """Rank alternatives by rational compromise score.

The compromise score combines:
1) weighted additive utility;
2) guaranteed level of satisfaction = min utility;
3) penalty for criteria below minimum threshold.
"""
    weights = normalize_weights(settings.weights)
    criteria = list(weights.keys())

```

```

mu = normalize_criteria(df, criteria)

weighted_sum = sum(mu[c] * w for c, w in weights.items())
guaranteed = mu[criteria].min(axis=1)
below = (settings.threshold - mu[criteria]).clip(lower=0.0)
penalty = below.mean(axis=1) ** settings.penalty_power
score = settings.alpha * weighted_sum + (1.0 - settings.alpha)
* guaranteed - 0.35 * penalty

result = df.copy()
result["weighted_sum"] = weighted_sum
result["guaranteed_level"] = guaranteed
result["penalty"] = penalty
result["compromise_score"] = score.clip(0.0, 1.0)
result["rank"] =
result["compromise_score"].rank(ascending=False,
method="dense").astype(int)

for c in criteria:
    result[f"mu_{c}"] = mu[c]

result = result.sort_values(["rank", "compromise_score"],
ascending=[True, False]).reset_index(drop=True)
return result

def explain_choice(row: pd.Series, criteria: List[str], weights:
Dict[str, float]) -> str:
    """Generate a transparent textual explanation for the selected
alternative."""
    weights = normalize_weights(weights)
    contributions: List[Tuple[str, float, float]] = []
    weak: List[str] = []
    strong: List[str] = []
    for c in criteria:

```

```

mu = float(row.get(f"mu_{c}", 0.0))
contributions.append((CRITERION_LABELS.get(c, c),
weights.get(c, 0.0), mu))
if mu >= 0.75:
    strong.append(CRITERION_LABELS.get(c, c))
if mu <= 0.35:
    weak.append(CRITERION_LABELS.get(c, c))

top = sorted(contributions, key=lambda t: t[1] * t[2],
reverse=True)[:3]
top_text = "; ".join([f"{name}:  $\mu$ ={mu:.2f}, вага={w:.2f}" for
name, w, mu in top])
weak_text = "; ".join(weak) if weak else "критичних провалів
за критеріями не виявлено"
strong_text = "; ".join(strong) if strong else "переваги
розподілені помірно"
return (
    f"Рекомендовано альтернативу «{row['name']}», оскільки
вона має інтегральний "
    f"показник компромісу {row['compromise_score']:.3f} і
гарантований рівень "
    f"задоволення критеріїв {row['guaranteed_level']:.3f}.
Найбільший внесок у вибір: {top_text}. "
    f"Сильні сторони: {strong_text}. Слабкі місця:
{weak_text}. "
    f"Базове пояснення: {row.get('explain_base', '')}"
)

def recommend_action(best_row: pd.Series) -> Dict[str, str]:
    """Produce actionable recommendation fields for the UI."""
    risk = float(best_row.get("risk", 0))
    diff = str(best_row.get("difficulty", "середня"))
    resource_type = str(best_row.get("resource_type", "навчальний
ресурс"))

```

```
control = str(best_row.get("control_mode", "поточний  
контроль"))  
  
if risk >= 30:  
    intervention = "потрібне втручання викладача або додаткове  
пояснення"  
elif diff == "висока":  
    intervention = "доцільний проміжний контроль прогресу"  
else:  
    intervention = "достатньо стандартного супроводу"  
  
return {  
    "Траєкторія навчання": str(best_row.get("name", "")),  
    "Тип ресурсу": resource_type,  
    "Складність": diff,  
    "Спосіб контролю": control,  
    "Педагогічна дія": intervention,  
}
```

Лістинг 2 – Код модуля `io_utils.py`

```
from __future__ import annotations

from pathlib import Path

import pandas as pd

BASE_DIR = Path(__file__).resolve().parents[1]
DATA_DIR = BASE_DIR / "data"

def load_alternatives() -> pd.DataFrame:
    return pd.read_csv(DATA_DIR / "alternatives.csv")

def load_students() -> pd.DataFrame:
    return pd.read_csv(DATA_DIR / "students.csv")

def load_labour_market() -> pd.DataFrame:
    return pd.read_csv(DATA_DIR / "labour_market.csv")

def to_csv_bytes(df: pd.DataFrame) -> bytes:
    return df.to_csv(index=False).encode("utf-8-sig")
```

Лістинг 3 – Код модуля app.py

```
from __future__ import annotations

from datetime import datetime
from typing import Dict, List

import pandas as pd
import streamlit as st

from modules.compromise import (
    CRITERION_LABELS,
    CompromiseSettings,
    add_contextual_criteria,
    explain_choice,
    rank_alternatives,
    recommend_action,
)

from modules.io_utils import load_alternatives,
load_labour_market, load_students, to_csv_bytes

st.set_page_config(
    page_title="Інтелектуальна система електронного навчання",
    page_icon="🏠",
    layout="wide",
)

DEFAULT_CRITERIA = [
    "expected_success",
    "student_goal_fit",
    "time_hours",
    "student_load",
    "teacher_quality",
    "teacher_load",
    "institution_fit",
    "institution_cost",
```

```

    "risk",
    "competency_match",
    "labour_market_fit",
]

```

```

DEFAULT_WEIGHTS = {
    "expected_success": 0.14,
    "student_goal_fit": 0.12,
    "time_hours": 0.08,
    "student_load": 0.08,
    "teacher_quality": 0.10,
    "teacher_load": 0.07,
    "institution_fit": 0.10,
    "institution_cost": 0.07,
    "risk": 0.10,
    "competency_match": 0.10,
    "labour_market_fit": 0.04,
}

```

```

def init_state() -> None:
    if "alternatives" not in st.session_state:
        st.session_state.alternatives = load_alternatives()
    if "students" not in st.session_state:
        st.session_state.students = load_students()
    if "history" not in st.session_state:
        st.session_state.history = []

```

```

def css() -> None:
    st.markdown(
        """
        <style>
            .metric-card {border:1px solid #e5e7eb; border-
radius:14px; padding:14px; background:#fafafa;}

```

```

.small-note {font-size:0.88rem; color:#666;}
.stTabs [data-baseweb="tab-list"] {gap: 0.5rem;}
.stTabs [data-baseweb="tab"] {border-radius: 12px 12px 0
0;}

</style>
"""
unsafe_allow_html=True,
)

def sidebar_weights() -> tuple[Dict[str, float], float, float]:
    st.sidebar.header("Параметри компромісу")
    st.sidebar.caption("Ваги критеріїв можна інтерпретувати як
    пріоритети суб'єктів освітнього процесу.")

    group = st.sidebar.radio(
        "Режим налаштування ваг",
        ["Збалансований", "Акцент на студента", "Акцент на якість
    викладання", "Акцент на ресурсні обмеження", "Власні ваги"],
    )
    weights = DEFAULT_WEIGHTS.copy()
    if group == "Акцент на студента":
        weights.update({"student_goal_fit": 0.18, "student_load":
    0.12, "time_hours": 0.12, "expected_success": 0.16})
    elif group == "Акцент на якість викладання":
        weights.update({"teacher_quality": 0.18,
    "competency_match": 0.15, "expected_success": 0.16,
    "teacher_load": 0.10})
    elif group == "Акцент на ресурсні обмеження":
        weights.update({"institution_cost": 0.15, "teacher_load":
    0.14, "time_hours": 0.12, "risk": 0.13})

    if group == "Власні ваги":
        weights = {}
        for criterion in DEFAULT_CRITERIA:

```

```

        weights[criterion] = st.sidebar.slider(
            CRITERION_LABELS[criterion], 0.0, 1.0,
DEFAULT_WEIGHTS[criterion], 0.01
        )
    else:
        with st.sidebar.expander("Переглянути / уточнити ваги"):
            for criterion in DEFAULT_CRITERIA:
                weights[criterion] = st.slider(
                    CRITERION_LABELS[criterion], 0.0, 1.0,
float(weights[criterion]), 0.01,
                    key=f"w_{criterion}_{group}",
                )

        alpha = st.sidebar.slider(
            "Частка зваженої суми в інтегральному показнику  $\alpha$ ", 0.0,
1.0, 0.65, 0.05,
            help="Менше  $\alpha$  – сильніший акцент на гарантований рівень
задоволення всіх критеріїв."
        )
        threshold = st.sidebar.slider(
            "Мінімально прийнятний рівень  $\mu$ ", 0.0, 0.8, 0.35, 0.05,
            help="Якщо нормована оцінка критерію нижча від порога,
система додає штраф."
        )
        return weights, alpha, threshold

def get_student_profile(students_df: pd.DataFrame) -> Dict[str,
float | str]:
    st.subheader("1. Профіль студента")
    mode = st.radio("Джерело профілю", ["Вибрати з демонстраційної
бази", "Ввести вручну"], horizontal=True)
    if mode == "Вибрати з демонстраційної бази":
        selected = st.selectbox("Студент",
students_df["student_id"] + " - " + students_df["name"])

```

```

        sid = selected.split(" - ")[0]
        row = students_df.loc[students_df["student_id"] ==
sid].iloc[0]
        profile = row.to_dict()
        with st.expander("Переглянути профіль студента",
expanded=True):
            st.dataframe(pd.DataFrame([profile]),
use_container_width=True, hide_index=True)
        return profile

    c1, c2, c3 = st.columns(3)
    with c1:
        name = st.text_input("ПІБ", "Новий студент")
        knowledge_level = st.selectbox("Рівень знань", ["низький",
"середній", "високий"], index=1)
        goal = st.selectbox(
            "Ціль навчання",
            ["підвищення успішності", "швидке проходження базових
тем", "поглиблене вивчення", "підготовка до підсумкового
контролю"],
        )
    with c2:
        activity_percent = st.slider("Активність у LMS, %", 0,
100, 65)
        avg_score = st.slider("Середній бал, %", 0, 100, 72)
        test_score = st.slider("Результат останнього тесту, %", 0,
100, 70)
    with c3:
        missed_deadlines = st.number_input("Пропущені дедлайни",
0, 20, 1)
        available_hours = st.slider("Доступні години на тиждень",
1, 20, 6)
        motivation = st.slider("Мотивація, %", 0, 100, 70)
        needs_support = st.selectbox("Потребує додаткової
підтримки", ["так", "ні"])

```

```

return {
    "student_id": "custom",
    "name": name,
    "knowledge_level": knowledge_level,
    "activity_percent": activity_percent,
    "avg_score": avg_score,
    "test_score": test_score,
    "missed_deadlines": missed_deadlines,
    "goal": goal,
    "available_hours_per_week": available_hours,
    "motivation": motivation,
    "needs_support": needs_support,
}

```

```

def compute_student_risk(profile: Dict[str, float | str]) ->
float:
    avg_score = float(profile.get("avg_score", 70))
    test_score = float(profile.get("test_score", 70))
    activity = float(profile.get("activity_percent", 60))
    missed = float(profile.get("missed_deadlines", 0))
    motivation = float(profile.get("motivation", 70))
    risk = 0.35 * (100 - avg_score) + 0.25 * (100 - test_score) +
0.25 * (100 - activity) + 5 * missed + 0.15 * (100 - motivation)
    return float(max(0, min(100, risk)))

```

```

def main() -> None:
    init_state()
    css()
    weights, alpha, threshold = sidebar_weights()

    st.title("Інтелектуальна система електронного навчання")
    st.caption("Прототип Streamlit для вибору навчальної
траєкторії за методом раціонального компромісу цілей.")

```

```

    tab_run, tab_data, tab_analysis, tab_arch, tab_help =
st.tabs([
    "Рекомендація", "Дані", "Аналітика", "Архітектура",
"Інструкція"
])

with tab_run:
    students_df = st.session_state.students.copy()
    profile = get_student_profile(students_df)
    student_risk = compute_student_risk(profile)

    c1, c2, c3, c4 = st.columns(4)
    c1.metric("Оцінка ризику студента",
f"{student_risk:.1f}%")
    c2.metric("Середній бал",
f"{float(profile.get('avg_score', 0)):.0f}%")
    c3.metric("Активність",
f"{float(profile.get('activity_percent', 0)):.0f}%")
    c4.metric("Доступний час",
f"{float(profile.get('available_hours_per_week', 0)):.0f}
год/тиждень")

    st.subheader("2. Зовнішній контекст і параметри LMS")
    lm_df = load_labour_market()
    col_lm, col_topic = st.columns([1, 2])
    with col_lm:
        competency = st.selectbox("Компетентність / напрям
ринку праці", lm_df["competency"].tolist())
        demand = float(lm_df.loc[lm_df["competency"] ==
competency, "demand_index"].iloc[0])
        demand = st.slider("Індекс попиту ринку праці", 0.0,
100.0, demand, 1.0)
    with col_topic:

```

```

        topic = st.selectbox("Тема курсу",
sorted(st.session_state.alternatives["topic"].unique()))
        st.info("Система враховує профіль студента,
активність, успішність, ризики, ресурси, навантаження викладача та
ВИМОГИ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ.")

        alternatives = st.session_state.alternatives.query("topic
== @topic").copy()
        contextual = add_contextual_criteria(alternatives,
profile, labour_market_demand=demand)
        settings = CompromiseSettings(weights=weights,
alpha=alpha, threshold=threshold)
        ranked = rank_alternatives(contextual, settings)
        criteria = list(weights.keys())
        best = ranked.iloc[0]
        explanation = explain_choice(best, criteria, weights)
        recommendation = recommend_action(best)

        st.subheader("3. Компромісне рішення")
        m1, m2, m3 = st.columns(3)
        m1.metric("Найкраща альтернатива", str(best["id"]))
        m2.metric("Інтегральний показник",
f"{best['compromise_score']:.3f}")
        m3.metric("Гарантований рівень",
f"{best['guaranteed_level']:.3f}")

        st.success(f"Рекомендація: {best['name']}")
        st.write(explanation)

        st.markdown("***Практичний вихід системи***")
        rec_df = pd.DataFrame([recommendation])
        st.dataframe(rec_df, use_container_width=True,
hide_index=True)

        st.markdown("***Ранжування альтернатив***")

```

```

        cols = ["rank", "id", "name", "resource_type",
               "difficulty", "control_mode", "compromise_score",
               "guaranteed_level", "penalty"]
        st.dataframe(ranked[cols], use_container_width=True,
                    hide_index=True)

    if st.button("Зберегти рішення в журнал подій"):
        st.session_state.history.append({
            "time": datetime.now().strftime("%Y-%m-%d
%H:%M:%S"),
            "student": profile.get("name", ""),
            "topic": topic,
            "best_id": best["id"],
            "best_name": best["name"],
            "score": float(best["compromise_score"]),
            "risk": student_risk,
        })
        st.toast("Рішення збережено в журналі подій.")

    st.download_button(
        "Експортувати ранжування CSV",
        data=to_csv_bytes(ranked),
        file_name="compromise_ranking.csv",
        mime="text/csv",
    )

with tab_data:
    st.subheader("Демонстраційна база альтернатив")
    st.caption("Таблицю можна редагувати безпосередньо в
інтерфейсі. Зміни зберігаються в поточній сесії Streamlit.")
    st.session_state.alternatives = st.data_editor(
        st.session_state.alternatives,
        use_container_width=True,
        num_rows="dynamic",
        key="alt_editor",
    )

```

```

)
st.subheader("Демонстраційна база студентів")
st.session_state.students = st.data_editor(
    st.session_state.students,
    use_container_width=True,
    num_rows="dynamic",
    key="student_editor",
)
st.subheader("Журнал подій")
if st.session_state.history:
    hist_df = pd.DataFrame(st.session_state.history)
    st.dataframe(hist_df, use_container_width=True,
hide_index=True)
    st.download_button("Експортувати журнал CSV",
to_csv_bytes(hist_df), "decision_log.csv", "text/csv")
    else:
        st.info("Журнал поки порожній. Сформуйте рекомендацію
і натисніть кнопку збереження.")

with tab_analysis:
    st.subheader("Візуальний аналіз альтернатив")
    profile = st.session_state.students.iloc[0].to_dict()
    contextual =
add_contextual_criteria(st.session_state.alternatives, profile,
labour_market_demand=80)
    ranked = rank_alternatives(contextual,
CompromiseSettings(weights=weights, alpha=alpha,
threshold=threshold))
    chart_df = ranked.set_index("name") [{"compromise_score",
"weighted_sum", "guaranteed_level"}]
    st.bar_chart(chart_df)

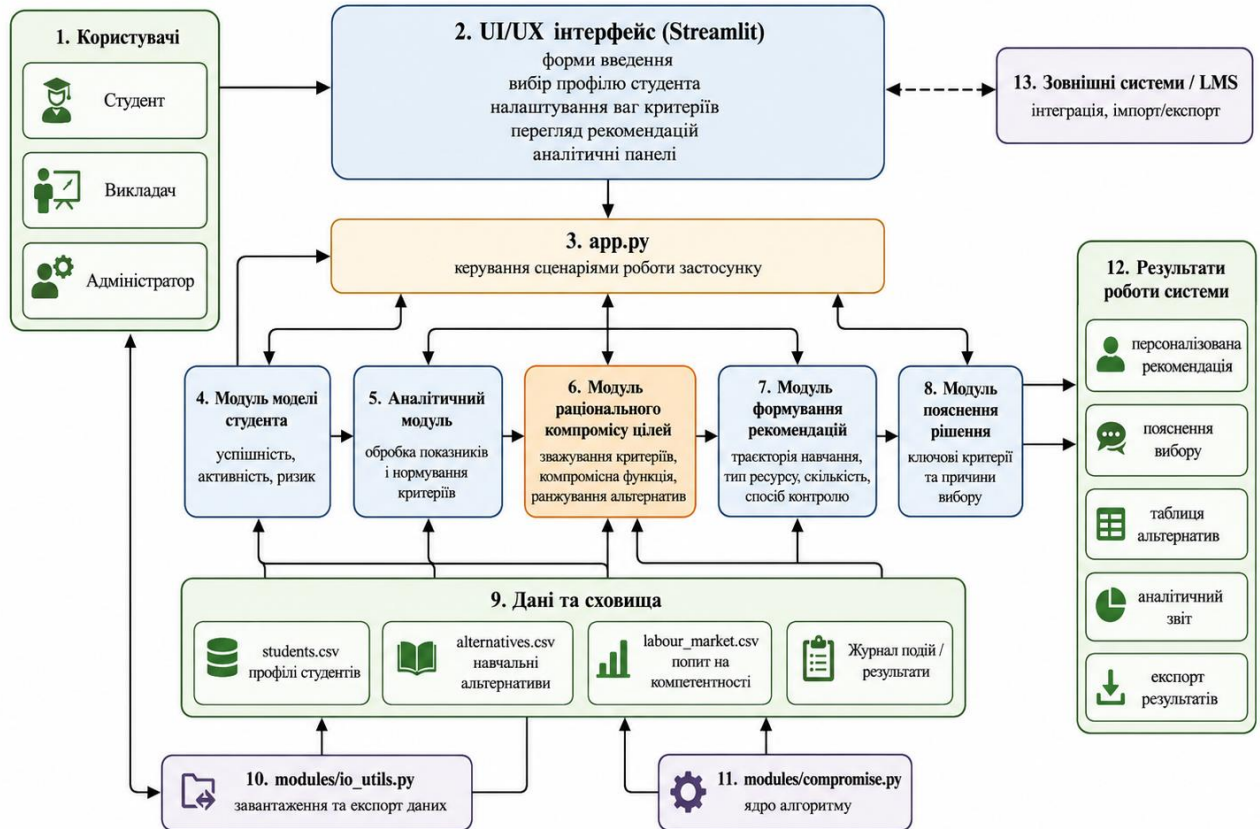
    best = ranked.iloc[0]
    mu_cols = [c for c in ranked.columns if
c.startswith("mu_")]

```

```
radar_like = pd.DataFrame({
    "Критерій": [CRITERION_LABELS.get(c.replace("mu_",
""), c) for c in mu_cols],
    "Нормована оцінка  $\mu$ ": [float(best[c]) for c in
mu_cols],
})
st.markdown("**Профіль нормованих оцінок найкращої
альтернативи**")
st.dataframe(radar_like, use_container_width=True,
hide_index=True)
st.line_chart(radar_like.set_index("Критерій"))

if __name__ == "__main__":
    main()
```

Структурна схема програмної реалізації прототипу системи електронного навчання з модулем раціонального компромісу цілей



Приклади роботи програмної системи

Параметри компромісу

Ваги критеріїв можна інтерпретувати як пріоритети суб'єктів освітнього процесу.

Режим налаштування ваг

- Збалансований
- Акцент на студента
- Акцент на якість викладання
- Акцент на ресурсні обмеження
- Власні ваги

> Переглянути / уточнити ваги

Частка зваженої суми в інтегральному показнику α 0.65

Мінімально прийнятний рівень μ 0.35

Рекомендація Дані Аналітика Архітектура Інструкція

1. Профіль студента

Джерело профілю

Вибрати з демонстраційної бази Ввести вручну

Студент

S001 — Андрій Коваленко

Переглянути профіль студента

student_id	name	knowledge_level	activity_percent	avg_score	test_score	missed_deadlines	goal	available_hours_
S001	Андрій Коваленко	середній	68	74	71	1	підвищення успішності	

Оцінка ризику студента

33.9%

Середній бал

74%

Активність

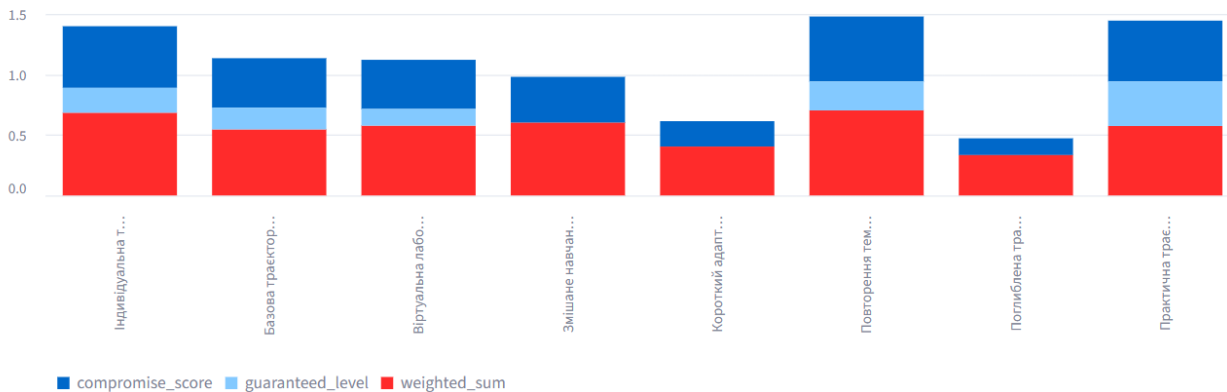
68%

Доступний час

6 год/тиждень

Рекомендація Дані Аналітика Архітектура Інструкція

Візуальний аналіз альтернатив



Профіль нормованих оцінок найкращої альтернативи

Критерій	Нормована оцінка μ
Очікувана успішність	0.4211
Відповідність цілі студента	1
Час навчання	0.76