

ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника»

На правах рукопису

Пікуляк Микола Васильович

УДК 004.85: 004.416.3

МЕТОДИ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ ПОБУДОВИ  
АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ

05.13.06 – інформаційні технології

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата  
технічних наук

Науковий керівник:  
Николайчук Ярослав Миколайович,  
доктор технічних наук, професор

Івано-Франківськ – 2015

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ РОЗРОБКИ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ.....	13
1.1. Стан і тенденції розвитку інформаційної технології побудови адаптивних систем дистанційної освіти.....	13
1.2. Моделі представлення знань в інтерактивних навчальних системах.....	20
1.3. Адаптивні технології побудови навчальних автоматизованих систем.....	23
1.4. Інформаційні технології розробки моделей та методів дистанційного навчання.....	27
1.4.1. Аналіз моделей оцінки рівня знань.....	28
1.4.2. Аналіз методів моделювання навчальних систем.....	33
1.5. Перспективні напрямки розробки адаптивних систем дистанційної освіти.....	37
1.6. Висновки та постановка задачі дослідження.....	38
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ МОДЕЛІ НАВЧАЛЬНОЇ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ.....	40
2.1. Синтез логічної структури навчальної дистанційної системи.....	40
2.2. Методи побудови моделі предметної області.....	42
2.2.1. Онтологічна побудова предметної області на основі квантово-фреймової моделі.....	43
2.2.2. Графова модель предметної області.....	48
2.3. Розробка методів побудови моделей користувача в адаптивній системі.....	51
2.3.1. Структурна модель студента.....	51
2.3.2. Побудова математичної моделі студента.....	53
2.3.3. Розробка моделі студента в дистанційній системі.....	60
2.4. Розробка моделі контролю і діагностики знань.....	62
2.4.1. Структурна модель модуля тестування.....	64
2.4.2. Побудова системи тестування на основі квантового розбиття	

навчального контенту.....	66
2.5. Висновки .....	70
<b>РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ І АЛГОРИТМІВ</b>	
<b>АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ НАВЧАЛЬНИМ ПРОЦЕСОМ.....</b>	<b>72</b>
3.1. Концептуальні характеристики адаптивного навчального модуля.....	72
3.1.1. Розробка структурної схеми адаптивного модуля.....	72
3.1.2. Формалізація та побудова часових епюр засвоєння квантів інформації.....	77
3.2. Розробка моделі адаптивного процесу.....	80
3.2.1. Графове моделювання адаптивного процесу.....	82
3.2.2. Навчальні етапи адаптивного процесу.....	84
3.3. Розробка та дослідження мультимножинної технології побудови моделі бази знань.....	85
3.3.1. Метод оцінки результатів тестового контролю на основі мультимножинної технології.....	86
3.3.2. Реалізація методу визначення глибини засвоєння кванта.....	88
3.4. Розробка структури та дослідження інформаційної технології формування бази даних сценарних прикладів.....	93
3.5. Розробка методу групування студентів на основі матриці прецедентів. .	98
3.5.1. Побудова групування студентів з прив'язкою до режиму навчання.....	98
3.5.2. Обробка матриці прецедентів із застосуванням математичної тризначної логіки.....	101
3.6. Формування вхідних даних і структуризація алгоритму побудови адаптивної системи.....	105
3.7. Висновки.....	107
<b>РОЗДІЛ 4. ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДИСТАНЦІЙНОГО</b>	
<b>НАВЧАННЯ НА ОСНОВІ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ ТА</b>	
<b>ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ.....</b>	<b>109</b>
4.1. Розробка функціональної структури програмного модуля.....	109

4.2. Технологічні особливості побудови програмної реалізації.....	113
4.3. Розробка інструментального засобу математичної моделі адаптивного процесу.....	119
4.4. Організація експериментального дослідження та порівняльний аналіз із іншими системами.....	121
4.5. Перевірка результатів експерименту із застосуванням теорії автоматичного управління.....	130
4.6. Висновки.....	133
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	135
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	137
ДОДАТОК А Порівняльний аналіз адаптивних експертних систем.....	151
ДОДАТОК Б Порівняльний аналіз моделей оцінки знань.....	153
ДОДАТОК В Опис методу експертних оцінок.....	154
ДОДАТОК Г Результати експерименту вибірки за 2014/2015 н. р. . . . .	159
ДОДАТОК Д Лістинг модуля мультимножинної обробки результатів тестування.....	161
ДОДАТОК Е Акти впровадження результатів дисертаційної роботи.....	169

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- ДН – дистанційне навчання
- ДО – дистанційна освіта
- СДО – система дистанційної освіти
- ЕС – експертна система
- АЕС – адаптивна експертна система
- ІЕС – інтегрована експертна система
- ІНС – інтелектуальна навчальна система
- ПЗ – програмне забезпечення
- ІТ – інформаційна технологія
- ШІ – штучний інтелект
- НП – навчальний процес
- ДТН – дистанційна технологія навчання
- СУБД – система управління базами даних
- БД – база даних
- БЗ – база знань
- ІН – ітеративне навчання
- МЛ-технологія – мультилінгвістична технологія
- ТРОК – технологія розподілених одиниць контенту
- ЕП – електронний підручник
- CRT (Classical Response Theory) – Класична теорія тестування
- IRT (Item Response Theory) – Сучасна теорія тестування
- АНС – автоматизована навчальна система
- СПНЗ – сценарні приклади навчальних знань
- Епюри ЗКІ – епюри засвоєння квантів інформації
- Метод РАКЗ – метод різнорівневих алгоритмічних квантів знань
- ДДНФ – досконала диз'юнктивна нормальна форма

## Вступ

Сучасний стан освіти в Україні та тенденції розвитку інформаційного суспільства визначають необхідність розробки якісно нових автоматизованих систем інтерактивної дистанційної освіти (ДО), орієнтованих на застосування новітніх інформаційних технологій.

**Актуальність теми.** Дистанційне навчання (ДН) як одна з найбільш перспективних форм сучасної організації навчального процесу дозволяє підвищити ефективність запровадження новітніх технологій та комп'ютеризованих систем організації навчання, забезпечує доступ користувачів до світових ресурсів інформації та можливість безперервного вдосконалення професійних навиків.

Завдяки швидкому розвитку освітніх послуг, зростанню кількості користувачів і залучених навчальних закладів, складності їх інфраструктури, масштабів фінансування ДО стала глобальним явищем інформаційної культури суспільства.

Методичну основу розробки автоматизованих навчальних систем складають дослідження Гальперіна П. Я., Глушкова В. М., Беспалько В. П., Льїної Т. А., Талізїної Н. Ф., Бруснецова Н. П., Брусиловського П. Л., Васильєва В. В., Растрїгіна Л. А., Савельєва А. Я.

У сферу досліджень розробки методів і моделей систем ДН зробили вагомий внесок науковці Згуровський М. З., Томашевський В. М., Кухаренко В. М., Николайчук Я. М., Федорук П. І., Аванесов В. С., Мінцер О.П., Гаврилов Т. А., Рибїна Г. В.

Аналіз світового досвіду розробки систем ДО (BlackBoard, Lotus, WebTutor, Moodle, Прометей, Віртуальний Університет та ін.) дозволив встановити, що існуючі системи характеризуються наступними перевагами:

– доступність і відкритість навчання, що дає можливість отримати якісну освіту широкому колу слухачів;

- індивідуалізація темпу навчання, у результаті чого швидкість вивчення матеріалів встановлюється студентом у залежності від його індивідуальних навичок та бажань;

- технологічність освітнього процесу, що забезпечує ефективне використання новітніх досягнень сучасних інформаційних технологій;

- свобода і гнучкість навчання, що дозволяє студенту вибирати будь-який із запропонованих навчальних курсів, а також самостійно розраховувати час і тривалість занять;

- розширений доступ до додаткового матеріалу, який користувач може використати безпосередньо під час навчання;

- надання більш ширшого діапазону результатів навчання у порівнянні з традиційним.

У той же час відомі дистанційні системи характеризуються наступними функціональними обмеженнями:

- невисока ефективність застосування у навчальному процесі, зокрема низька якість отриманих знань;

- висока ресурсоємність апаратних засобів, а саме невідповідність апаратних засобів і програмного забезпечення;

- недостатня інтерактивність, тобто низький рівень забезпечення зворотнього зв'язку між студентом і навчальною системою;

- недостатній рівень адаптивності методів та алгоритмів навчання.

Зокрема в інформаційних технологіях, що використовуються при розробці та моделюванні відомих систем, не задіяно такий показник визначення якості знань студента, як глибина засвоєння порції інформації (кванта). Для того, щоб цей важливий показник врахувати, в роботі пропонується метод тестового контролю із застосуванням теорії мультимножин для визначення глибини знань і метод обробки інформаційних квантів на основі групування студентів, що дозволяє здійснити побудову індивідуальної адаптивної траєкторії навчання.

Тому вдосконалення інформаційної технології побудови системи дистанційної освіти шляхом розробки вищеназваних методів з метою підвищення якості знань, як одного з найважливіших показників ефективності навчання, є актуальною науково-прикладною задачею, що потребує глибоких теоретичних та експериментальних досліджень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Науково-дослідна робота за темою дисертації проводилася відповідно до планів навчальної та науково-дослідної роботи ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника», зокрема в рамках тем «Теоретичні та методологічні основи розробки автоматизованих систем передачі та контролю знань» (номер державної реєстрації 0112U000063) та «Розробка адаптивної системи передачі знань нового покоління на базі багатопараметричної моделі студента» (номер державної реєстрації 0112U000472).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є підвищення якості дистанційного навчання шляхом розробки методів та інструментальних засобів побудови адаптивної автоматизованої системи.

Відповідно до поставленої мети дисертаційна робота включає розв'язання таких завдань:

- виконати аналіз прикладної області існуючих систем дистанційної освіти, методів, моделей та інструментальних засобів розробки;
- розробити структурну модель навчальної системи на основі формалізації моделей предметної області, користувача та тестового контролю;
- розробити метод оцінки результатів тестового контролю рівня якості знань із застосуванням теорії мультимножин;
- розробити метод групування студентів шляхом використання матриці прецедентів для вибору адаптованого сценарного рішення;
- розробити інформаційну технологію побудови адаптивного навчального модуля на основі методу різнорівневого алгоритмічного



квантування знань;

- розробити інструментальний засіб програмної реалізації побудованого адаптивного модуля та впровадити його в загальну структуру комп'ютерної системи навчання;

- провести верифікацію побудованої навчальної системи та оцінити ефективність застосування запропонованих інструментальних засобів та алгоритмів.

**Об'єкт дослідження** – процеси навчання та контролю якості навчання в автоматизованих комп'ютерних системах ДО.

**Предмет дослідження** – методи, моделі, інструментальні засоби та інформаційні технології для автоматизованої системи ДО.

**Методи дослідження.** У процесі розробки методів та інструментальних засобів побудови адаптивної системи використані методи теорії графів, метод різнорівневих алгоритмічних квантів знань, матричний метод, метод прецедентів, квантово-мультимножинна теорія формалізації навчального контенту, апарат математичної логіки та сучасні веб-технології.

Наукову новизну дисертаційного дослідження складають:

1. Вперше розроблено:

- метод оцінки результатів тестового контролю рівня навчання по набору квантів знань, який на відміну від існуючих ґрунтується на теорії мультимножин, що дає можливість визначити глибину засвоєння кванта;

- метод групування студентів, який відрізняється від відомих тим, що побудований на основі обробки матриці прецедентів методами кластерного аналізу та дозволяє не тільки віднести студента до окремого класу, але й вибрати адаптований до нього сценарний приклад.

2. Отримав подальший розвиток метод різнорівневого алгоритмічного квантування інформації шляхом застосування засобів алгебри скінченних предикатів, що дозволило представити інформаційні кванти у вигляді матриці прецедентів та на цій основі виконати формалізацію моделей системи дистанційної освіти.

3. Вдосконалено інформаційну технологію вибору адаптивного рішення по індивідуальній навчальній траєкторії, побудованій на основі методу оцінки результатів тестового контролю і методу групування студентів, що забезпечує підвищення якості навчання.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в наступному:

1. Розроблено спосіб обробки матриць із використанням математичної тризначної логіки, що дозволяє підвищити швидкодію обчислення номера навчального режиму та генерувати навчальні кванти на основі математичних методів представлення структури знань і автоматично нарощувати індивідуалізований адаптивний контент.

2. Виконано формалізацію моделі адаптивного навчання розробленого методу групування студентів побудовою часових епюр, що забезпечило покращення засвоєння нових знань врахуванням параметрів ваги, тривалості та ступеня вивчення кванта.

3. Розроблено інструментальний засіб для проведення розрахунків результатів тестового контролю та реалізовано програмний модуль на мові програмування PHP із застосуванням системи управління базами даних MySQL, що дає можливість адаптувати розроблений програмний продукт під діючі системи у вигляді окремих модулів і розгорнути його на будь-якій платформі, що підтримує виконання PHP-скриптів та надає доступ до MySQL.

4. Виконано верифікацію розробленого програмного забезпечення в умовах діючого навчального процесу, яка підтвердила адекватність розроблених методів та високу ефективність функціонування адаптивної системи у вищому навчальному закладі, що засвідчено відповідними актами впровадження.

**Теоретичні та практичні результати роботи** використано та впроваджено в навчальний процес ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» на кафедрі інформаційних технологій при вивченні дисциплін «Бази даних та інформаційні системи» і «Практикум

на ЕОМ» для студентів спеціальностей 6.040302 «Інформатика» та 6.040201 «Математика».

**Обґрунтованість і достовірність наукових положень та висновків.**

Наукові положення і висновки дисертації обґрунтовані коректним використанням математичного апарату, експериментальними дослідженнями, моделюванням і програмною реалізацією методів та інструментальних засобів побудови адаптивної системи ДО.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором особисто. В роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належить: [1] – розроблено технологію побудови індивідуальної адаптивної траєкторії навчання студента на базі методу різнорівневого алгоритмічного квантування знань; [2] – розроблена модель побудови адаптивної системи із використанням режимів навчання; [3] – досліджено особливості застосування механізму формування сценарних прикладів для побудови алгоритму навчання; [4] – запропоновано структурну модель предметної області на основі квантового розбиття навчального контенту; [5] – розроблено модуль верифікації сценарних прикладів; [6] – розроблено метод обробки матриці уроку із використанням математичної тризначної логіки.

**Апробація роботи і публікації.** Основні положення і результати дисертаційного дослідження доповідались та обговорювались на міжнародних науково-практичних та науково-методичних конференціях: «Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика» (м. Київ, 2010 р.); «Штучний інтелект. Інтелектуальні системи» (сmt. Кацивелі, АР Крим, 2010 р.); «Інноваційні комп'ютерні технології у вищій школі» (м. Львів, 2010 р.); «Медична та біологічна інформатика і кібернетика» (м. Київ, 2010 р.); «Медична та біологічна інформатика і кібернетика» (м. Київ, 2011 р.); «Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС 2011» (м. Чернігів, 2011 р.); «Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)» (м. Черкаси, 2011 р.); «Інноваційні комп'ютерні технології у

вищій школі» (м. Львів, 2011 р.); «Системний аналіз і інформаційні технології – SAIT 2012» (м. Київ, 2012 р.); «Сучасні інформаційні технології в дистанційній освіті» (м. Івано-Франківськ, 2012 р.); «ІНТЕРНЕТ-ОСВІТА-НАУКА-2012» (м. Вінниця, 2012 р.); «Системний аналіз і інформаційні технології – SAIT 2013» (м. Київ, 2013 р.); «Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика» (м. Київ, 2013 р.); «Інформаційні технології в освіті, науці і техніці» (м. Черкаси, 2014 р.); «Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління» (м. Тернопіль, 2014 р.); «Теорія прийняття рішень» (м. Ужгород, 2014 р.); «Досвід розробки та застосування приладотехнологічних САПР в мікроелектроніці» (м. Львів, 2015 р.); «Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)» (м. Черкаси, 2015 р) а також на звітно-наукових конференціях викладачів, докторантів, аспірантів ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника».

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 26 друкованих праць, з них 8 статей опубліковані в фахових наукових виданнях (в тому числі – дві одноосібні, одна в міжнародній науково-метричній базі Ulrich's Periodicals Directory та одна в міжнародній науково-метричній базі Index Copernicus), 18 матеріалів доповідей на всеукраїнських та міжнародних науково-технічних конференціях.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи складає 173 сторінки, з них 136 сторінок основного тексту, 61 рисунок, 30 таблиць. Список використаних джерел включає 123 найменування, додатки представлені на 23 сторінках.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ І МОДЕЛЕЙ РОЗРОБКИ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОЇ ОСВІТИ

1.1. Стан і тенденції розвитку інформаційної технології побудови адаптивних систем дистанційної освіти

Сьогодні у світі створено велику кількість програмних продуктів, які призначені для розробки, впровадження й обслуговування систем дистанційної освіти (СДО) [9].

Перші спроби щодо створення навчальних систем, у тому числі й автоматизованих, були здійснені на початку 60-х років минулого століття. Саме тоді багато закордонних та вітчизняних вчених (Брусиловський П. Л., Лобанов Ю. І., Граймс Дж., Глушков В. М., Довгялло А. М. та ін.) вперше провели дослідження щодо використання комп'ютера для вирішення навчальних задач. Ними було реалізовано цілий ряд проектів, накопичено багатий методичний інструментарій.

Проте побудовані в той час навчальні та контролюючі засоби [10, 11], зважаючи на обмежені функціональні можливості, не забезпечували достатньої ефективності та адекватності результатів контролю стосовно фактичного рівня знань учнів.

70-ті роки стали початком зародження ідей штучного інтелекту (ШІ). В цей час були розроблені основні методи представлення знань, появились перші системи, які використовували методи ШІ (система SCHOLAR [12]).

Головна проблема, з якою зіткнулись розробники даного періоду, – це надмірно складний механізм практичної реалізації запропонованих ідей, пов'язаний із труднощами вирішення задач представлення знань та організацією інтерактивного та адаптивного зворотного зв'язку з учнем.

Для навчальних систем 80-х років характерним є використання загальноприйнятих стандартів представлення та передачі даних, а також

першими спробами застосування нових комп'ютерних технологій (гіпертекст, мультимедіа). В даний період активно ведуться дослідження щодо розробки моделей навчальних систем, технологій формування предметної області та стратегій навчання і контролю знань [13].

В 90-ті роки у зв'язку зі змінами технічної бази та появою нових технологій програмування (технології гіпермедіа, впровадженням експертних систем) була розроблена концепція модульного, багатofункціонального, прагматичного представлення, поетапної деталізації та активізації знань [14]. Це послужило основою для розробки широкого класу навчальних систем ДО, що охоплюють як комерційні програмні продукти (BlackBoard, Lotus Learning Space, WebCT та ін., російські «Прометей», WebTutor, продукти компанії «ГіперМетод» та ін., вітчизняні «Віртуальний Університет», «Веб-Клас-ХП», «EduPRO» та ін.) [15], так і програми, які розповсюджуються за відкритими ліцензіями (Open Source Moodle, ILIAS, Sakai, Desire2Learn) [16]. Характерною особливістю даних систем є організація повного циклу дистанційного навчання за рахунок ефективної взаємодії наступних модулів:

- модуль розробки навчального контенту;
- модуль контролю знань;
- модуль організації процесу дистанційного навчання.

Однак застосування цієї моделі дозволяє лише організувати підготовку навчального курсу, виконати доставку навчальної інформації до студента, провести тестовий контроль знань та визначити інтегральну характеристику якості їх засвоєння.

У зв'язку з цим, а також через широке використання дистанційного навчання як форми організації навчального процесу та сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, постала проблема створення адаптивних систем, для яких були б характерні наступні функції [17]:

- врахування попередніх знань та досвіду студентів;

- більш ефективне управління навчальним контентом із можливістю повторного використання, поступального розвитку, накопичення контенту та міждисциплінарних зв'язків;

- автоматична генерація навчального курсу;
- інтелектуалізація соціальних освітніх мереж;
- інтелектуалізація контролю знань.

Під впливом освітніх тенденцій було створено цілий ряд адаптивних гіпермедіа-систем, які зберігали інформацію про особливості користувача в його моделі та застосовували її для адаптації до користувача відповідно до різних візуальних аспектів системи [18].

На абстрактному рівні в будь-якій адаптивній гіпермедіа-системі виділяють наступні три основні взаємодіючі компоненти [19]:

- модель предметної області (domain model) описує інформаційний вміст документа на структурному рівні, вказуючи при цьому як на наявність відношень між самими концептами, так і на прив'язку концептів до інформаційних фрагментів і сторінок;

- модель користувача (user model) представляє характеристики, що відображають знання, цілі, історію навігації, а також відслідковує динаміку змін відповідних характеристик під час навчального процесу;

- модель навчання (teaching model), яку ще називають моделлю адаптації (adaptation model), дозволяє реалізувати в системі необхідний адаптивний механізм за допомогою, наприклад, так званих педагогічних правил (pedagogical rules) або правил адаптації (adaptation rules).

Виходячи з аналізу описаних компонентів, у таблиці 1.1 систематизовано порівняльні характеристики найбільш відомих гіпермедіа-систем, що дозволяють оцінити тип представлення структурних одиниць предметної області та обрану модель користувача відповідно до визначеної технології адаптації.

Таблиця 1.1

## Порівняльний аналіз гіпермедіа-систем

Система	Тип моделі предметної області	Модель користувача	Технологія адаптації
ELM-ART [20]	понятійна ієрархічна мережа	епізодична модель користувача	інтелектуальний аналіз рішень користувача, адаптивна навігація
INTERBOOK [20]	ієрархічно-структуровані файли, структурована анотація сторінок, використання дидактично-структурованого глосарію	описує результати, отримані після вивчення сторінки та попередні умови, необхідні для її розуміння	адаптивна навігація, адаптивна анотація посилань, адаптивне сортування
PT [21]	персонофікований текстовий підручник	стереотипна модель користувача для цільової аудиторії	адаптивна анотація посилань
PUSH [22]	комбінаторна конструкція питань, прив'язаних до понять предметної області та їх зв'язків	-	адаптація контенту: підказка, налаштована на користувача (реалізовано підхід до запитів, що ґрунтується на правилах)
АНА [23]	гіпермедійне представлення сторінок	гнучка структура моделі користувача (структура продукційних правил включає наявність концептів та атрибутів)	адаптивна навігація, підтримка адаптивного подання
KBS-гіперкниг [24]	індексована понятійна модель гіперкниги	навчання ґрунтується на проектах з бібліотеки гіпер-книги, що відображають відповідність знань студента поточній меті навчання	адаптивна навігація посилань на елементи гіперкниги, приклади та сторінки інших електронних книг



TILE [25]	понятійна модель предметної області, що контекстно пов'язує одиниці навчання	клієнт-серверний підхід побудови моделі користувача	адаптивне навігаційне управління посилань, забезпечення динамічних повідомлень та зворотніх зв'язків
SAC [26]	абстрактне представлення вершин, одиниць та матеріалу навчального курсу	модель користувача представлена окремим компонентом трьох-ярусної архітектури: браузер–Web-сервер–сервер додатків	передвхідний адаптивний механізм, онлайнвий індивідуальний адаптивний механізм та адаптивний механізм предметної області
Web VT [27]	стереотипне моделювання вивчення англійської мови	ініціалізація студентської моделі відбувається за рахунок комбінації стереотипного моделювання та моделювання перекриттів	адаптивна анотація посилань, адаптивна інформаційна фільтрація
WITS [27]	мультимедійна форма представлення предметної області	модель студента побудована на основі аналізу врахування ймовірності відповідей на питання	інтелектуальний аналіз рішень користувача

Завдяки застосуванню принципів адаптації, мультимедійних компонентів і різного роду зворотніх зв'язків, описані вище системи здатні формувати модель цілей, вподобань і знань конкретного користувача та використовувати її в процесі взаємодії для адаптації до його потреб.

Проте ці системи є в значній мірі лабораторними, побудованими виключно для дослідження окремих методів адаптації в контексті навчання. На відміну від них, ряд більш сучасних систем використовують середовище та автоматизовані інструменти для успішної розробки Web-курсів.

На сьогоднішній день одними з найбільш перспективних напрямків в області комп'ютеризованого навчання вважаються адаптивні експертні системи (АЕС), що пов'язано з появою нових можливостей комп'ютеризації

навчання як за рахунок використання різноманітних дистанційних освітніх технологій, так і шляхом подальшої інтеграції моделей, методів і засобів експертних систем (ЕС). Зокрема, в роботах [28, 29] розглядається використання адаптивних автоматизованих ЕС тестування. В [30] досліджується використання ЕС у сфері автоматизованого контролю з метою найбільш точного визначення рівня знань тих, хто навчається.

Фундамент будь-якої експертної системи складає база знань (БЗ), яка проектується на основі експертних знань спеціалістів. В таблиці 1.2 (додаток А) систематизовано технологічні та системні характеристики найбільш відомих вітчизняних ЕС (Комплекс «АТ-ТЕХНОЛОГІЯ» [32], «Експерт-ТС» [33], DAOS [34], Гефест [35, 36], Каркас [37], ГЕКАДЕМ [38]):

- автоматизоване наповнення БЗ;
- використання продукційно-фреймової, графової моделі та семантичної мережі для побудови предметної області;
- використання психологічного портрету користувача;
- наявність трьохрівневої архітектури розробки (клієнт, сервер додатків, база даних);
- об'єктно-орієнтовний принцип обробки структурованої навчальної інформації.

Названі переваги визначають базову основу розробки методів та інструментальних засобів побудови адаптивної дистанційної системи, що є предметом дослідження дисертаційної роботи.

Сьогодні створено чималу кількість експертних систем, здатних успішно вирішувати широкий спектр прикладних завдань. Проте існує цілий ряд факторів, що заважають подальшому процесу їх побудови:

- 1) експертна система, як правило, здатна вирішувати навчальні задачі у виключно вузькоспеціалізованих предметних областях;
- 2) експертні системи не в змозі представити змістовні пояснення своїх тверджень та висновків: вони тільки описують послідовність кроків, що використовуються в процесі пошуку рішення;

3) достатньо трудомісткі операції, пов'язані з налагодженням та тестуванням будь-якої експертної системи;

4) експертні системи не здатні до самонавчання: для того, щоб підтримувати їхній актуальний стан необхідне постійне втручання в БЗ інженерів по знаннях.

Проведений аналіз розроблених навчальних дистанційних, адаптивних гіпермедіа- та адаптивних експертних систем дозволяє зробити висновок, що в сучасній адаптивній системі з метою організації ефективного управління індивідуальними навчальними траєкторіями необхідна наявність наступних механізмів реалізації процесу адаптації:

1) розробка навчальних програм у відповідності до вимог стандартів дистанційної освіти та рівня підготовки студентів;

2) індивідуальна генерація навчального матеріалу в залежності від поточних успіхів під час навчання;

3) використання моделі студента, в якій відображені навчальні досягнення студента та його особистісні характеристики;

4) розробка моделі предметної області, яка описує структуру та взаємозв'язки понять навчального курсу;

5) адаптивне тестування з врахуванням складності тестових питань і навчального рівня студента;

6) розробка моделі адаптації з метою організації ефективного адаптивного механізму;

7) використання нових технологій організації індивідуалізованого навчального процесу.

Успішна реалізація описаних задач дозволяє підвищити рівень доступності освіти та сприяє розвитку в студентів продуктивних, творчих розумових функцій, росту інтелектуальних здібностей, формуванню операційного стилю мислення.

## 1.2. Моделі представлення знань в інтерактивних навчальних системах

Важливою проблемою розробки сучасних інтерактивних навчальних систем є питання структуризації та формалізації знань, що охоплені предметною областю. При цьому під моделлю представлення знань розуміють організацію необхідної інформації такої форми, яка б дозволяла автоматизованій системі отримати зручний доступ до неї з метою прийняття рішень, планування, аналізу та формулювання висновків.

На сьогоднішній день відомо багато базових моделей представлення знань та їх модифікацій. Зокрема, це продукційні системи, фреймові моделі, семантичні мережі, нейронні мережі, логічні моделі [31]. Кожна з моделей надає розробнику можливість побудови навчальної системи з певними перевагами, дозволяючи успішно вирішити ті чи інші задачі в залежності від поставленої мети (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Моделі представлення знань

Порівняльний аналіз представлення знань у різних типах моделей виконано на основі оцінки ефективності наступних критеріїв [39] (табл. 1.3):

- 1) рівень складності (абстрактності) елементів знань, з якими працює модель;
- 2) універсальність подання знань – можливість опису із різних предметних областей; здатність моделі до навчання та формування нових, несуперечливих знань;
- 3) розмірність моделі за обсягом пам'яті, необхідної для зберігання елементів моделі;
- 4) природність та наочність представлення знань;
- 5) зручність розробки системи на основі моделі.

Таблиця 1.3

**Порівняльний аналіз моделей представлення знань**

№ пп	Назва моделі	Використаний елемент знань	Універсальність	Розмірність	Наочність	Простота реалізації	Структурованість	Модульність
1	Продукційні моделі	факти і правила	+	мала	+	+	+	+
2	Логіка предикатів	факти і правила	-	мала	+	-	+	-
3	Мережі нейронів	вектор станів нейронів мережі	-	невелика	-	-	-	-
4	Семантичні мережі	вершини – вузли, і ребра, що зв'язують їх	+	невелика	+	+	+	+
5	Фреймові моделі	мережа вузлів і відношень	+	значна	+	+	-	+

Сьогодні відомо також багато інших моделей представлення знань, детальний опис яких зроблено в [40]:

- моделі на основі онтологій – формальне декларативне представлення предметної області, що включає в себе концепти предметної області та логічні твердження, які описують суть самих концептів та їх зв'язок і співвідношення один з одним;

- модель у вигляді І-АБО дерева – об'єднання семантичної мережі понять і семантичної мережі фрагментів навчального курсу;

- модель у вигляді дерева понять – включає вершини, що відповідають поняттям або твердженням, а також зв'язки між цими вершинами, які відповідають відношенням між ними;

- UML-модель предметної області – набір діаграм класів на мові UML.

Кожна з розглянутих вище моделей подання знань володіє достатньо потужними методологічними засобами маніпулювання знаннями та пошуку рішень. Однак головним їхнім недоліком, незважаючи на досить широке використання у виробничих експертних системах, є відсутність математичного апарату, здатного ґрунтовно описувати процеси моделювання знань.

До загальних недоліків слід віднести також складність отримання нових знань, можливість отримання суперечливих знань; складність нарощування моделі, значна розмірність моделі, відсутність наочності у поданні знань. Тому останнім часом під час розробки експертних систем все частіше використовується синтез різних моделей.

Найбільш перспективними моделями представлення знань у адаптивних системах служать семантичні та фреймові моделі, які дозволяють ефективно структурувати найменші змістовні інформаційні одиниці (кванти) та описати відповідні зв'язки між ними, що є предметом досліджень у дисертаційній роботі.

### 1.3. Адаптивні технології побудови навчальних автоматизованих систем

Адаптивні технології включають широкий спектр програмно-апаратних рішень, що дозволяють пристосувати способи передачі та представлення різного роду інформації під характеристики користувача в автоматичному режимі [41].

Головним завданням технології адаптації, що застосовується, є максимальне забезпечення ефективної взаємодії між викладачем та студентом в рамках навчальної системи. Крім того, кожна технологія характеризується власними технічними прийоми, методами й механізмами, які відповідають різним варіантам функціональності системи та способам її реалізації.

У зв'язку з широким впровадженням нових комп'ютерних технологій у навчальний процес, сьогодні існують різні підходи щодо їх класифікації. Зокрема, у ранніх публікаціях стосовно цієї теми увага зосереджувалась окремо на адаптивних та інтелектуальних технологіях, беручи до уваги різні способи адаптивної чи інтелектуальної направленості [42]. В останні роки такий поділ не розглядається, хоча слід вважати, що всі технології адаптації, що використовуються в адаптивних навчальних системах, беруть свій початок або з області інтелектуальних навчальних систем, або з області адаптивної гіпермедіа.

Розгорнутий аналіз видів технологій в інтелектуальних навчальних системах виконано П. Брусиловським в [29]. До таких технологій належать:

- побудова послідовності курсу навчання – характеризується забезпеченням учня найбільш прийнятною, індивідуально спланованою послідовністю інформаційних блоків і послідовністю навчальних завдань (приклади систем ELM-ART-II, AST, ADI, InterBook, CALAT);
- інтелектуальний аналіз відповідей учня – на основі відповідей учня інтелектуальні аналізатори забезпечують зворотній зв'язок та оновлення його

моделі (система PROUST);

- інтерактивна підтримка у вирішенні завдань – забезпечення учня інтелектуальною допомогою на кожному кроці вирішення задачі (система LISP-TUTOR);

- допомога у вирішенні завдань, побудована на прикладах – допомога учням вирішувати нові завдання на основі прикладів з подібними завданнями, що були раніше успішно вирішені (системи ELM-PE, ELM-ART).

На відміну від класифікації технологій, поданих П. Брусиловським в [17] авторами проведена розширена класифікація, в основі якої лежить вибраний метод адаптації (рис. 1.2).

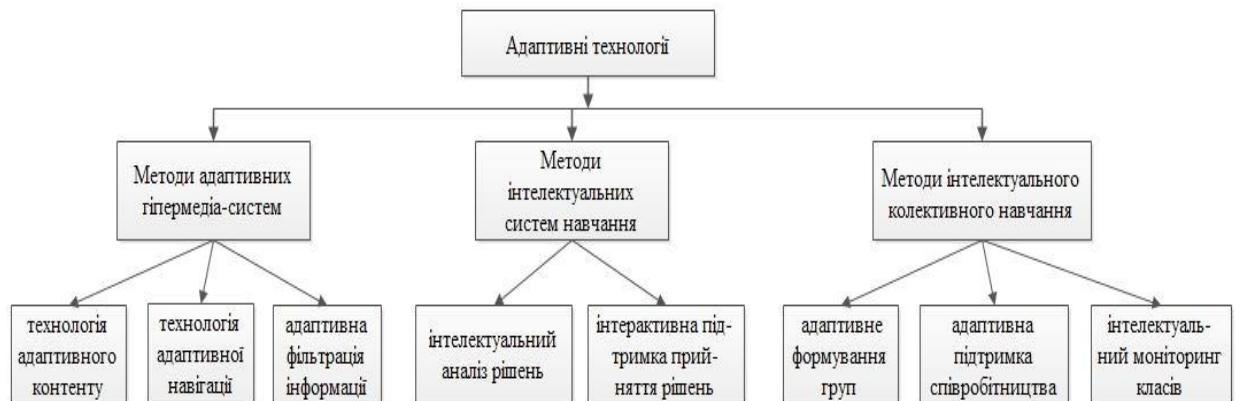


Рис.1.2. Розширена класифікація технологій (Гагарін-Титенко)

Зайцевою Д. А. в [43] зроблено аналіз технологій, що стосуються методів контролю та моделей оцінки знань. Згідно точки зору автора, методи контролю знань поділяються на три класи: неадаптивні, частково адаптивні та повністю адаптивні методи (рис. 1.3).

Характерним для всіх неадаптивних методів є те, що всі студенти проходять одну й ту ж, заздалегідь визначену послідовність завдань (системи PT, WebVT, WITS).

У частково адаптивних методах послідовність та кількість контрольних завдань різні для сильних, середніх та слабких студентів та формуються в залежності від попередніх відповідей студента або на основі певного передбаченого сценарію (системи ELM-ART, INTERBOOK).



Адаптивні методи максимально використовують інформацію з моделі студента і / або моделі навчального матеріалу та дозволяють організувати контроль індивідуально для кожного студента, підтримуючи, наприклад, найбільш прийнятний для студента рівень контрольних завдань або формуючи індивідуальні стратегії контролю за окремою темою (курсом) (системи АТ-ТЕХНОЛОГІЯ, Експерт-ТС, DAOS).

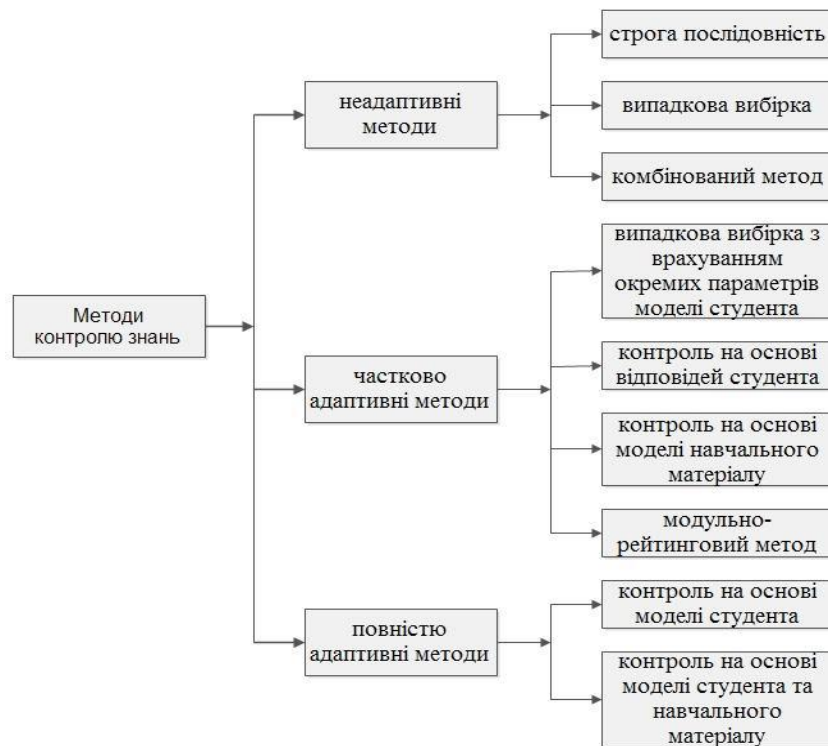


Рис. 1.3. Методи контролю знань

У сучасних адаптивних навчальних системах, в залежності від мети їх застосування, автори використовують власні підходи щодо розробки технологій, зокрема відомі:

**1) Технологія на основі ітеративного навчання (ІН) [44].** Характерною особливістю ІН є багатократне повторення навчальною системою дій, спроб і т.д. для досягнення поставленої мети при постійних зовнішніх умовах [45]. Перевагою цієї технології є використання кривих навчання, які дають змогу проводити кількісний опис ІН та представляють собою залежність критерію рівня навчання від часу або від числа ітерацій (приклад використання – автоматизовані програми навчання іноземній лексиці).

**2) Мультилінгвістична адаптивно-навчальна технологія (МЛ-технологія) [46].** Авторами запропонована модифікація моделі та алгоритму навчання, що використовує асоціативний параметр і відображає ступінь зв'язку слів рідної мови та їх значень на інших іноземних мовах.

Алгоритм навчання побудований за рахунок формування асоціативного поля відносно понять, що запам'ятовуються. Це дозволяє більш інтенсивно поповнювати професійно-орієнтований активний словник одночасно декількох мов (система «Virtual Teacher 1.0», яка використовується для навчання іноземній професійно-орієнтовній лексиці).

**3) Адаптивна технологія розподілених одиниць контенту (ТРОК) [47],** яка характеризується такими особливостями:

а) формування електронних підручників (ЕП), адаптованих до особливостей конкретних учнів, на основі попередньо розробленої онтології відповідної предметної області;

б) реалізація в ЕП як міжмодульних, так і міжпонятійних і змішаних зв'язків;

в) розробка навчально-методичних матеріалів за участю двох категорій авторів: реальні версії ЕП створюють викладачі, які безпосередньо працюють з певним контингентом учнів;

г) напіваавтоматичне перетворення тексту в гіпертекст;

д) розвинені пошукові можливості на основі використання онтологій.

Практично реалізовано в системі «База і генератор освітніх ресурсів» (БіГОР) [48], яка призначена для створення та супроводу баз навчальних матеріалів, синтезу нових навчальних посібників у відповідності з технологією розподілених одиниць контенту.

**4) Технологія мультимножин.** Мультимножини – це сукупності з повтореннями. Їх зручно використовувати в якості моделі для представлення та дослідження об'єктів, особливістю яких є, по-перше, множинність і, по-друге, повторюваність даних.

Теорія мультимножин успішно використовується при моделюванні та

аналізі складних систем, в теорії мереж Петрі, штучному інтелекті, теорії формальних мов, математичному програмуванні, методах обробки різномірної інформації і т.д.

Відомо багато практичних рішень застосування мультимножин при вирішенні теоретико-прикладних задач [49, 50].

Оскільки навчальний матеріал, що подається на вивчення студенту можна розглядати як сукупність окремих неподільних одиниць інформації, серед яких можуть зустрічатися однакові елементи, тому теорію мультимножин доцільно використати в якості математичного апарату для проектування та наповнення бази знань навчальної системи.

Таким чином, технології навчання, враховуючи зміну параметрів та структури моделі об'єкту (студента), на основі поточної інформації визначають спосіб реалізації адаптивного підходу під час проведення навчального процесу.

З метою побудови моделі предметної області в дисертаційній роботі використана мультимножинна технологія, перевагою якої є визначення глибини вивчення окремих порцій інформації, а побудова адаптивної навчальної траєкторії базується на технологіях інтелектуального аналізу рішень та допомозі у вирішенні завдань, побудованих на прикладах, які дають можливість організувати індивідуалізоване навчання за наперед розробленими сценаріями у відповідності до поточних успіхів студента.

#### 1.4. Інформаційні технології розробки моделей та методів дистанційного навчання

В сучасних дистанційних навчальних системах для представлення предметної області, побудови алгоритмів навчання та визначення оцінки отриманих знань використовується широкий спектр моделей і методів формалізації. Інтеграція даних засобів із дистанційними освітніми системами в рамках єдиної архітектури навчальної програми дає можливість побудови

нових інтелектуальних середовищ, направлених на організацію та проведення індивідуалізованого навчання.

#### 1.4.1. Аналіз моделей оцінки рівня знань

Як показує аналіз існуючих автоматизованих навчальних систем, перевірка знань учнів виконується на основі аналізу різних критеріїв формування оцінки. В залежності від обраного методу оцінки знань розрізняють дві моделі тестування: Класичну теорію тестування (Classical Response Theory – CRT) та Сучасну теорію тестування (Item Response Theory – IRT) (рис. 1.4) [51].

В модель CRT відносяться методи тестування, що побудовані на основі кількісних критеріїв. Такі методи з метою оцінки рівня знань використовують кількісну складову, яка являє собою суму балів, отриманих студентом за правильні відповіді на тестові завдання або сформована з урахуванням типів та характеристик тестових завдань.



Рис.1.4. Моделі тестового контролю

До переваг CRT відносять потужний математичний апарат, простоту та наочність отриманих результатів. Суттєвими недоліками є:

-залежність оцінки знань студента від складності тесту (у випадку досить складних тестових завдань результати однаково низькі для всіх студентів);

-залежність складності тестування від вибірки студентів (якщо тестування проводилось у групі з підвищеною успішністю, то воно може бути оцінене як легке).

До таких моделей оцінки знань належать:

**1) Проста модель** – відповідь студента на кожне завдання  $R$  оцінюється за двохбальною (вірно чи невірно) або багатобальною (наприклад, п'ятибальною) шкалою [51]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^k R_i}{n},$$

де  $R_i$  – вірна відповідь на  $i$ -те завдання;

$k$  – кількість правильних відповідей з  $n$  запропонованих ( $k \leq n$ ).

**2) Моделі, що враховують параметри завдань** – при формуванні підсумкової оцінки враховуються характеристики контрольних питань. Існують різні модифікації даного типу моделей:

а) модель, що враховує час виконання завдання і/або загальний час тестування.

Для правильних відповідей розраховується значення  $R_i$  за формулою:

$$R_i = \begin{cases} 1, & t \leq t_{\max} \\ 0, & t > t_{\max} \end{cases},$$

де  $t$  – час виконання завдання;  $t_{\max}$  – час, відведений на виконання.

Далі підсумкова оцінка обчислюється аналогічно «простій моделі».

б) модель на основі рівнів засвоєння – завдання розділяються на п'ять груп, які відповідають рівням засвоєння: розуміння, пізнання, відтворення, застосування, творча діяльність [52].

Для кожного завдання визначається набір істотних операцій. Під істотними розуміють операції, які виконуються на рівні, що перевіряється.

Для виставлення оцінки використовується коефіцієнт  $K_a$  :

$$K_a = \frac{P_1}{P_2}, 0 \leq K_a \leq 1,$$

де  $P_1$  – кількість правильно виконаних істотних операцій в процесі контролю;

$P_2$  – загальна кількість істотних операцій в тесті.

в) метод лінійно-частинної апроксимації [53]. Алгоритм оцінювання ґрунтується на класифікації завдань (питань) за їх дидактичними характеристиками (значущість ( $z$ ), складність ( $d$ ), специфікація ( $s$ )). Число балів, отриманих студентом за виконання  $n$  завдань, визначається за формулою:

$$y = \sum_{i=1}^n w_i x_i,$$

де  $x_i$  – оцінка за виконання  $i$ -го завдання;  $n$  – кількість завдань;

$W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$  – вектор вагових коефіцієнтів завдань.

Теорія IRT розроблена з метою усунення недоліків CRT. Її розглядають як теорію вимірювання латентних параметрів [54], тобто характеристик, які неможливо безпосередньо обчислити (наприклад, рівень знань, розуміння матеріалу, відношення до навчання і т. д.). Практично реалізовано в системі КАДІС [54].

В модель IRT відносяться методи на основі ймовірнісних та методи на основі класифікаційних критеріїв [55].

**1) Моделі на основі ймовірнісних критеріїв** – враховується залежність ймовірності правильної відповіді студента від рівня його підготовленості та від параметрів тестового завдання [56]. Практично реалізовано в АОС ВУЗ [57].

В їх основі лежить математична модель, що описує зв'язки між латентними параметрами та результатами виконання тесту.

Зокрема, можна розглядати умовну ймовірність правильного виконання  $i$ -им студентом з рівнем підготовки  $\theta_i$  різних за складністю завдань тесту,

вважаючи  $\theta_i$  параметром  $i$ -го студента, а  $\beta$  – незалежною змінною. У цьому випадку умовна ймовірність буде функцією латентної змінної  $\beta$  [58]:

$$P_i\{x_{ij} = 1 | \theta_i\} = f(\theta_i - \beta), \quad i = 1, 2, \dots, N.$$

Тут  $x_{ij} = 1$ , якщо відповідь  $i$ -го студента на  $j$ -е завдання вірна;  $x_{ij} = 0$ , якщо відповідь  $i$ -го студента на  $j$ -е завдання неправильна.

Аналогічно вводиться умовна ймовірність правильного виконання  $j$ -го завдання з складністю  $\beta_j$  різними студентами групи. Тут незалежною змінною є  $\theta$ , а  $\beta_j$  – параметр, що визначає складність  $j$ -го завдання тесту:

$$P_j\{x_{ij} = 1 | \beta_j\} = \varphi(\theta - \beta_j), \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

В залежності від кількості параметрів, що використовуються для обчислення оцінки ймовірності правильної відповіді розрізняють [59]:

а) однопараметричну модель Г. Раша

$$P_j(\theta) = \frac{e^{1,7(\theta - \beta_j)}}{1 + e^{1,7(\theta - \beta_j)}}, \quad P_i(\beta) = \frac{e^{1,7(\theta_i - \beta)}}{1 + e^{1,7(\theta_i - \beta)}},$$

де  $\theta$  та  $\beta$  – незалежні змінні для першої та другої функцій відповідно.

б) двохпараметричну модель А. Бірнбаума

$$P_j(\theta) = \frac{e^{1,7a_j(\theta - \beta_j)}}{1 + e^{1,7a_j(\theta - \beta_j)}}, \quad P_i(\beta) = \frac{e^{1,7a_i(\theta_i - \beta)}}{1 + e^{1,7a_i(\theta_i - \beta)}}.$$

Крім попередніх позначень у цій моделі використовуються параметри  $a_i$  та  $a_j$ . Параметр  $a_j$  був введений А. Бірнбаумом для характеристики диференціюючої здатності завдання при вимірюванні різних значень  $\theta$ ; параметр  $a_j$  показує міру структурованості знань студента.

в) трьохпараметричну модель А. Бірнбаума

$$P_j\{x_{ij} = 1 | \beta_j\} = c_j + (1 - c_j) \frac{e^{1,7a_j(\theta - \beta_j)}}{1 + e^{1,7a_j(\theta - \beta_j)}},$$

де  $c_j$  є третім параметром моделі, що характеризує ймовірність правильної відповіді на завдання  $j$  в тому випадку, якщо ця відповідь є вгаданою, а не пов'язана зі знаннями студента.

У кожній з поданих моделей параметри  $\theta$  та  $\beta$  виражаються як показники єдиної для всіх моделей шкали логітів, початкові значення яких обчислюють за формулами:

$$\theta_i^0 = \ln \frac{p_i}{q_i}, \quad \beta_j^0 = \ln \frac{q_j}{p_j},$$

де  $p_i$  і  $q_i$  – частки відповідно правильних і неправильних відповідей  $i$ -го студента на завдання тесту;  $p_j$  і  $q_j$  – частки правильних і неправильних відповідей студентів на  $j$ -е завдання тесту.

Найбільш вдалим застосування цієї методики є у випадках, коли об'єм вибірки досить великий. В такому разі більш точно обчислюються значення параметрів  $\theta$  та  $\beta$ , що впливає на об'єктивність визначення підсумкових оцінок.

Якщо отримані результати однозначно дозволяють виставити оцінку, то контроль, як правило, завершується. В іншому випадку студенту пропонується повторно пройти тестовий контроль.

## 2) Моделі на основі критеріїв класифікації

Основна ідея класифікаційних моделей полягає у зарахуванні студента до класів стійкості із врахуванням сукупності ознак, що визначають даного студента. При цьому використовується спеціальна процедура обчислення ступеня схожості (оцінки) рядка, що розпізнається (сукупності ознак студента) на рядки, приналежність яких до класів заздалегідь відома.

Алгоритм, що ґрунтується на обчисленні оцінок (АОО) був вперше запропонований Ю.І. Журавльовим [60] і пізніше використаний для класифікації студентів за рівнями підготовки [53].

Дана модель передбачає побудову таблиці навчання  $K_j T_{nm}$ , в якій кожен рядок являє собою набір характеристик студента. До таких характеристик належать: кількість запропонованих завдань ( $n$ ), середній бал ( $A$ ), кількість спроб виконання завдань ( $k_n$ ), кількість звернень до довідкової інформації ( $k_c$ ), ранг ( $r$ ). При виставленні оцінки обчислюється ступінь



схожості сукупності ознак конкретного студента  $I(S) = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\}$  на рядки, що входять в таблицю навчання  $T_m$ , на підставі чого здійснюється зарахування його до певного класу  $K_j$ . Для цього обчислюється число рядків кожного класу  $K_j$ , що є близькі за обраним критерієм до об'єкта  $S$ , який класифікується.

Порівняльна характеристика моделей оцінки знань студентів систематизована в таблиці 1.4 (додаток Б), яка відображає переваги та недоліки кожної моделі стосовно вибраного способу та параметрів обчислення рівня знань студентів і недоліки, пов'язані з необхідністю великих затрат на підготовку попередніх даних для проведення обчислень та об'єктивністю отриманих результатів.

В сучасних автоматизованих навчальних системах використовуються різні методи для визначення оцінки отриманих студентом знань: від найпростіших, що враховують тільки процент правильно-виконаних завдань до найскладніших, що беруть до уваги різні параметри контролю з можливістю врахування поточних результатів, отриманих студентом під час засвоєння знань. Найпростішу модель підрахунку підсумкової оцінки та модель, що враховує час тестування, як правило, використовують в неадаптивних програмах. При адаптивному ж контролі знань використовують складніші методи, що побудовані на основі ймовірнісних та класифікаційних критеріях. Хоча в більшості адаптивних навчальних системах характерним є використання синтезу декількох методів з метою отримання найбільш об'єктивних результатів навчання.

#### 1.4.2. Аналіз методів моделювання навчальних систем

До найбільш поширених інструментальних засобів, що використовуються в сучасних інтелектуальних системах, належать методи математичного моделювання процесів інтерактивного навчання, розробки та

проектування інтегрованих навчальних систем. Зокрема, це моделі, побудовані на основі мереж Петрі, методу графів, генетичних алгоритмів, Байєсових та нейронних мереж.

В табл. 1.5 систематизовано переваги та недоліки найбільш відомих математичних методів моделювання навчальних систем.

Таблиця 1.5

## Математичні методи моделювання навчальних систем

№ пп	Назва математичного методу	Елемент моделювання	Переваги	Недоліки
1	Мережі Петрі [61,62]	скінченні множини позицій, переходів, вхідних та вихідних функцій	-понятійність моделі; -розширюваність; -візуалізація процесу моделювання; -можливість інтерпретації в контексті процесу навчання позицій переходів і ребер мережі	оцінювання динамічних параметрів процесу тільки за допомогою імітаційного моделювання
2	Мережа Байєса [63]	спрямований ациклічний граф (вершини – змінні, ребра – зв'язки між змінними)	-легкість обробки ситуацій при невідомих значеннях деяких змінних; -можливість обчислювального трактування алгоритмів логічного висновку; -простота інтерпретації побудови мережі	-неможливість обробки неперервних змінних; -необхідність у застосуванні складних методів (для обробки умов недотримання статистичної незалежності даних)
3	Ланцюг Маркова [64]	орієнтований граф (вузли – кроки вивчення курсу, ребра –	- простота моделювання рівнів складності; - однаковість аналізу і проектування	- неможливість моделювання процесів з тривалою пам'яттю; - вузька застосовність моделей

		ймовірно сті переходів між вузлами)		
4	Метод нейронних мереж [65,66]	направлений граф із сформованими зв'язками між вершинами (вузли – окремі нейрони)	-здатність за допомогою навчання та самонавчання розв'язувати задачі, в яких складно або неможливо виявити точні аналітичні залежності між вхідними та вихідними даними; -масштабованість, висока адаптивність; -широке практичне застосування	-відсутність прозорості; -складність вибору архітектури; -жорсткі вимоги до навчальної вибірки; -складність вибору алгоритму навчання; -ресурсоємність процесу навчання
5	Метод зважених орієнтованих графів [67]	граф, вершини – кількість вправ, ребра – числовий параметр опису зв'язку	-наочне представлення елементів системи та зв'язків між ними; -чіткий синтаксис та семантика	-відсутність можливості відображення динаміки системи; -акцентування уваги на понятті станів
6	Метод різнорівневих алгоритмічних квантів знань (РАКЗ-метод) [68]	векторно-матричне структурування знань квантами (порціями)	-можливість структуризації знань квантами (порціями) у векторно-матричній, аналітичній і множинній формах; -застосування машинної алгебри для математичної обробки результатів	складність побудови моделей логічних міркувань та системи імплікативних і функціональних залежностей між ознаками досліджуваної галузі
7	Матричний метод [69]	матриця, для представлення мережі	-швидкість логічного висновку; -використання апаратних засобів;	-велика кількість кроків логічного висновку; -об'єктивність

		логічних правил	-зручність представлення результатів дослідження	матричного аналізу; -необхідність використання інших методів для ґрунтового аналізу даних
8	Метод виведення на основі прецедентів [70]	знання про попередні ситуації або випадки (прецеденти)	- легкість при набутті нових знань; - здатність до самонавчання; - можливість пояснення отриманих результатів; - зручність модифікації	- некомпактне зберігання даних; - обов'язкова наявність повторюваності типів завдань; - складність пошуку подібних випадків та адаптація рішення

Проведений аналіз відомих інструментальних математичних засобів засвідчує, що на сьогодні не існує єдиного загальноприйнятого методу моделювання та розробки сучасних автоматизованих систем. Оскільки, адаптивні навчальні моделі характеризуються досить складними та трудомісткими навчальними процесами, пов'язаними з високою розмірністю поставлених задач, наявністю змінних різних типів, вимогами до якості результату, тому найбільш перспективним напрямком їх дослідження є використання синтезу кількох методів та застосування потужного математичного апарату з метою отримання достовірних експертних та статистичних даних.

Зокрема, у розробленій системі дистанційної освіти побудова алгоритмів моделювання індивідуальної навчальної траєкторії здійснюється із застосуванням квантово-мультимножинної теорії проектування та наповнення бази знань навчального контенту, методу різнорівневих алгоритмічних квантів для розробки математичної моделі адаптивної системи, методу виведення на основі прецедентів, методів реляційної алгебри та апарату математичної логіки з метою проведення групування студентів.

### 1.5. Перспективні напрямки розробки адаптивних систем дистанційної освіти

Головним завданням розробників сучасних адаптивних систем є створення програмного продукту, здатного забезпечити максимальну адаптацію навчального контенту відповідно до початкового рівня знань того, кого навчають, його індивідуальних особливостей та із врахуванням поточних успіхів і навиків.

Адаптація може ґрунтуватися на інформації, зібраній системою під час навчання з врахуванням історії навчання кожного суб'єкта, або бути запрограмованою заздалегідь. У другому випадку навчання реалізується за розгалуженою програмою, у якій залежно від характеру допущеної помилки вказується на можливі допоміжні впливи [71].

Маючи такі властивості, як гнучкість, поліструктурність, відкритість, адаптивна освітня система виводить користувача на потенційно вищий рівень розвитку, пристосовуючи (адаптуючи) його до своїх вимог [72].

Основними перспективними напрямками досліджень щодо розробки адаптивних систем дистанційної освіти вважаємо наступні:

- простота підготовки вихідного матеріалу на основі створення нових форм і моделей представлення та зберігання БЗ навчального контенту;
- розробка формальних і когнітивних методів отримання нових знань;
- розробка математичних моделей навчальної поведінки студентів, здатних максимально враховувати індивідуальні особливості засвоєння навчального матеріалу;
- створення нових технологій, форм і способів організації навчального процесу;
- побудова БЗ адаптивного тестування, що передбачає забезпечення об'єктивного пошуку прогалин у знаннях;
- розробка інструментальних засобів, що ґрунтуються на формальних

методах аналізу та диференційованій оцінці результатів навчання з метою побудови алгоритмів програмованого навчання;

- прийняття єдиної загальноприйнятої методики побудови автоматизованих систем ДО;
- відкритість систем для модифікації та розширення.

Сформульовані наукові задачі є предметом дослідження дисертаційної роботи, реалізація яких дає змогу створити навчальну систему, здатну забезпечити індивідуальний підхід до організації програмованого навчання відповідно до потреб студентів, особливостей навчальної дисципліни та умов навчання.

Впровадження адаптивних систем у навчальний процес вищих навчальних закладів дозволяє підняти на якісно вищий рівень організацію навчального процесу в рамках ДО та є передумовою суттєвого підвищення освітнього потенціалу соціуму в умовах інформаційного суспільства.

#### 1.6. Висновки та постановка задачі дослідження

1. Проведено аналіз методів та інформаційних технологій побудови адаптивних систем дистанційної освіти, визначені основні тенденції їх розвитку. Показано, що основними недоліками відомих навчальних систем є невисока ефективність застосування у навчальному процесі, зокрема низька якість отриманих знань студентів; недостатній рівень адаптивності методів та алгоритмів навчання; відсутність методів оцінки якісних характеристик отриманих вмінь і навичок студента; невідповідність теоретичних розробок і практичних реалізацій, що послужило основою для подальших досліджень адаптивного напрямку ДО.

2. Виконано систематизацію моделей представлення знань в інтелектуальних навчальних системах, що дозволило визначити перспективні напрямки побудови моделі навчальної адаптивної системи на основі семантичного та фреймового підходу.

3. Виконано аналіз відомих адаптивних технологій та обґрунтовано доцільність моделювання технологічної структури навчальної системи з використанням мультимножинної технології, технології інтелектуального аналізу рішень та допомоги у вирішенні завдань, побудованих на прикладах, що дає можливість швидкого пошуку прогалин у знаннях студента та організації індивідуалізованого навчання у відповідності до його поточних успіхів.

4. Визначено основні перспективні напрямки побудови адаптивних систем ДО на основі створення нових форм представлення навчального матеріалу, розробки нових стратегій, способів організації процесу навчання, інструментальних засобів, що базуються на формальних методах аналізу та диференційованій оцінці результатів навчання, впровадження яких дає можливість підвищити ефективність проведення дистанційної освіти.

5. Здійснено постановку задачі дослідження, яка включає необхідність розробки математичних методів та інструментальних засобів побудови навчального модуля з метою організації адаптивного управління процесом навчання та проведення верифікаційних досліджень для визначення оцінки ефективності застосування запропонованих інформаційних технологій.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ МОДЕЛІ НАВЧАЛЬНОЇ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ

#### 2.1. Синтез логічної структури навчальної дистанційної системи

В основу побудови розробленої адаптивної системи дистанційної освіти покладена класична технологія автоматизованого навчання: студенту на вивчення навчальний курс подається шляхом порційної подачі текстографічного матеріалу, а наступна порція теоретичних знань автоматично формується за результатами поточної тестової перевірки [73].

Виходячи з даного підходу, загальна модель дистанційної навчальної системи складається з наступної сукупності моделей (рис. 2.1) [73].

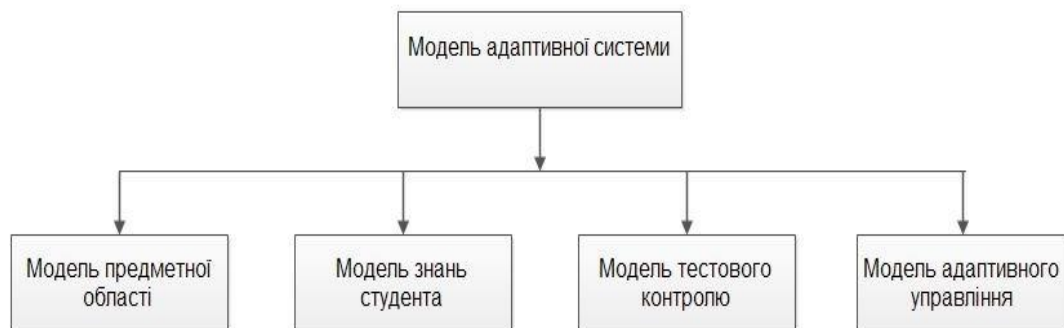


Рис. 2.1. Модель адаптивної системи

Для забезпечення ефективної взаємодії даних моделей та з метою побудови індивідуальної навчальної траєкторії студента в роботі [74] запропоновано структуру взаємодії модулів адаптивної системи (рис. 2.2).

У представленій структурній схемі навчальний процес реалізовується за рахунок інтерактивного адаптивного зворотного зв'язку, завдяки якому адаптивний модуль в залежності від зміни поточного рівня навченості студента налаштовує індивідуально під нього систему. У випадку успішної задачі тестового контролю, адаптивний модуль направляє студента на вивчення наступної теми, закріпивши при цьому в модулі статистики інформацію про досягнутий рівень знань.



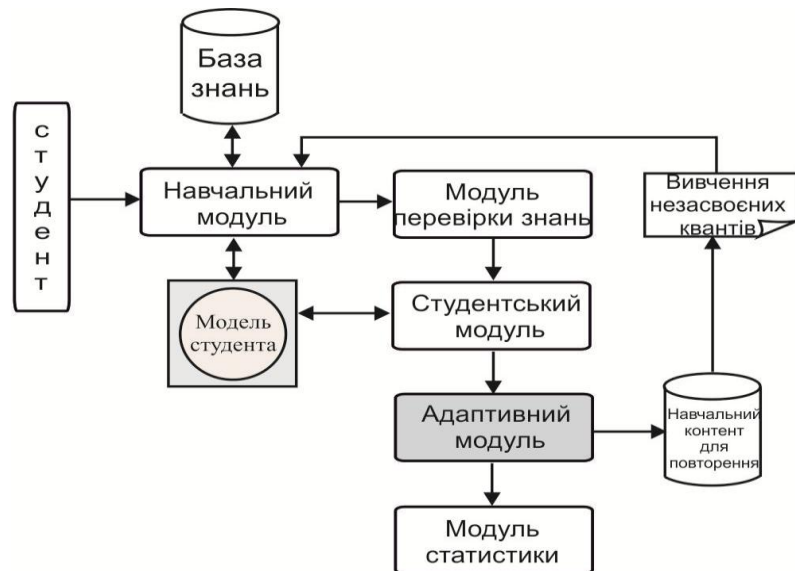


Рис.2.2. Структурна схема адаптивної навчальної системи

Навчальний модуль визначає форму представлення теоретичного матеріалу, його візуалізацію та надає допомогу для засвоєння нових порцій інформації.

На основі моделі студента, яка постійно змінюється, формується новий адаптивний навчальний контент відповідно до індивідуальних характеристик.

Модуль перевірки здійснює процес тестування, виконує аналіз отриманих результатів та заносить їх в протокол.

Студентський модуль відображає картину засвоєних знань та набутих навичок, проводить аналіз та оцінку рівня навченості.

Адаптивний модуль вибудовує концепцію поведінки студента, тобто «складає» динамічний план подачі навчального контенту, тип його представлення та послідовність подачі окремих інформаційних квантів. Причому такий план передбачає надання допомоги студенту в налагодженні (встановленні) взаємозв'язку між вивченими квантами та тими, які не були засвоєні.

Розроблена у такий спосіб адаптивна система дистанційного навчання у порівнянні з відомими системами (Експерт-ТС, DAOS, «АТ-ТЕХНОЛОГІЯ», Каркас) характеризується такими перевагами [14]:

- індивідуалізація навчальної діяльності (диференціація темпу навчання, складності навчальних завдань тощо);
- можливість вільного вибору власної стратегії і тактики навчання;
- наявність безперервного зв'язку системи «викладач–студент»;
- об'єктивне визначення прогалів у знаннях студента;
- використання диференційованого підходу.

Незважаючи на позитивні характеристики, ефективність яких підтверджена проведеними експериментальними дослідженнями, розроблена система характеризується певними функціональними обмеженнями. Зокрема:

- в моделі студента не враховано його психологічний портрет;
- в модулі адаптивного тестування та контролю знань не використана технологія адаптивного тестування (тестові завдання формуються у відповідності до вагових коефіцієнтів квантів);
- встановлення семантичних зв'язків між квантами виконується у ручному режимі, чим обумовлено додаткове навантаження на розробника курсу;
- посилені вимоги до якості розроблених тестових завдань, успішність виконання яких безпосередньо впливає на прийняття системою рішення про знання-незнання навчального кванту.

## 2.2. Методи побудови моделі предметної області

Модель предметної області використовується як для управління навчальним процесом, так і для обґрунтованого вирішення питання про доцільність включення інформаційних квантів в програму курсу.

В основу побудови моделі навчального матеріалу адаптивної системи покладені наступні педагогічні теорії навчання [75]:

- 1) знання представлені найменшими змістовними одиницями (квантами) – біхевіористська теорія;
- 2) кванти знань взаємопов'язані один з одним – асоціативно-

рефлекторна теорія;

3) нові знання виробляють мотивацію до навчання – теорія поетапного формування розумових дій;

4) використання повторень вивченого матеріалу – біхевіоризм, теорія поетапного формування розумових дій;

5) необхідність надання студентові можливості системного узагальнення знань та її трансформації (трансформаційна теорія навчання);

6) наявність алгоритмів для успішного пошуку відповідей на поставлені завдання (концепція алгоритмізації).

Зберігаючи фактичну інформацію з навчальної дисципліни, така модель здатна використовувати правила виведення, що дозволяють автоматизувати навчальний процес в залежності від поточної траєкторії навчання студента. Закладені в системі способи структурування навчального контенту та доступу до знань в подальшому визначають рівень адаптивної поведінки програми.

### 2.2.1. Онтологічна побудова предметної області на основі квантово-фреймової моделі

Проблема моделювання предметної області вимагає вирішення ряду завдань, що відносяться до управління знаннями: управління контентом, адаптації та персоналізації контенту, підготовки та супроводу навчання із побудовою індивідуальних навчальних курсів та автоматизованого контролю знань [76].

Беручи за основу ідеї концептуального моделювання, побудову предметної області виконано за допомогою математичної технології відображення структури зв'язків понять – онтології [77].

Застосування онтологій для побудови бази знань характеризується такими перевагами:

- можливість опису результатів формалізації різного рівня абстракції;

- автоматизована обробка семантики інформаційних одиниць;
- широке використання для розробки комп'ютерних систем інтелектуального пошуку інформації.

У відповідності з класичним представленням, онтологія задається трьома підмножинами: понять, зв'язків між ними та функціями інтерпретації.

Математична модель навчального курсу  $S$  у формалізованому виді побудованої онтології представлена кортежем [4]:

$$S = \{R, T, K\},$$

де  $R = (R_i, P_R, H_R)$  – верхній рівень ієрархії, що відображає представлення матеріалу на рівні розділів.

Тут  $R_i$  – агрегат-розділ, тобто частина, що відповідає за розділ;  $P_R$  – відношення черговості розділів;  $H_R$  – оцінка загальних характеристик розділів (наприклад, необхідний час для вивчення, форма контролю чи оцінка складності матеріалу розділу).

$T = (T_i, P_T, H_T)$  – рівень ієрархії, що визначає представлення матеріалу на рівні тем, де  $T_i$  – множина тем, що входять до розділу;  $P_T$  – відношення черговості (послідовність вивчення) тем;  $H_T$  – сукупність загальних характеристик всіх тем.

$K = (K_i, P_K, H_K)$  – рівень ієрархії представлення матеріалу на рівні квантів (терміни, означення, аксіоми, теореми і т.д.), де  $K_i$  – множина квантів, що входять в окрему тему;  $P_K$  – відношення зв'язків на множині квантів;  $H_K$  – множина характеристик квантів.

Елементом множини  $K$  поставлено у відповідність набір чотирьох векторів, значення компонент яких описано їх атрибутами:

$X_1 = \{x_{1i}\}, i = 1, \dots, l$  – вектор ідентифікаторів квантів, де  $x_{1i}$  – ідентифікатор  $i$ -го кванта;

$X_2 = \{x_{2i}\}, i = 1, \dots, l$  – вектор імен квантів, де  $x_{2i}$  – ім'я  $i$ -го кванта;

$X_3 = \{x_{3_i}\}, i = 1, \dots, l$  – вектор опису змісту квантів, де  $x_{3_i}$  – опис (зміст)  $i$ -го кванта;

$X_4 = \{x_{4_i}\}, i = 1, \dots, l$  – вектор вагових значень квантів, де  $x_{4_i}$  – вага  $i$ -го кванта в інтервалі  $(0,1)$ . Ваги понять характеризують їх важливість для визначення предметної області.

Елементом множини  $H$  поставлено у відповідність набір трьох векторів, значення компонент якого визначають наступні атрибути:

$Y_1 = \{y_{1_j}\}, j = 1, \dots, n$  – вектор ідентифікатора типів квантів, де  $y_{1_j}$  – ідентифікатор  $j$ -го типу;

$Y_2 = \{y_{2_j}\}, j = 1, \dots, n$  – вектор імен типів квантів, де  $y_{2_j}$  – ім'я  $i$ -го типу;

$Y_3 = \{y_{3_j}\}, j = 1, \dots, n$  – вектор опису типу квантів, де  $y_{3_j}$  – опис  $j$ -го типу.

Елементом множини  $P$  поставлено у відповідність набір п'яти векторів, значення компонент якого визначають наступні атрибути:

$Z_1 = \{z_{1_q}\}, q = 1, \dots, s$  – вектор ідентифікатора типу зв'язку між квантами, де  $z_{1_q}$  – ідентифікатор  $q$ -го типу зв'язку;

$Z_2 = \{z_{2_q}\}, q = 1, \dots, s$  та  $Z_3 = \{z_{3_q}\}, q = 1, \dots, s$  – вектори, компоненти яких  $z_{2_q}$  та  $z_{3_q}$  відповідно описують ідентифікатори першого  $k_m$  та другого квантів  $k_t$  ( $k_m, k_t \in K; \quad m, t \in [1, l]; \quad z_{2_q} = x_{1_m}, z_{3_q} = x_{1_t}$ );

$Z_4 = \{z_{4_q}\}, q = 1, \dots, s$  – вектор імен зв'язків між квантами  $k_m$  та  $k_t$ ,

( $k_m, k_t \in K; \quad m, t \in [1, l]; \quad z_{2_q} = x_{1_m}, z_{3_q} = x_{1_t}$ ), де  $z_{4_q}$  – ім'я  $q$ -го зв'язку;

$Z_5 = \{z_{5_q}\}, q = 1, \dots, s$  – вектор опису зв'язку між квантами  $k_m$  та  $k_t$ ,

( $k_m, k_t \in K; \quad m, t \in [1, l]; \quad z_{2_q} = x_{1_m}, z_{3_q} = x_{1_t}$ ), де  $z_{4_q}$  – опис  $q$ -го зв'язку.

В межах кожної теми  $T_i$  множина квантів  $K_i$  представлена наступними квантовими моделями (рис. 2.3) [4].

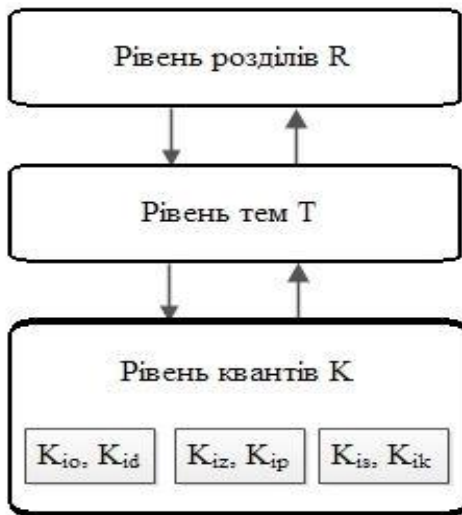


Рис. 2.3. Ієрархічна модель представлення навчального контенту роботи.

Кожен із рівнів забезпечує вирішення окремих задач навчального процесу. Якщо на рівні розділів вибудовується загальний план навчання, то на рівні квантів навчальний ефект досягається завдяки подачі на вивчення матеріалу окремими елементарними порціями.

Запропоновано онтологічну модель навчального курсу на рівні квантів, що побудована на основі семантичної мережі фреймів. У вершинах мережі знаходяться найменші змістовні одиниці предметної області – кванти, а в ребрах – усі відношення між квантами (рис. 2.4) [78].

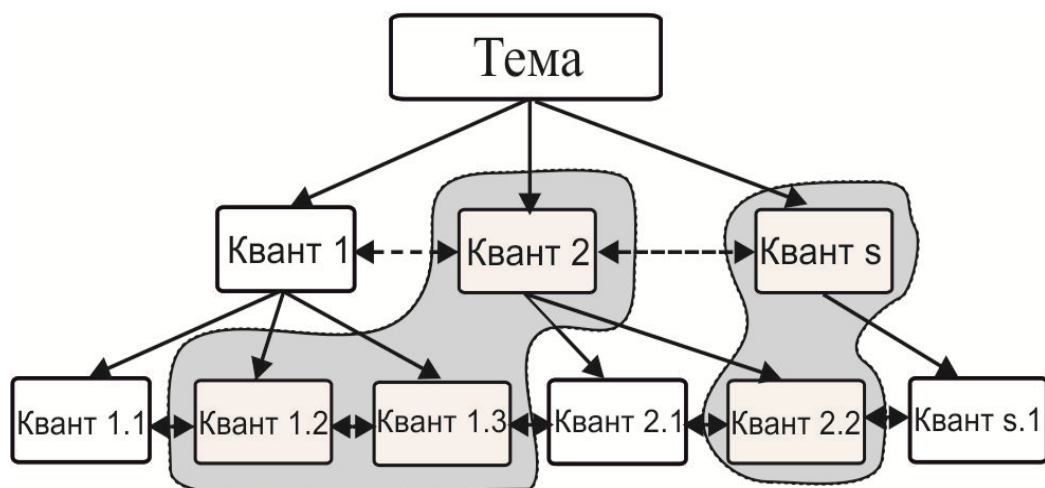


Рис. 2.4. Онтологічна модель навчального курсу

Окремий квант в цій моделі представлено фреймом, слоти якого містять атрибути кванта.

$K_{io}$  – модель квантів основного матеріалу;

$K_{id}$  – модель квантів допоміжного матеріалу (таблиці, малюнки, схеми);

$K_{iz}$  – модель квантів закріплення знань;

$K_{ip}$  – модель квантів для повторення;

$K_{is}$  – модель квантів самоконтролю;

$K_{ik}$  – модель квантів для самостійної

$$K = [(Y_1, x_1), (Y_2, x_2), \dots, (Y_n, x_n)],$$

де  $K$  – ім'я кванта;  $Y_i$  – атрибути слотів;  $x_i$  – значення слотів.

Похідні (дочірні) кванти успадковують атрибути базових (батьківських) квантів. Для ініціалізації окремого кванта, як правило, використовується його ім'я та тип представлення.

У відповідності з таким представленням множину фреймів розглядають як семантичну мережу ієрархічного типу. Ребра в такій мережі відповідають різного роду зв'язкам між окремими квантами. При цьому ієрархічні зв'язки визначаються відношеннями структуризації (на рис. 2.4 позначені стрілками), а неієрархічні – семантичними зв'язками (позначені тіньовим об'єднанням) та зв'язками на основі оглядових послідовностей (позначені пунктирними двохнаправленими стрілками).

Така онтологічна модель системи включає три логічно виокремлені рівні [73]:

- рівень даних: описує базові кванти (одиниці інформації);
- рівень представлення даних: керує відображенням інформації у зручному для користувача вигляді;
- рівень структури, що забезпечує навігацію по контенту.

Застосування онтологій для побудови моделі предметної області дає можливість вирішити наступні навчальні задачі:

- 1) створення словника термінів (тезауруса) предметної області;
- 2) фіксація логічних взаємозв'язків між інформаційними квантами;
- 3) побудова правил та методів, використання яких дає можливість організувати ефективне управління основними поняттями предметних знань.

Вирішення поставлених задач дозволяє організувати ієрархічно-семантичне наповнення навчального матеріалу із використанням технологій індивідуалізації навчання, що базуються на адаптивній навігації та адаптації контенту [17].

### 2.2.2. Графова модель предметної області

Розроблена в пункті 2.2.1 квантово-фреймова модель навчального матеріалу не володіє достатньою гнучкістю для побудови системою індивідуальних траєкторій навчання. Тому з метою деталізованої побудови структурної моделі навчального матеріалу використано спеціальні типи графів.

За навчальну одиницю вибрано поняття кванта, який позначає найменшу змістовну одиницю інформації. Для того, щоб вивчити деякий квант, студенту не завжди достатньо інформації, яку безпосередньо несе даний квант. Для цього потрібні ще деякі знання. Це може бути результат вивчення інших квантів цієї теми або знання, отримані при вивченні іншої теми, або взагалі з іншого курсу. Результатом вивчення цього кванта, його виходом, буде якесь нове знання.

Таку схему навчального матеріалу представлено у вигляді орієнтованого графу, вершини й ребра якого володіють такими властивостями [1]:

- 1) кожна вершина однозначно представляє мінімально можливу самостійну одиницю навчального матеріалу (квант).
- 2) кожна вершина характеризується:
  - а) номером, що ідентифікує квант в ієрархії інформаційних одиниць і задає послідовність вивчення матеріалу;
  - б) типом – визначає вигляд представлення кванта (текст, малюнок, формула, таблиця);
  - в) вагою – унікальна числова величина, яка визначає змістовну складність кванта.

Вершині, що позначає квант більшої ваги, відповідає ребро, що з'єднує її з першою вершиною більшої ваги.

Кожна вершина, яка є коренем деякого дерева – це квант, обов'язковий для вивчення. Вершини одного ієрархічного рівня є множиною квантів



однакової ваги, що представляються студентіві для вивчення. Висота такого дерева залежить від кількості послідовних квантів, що складають окремий курс.

3) ребра графа задають відношення між окремими квантами.

Запропонована структура навчального контенту відображена у вигляді напрямленого графа, вершинами якого будуть елементи кожного з рівнів, а ребрами – відношення між цими елементами (рис. 2.5) [79].

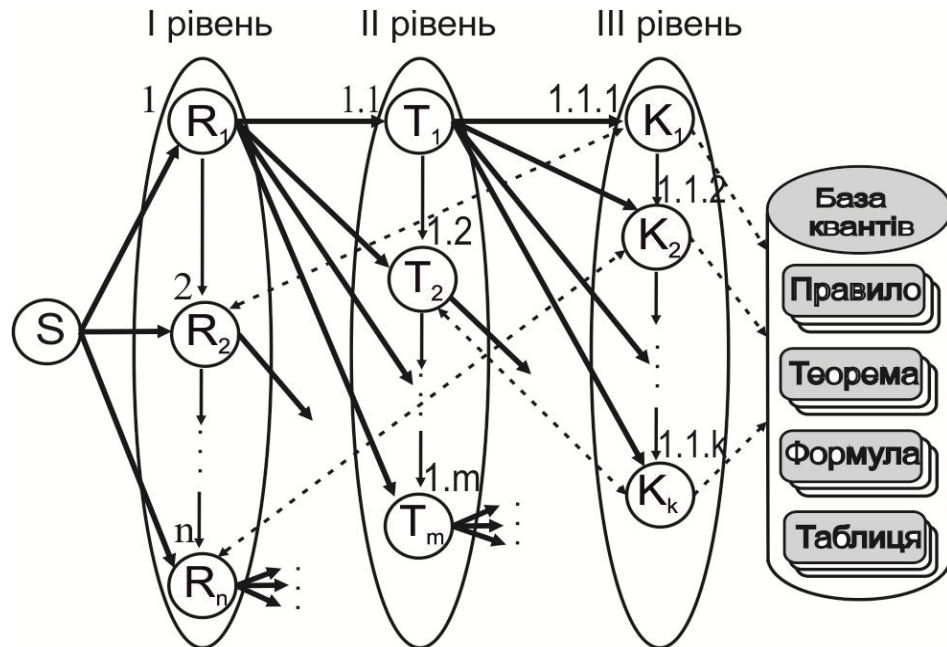


Рис. 2.5. Графова структура навчального курсу

Між вершинами графа встановлені відношення трьох типів [28]:

1) ієрархічні (предок – нащадок), що утворюють деревоподібну структуру, у відповідності з якими структурним одиницям навчального матеріалу присвоєні індекси, що використовуються для їхньої ідентифікації та адресації (на малюнку позначені жирними стрілками). Індекси відображають шлях до відповідної вершини від кореневої;

2) оглядові послідовності (вперед-назад) визначаються на множині вершин одного ієрархічного рівня і служать для опису послідовності переходів чи навігації по навчальному матеріалу. Завдяки адаптивній направленості навчального матеріалу такі послідовності представлені складними розгалуженими структурами (на рис. 2.5 позначені гіперребрами, а відношення між ним – тонкими стрілками);

3) семантичні (гіперпосилання) утворюють мережеву структуру та пов'язують пари структурних одиниць навчального матеріалу, зміст яких має певну змістову кореляцію. Як правило, такі відношення двохнаправлені (на рис. 2.5 позначені пунктирними (двохнаправленими) стрілками).

Розроблена модель, подана за допомогою графа, вирішуючи задачу адаптивного управління потоком квантів знань в системі дистанційного навчання, у порівнянні з іншими має ряд переваг:

- зручне програмне представлення ієрархії квантів завдяки використанню індексації;
- незалежність інтерфейсної частини навчальної системи від конкретного курсу;
- забезпечення оптимізованого чергування між процесами виконання операцій та засвоєння нових квантів знань;
- вибір найбільш прийнятної послідовності видачі квантів знань для засвоєння;
- технічна реалізація моделі графа для різних курсів відрізняється лише кількістю елементів (вершин, ребер) і попарними зв'язками між ними, але не будовою елементів;
- адаптивна направленість навчального матеріалу в межах окремої теми (лекції);
- деталізація квантів через встановлення семантичних зв'язків;
- врахування повторюваності квантів та операцій в різних заняттях і контекстах.

Процес пошуку індивідуального напрямку руху кожного студента в процесі вивчення окремої теми, залежно від спеціальності, програми навчання, початкового рівня знань і вмінь, будується шляхом багатоступінчатих причинно-наслідкових міркувань.

Головним функціональним обмеженням такої моделі, яке не дозволяє досягти 100 % успішності автоматичного формування навчальних курсів є

труднощі встановлення алгоритмічних кореляційних зв'язків між квантами під час програмного структурування навчального контенту.

2.3. Розробка методів побудови моделей користувача в адаптивній системі

У розробленій навчальній системі модель студента будується із урахуванням наступних точок зору на процеси моделювання:

- шляхом аналізу навчальної поведінки студента встановлюються його поточні знання та вміння – динамічна (поведінкова або поточна) модель, що змінюється разом із зміною того, кого навчають;

- будується нормативна модель студента, що включає вимоги до його завершального стану, професійних вмінь та навичок з інших навчальних предметів, які наперед задаються викладачами (розробниками курсу).

Підсумком навчання є досягнення такого стану, коли динамічна модель студента збігається з його нормативною моделлю.

Представляючи базову компоненту адаптивних систем освіти, модель студента дозволяє комп'ютеризованій системі швидко адаптуватися до поточних вимог користувача.

### 2.3.1. Структурна модель студента

Модель студента включає різномірну інформацію про нього: передісторія навчання; результати поточної роботи (тип виконаних завдань, час виконання завдань, кількість звернень за допомогою та ін.); особистісні психологічні характеристики (тип і направленість особистості, репрезентативна система, здібність до навчання, рівень хвилювань-тривоги, особливості пам'яті та ін.); загальний рівень підготовки та ін. [43].

В роботі [73] запропоновано структуру моделі студента, яка враховує як індивідуальні характеристики студента, початковий рівень його знань з

навчального курсу, так і поточні успіхи, досягнуті в процесі засвоєння нових знань (рис. 2.6).

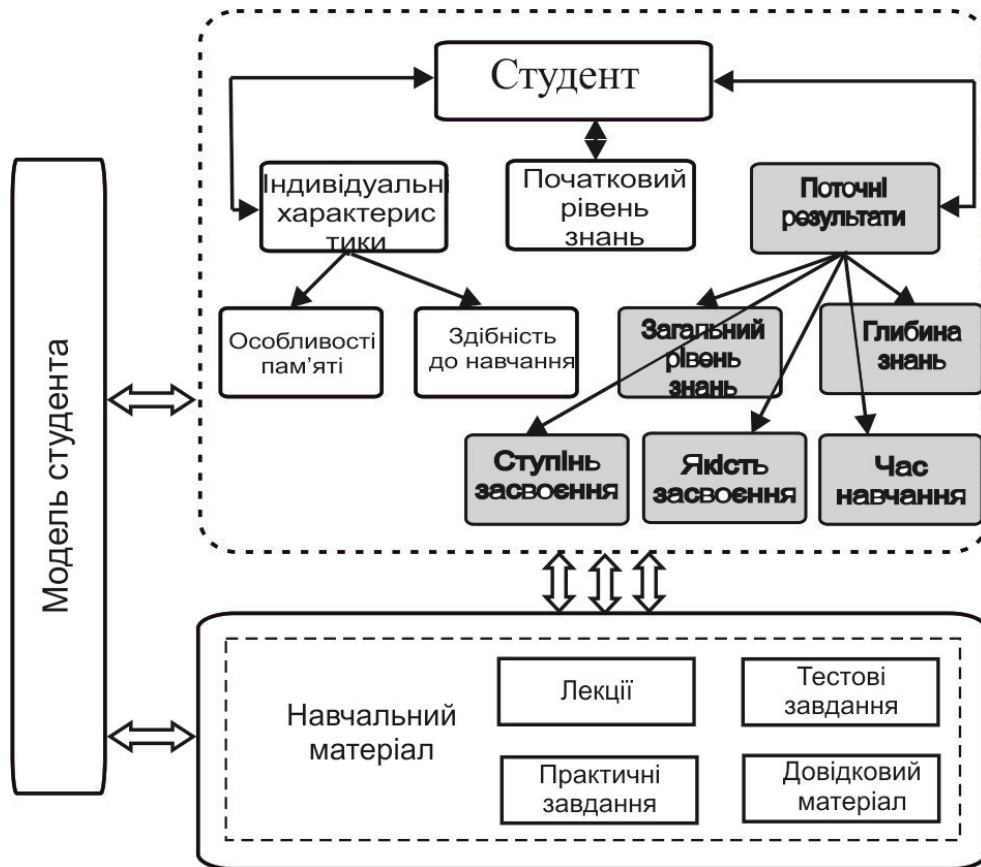


Рис. 2.6. Структурна модель студента

У загальному, модель знань студента представлено у вигляді вектора  $P(P_1, P_2, \dots, P_k)$ , компоненти якого  $P_i$  описують кількісний чи якісний параметр засвоєних знань.

На сучасному етапі розвитку підходів до розробки адаптивних навчальних систем модель студента виступає обов'язковим базовим компонентом.

Завдяки використанню моделі студента предметніше задається мета роботи студента з системою і послідовність матеріалу, що вивчається. Вона визначає початкові налаштування системи та є базою для подальшої роботи з користувачем.

### 2.3.2. Побудова математичної моделі студента

Як показує аналіз розроблених на сьогоднішній день моделей, найбільш розповсюдженими є оверлейні моделі знань (як векторні так і мережеві, так звані графи знань) [80].

У створеній навчальній системі з метою адаптивного управління навчальною поведінкою студента використано оверлейну модель, яка дає можливість для кожного поняття бази знань зберігати значення, яке є оцінкою рівня знань студентом цього поняття або показником того, вивчено його чи ні.

Загальну математичну модель знань користувача (model of user) представлено у вигляді:  $Mu = \{Su_1, Su_2, \dots, Su_n\}$ , де  $Su_i$  – модель вивчення  $i$ -ої теми (subject).

В свою чергу:  $Su_i = \{MSu, Th\}$ , де  $MSu$  – узагальнена модель (Model) теми, що вивчається (subject);  $Th$  – множина моделей тем  $Th_i$  (themes), що відносяться по даного предмета:  $Th = \{Th_1, Th_2, \dots, Th_m\}$ .

Узагальнена модель  $MSu = \{P_1, P_2, \dots, P_k\}$ , де  $P_i$  – окремий параметр, що описує довільну характеристику користувача та може бути заданий математичним чи логічним виразом.

Нехай  $i$ -ий урок ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) складається з  $n$  ( $n = 1, 2, \dots, N_i$ ) навчальних блоків, кожен з яких може відповідати практичним вправам, завданням, тестам, блоку нового матеріалу в лекційному викладі тощо. Кожен із них передбачає розв'язання певної навчальної задачі, яка характеризується набором квантів  $k_t, t = 1, 2, \dots, T$  і набором операцій  $y_j, j = 1, 2, \dots, J$ . Взаємозв'язок операцій і квантів задається матрицею  $\|e_{jt}\|$ , рядки якої відповідають операціям  $y_1, y_2, \dots, y_J$ , а стовпчики – квантам  $k_1, k_2, \dots, k_T$ .

У кожному  $n$ -му навчальному блоці рівень засвоєння студентом окремого кванта, що задіяний в уроці  $y_j$ , не може бути нижчим, ніж рівень

засвоєння даного уроку в цілому блоці, тобто  $w_t(n) \geq P_j(n)$ , де  $w_t(n)$  – оцінка рівня засвоєння кванта  $k_t$ ,  $P_j(n)$  – ймовірність засвоєння уроку  $j$ -го типу.

Оскільки при виконанні задачі в  $n$ -му навчальному блоці один і той самий квант може використовуватися в різних уроках, то для обчислення інтегрованої оцінки рівня засвоєння кванта  $k_t$  необхідно врахувати рівень засвоєння відповідних уроків. Тому інтегрована оцінка рівня засвоєння  $w_t(n)$  кванта  $k_t$  за результатами виконання навчальної задачі в  $k$ -му навчальному блоці обчислюється за формулою [80]:

$$w_t(n) = \frac{\sum_j e_{jt} \cdot P_j(n)}{\alpha_t},$$

де  $\alpha_t = \sum_j e_{jt} (t = \overline{1, T})$  – кількість операцій з усієї множини уроків  $Y$ , в яких використовуються  $k_t$ .

В результаті проведеного аналізу розроблених навчальних програм та моделей студента, для оцінки поточного рівня засвоєння знань обрано наступні параметри, значення яких зберігаються у студентському модулі [81]:

1) кількість балів  $S_i$ , отриманих за відповідь на  $i$ -ий тест:

$$S_i = \sum_{j=1}^{L_i} K_{ij} Z_{ij},$$

де  $K_{ij}$  – ваговий коефіцієнт  $j$ -го питання в  $i$ -ому тесті;  $Z_{ij} = 1$ , якщо на  $j$ -те питання  $i$ -го тесту отримана правильна відповідь і  $Z_{ij} = 0$ , якщо відповідь невірна;  $L_i$  – кількість питань в  $i$ -му тесті.

2) рівень знань  $M_s$  студента після завершення вивчення  $i$ -го уроку:

$$M_s = \frac{S}{N}, \text{ де } N \text{ – максимально можлива кількість балів за } i\text{-ий тест.}$$

Для обчислення загального рівня знань студента  $M_j$  з теми  $T_j$  використано алгоритм оцінювання, що ґрунтується на збалансованій оцінці Т. Робертса [82].

Під збалансованістю в даному випадку розуміють незалежність математичного сподівання оцінки від кількості правильних та неправильних відповідей, отриманих на це питання випадковим чином:

$$M_j = \frac{\sum_{i \in \bar{Q}} M_i \cdot C_i}{\sum_{i \in \bar{Q}} C_i},$$

де  $M_i$  – оцінка за питання  $q_i$ ;  $C_i$  – коефіцієнт складності питання  $q_i$ ;

$\bar{Q}$  – підмножина питань, що відносяться до теми  $T_j$ ;  $\bar{Q} \in Q$ ;

$M_j$  – підсумкова оцінка за тему  $T_j$ ;  $Q = \{q_i\}$  – множина всіх питань,  $i = 1, \dots, n$ ;  $T = \{T_j\}$  – множина всіх тем,  $j = 1, \dots, m$ ;  $M = \{M_j\}$  – множина всіх оцінок за теми,  $j = 1, \dots, m$ .

Причому оцінка  $M_i$  залежить від типу питання  $q_i$ :

$$M_i = \begin{cases} \alpha \cdot q_i, & p = 1, 2, 4 \\ q_i \cdot \left(1 - \frac{N_F + N_R}{N_M}\right), & p = 3, 5 \text{ якщо } N_M > 1, \\ 0, & p = 3, 5 \text{ якщо } N_M = 0 \end{cases}$$

де  $p$  – тип питання (1 – питання типу «Вірно/ Невірно»; 2 – вибір однієї правильної відповіді з кількох; 3 – вибір кількох правильних відповідей із запропонованого списку варіантів; 4 – коротка відповідь з клавіатури; 5 – питання на відповідність);

$\alpha$  – коефіцієнт, який дорівнює 1, якщо студент відповів правильно, 0 – якщо неправильно (для питань типу  $p = 1, 2, 4$ );

$N_F$  – кількість відповідей вибраних неправильно (для питань типу  $p = 3, 5$ );  $N_M$  – кількість відповідей вибраних правильно (для питань типу  $p = 3, 5$ );  $N_R$  – кількість невибраних правильних відповідей (для питань типу  $p = 3, 5$ ).

Оскільки в описаному методі оцінювання в контрольних тестах використовуються питання  $q_i$  з різних тем, то спочатку вибирається підмножина питань множини  $Q$ , які відносяться до конкретної теми  $T_j$ , а

відповідна підсумкова оцінка  $M_j$  складається з оцінок по кожному питанню  $M_i$ , зваженому коефіцієнтом складності  $C_i$ , з наступним відображенням на відрізок  $[0,1]$ .

3) глибина знань (сукупність отриманих знань про кванти):

$$\Phi = \sum_i \frac{w_{a_i}}{w_{q_i}},$$

де  $w_a$  – вага відповіді на питання, що відповідає  $i$ -му блоку навчального матеріалу,  $w_q$  – вага питання, що відноситься до  $i$ -го блоку навчального матеріалу;

4) на виконання кожного тесту студенту надається оптимальний час, який дозволений програмою для його виконання. Тоді нормалізоване значення часу ( $t_n$ ) обчислюють із співвідношення:

$$t_n = \frac{t}{T}, \text{ де } t - \text{ час, витрачений студентом на проходження тесту, } T -$$

оптимальний дозволений час.

Правильне визначення оптимального часу важливе по тій причині, що не вірно встановлений час тестування не дозволяє тестовим завданням ефективно перевірити знання-незнання кванта інформації.

Оптимальний час тестування обчислений на основі аналізу дисперсії тестових результатів [83]:

$$\sigma = \frac{\sum (t - t_{cep})^2}{n - 1}, \text{ де } \sum (t - t_{cep})^2 - \text{ сума квадратів різниць між середнім та}$$

індивідуальним значенням часу  $t$ ;  $n$  – кількість студентів.

На рис. 2.7 відображена дисперсія тестових результатів відповідно до часових інтервалів  $\{(0..t_1), (t_1..t_2), (t_2..t_3), (t_3..t_4), (t_4..t_n)\}$ , яка показує міру розкиду, в якій знаходяться отримані бали, включаючи стандартне відхилення по тесту і похибку вимірювання.



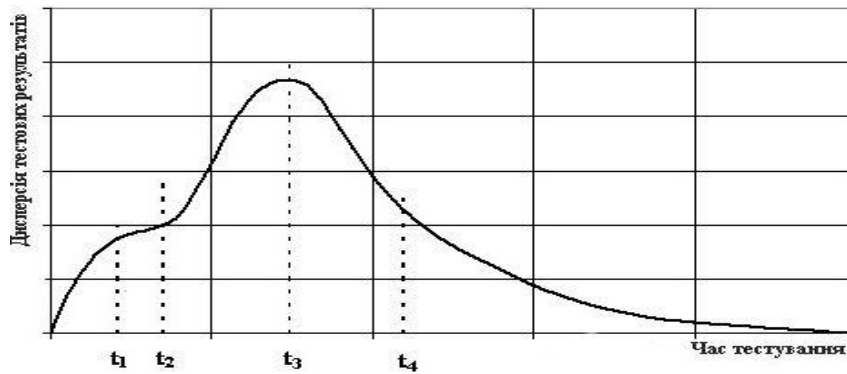


Рис. 2.7. Дисперсія навчальних результатів відповідно до часу тестування

Існують різні точки зору щодо визначення оптимального часу тестування, тобто часу від початку тестування до моменту настання втоми. Так, Аванесов В. С. [84] пропонує відстежувати момент досягнення максимуму дисперсії тестових результатів (відповідає точці  $t_3$  на рис. 2.7), Майоров А. Н. [85] вважає, що оптимальний час тестування відповідає не максимуму дисперсії, а точці початку її збільшення (відповідає точці  $t_2$  на рис. 2.7).

В основу визначення оптимального часу в роботі покладена методика Аванесова В. С., так як в точці  $t_3$  можна максимально визначити диференціацію студентів відносно рівня їх навчальної підготовки. Щоб визначити числове значення оптимального часу  $T$ , необхідно підготувати вибірку студентів, максимально близьких за своїми навчальними параметрами та організувати серію сеансів тестувань різної тривалості. Після обробки зібраного статистичного матеріалу, необхідно побудувати функцію, відображену на рис. 2.7 та визначити значення моменту часу  $t_3$ . Цей час приймається за значення оптимального часу тестування.

5) Швидкість проходження ( $\tau$ ) тесту – це зважена сума відношень витраченого часу ( $t$ ) до максимально дозволеного часу ( $T$ ) і номера цієї спроби та до кількості дозволених спроб ( $f$ ):

$$\tau = (1-a)\frac{t}{T} - a\left(\frac{i}{f}\right),$$

де коефіцієнт  $a = \frac{f}{f+1}$ , який не залежить від часу  $T$ .

5) Ступінь засвоєння матеріалу ( $R$ ) – це відношення отриманої за тест оцінки ( $q$ ) до максимально можливої:

$$R = \frac{q}{l}.$$

Коли засвоєні знання перевіряються виконанням певних завдань, то ступінь засвоєння – це частка правильних відповідей (правильного виконання операцій) у завданнях нової теми.

б) Якість засвоєння заняття ( $\mu$ ) – це зважена сума середнього ступеня засвоєння ( $R$ ) матеріалу заняття та швидкості проходження заняття  $\tau^n$ :

$$\mu = \frac{R + \tau^n}{2},$$

де  $R$  – найімовірніша ступінь засвоєння;

$\tau^n$  – найімовірніша швидкість проходження.

Використовуючи методи статистичної теорії навчання і контролю знань, функціонально описано залежність між потоком навчального матеріалу, його засвоєнням та забуванням [86]:

$$F(t) = 1 - e^{-kt}, k > 0, t \geq 0, \quad (2.1)$$

де  $k$  – кількість додаткових квантів, необхідних для встановлення знань по кванту, що відповідає  $i$ -му питанню.

Згідно виразу (2.1) на рис. 2.8 побудовано графіки залежності рівня знань  $M$  студента від часу  $t$  для різної кількості квантів  $k$ .

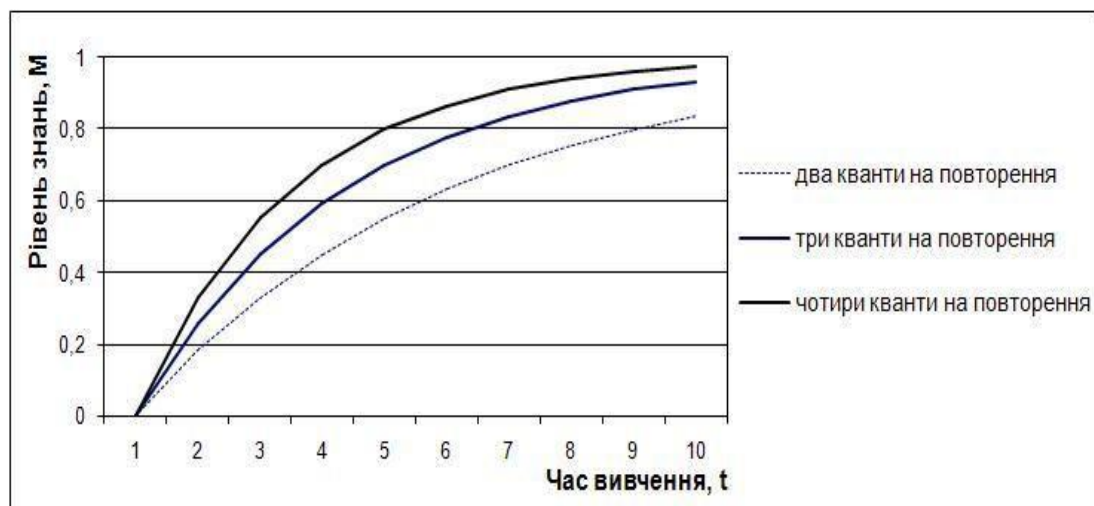


Рис. 2.8. Графік залежності вивчення кванта інформації від часу

З рис. 2.8 видно, що із зростанням кількості квантів, необхідних для засвоєння невивченої навчальної одиниці, зменшується відхилення кривої від 1-ці, тобто від повного вивчення кванта. Це означає, що чим більше навчального матеріалу, що стосується кванта, буде використано в матеріалі для повторення, тим успішніше та швидше буде його засвоєно.

Кожен із студентських параметрів характеризує відповідну дію адаптивного модуля, а саме:

- загальний рівень знань (визначає адаптивну видачу тестових завдань, які відповідають рівню знань студента) забезпечує адаптивний тестовий контроль знань: підвищує або понижує рівень складності тестових питань;
- рівень засвоєння навчального матеріалу з окремих тем впливає на встановлення зв'язків між незасвоєними квантами;
- глибина знань (визначає рівень деталізації квантів) на основі теорії мультимножин формує сукупність квантів, що відповідають тестовим завданням, на які отримано негативні відповіді;
- швидкість проходження тесту впливає на зміну часового інтервалу тестування;
- ступінь засвоєння визначає кванти для повторення відповідно до їх ваги.

Сукупність функціональних залежностей між різними студентськими ознаками  $P_i$  дозволяє змоделювати матрицю окремого навчального кроку (уроку), що використовується навчальною системою для побудови подальшої траєкторії навчання.

Побудована математична модель студента виступає ядром інтелектуальної частини системи, дозволяючи організувати гнучке адаптивне керування навчальною діяльністю із максимальною швидкістю для того, хто навчається та генеруванню квантів знань, які найбільш повно відповідають його індивідуальним особливостям [87].

### 2.3.3. Розробка моделі студента в дистанційній системі

Впровадження дистанційних технологій навчання (ДТН) у вищому навчальному закладі є системним процесом, який включає кілька рівнів: технологічний, програмно-інструментальний, інформаційний, дидактичний, психологічний, законодавчий [88].

У загальному випадку процес організації дистанційного навчання, відображаючи зміну рівня знань студента у часі, описано лінійним диференціальним рівнянням виду:

$$\frac{dZ}{dt} = f(t), \quad (3.3)$$

де  $Z = Z(t)$  – рівень поточних знань,  $f(t) = Z_0 + Z_p t$  – функція засвоєння нових знань за час  $t$ ,  $Z_0$  – початковий рівень знань,  $Z_p$  – поточний рівень знань.

Після інтегрування формули (3.3) отримано:

$$Z = Z_0 + Z_p t. \quad (3.4)$$

Цьому випадку відповідає навчальна траєкторія студентів з високим рівнем засвоєння нових знань. Насправді, під час проведення дистанційного навчання на поточний рівень знань більшості студентів негативно впливає процес забування. Коефіцієнт забування  $k$  буде мінімальним, якщо студенти постійно повторюють та закріплюють уже вивчені кванти знань і чим меншим буде час  $\tau$  ( $\Delta\tau \rightarrow 0$ ), який вказує на час розриву вивчення між окремими квантами.

Розглянемо наступну модель. Будемо вважати, що передача знань відбувається з постійною швидкістю та інтенсивністю, а забування описується експоненціальною залежністю (2.1). В такому випадку рівняння (3.3) набуде вигляду:

$$\frac{dZ}{dt} = f(t) - kZ, \quad (3.5)$$

де  $k$  – коефіцієнт забування.

Після інтегрування формули (3.5) маємо:

$$Z = Z_0 + (Z_p - kZ_0)t. \quad (3.6)$$

Графік залежності отриманого рівня знань  $M$  від часу  $t$ , витраченого на навчання, для описаної моделі відображено на рис. 2.9 [89].

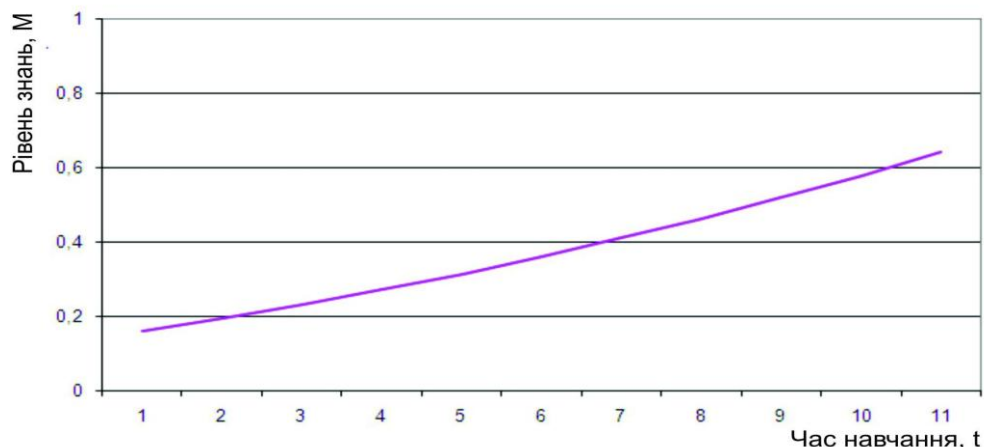


Рис. 2.9. Графік навчальної траєкторії студента

Під час проведення дистанційного адаптивного навчання автоматизована система за рахунок взаємодії студента та викладача (адаптивного модуля) налаштовує індивідуальну траєкторію студента з метою усунення допущених прогалин у знаннях (рис. 2.10) [89].

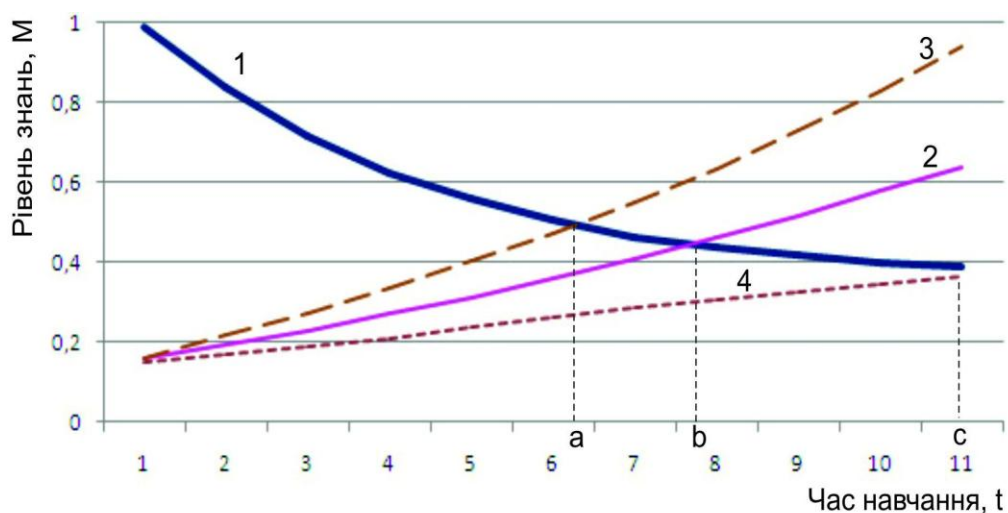


Рис. 2.10. Графік адаптивно-навчальної взаємодії системи «викладач-студент»

Для побудови траєкторії 1, що відповідає моделі поведінки навчальної системи використана експоненціальна функція  $f(x) = e^{-\alpha x}$ , де  $\alpha$  – градієнт передачі рівня знань.

Відображена на рис. 2.10 модель-функція адаптивного модуля показує, яким чином у дистанційній системі відбувається пошук поточного рівня

знань студента (відповідає точці перетину  $b$  траєкторій 1 та 2) з метою подальшого підлаштування системи під його навчальні потреби.

У випадку, якщо студент покращує свої знання шляхом успішного засвоєння нових квантів інформації (траєкторія 3 на рис. 2.10), його навчальна траєкторія піднімається вгору і він отримує можливість засвоїти більше знань від навчальної системи (точка перетину  $a$  траєкторій 1 та 3).

Якщо ж студент має низький початковий рівень знань (траєкторія 4 на рис. 2.10), то цих знань, як правило, є недостатньо для засвоєння нової порції інформації від навчальної системи (траєкторія 4 не перетинається з 1). У такому разі студентові необхідно подати на вивчення додаткову порцію знань (навчальні кванти попередніх тем), щоб він зміг розпочати навчання з обраної тематики.

Розроблена модель дозволяє врахувати рівень початкових знань під час проведення ДН та відображає процеси виконання функцій адаптивного модуля, пов'язані з отриманням, обробкою поточних навчальних результатів і прийняттям рішень про внесення коректив у подальшу організацію навчального процесу.

#### 2.4. Розробка моделі контролю і діагностики знань

Процес навчання має форму концентричної спіралі. Якщо на нижчих рівнях навчання виникли прогалини у знаннях студента, то буде порушена закономірність спіралеподібної структури. Тому так важливо своєчасно виявити прогалини, усунути їх і лише потім рухатися вперед [90].

Для визначення порції навчального контенту, необхідного для повторного вивчення незасвоєних квантів  $k_i$ , запропоновано використання алгоритму, побудованого на основі методу ітераційного пошуку ієрархічності семантично-пов'язаних квантів. Даний підхід є узагальненням методу, який об'єднує ітераційний формальний синтез із семантичною розміткою узагальнених понять, запропонований в [91]. В рамках цього підходу після

визначення нового поняття в ієрархії автоматично визначаються нові поняття більш високих рівнів на основі пошуку спільних наборів атрибутів.

Алгоритм описано системою кортежів:

$$F_{\text{АЛГ}} = \begin{cases} F_1, & (k_1, k_2, \dots, k_n) \\ F_2, & (b_1, b_2, \dots, b_l), \\ F_3, & (h_1, h_2, \dots, h_s) \end{cases}$$

де  $k_1, k_2, \dots, k_n$  – множина незасвоєних квантів (визначаються на основі мультимножинного аналізу тестових питань з негативними відповідями [8]);  $b_1, b_2, \dots, b_l$  – множина квантів, що знаходяться на вищих рівнях ієрархії по відношенню до квантів  $k_1, k_2, \dots, k_n$ ;

$h_1, h_2, \dots, h_s$  – множина квантів, визначених на основі семантичних зв'язків.

При цьому береться до уваги рівень відповідності відповіді студента до правильної та повної відповіді на поставлене завдання, а також час, витрачений на її пошук.

Даний алгоритм включає в себе загальну оцінку знань, оцінку по окремих темах та формування рекомендацій щодо подальших дій студента.

Навчальна система, побудована на основі описаного алгоритму, відноситься до систем підтримки, що реалізовані на основі методів об'єктно-орієнтовного аналізу та проектування і методології багатокритеріального прийняття рішень [92]. Згідно даної методики, аналітика пошуку рішення описується багатоцільовим функціоналом оцінювання:  $F = (F_1, F_2, F_3)$ , де  $F_1, F_2, F_3$  – локальні функціонали оцінювання, що відповідають студентським параметрам  $P_i$ .

При цьому багатокритеріальна модель задачі прийняття рішення описано кортежем  $\langle K, M, P, X, R \rangle$ , де  $K$  – послідовність навчальних квантів (навчальний курс);  $M$  – множина тестових завдань;  $P$  – сукупність студентських параметрів;  $X$  – множина прецедентів;  $R$  – навчальний режим, що описується обчисленим прецедентом  $X_i$ .

### 2.4.1. Структурна модель модуля тестування

Дидактичну задачу діагностики знань, умінь і навичок студента в навчальній системі виконує модуль тестування, функціями якого є проведення процедури контролю після вивчення окремої лекції, теми курсу чи всього курсу – (рис. 2.11) [73].

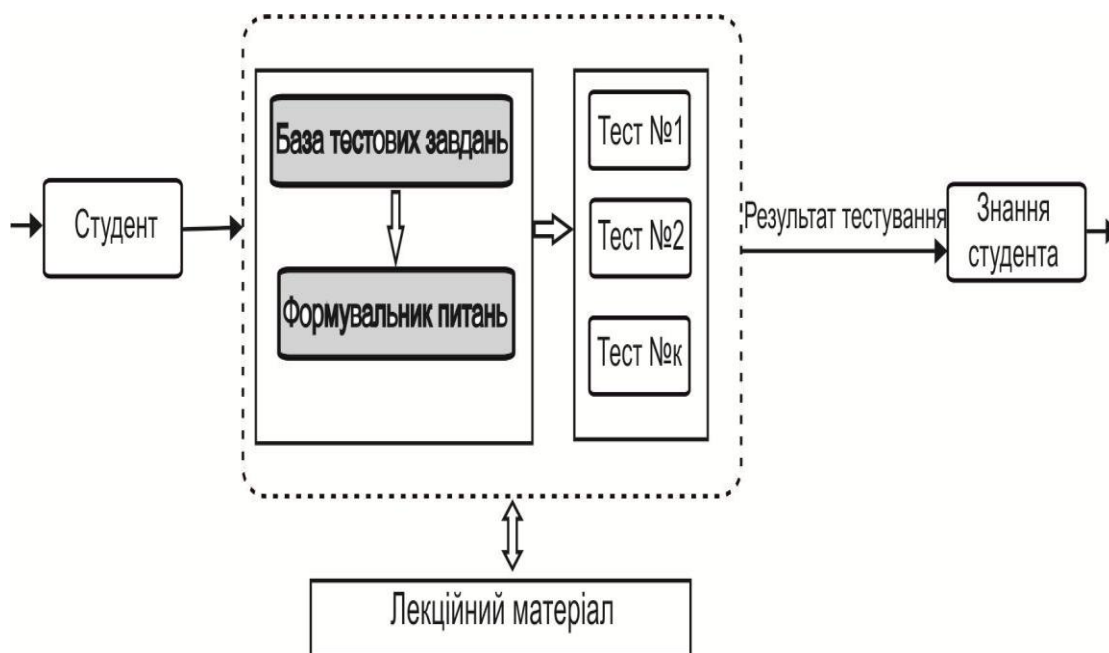


Рис. 2.11. Структура модуля тестування

Представлена модель і методи перевірки отриманого рівня знань охоплюють відомі підходи до процесу тестування та дозволяють генерувати сценарій тестування випадковим чином. В основі моделі лежить розроблена квантово-фреймова побудова предметної області (п. 2.2.1), а також класифікація тестових завдань відповідно до способу перевірки навчальної одиниці інформації.

На відміну від відомих аналогів, перевагами побудованої моделі є:

- простота та зрозумілість представлення тестових завдань;
- природна відповідність між тестовими завданнями та квантами інформації;
- зручність у розширенні тестових наборів;
- можливість використання різних типів завдань;



- прив'язаність тестових завдань виключно до теоретичного матеріалу, що вивчається.

На основі тестового контролю знань забезпечується встановлення зворотного зв'язку між студентом і системою. Це дозволяє системі оцінити динаміку засвоєння навчального матеріалу, поточний стан набуття студентом умінь і навиків та на основі їх аналізу внести відповідні корективи в організацію адаптивного процесу.

У системі запропоновано використання наступних типів питань:

- альтернативний – питання типу «Вірно / Невірно», тобто на які існують дві альтернативи відповідей «Вірно / Невірно» (Так / Ні, Істина / Хиба);
- тестові завдання з вибором однієї правильної відповіді – вибір однієї правильної відповіді із запропонованого списку варіантів;
- питання множинного вибору – вибір деякої кількості (наприклад, дві, три чи чотири) відповідей із запропонованого списку варіантів;
- коротка відповідь – введення із клавіатури правильної відповіді у вигляді одного слова (числа) чи словосполучення;
- питання на відповідність – встановлення відповідності між питаннями та варіантами відповідей.

Така система комп'ютерного тестування відповідає наступним вимогам [93]:

- простота підготовки тестових завдань (для створення завдань достатньо мінімальних навиків роботи з комп'ютером);
- широкий діапазон застосування (можливість підготовки тестів на основі широкого спектру дисциплін);
- зручна система управління базами тестових завдань (видалення, додавання, об'єднання баз завдань);
- наявність системи збору й обробки статистичної інформації за результатами тестування;
- простота організації оперативного контролю знань;

- зручні допоміжні засоби розв'язування задач (наприклад, наявність вбудованого мікрокалькулятора з розширеними можливостями);
- вбудовані мультимедійні можливості;
- незначні системні вимоги до апаратного та програмного забезпечення.

Таким чином, модуль комп'ютерного тестування дозволяє не тільки визначити числову оцінку засвоєних вмінь та навичок студента, а створити структурну модель його поточних знань, що в подальшому використовується адаптивною системою для побудови індивідуальної траєкторії навчального процесу.

#### 2.4.2. Побудова моделі тестування на основі квантового розбиття навчального контенту

Модель тестування, яка призначена для діагностики набутого рівня навченості студента та визначення прогалів у його знаннях, побудована на наступних твердженнях [7]:

- між квантами та тестовими питаннями встановлені двохнаправлені зв'язки;
- зв'язок квант-тестове питання служить для визначення оцінки вивчення цього кванта, тобто для перевірки набутих знань;
- зв'язок тестове питання-квант специфікує навчальний матеріал, знання якого необхідне для визначення позитивної відповіді на тестове питання та використовується для переходу до відповідних вершин графа у випадках помилок чи виникненні ускладнень. Тобто, даний зв'язок визначає зміст навчальної дії.

У випадках, якщо відповідь на тестове завдання спирається на декілька квантів, то прив'язку до тестового завдання встановлюють по останньому кванту, поданому на вивчення (рис. 2.12).

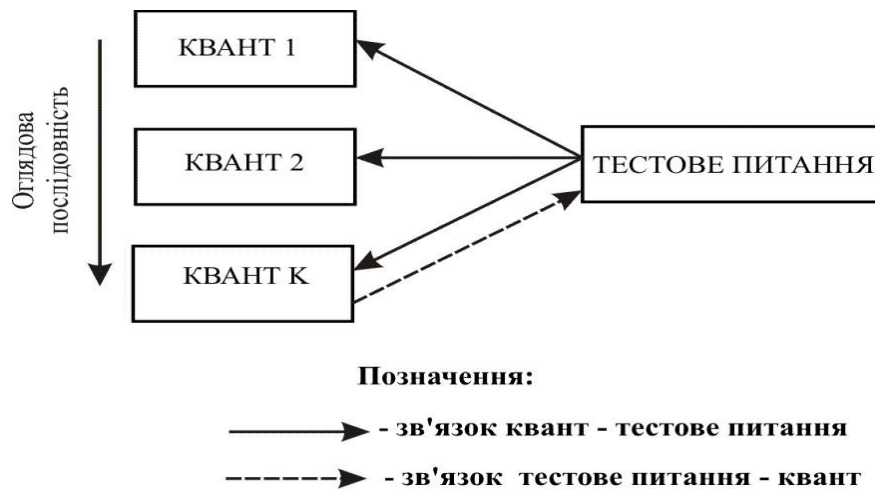


Рис. 2.12. Прив'язка квантів та тестових питань

Це обумовлено тим, що кванти представлено на вивчення у вигляді оглядової послідовності і при переході до вивчення наступного кванту береться до уваги те, що вмістиме попередніх квантів уже засвоєно. На зв'язки тестове питання-квант таке обмеження не накладається і вони пов'язують тестове питання з всіма прив'язаними квантами, а не тільки з тим, яке безпосередньо викликає дане питання.

Між окремими квантами, як структурними елементами контенту, встановлені наступні типи відношень:

- тип частина (part-of) – це композиційне відношення, яке вказує на те, що перший квант є частиною другого;
- тип зв'язок (link) представляє існування зв'язку першого кванта з другим (наприклад, у вигляді гіперпосилання);
- тип передумова (prerequisite) означає, що перший квант повинен бути попередньо вивчений до вивчення другого кванту;
- тип блокатор (inhibitor) вказує на те, що перший квант не повинен вивчатися до тих пір, поки не буде вивчений інший.

Кінцевою метою тестування є визначення невивчених квантів та зв'язків між ними. В загальному тест розглядається як множина  $M = \langle Q_i, A_i, R_i \rangle$ , де  $Q_i$  – питання, що перевіряє вивчення кванта,  $A_i$  – множина можливих варіантів відповідей, одна з яких вірна,  $R_i$  – посилання на текстове (графічне, формульне і т.д.) представлення кванта (рис. 2.13) [73].

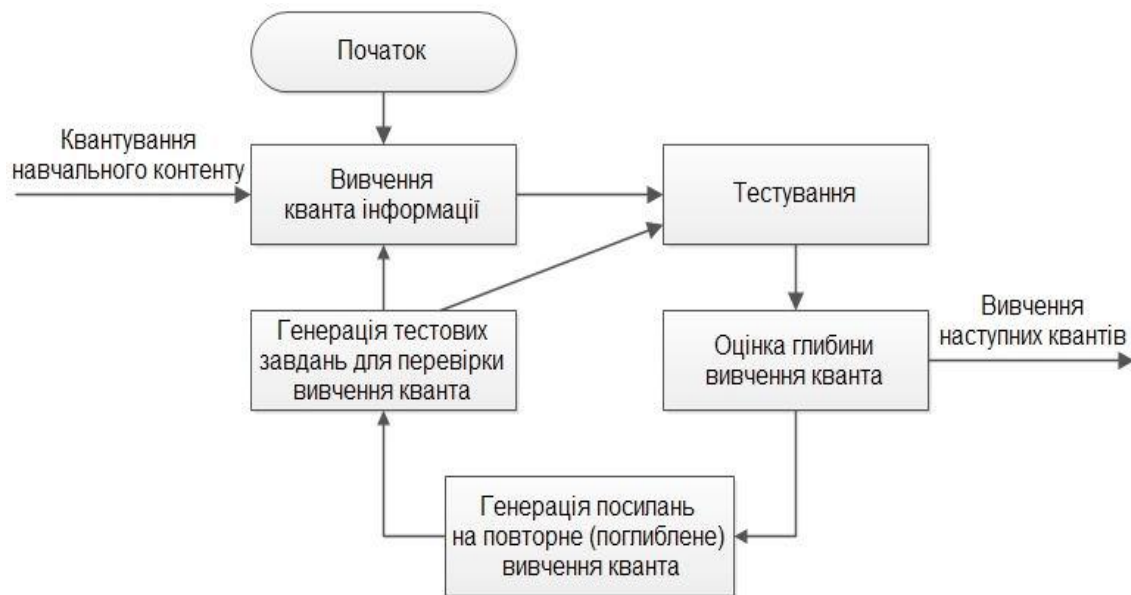


Рис. 2.13. Схема вивчення навчального кванта

Окремі тестові питання можуть бути пов'язані не тільки з квантами теми (лекції), що вивчається, а також із зовнішніми квантами з інших тем (лекцій). Встановлення подібних зв'язків між квантами дає змогу розглядати їх як самостійні інформаційні об'єкти. Це спрощує представлення складно-структурованого навчального матеріалу та забезпечує можливість динамічного маніпулювання їхніми зв'язками в процесі навчання.

Згідно результатів тестування, кожний  $i$ -ий квант характеризується наступними статистичними показниками:

- вага кванта;
- показник успішності по кванту;
- кількість тестових питань, в яких фігурує цей квант;
- кількість правильних відповідей по даних тестових питаннях;
- кількість помилок, допущених при відповіді на ці питання.

На основі даних показників формується множина квантів, яка розбивається на класи, кожен з яких відповідає поточному стану засвоєних знань. Дані класи використовуються навчальною системою для формування навчального контенту з метою проведення повторного чи поглибленого напрямку продовження навчання.

В загальному весь навчальний курс представлено у вигляді конкатенації квантів. При цьому квант  $k_i$  визначає квант  $k_j$ , якщо  $k_j$  слідує за змістом або логічно з  $k_i$ , тобто  $k_i$  використовується при вивченні  $k_j$ .

Квант  $k_i$  може безпосередньо визначати квант  $k_j$ , тобто мати безпосереднє використання при вивченні  $k_j$  (позначаємо  $k_i \rightarrow k_j$ ), або може бути опосередковано використаний через послідовність квантів  $k_{i_1}, k_{i_2}, \dots, k_{i_y}$  таких, що в цій послідовності наступний квант безпосередньо визначається попереднім. Якщо декілька квантів  $k_{i_1}, k_{i_2}, \dots, k_{i_y}$  використовуються при вивченні кванта  $k_j$ , то цьому відповідає запис  $k_{i_1} \cdot k_{i_2} \cdot \dots \cdot k_{i_y} \rightarrow k_j$ .

На описаній таким чином множині квантів  $K = \{k_1, k_2, \dots, k_l\}$  визначені декілька бінарних відношень:

1) бінарне відношення  $P_K$  на множині  $K: (k_i, k_j) \in P_K, 1 \leq i, j \leq l, i \neq j$  тоді і тільки тоді, коли квант інформації  $k_i$  повинен бути вивчений до вивчення кванта  $k_j$ . Це відношення являє собою орієнтований антициклічний граф та визначає послідовність вивчення окремих квантів. Воно задається квадратною матрицею  $\|k_{ij}\|$ . Якщо для вивчення  $i$ -го кванта необхідне знання  $j$ -го кванта, то  $k_{ij} = 1$ , інакше  $k_{ij} = 0$ .

2) бінарне відношення  $S_K$  на множині  $K: (k_i, k_j) \in S_K, 1 \leq i, j \leq l, i \neq j$  тоді і тільки тоді, коли квант  $k_i$  є складеною одиницею інформації, в яку входить квант  $k_j$ . Відношення  $S_K$  визначає семантичні зв'язки між квантами.

Множину тестових завдань представлено як  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_r\}$ . Тоді на множинах  $K$  та  $M$  визначені наступні відношення:

1) відношення  $K_m$  на множині  $K \cup M$ : пара  $(k_i, m_j) \in K_m, 1 \leq i \leq l, 1 \leq j \leq r$ , тоді і тільки тоді, коли для засвоєння кванта  $k_i$  необхідно виконати завдання  $m_j$ ;

2) зворотнє (обернене) відношення  $M_k$ : пара

$(m_j, k_i) \in M_k$ ,  $1 \leq i \leq l$ ,  $1 \leq j \leq r$ , якщо при виконанні завдання  $m_j$  відбувається засвоєння кванта  $k_i$ .

Очевидно, що з кожним квантом  $k_i$  пов'язана деяка підмножина завдань  $M(k_i)$ , потужність якої позначимо як  $r_i = |M(k_i)|$ .

Підмножина  $K_g$ :  $K_g \in K_m$ ,  $g \leq m$ , елементам якої відповідає максимальна вага квантів формує тезаурус навчальної області, оскільки кожен такий квант визначається ключовим словом чи фразою.

Такий підхід дає можливість сформулювати у студента з набору розрізнених факторів та відомостей пов'язану структуровану модель навчального фрагменту предметної області.

Подальше вдосконалення побудованої моделі, направлене на підвищення ефективності проведення дистанційного адаптивного навчання та тестового контролю знань потребує вирішення таких задач:

- введення класифікації квантів інформації;
- автоматична побудова змістовних зв'язків між квантами;
- автоматичне формування тестових питань відповідно до квантового розбиття навчального контенту.

Це складає перспективу подальших досліджень.

## 2.5. Висновки

1. На основі класичної технології автоматизованого навчання синтезовано структуру, яка є основою для розробки загальної моделі адаптивної системи ДО. Перевагою такої моделі є використання поточних результатів із студентського модуля, на основі аналізу яких вибудовується подальша навчальна траєкторія руху користувача.

2. Вперше запропоновано модель предметної області, яка побудована на основі квантово-фреймової та графової моделі. Це дає можливість організувати ієрархічно-семантичне подання навчального контенту, що в

подальшому використовується як для безпосереднього управління навчальним процесом, так і для обґрунтованого вирішення питання про доцільність включення відповідних фрагментів знань у програму навчального курсу.

3. Досліджено процеси адаптації навчального контенту стосовно індивідуальних особливостей студента на основі оверлейної моделі користувача, що дозволяє організувати гнучке керування навчальною діяльністю у відповідності із початковим рівнем знань та його поточними успіхами.

4. Вперше побудовано модель тестування на основі IRT (сучасної теорії тестування) із використанням квантового розбиття навчального контенту шляхом встановлення тематичної та деталізованої прив'язки тестових завдань та квантів. Перевагою такої моделі є можливість визначення глибини незасвоєних квантів знань та їх ґрунтовний аналіз.

5. Розроблено алгоритм адаптивного формування навчального матеріалу, побудований шляхом застосування ітераційного пошуку ієрархічно- та семантично-пов'язаних інформаційних одиниць, що дозволяє обчислити як загальну оцінку знань студента, так і визначити сукупність квантів для пошуку прогалин у знаннях.

### РОЗДІЛ 3

#### РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ І АЛГОРИТМІВ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ НАВЧАЛЬНИМ ПРОЦЕСОМ

#### 3.1. Концептуальні характеристики адаптивного навчального модуля

##### 3.1.1. Розробка структурної схеми адаптивного модуля

Основою адаптивного управління розробленої навчальної системи є метод виведення за прецедентами (пошук за аналогіями, case-based reasoning) [94].

Аргументацію застосування даного методу виконано в роботі із застосуванням методу експертних оцінок [95].

Аналіз проведено на основі рішень 10-ти експертів стосовно оцінки застосування в моделюванні відомих математичних методів відповідно за 5-ма запропонованими критеріями (інформаційний, математичний, алгоритмічний, програмний, соціальний).

Приклад ранжування вагових коефіцієнтів по 1-му експерту представлено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Експертні оцінки 1-го експерта

Критерій Назва методу	Інформаційний	Математичний	Алгоритмічний	Програмний	Соціальний
Мережі Петрі	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
Мережа Байєса	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ланцюг Маркова	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Метод нейронних мереж	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
Метод графів	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
Метод прецедентів	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Матричний метод	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1



Таблиці ранжувань всіх інших 9-ти експертів подані в табл. 3.2– 3.10 (додаток В).

В результаті проведеного аналізу вагових коефіцієнтів отримано графік залежності експертних оцінок відповідно до запропонованих критеріїв по кожному математичному методу (рис. 3.1).

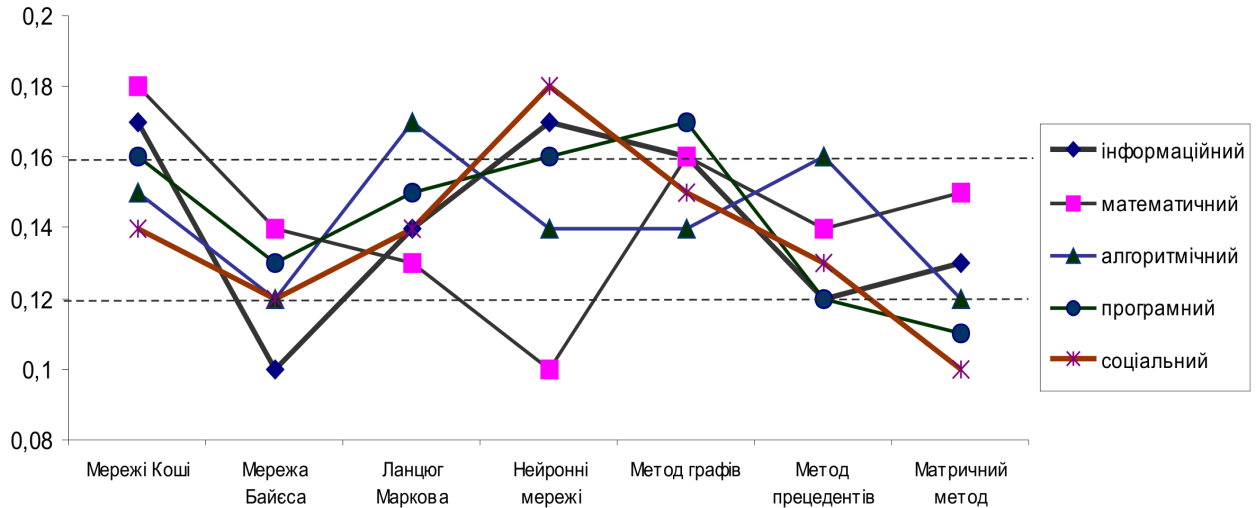


Рис. 3.1. Аналіз експертних оцінок

З метою встановлення міри відповідності рішень експертів проведено статистичний аналіз із застосуванням загального коефіцієнта рангової кореляції для групи експертів (коефіцієнта конкордації  $W$ ) [96].

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j}, \quad j = \overline{1, m}, \text{ де } m - \text{к-ть експертів};$$

$$S = m \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m r_{ij} - \bar{r})^2, \quad i = \overline{1, n} - \text{дисперсійний коефіцієнт, де } n - \text{к-ть методів};$$

$r_{ij}$  – ранг, присвоєний  $j$ -м експертом  $i$ -му методу;

$$\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{ij} - \text{оцінка математичного сподівання.}$$

$$T_j = \sum_{k=1}^{H_j} (h_k^3 - h_k) - \text{показник зв'язаності рангів в } k\text{-ому ранжуванні, } H_j -$$

число груп однакових рангів;  $h_k$  – число однакових рангів в  $k$ -ій групі зв'язаних рангів при ранжуванні  $j$ -м експертом.

За інформаційним критерієм проведені такі розрахунки (у додатку В

відображені в табл. 3.12, табл. 3.13):

$$1) \quad \bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m r_{ij} = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^{10} r_{ij} = \frac{10}{7} = 1,43.$$

$$2) \quad T_j = \sum_{k=1}^{H_j} (h_k^3 - h_k) = \sum_{k=1}^{10} ((3^3 - 3) + (4^3 - 4)) = 840,$$

оскільки в кожній  $k$ -ій групі існує дві пари зв'язаних (однакових) рангів (число однакових рангів 0,2 дорівнює 3, а число однакових рангів 0,1 дорівнює 4).

$$3) \quad S = m \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m r_{ij} - \bar{r} \right)^2 = 10 \sum_{i=1}^7 \left( \sum_{j=1}^{10} r_{ij} - 1,43 \right)^2 = 1158,9.$$

$$4) \quad W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j} = \frac{12 \cdot 1158,9}{10^2(7^3 - 7) - 10 \cdot 840} \approx 0,6.$$

Так як коефіцієнт конкордації дорівнює 1-ці, якщо всі ранжування експертів однакові, і дорівнює нулю, коли ранжування абсолютно різні, то для отриманого значення  $W = 0,6$  гіпотеза про узгодженість рішень експертів у ранжуваннях приймається. Тому можна стверджувати, що проведене експертне дослідження виконане в межах допустимих похибок.

На основі аналізу експертних оцінок встановлено, що ефективність застосування методу виведення за прецедентами, в порівнянні з відомими методами, знаходиться в границі інтервалів, що відповідають величинам допустимих похибок. Визначено перспективи вдосконалення цього методу шляхом застосування для аналізу методу різнорівневих алгоритмічних квантів знань та апарату математичної логіки.

Суть запропонованого методу полягає в тому, що під час навчання нового студента використовуються знання про ситуації чи випадки (прецеденти), які виникали раніше.

Математично даний метод дозволяє проаналізувати функціональні залежності між вхідними та вихідними параметрами навчального процесу, в результаті чого система адаптується до поточного рівня навченості студента.

Для формалізації методу необхідна послідовна реалізація наступних інформаційних процесів [89]:

1) вхідні параметри представлені масивом прецедентів, що накопичені як за рахунок змодельованих випадків, так і випадками з практики навчальної поведінки студентів:

$$X_i \rightarrow F_1[X_i, X_{i-1}, \dots, X_{i-j}, \dots, X_{i-n}], \quad (1)$$

$X_i$  – окремий прецедент. Дана сукупність утворює «базу прецедентів».

2) вихідні параметри формуються на основі інформації з багатопараметричної моделі студента, що описується:

а)  $G_i \rightarrow F_2[G_1, G_2, \dots, G_l]$  – характеристики, що описують початковий рівень розуміння студентом курсу, що вивчається;

б)  $P_i \rightarrow F_3[P_1, P_2, \dots, P_k]$  – параметри, що відображають поточний рівень набутих нових знань.

3) у випадку появи невідомої навчальної ситуації поведінки студента у системі відбувається пошук подібного прецедента, який використовується в ролі аналога з метою його адаптації до поточного випадку.

$$X_i \equiv X_{i-j} = F_4 \begin{bmatrix} 1, & j = j+0 \\ 0, & j = j+1 \end{bmatrix}, \text{ де } 1 \text{ – наявність прецедента } X_i \text{ в масиві (1),}$$

0 – відповідно відсутність прецедента  $X_i$  в масиві (1);  $j = j+1$  – нарощення бази прецедентів.

Після опрацювання нової ситуації, вона вноситься в базу прецедентів разом зі своїм вирішенням. Завдяки цьому база прецедентів інкрементно розширюється і у випадку ефективного застосування нового елемента для моделювання навчальної траєкторії студента, прецедент, який відповідає опису створеної ситуації, використовується в аналогічних випадках для інших студентів.

Тому, метод доцільно представити інформаційною технологією конвеєрного виконання функціоналів [89]:

$$F_{AH} = F_1(t) \Rightarrow F_2(t) \Rightarrow F_3(t) \Rightarrow F_4(t) \begin{cases} [j = j+0, & X_j \neq \{X_i, X_{i-1}, \dots, X_{i-j}, \dots, X_{i-n}\}] \\ [j = j+1, & X_j \equiv \{X_i, X_{i-1}, \dots, X_{i-j}, \dots, X_{i-n}\}] \end{cases}$$

Система, побудована за таким принципом є самонавчальною: чим більше прецедентів міститься в базі, тим ширший спектр їхніх можливих значень, тим вища ймовірність знайти найбільш адекватний прецедент за функціональними характеристиками та обчисленими параметрами, отже, вища якість прийнятого рішення [97].

Запропонований метод побудови адаптивної моделі відрізняється від відомих аналогів розширеними функціональними можливостями. Це пов'язано з тим, що в процесі ідентифікації моделі студента, представленої векторними кортежами, відбувається інкрементне розширення бази прецедентів через відсутність співпадання поточного вектора студентської моделі з векторами, які описують окремий прецедент.

При цьому продовження навчального процесу відбувається в одному з трьох режимів: перенавчання, донавчання та навчання [2]. Кожен із режимів представлений множиною прецедентів, які дозволяють індивідуалізувати та диференціювати процес засвоєння знань. Це описується системою кортежів:

$$(R_1 - R_3) = \begin{cases} R \in R_1, & (n_1, n_2, \dots, n_k) \\ R \in R_2, & (m_1, m_2, \dots, m_l) \\ R \in R_3, & (g_1, g_2, \dots, g_r) \end{cases}$$

де  $n_1, n_2, \dots, n_k$  – послідовність навчальних кроків для забезпечення виконання режиму перенавчання;  $m_1, m_2, \dots, m_l$  – послідовність навчальних кроків для забезпечення виконання режиму донавчання;  $g_1, g_2, \dots, g_r$  – відповідно послідовність навчальних кроків для забезпечення виконання режиму навчання;  $R_1, R_2, R_3$  – відповідно режим перенавчання, донавчання та навчання [89].

Описаний підхід дозволяє інтегрувати знання, представлені в предметній області, в механізм синтезу рішення щодо можливого вибору

напрямку продовження навчального процесу. Це дає можливість у порівнянні з відомими методами прискорити процес вивчення студентом окремих порцій інформації та підвищити якість навчання.

В роботі [98] автором запропоновано загальну структурну схему управління навчальним модулем, яка компактно відтворює процес отримання нових знань студентом з врахуванням найбільш важливих компонентів системи дистанційної освіти: представлення навчального контенту, перевірка знань, адаптивний модуль. Особливістю такої структури є те, що адаптивний модуль постійно вносить корективи в формування контенту навчальної інформації в залежності від поточних результатів перевірки отриманих знань. В результаті цього на вхід адаптивної програми поступає нова порція навчальних знань (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Структурна схема управління навчальним процесом

### 3.1.2. Формалізація та побудова часових епюр засвоєння квантів інформації

Для вивчення окремого кванта інформації  $k_i$  вагою  $\beta$  студенту надається певний проміжок часу  $\tau$ . Тому, в залежності від тривалості вивчення кванта  $k_i$ , студент може вивчити різний процент його знань, що визначається функцією залежності рівня засвоєння кванта від тривалості вивчення. Так, на рис. 3.3 показано графічне представлення індивідуальних траєкторій вивчення одного й того самого кванта трьома різними студентами [89].

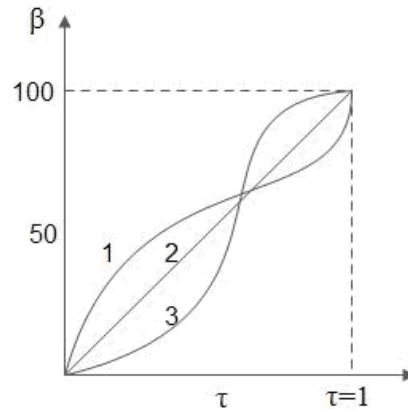


Рис. 3.3. Графік залежності вивчення кванта інформації від часу

В загальному статистика засвоєння окремої порції знань у різних студентів відрізняється. Для подальшої побудови епюр засвоєння квантів розглянемо частковий випадок: беремо до уваги функцію засвоєння знань на інтервалі одного кванта лінійною (траєкторія 2 на рис. 3.3), що відповідає середній статистиці вивчення різних квантів і різних студентів.

Систематизуємо можливі випадки вивчення квантів знань на основі часових епюр засвоєння квантів інформації (ЗКІ) [99]:

1. Кванти знань подають на вивчення без розриву в часі  $\Delta\tau = 0$ :

а) тривалість вивчення кванта однакова, ступінь засвоєння кванта однаковий (рис. 3.4).

$$W_v = \left\{ \begin{array}{l} n = const \\ \tau = const \\ \beta = const = 100\% \\ \Delta\tau = 0 \end{array} \right\}$$

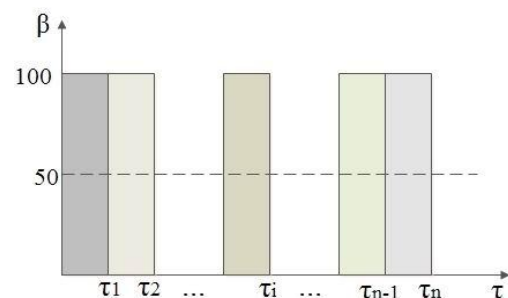


Рис. 3.4. Епюри ЗКІ для випадку 1 а)

б) тривалість вивчення кванта різна, ступінь засвоєння кванта однаковий (рис. 3.5).

$$W_v = \left\{ \begin{array}{l} n = const \\ \tau = var \\ \beta = const = 100\% \\ \Delta\tau = 0 \end{array} \right\}$$

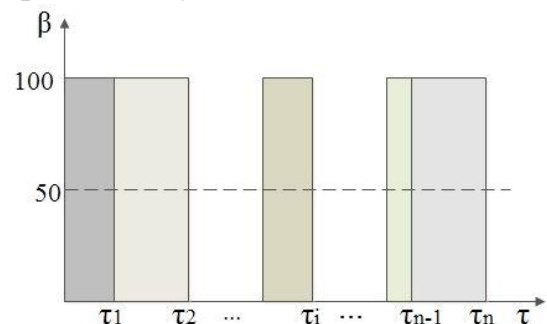


Рис. 3.5. Епюри ЗКІ для випадку 1 б)

в) тривалість вивчення кванта різна, ступінь засвоєння кванта різний (рис. 3.6).

$$W_v = \left\{ \begin{array}{l} n = const \\ \tau = var \\ \beta = var \\ \Delta\tau = 0 \end{array} \right\}$$

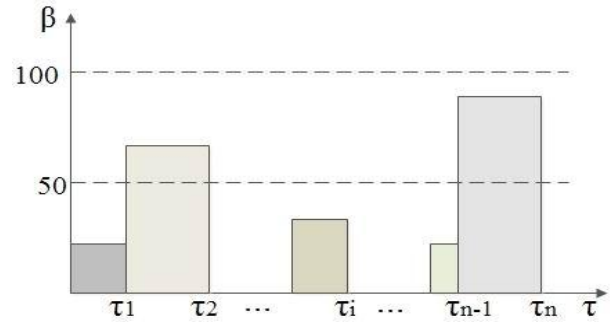


Рис. 3.6. Епюри ЗКІ для випадку 1 в)

Кванти знань за часовими епюрами визначаються згідно вагового зваженого коефіцієнта вибіркового математичного сподівання  $M_v$ . Для описаних випадків коли  $\Delta\tau = 0$  він обчислюється згідно виразу:

$$M_v = \frac{1}{n} \sum_i^n k_i \beta_i, \quad (3.1)$$

де  $k_i$  – вага кванта,  $\beta_i$  – фактичний відсоток засвоєння кванта,  $n$  – кількість квантів;

2. Кванти знань подають на вивчення із розривом в часі  $\Delta\tau \neq 0$ :

а) тривалість вивчення кванта однакова, ступінь засвоєння кванта однаковий (рис. 3.7).

$$W_v = \left\{ \begin{array}{l} n = const \\ \tau = const \\ \beta = const = 100\% \\ \Delta\tau \neq 0 \end{array} \right\}$$

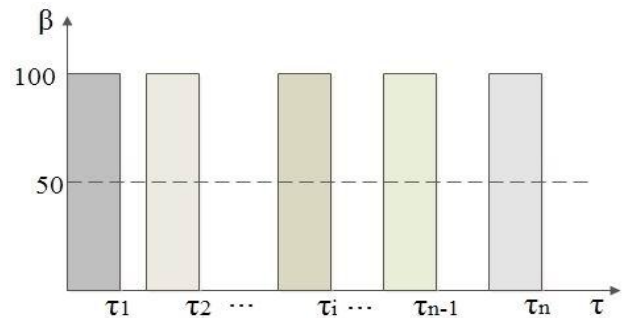


Рис. 3.7. Епюри ЗКІ для випадку 2 а)

б) тривалість вивчення кванта різна, ступінь засвоєння кванта однаковий (рис. 3.8).

$$W_v = \left\{ \begin{array}{l} n = const \\ \tau = var \\ \beta = const = 100\% \\ \Delta\tau \neq 0 \end{array} \right\}$$

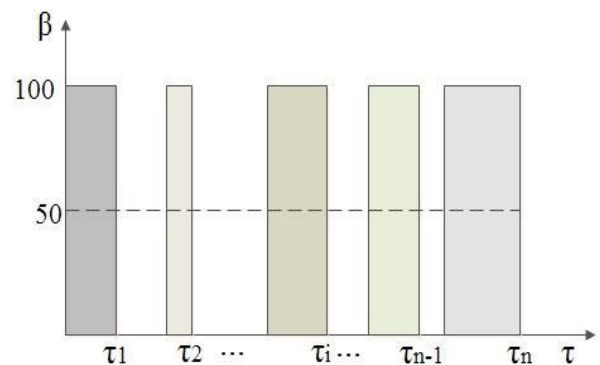


Рис. 3.8. Епюри ЗКІ для випадку 2 б)

в) тривалість вивчення кванта різна, ступінь засвоєння кванта різний (рис. 3.9).

$$W_v = \left\{ \begin{array}{l} n = const \\ \tau = var \\ \beta = var \\ \Delta\tau \neq 0 \end{array} \right\}$$

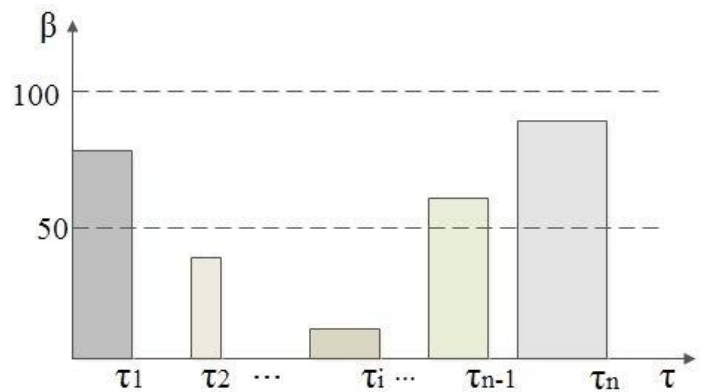


Рис. 3.9. Епюри ЗКІ для випадку 2 в)

Ваговий зважений коефіцієнт вибіркового математичного сподівання для описаних випадків коли  $\Delta\tau \neq 0$  обчислюється згідно виразу:

$$M_v = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{k_i \beta_i}{\tau_i}, \quad (3.2)$$

де  $\tau_i = \frac{m}{n}$ ,  $m$  – загальний час вивчення,  $n$  – кількість квантів.

Проведений аналіз епюр ЗКІ дає можливість систематизувати випадки засвоєння навчального контенту відповідно до ваги, тривалості та ступеня вивчення кванта, що вдосконалює навчальний процес шляхом підвищення інформаційної наповненості квантів.

Розроблені моделі є основою для створення програмного забезпечення комп'ютерної системи, призначеної для проведення дистанційного навчання.

### 3.2. Розробка моделі адаптивного процесу

Адаптивний модуль виконує функції управління навчальною поведінкою студента на основі алгоритму, який описує процеси засвоєння інформаційних квантів. На всіх етапах навчального процесу вихідними даними для адаптивного модуля є результати тестування студентів. На основі кількісних та якісних характеристик, що відображають поточний рівень засвоєних знань, блок прийняття рішень направляє навчальний процес за одним із режимів (перенавчання, донавчання чи навчання). При цьому



використовуються предикатні правила, кожне з яких представлено відповідним прецедентним моделюванням навчальної ситуації [100].

Процедура управління результатами тестування виконує функції обходу моделі семантичної мережі предметної області навчального матеріалу, забезпечуючи відображення результатів тестування та збереження їх в електронному журналі системи.

Блок прийняття рішення в якості засобу адаптивного управління використовує оверлейну модель студента, представлену множиною параметрів  $P\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ . Кожен з параметрів  $P_i$  відображає кількісний чи якісний показник оцінки поточного рівня засвоєних вмінь та навичок.

Рішення щодо вибору сценарію (режиму) навчання система приймає на основі аналізу вектора  $P\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$  та матриці  $W$ , яка представляє множину прецедентів всеможливих траєкторій продовження навчального процесу. При цьому вирішується складна багатокритеріальна задача вибору найкращої альтернативи для досягнення навчального ефекту вивчення курсу.

Програмна реалізація описаних кроків адаптивного модуля в навчальній системі здійснюється за допомогою формалізації наступних теоретичних основ:

- графове представлення адаптивного процесу;
- теорія мультимножин на основі квантового розбиття навчального контенту з метою визначення глибини засвоєння кванта;
- методи кластерного аналізу та апарат математичної логіки для проведення групування студентів та визначення режиму навчання.

Це дає можливість автоматизованій системі побудувати індивідуальну адаптивну траєкторію вивчення навчального курсу, що базується на розбитті (групуванні) студентів відповідно до режиму навчання та наповнення навчального курсу інформаційними квантами, по яких під час тестування виявлено прогалини у знаннях.

### 3.2.1. Графове моделювання адаптивного процесу

Моделювання адаптивного процесу виконано із застосуванням теорії графів [101]. При цьому використано орієнтований граф  $G = \langle V, U \rangle$ , де  $V$  – множина вершин,  $U$  – множина ребер, причому ребро між вершинами  $V_1$  та  $V_2$  існує тоді, коли визначений змістовний чи ієрархічний зв'язок між цими вершинами.

Множину вершин представлено як  $V = \langle K, P, W \rangle$ ,

де  $K = \langle K_1, \dots, K_n \rangle$  – множина квантів, що вивчаються,  $n$  – кількість квантів;  $P$  – тип кванта (текст, формула, малюнок, таблиця і т.д.);  $W \in \{0..1\}$  – вага кванта.

В свою чергу множину зв'язків між вершинами представлено як

$$U = \langle V_b, V_d, S \rangle,$$

де  $V_b$  – батьківська вершина;  $V_d$  – дочірня вершина;  $S = \{S_q\}$  – тип зв'язку  $q = 1, 2, 3$ ; де  $S_1$  – зв'язок типу «частина-ціле» (агрегація), показує, що квант дочірньої вершини є частиною складеного кванта батьківської вершини;  $S_2$  – зв'язок типу «асоціація», означає, що для знання кванта батьківської вершини необхідно знати квант дочірньої вершини;  $S_3$  – «слабкий» зв'язок, тобто для знання кванта батьківської вершини знати квант дочірньої вершини бажано, але не є необхідною умовою.

Така модель дозволяє ефективно керувати процесом навчання з мінімальними затратами часу та кількістю навчального матеріалу.

Нехай досліджуваний процес відбувається в дискретні моменти часу  $t = 0, 1, 2, 3, \dots$ . Припустимо, що кожна  $i$ -а вершина в ході процесу набуває значення  $z_i(t)$ , тоді значення  $z_i(t+1)$  визначатиметься значенням  $z_i(t)$  і значенням суміжних вершин графа, які можуть бути збільшені або зменшені, що можна записати наступним чином:  $z_i(t+1) = z_i(t) + \sum u_{ji} p_j(t)$ , де  $u_{ji} = u(v_j v_i)$  –

вага ребра з вершини  $v_j$  до вершини  $v_i$ ;  $u_{ji} = 0$ , якщо ребро  $v_j v_i$  відсутнє;  
 $p_j(t)$  – зміна у вершині  $v_j$  в момент часу  $t$ .

Підсумовування ведеться по всіх  $j$ -х вершинах.

При цьому, на одному рівні направлено графу  $G$  містяться навчальні кванти, які логічно не зв'язані між собою. Тобто на один рівень попадають вершини, між якими немає орієнтованого ребра (рис. 3.10).

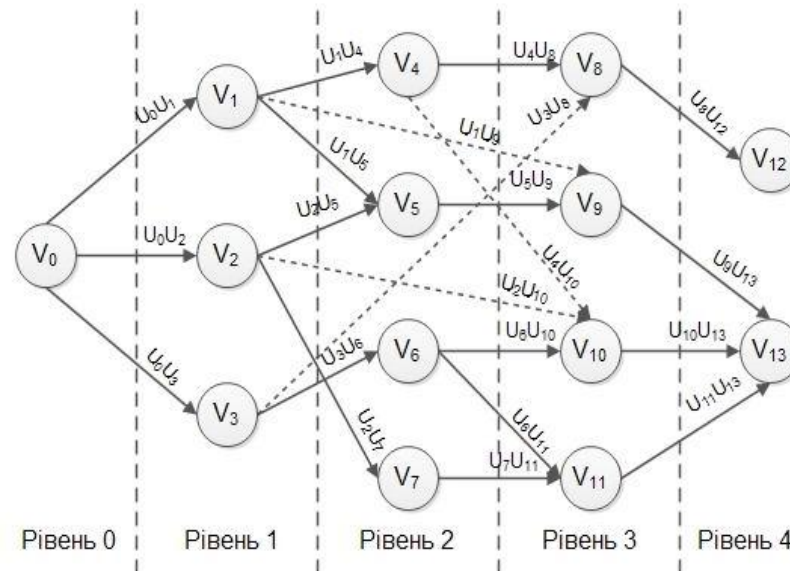


Рис. 3.10. Рівневе представлення графа  $G$

В подальшому вибудовуються всеможливі логічні послідовності вивчення квантів, а процес навчання представляється графом, який описує рух студента по рівнях з поступовим накопиченням нових знань.

Критерій вибору найбільш сприйнятливої для студента послідовності навчальних квантів залежить від структури навчального контенту, наявності зв'язків між окремими квантами та поточних результатів успішності. В результаті цього адаптивна система приймає рішення про продовження навчання згідно вибраного прецедента, в якості якого виступає сценарний приклад [3]. Кожен приклад характеризується своїм набором та порядком подачі навчальних квантів, зміст яких визначається на основі аналізу студентських параметрів, що описують рівень знань та вмінь студента. Функція вибору полягає в налаштуванні навчання на відповідний навчальний режим.

### 3.2.2. Навчальні етапи адаптивного процесу

Кожен процес адаптивної системи розбивається на два етапи: неформальний і формальний.

На першому кроці неформального етапу здійснюється ґрунтовний аналіз навчальних характеристик студента, що входять в початкову таблицю, та формування сценарних прикладів, які складають основу адаптивного механізму побудови навчальної траєкторії.

Другий крок передбачає підготовку вхідних даних для алгоритму навчання, представлених матрицею, кожен рядок якої містить інформацію про числові значення параметрів  $P_j$ , що отримані за результатами відповідей на  $j$ -те питання  $N_j$ -тесту.

На формальному етапі відбувається машинна обробка сформованої на попередньому етапі матриці за допомогою алгоритму навчання.

Даний алгоритм, задаючи порядок вивчення окремих квантів, забезпечує при цьому виконання наступних режимів [2]:

– «перенавчання» ( $R_1$ ) – отримано незадовільні результати тесту, виникає необхідність застосування прецедентних правил, що повертають навчальний процес на початок з можливим поглибленим поданням теоретичного матеріалу (наприклад, наповненням теорії наочними прикладами, схемами, малюнками, презентаціями тощо) і повторним підсумковим тестуванням;

– режим «донавчання» ( $R_2$ ) – результати тестування не достатньо високі. Необхідно розширити чи поновити вихідні прецеденти додатковими навчальними прикладами, що дозволять повторно вивчити запропонований матеріал і надати практичні поради та методичні рекомендації з проведенням повторного тестування;

– режим «навчання» ( $R_3$ ) – результати виконання тестування позитивні. Передбачено перенаправлення індивідуальної навчальної

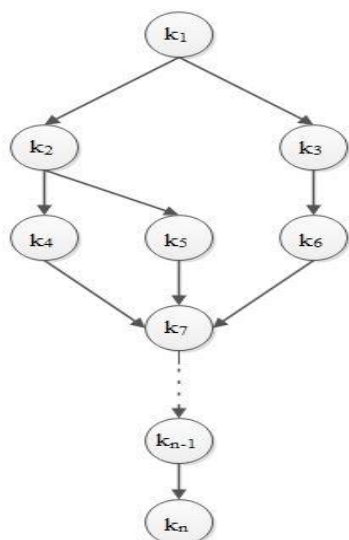
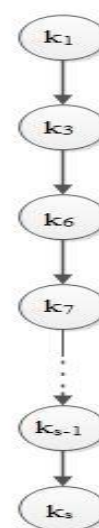
траєкторії студента на наступний крок або до заключного контрольного тестування.

У випадку багаторазового неуспішного вивчення матеріалу, що визначається певним пороговим значенням, відбувається перехід на попередні теми курсу, пов'язані із квантами поточної теми, по яких виявлено значні прогалини у знаннях студента. При перевищенні порогового значення невдалих спроб вивчення матеріалу подальше налаштування навчальної траєкторії відбувається шляхом втручання викладача, оскільки адаптивній системі на основі інтелектуальних алгоритмів не вдалось досягти рівня знань студента, достатнього для переходу до вивчення наступної теми.

### 3.3. Розробка та дослідження мультимножинної технології побудови моделі бази знань

Під час розробки навчального курсу формування лекційного матеріалу відбувається на основі найменших змістовних інформаційних одиниць – квантів. Тому процес засвоєння нових знань студентом розглянемо з позиції теоретико-множинного аналізу. Так, під час вивчення лекції  $L$  навчальний контент представляється підмножиною з  $n$  квантів множини  $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ . Кількість квантів, які засвоїв окремий студент, описується його власною множиною  $K'$ , що складається з  $s$  квантів, причому  $s \leq n$ . Тоді будь-який квант з множини  $K$  студент сприймає і розуміє за допомогою підмножини власних квантів  $K'$ . Представимо математично структуру квантів множини  $K$  за допомогою графа  $G$ , а множини  $K'$  засвоєних квантів об'єднаємо змістовними зв'язками в граф  $G'$  (рис. 3.11. а, б).

При цьому множина  $K'$  на відміну від  $K$  може бути пустою множиною  $\emptyset$ . У цьому випадку студенту необхідні додаткові роз'яснення, так як кванти  $k_i$  зрозумілі йому не повністю, або не зрозумілі зовсім, або зрозумілі не правильно.

Рис. 3.11.а. Структура графа  $G$ Рис. 3.11.б. Структура графа  $G'$ 

Таким чином, вхідна інформація подається студенту у вигляді графа квантів, що представляє собою багаторівневу структуру. Таке представлення забезпечує цілісне уявлення про навчальний матеріал, характеризуючи його при цьому більшою зв'язністю та структурованістю матеріалу і меншим об'ємом супутньої другорядної інформації [102].

Описані математичні структури, використовуючи нескладні операції з множинами, дозволяють визначити недостатньо засвоєні кванти інформації та внести необхідні зміни в подальший процес вивчення нових знань.

### 3.3.1. Метод оцінки результатів тестового контролю на основі мультимножинної технології

Рівень вивчення окремої лекції визначається системою за результатами тестування, кожне завдання якого перевіряє знання-незнання студентом окремого кванта.

Причому до кванта, як до інформаційної одиниці, прив'язано декілька тестових завдань. Тому в окремому тестовому наборі, як правило, існують декілька питань, що перевіряють ступінь засвоєння одного й того самого кванта інформації. Спираючись на теорію множинного підходу, виникає

потреба дослідження сукупності об'єктів, серед яких зустрічаються і однакові елементи.

Як відомо, структури, що досліджують сукупності елементів, які можуть повторюватись довільну кількість разів, називаються мультимножинами [8].

В теорії мультимножин поняття множини виступає частинним випадком, хоча певні класичні результати комбінаторики скінченних множин мають своє застосування і на мультимножинах.

Оскільки при побудові адаптивної навчальної програми, зокрема на етапі квантування навчального контенту, окремі навчальні кванти інформації утворюють сукупності елементів, які можна розглядати як скінченні мультимножини, тому теорію мультимножин використано в якості математичного апарату в задачі квантування для проектування та наповнення бази знань навчального контенту.

Розбиття навчального матеріалу курсу (теми) на найпростіші неподільні кванти інформації  $k_j, j=1,2,\dots,m$  дає можливість кожному тестовому набору  $t_i, i=1,2,\dots,n$  поставити у відповідність мультимножину  $T_i = \{k_1^{\lambda_{i1}}, k_2^{\lambda_{i2}}, \dots, k_m^{\lambda_{im}}\}, i=1,2,\dots,n$  квантів, які потрібно знати та вміти використовувати, роблячи потрібні висновки.

Нижче будемо розглядати тільки мультимножини, що складаються із скінченного числа елементів, тобто скінченні мультимножини.

На мультимножинах вводять операції, аналогічні до операцій на множинах [103]. При цьому всі позначення, введені для операцій над множинами, зберігають і для аналогічних операцій над мультимножинами. Якщо в мультимножині деякий елемент базової множини відсутній, то вважають, що його кратність в цій мультимножині дорівнює нулю. Позначимо через  $k_a(A)$  кратність елемента  $a$  в мультимножині  $A$ .

### 3.3.2. Реалізація методу визначення глибини засвоєння кванта

Припустимо, що для перевірки засвоєння курсу системою використовується  $s$  наборів тестових завдань. Тоді для встановлення незасвоєних квантів інформації необхідно проаналізувати мультимножину, яка є сумою мультимножин, що відповідають наборам тестових завдань з негативними відповідями. Очевидно, кванти інформації, що відповідають негативним відповідям із найбільшими показниками, не засвоєні, тому на повторне вивчення подається матеріал курсу, що базується на цих квантах.

Розглянемо загальний приклад для визначення незасвоєних квантів. При побудові наборів тестових завдань, як правило, в одному і тому ж наборі окремий квант інформації може бути перевірений за допомогою різної складності завдань довільну кількість разів. Припустимо, що в тестовому наборі  $t_1$  використовуються  $r_1$ -завдань, які перевіряють рівень знання кванта  $k_1$ ;  $r_2$ -завдань, які перевіряють рівень знання кванта  $k_2$  і т.д.;  $r_k$ -завдань – рівень знання кванта  $k_k$  (рис. 3.12) [104].

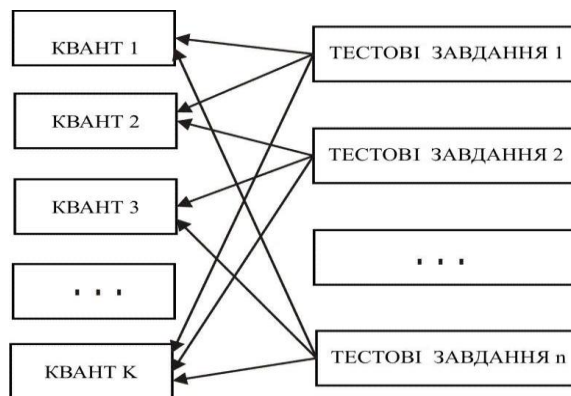


Рис. 3.12. Прив'язка тестових завдань та квантів

При цьому тестовому набору  $t_1$  відповідає мультимножина  $T_1$  з наступною первинною специфікацією [100]:

$$T_1 = \{k_1^{r_1}, k_2^{r_2}, \dots, k_k^{r_k}\},$$

яка визначає кратності повторень кожного з елементів.

Аналогічно тестовому набору  $t_n$  відповідає мультимножина  $T_n$ :

$$T_n = \{k_1^{m_1}, k_2^{m_2}, \dots, k_k^{m_k}\},$$



в якій засвоєння кванту  $k_1$  перевіряється  $m_1$  завданнями,  $k_2 - m_2$  завданнями, і т.д.,  $k_k - m_k$  завданнями.

За підсумками тестування для кожного студента формуються результуючі мультимножини  $T_{ci}$ , побудовані на основі квантів, прив'язаних до тестових завдань, по яких отримано негативні відповіді. Виконавши сумування початкових та результуючих мультимножин, а також нормування індексів при однакових номерах квантів, навчальна система шляхом визначення глибини засвоєння інформаційних одиниць для кожного студента формує індивідуальний контент для повторного чи поглибленого вивчення.

Реалізацію описаної технології розглянуто на прикладі вивчення теми «Бази даних та інформаційні системи». Під час засвоєння лекції «Моделі даних та концептуальне моделювання» навчальний матеріал розбито на кванти  $k_1, k_2, \dots, k_{10}$ , кожному з яких відповідає окремий параграф лекції (рис. 3.13) [8].

Вступ в бази даних. Історичні відомості про СУБД.

**Вступ**  
[0..100] [редагувати блок](#)

Сучасні технології баз даних є одним з визначальних факторів успіху в будь якій галузі знань. Починаючи від персональних баз даних, які зберігаються на персональних комп'ютерах, до великих інформаційних систем, які обслуговують велику кількість організацій та установ, по усьому світові на декількох сотнях комп'ютерів, їх важливість як економічних активів постійно зростає. Маркетинг, торгівля, виробництво, фінанси, бухгалтерській облік та менеджмент, наука та техніка постійно використовують бази даних для підвищення ефективності відповідних напрямків діяльності.

**1. Ведення в БД і СУБД**  
[0..100] [квант](#) [редагувати блок](#) [додати зв'язок з іншим блоком](#) [переглянути зв'язки](#)

У зв'язку з розвитком інформаційних ресурсів, появою нових інформаційних та інформаційно-пошукових систем з'явилась необхідність зберігати та опрацьовувати великі набори даних. Ефективна обробка даних ставить перед розробниками програмного забезпечення ряд задач, як організувати інформацію в пам'яті комп'ютерів, які операції по її обробці є найбільш зручними та потрібними. Розвиток методів розв'язання таких задач привів у 60-х роках ХХ століття до появи поняття бази даних, яке є одним із центральних в інформатиці.

**1.1. Означення БД**  
[0..100] [квант](#) [редагувати блок](#) [додати зв'язок з іншим блоком](#) [переглянути зв'язки](#)

Під Базою даних (БД) розуміють впорядкований набір логічно взаємопов'язаних даних, що використовуються спільно, та призначені для задоволення інформаційних потреб користувачів. Головним завданням БД є гарантоване збереження значних обсягів інформації та надання доступу до неї користувачеві або ж прикладній програмі. Таким чином БД складається з двох частин: збереженої інформації та системи управління нею. З метою забезпечення ефективності доступу записи даних організують як множину фактів (елемент даних).

Рис. 3.13. Вікно квантового представлення лекційного матеріалу

Для перевірки рівня засвоєння даної лекції в навчальній системі розроблено 50 тестових завдань. Окремий тестовий набір, за яким проводилося тестування, налічував 15 запитань, кожне з яких прив'язане до

відповідного кванта  $k_i$ .

Подальше налаштування навчальної траєкторії адаптивна система здійснює за результатами проведених трьох тестувань:

- 1) початкове тестування (проводиться після вивчення лекційного матеріалу);
- 2) поточне тестування (після виконання додаткових практичних завдань);
- 3) підсумкове контрольне тестування.

Результати тестування студента  $A$  представлено трьома наборами тестових завдань  $t_i$ , кожному з яких відповідає мультимножина  $T_i$  квантів  $k_i$ , знання яких перевіряється відповідним тестовим питанням:

$$t_1 \rightarrow T_1 = \{k_1^1, k_2^2, k_3^1, k_4^1, k_5^2, k_6^1, k_7^2, k_8^1, k_9^3, k_{10}^1\},$$

$$t_2 \rightarrow T_2 = \{k_1^3, k_2^3, k_3^1, k_5^3, k_6^2, k_7^1, k_9^1, k_{10}^1\},$$

$$t_3 \rightarrow T_3 = \{k_1^2, k_2^2, k_3^1, k_4^2, k_5^2, k_7^2, k_8^2, k_9^1, k_{10}^1\}.$$

Індекси над квантами визначають кратності повторень тестових питань, що перевіряють засвоєння відповідного кванта в окремому тестовому наборі.

Оскільки, на мультимножинах зберігається операція додавання, то, застосувавши сумування до мультимножин  $T_i$ , визначають максимально можливу кількість повторень тестових питань стосовно кванта  $k_i$  у всіх наборах тестів:

$$\sum_1^3 T_i = \{k_1^1, k_2^2, k_3^1, k_4^1, k_5^2, k_6^1, k_7^2, k_8^1, k_9^3, k_{10}^1\} + \{k_1^3, k_2^3, k_3^1, k_5^3, k_6^2, k_7^1, k_9^1, k_{10}^1\} + \{k_1^2, k_2^2, k_3^1, k_4^2, k_5^2, k_7^2, k_8^2, k_9^1, k_{10}^1\} = \{k_1^6, k_2^7, k_3^3, k_4^3, k_5^7, k_6^3, k_7^5, k_8^3, k_9^5, k_{10}^3\} \quad (3.1)$$

Після завершення тестування для кожного студента системою формуються результуючі мультимножини  $T_{ci}$ , які побудовані на основі квантів, що стосуються тестових завдань, по яких було отримано негативні відповіді.

Зокрема для студента  $A$ , який брав участь у дослідженні, системою сформовано наступні результуючі мультимножини  $T_{c1}$ ,  $T_{c2}$ ,  $T_{c3}$  (рис. 3.14) [8].

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10
Tc1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1
Tc2	0	1	0	0	2	0	1	0	0	0
Tc3	1	0	1	1	1	0	1	2	1	1
	1	2	1	1	3	1	3	2	2	2

Рис. 3.14. Прив'язка неправильних відповідей та квантів

$$T_{c1} = \{k_2^1, k_6^1, k_7^1, k_9^1, k_{10}^1\}, T_{c2} = \{k_2^1, k_5^2, k_7^1\}, T_{c3} = \{k_1^1, k_3^1, k_4^1, k_5^1, k_7^1, k_8^2, k_9^1, k_{10}^1\},$$

в кожній з яких індекс над квантом  $k_i$  вказує на кількість тестових питань, по яких отримано негативну відповідь стосовно кванта  $k_i$  в окремому тестовому наборі.

Сумування індексів при однакових номерах квантів дає можливість визначити, які кванти є найбільш суттєвими для повторного вивчення:

$$\sum_1^3 T_{ci} = \{k_2^1, k_6^1, k_7^1, k_9^1, k_{10}^1\} + \{k_2^1, k_5^2, k_7^1\} + \{k_1^1, k_3^1, k_4^1, k_5^1, k_7^1, k_8^2, k_9^1, k_{10}^1\} = \{k_1^1, k_2^2, k_3^1, k_4^1, k_5^3, k_6^1, k_7^3, k_8^2, k_9^2, k_{10}^2\}. \quad (3.2)$$

На заключному етапі адаптивна система проводить нормування сум (3.1) та (3.2) за методом ділення на максимум серед компонент.

Виходячи, наприклад, з норми 50 % незасвоєння навчального матеріалу, доведено, що в описаному прикладі для студента А системою формується матеріал для повторного вивчення, побудований на основі квантів  $k_7$ ,  $k_8$  та  $k_{10}$  (рис. 3.15) [8].

В загальному випадку, сума  $\sum_{i=1}^n T_i = \{k_1^{\mu_1}, k_2^{\mu_2}, \dots, k_m^{\mu_m}\}$  всіх мультимножин  $T_i$  є мультимножиною, у якій показники її елементів визначаються рівностями:

$$\mu_j = \sum_{i=1}^n \lambda_{ij}, \quad j = 1, \dots, m.$$

Залучення мультимножин до формування тестових завдань дає змогу також проаналізувати правильність складання тестових завдань та оцінити їх якість.

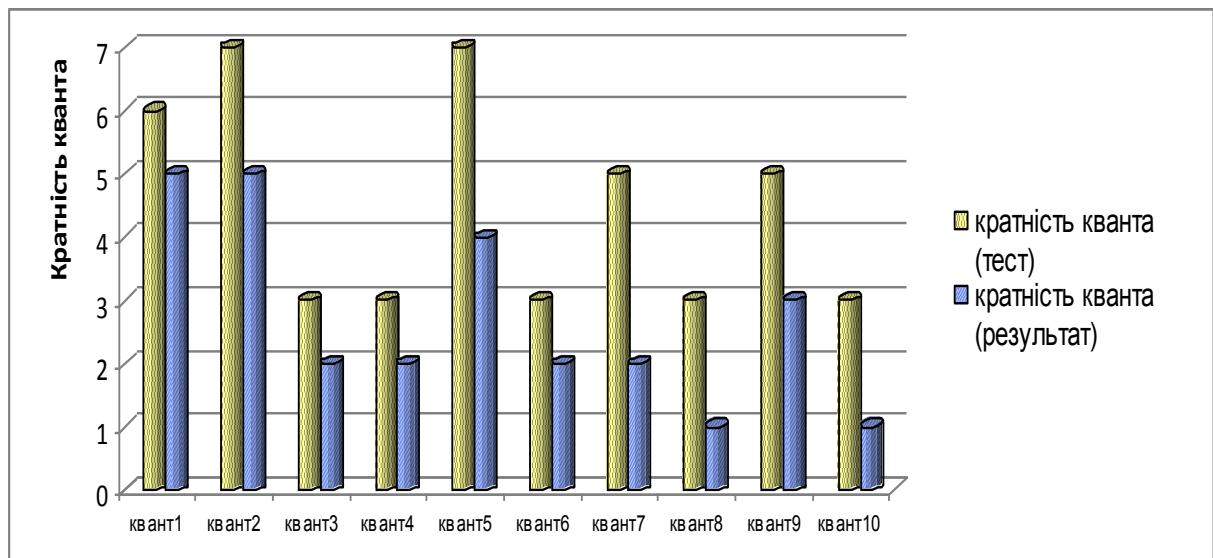


Рис. 3.15. Діаграма нормування мультимножин

Для визначення оцінки якості тестів використовується величина  $\mu = \sum_{i=1}^m \mu_i$ . Чим більшим є значення  $\mu$  для даного набору тестів, тим якіснішим, з точки зору перевірки знань, є такий набір.

Важливим показником при складанні тестових завдань є незалежність тестів. Якщо перетин двох мультимножин  $T_i \cap T_j = \emptyset$ , то тестові завдання  $t_i$  та  $t_j$ , яким відповідають мультимножини  $T_i$  та  $T_j$  вважаються незалежними, тобто вони спираються на різні кванти.

Якщо  $T_i \cup T_j = T_i$ , то тестовий набір  $t_j$  є несуттєвим, оскільки він аналогічний до  $t_i$ .

Для визначення повноти набору тестових наборів проводять аналіз множини  $P = \{k_1, k_2, \dots, k_m\} = \left[ \bigcup_{i=1}^n T_i \right]$ .

Якщо множина  $P$  порожня, то тестовий набір наповнено правильно, оскільки для його складання залучені всі кванти інформації. В інакшому випадку успішне проходження всіх тестових завдань не перевіряє знання деяких квантів інформації.

### 3.4. Розробка структури та дослідження інформаційної технології формування бази даних сценарних прикладів

На сьогодні відомо багато способів представлення прецедентів: від записів в базі даних, деревоподібних структур – до предикатів та фреймів.

В розробленій системі в якості прецедентів використано сценарні приклади навчальних знань (СПНЗ). Кожен приклад представлено предикатним правилом, яке являє собою окреме програмне рішення, подане математичними структурами, що відображають відношення між навчальними квантами (рис. 3.16) [8].

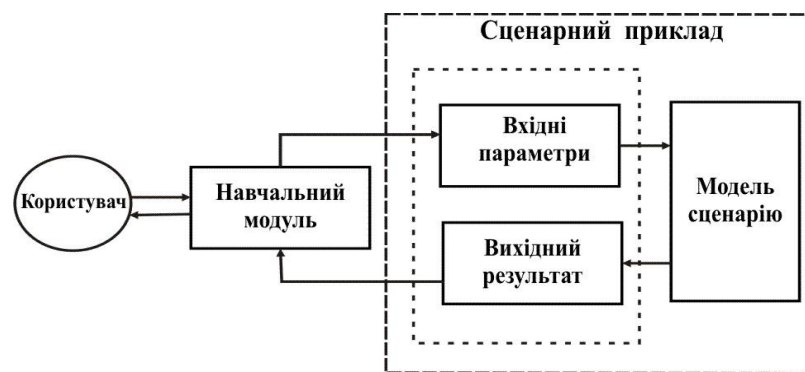


Рис. 3.16. Представлення сценарного прикладу в моделі навчальної системи

Такі сценарні приклади належать до експертних систем із прямим логічним виведенням і побудовані на твердженнях, що складаються із правил IF-THEN, фактів (значень студентських параметрів  $P_i$ ) та інтерпретатора, який визначає правило, що має бути активоване в залежності від фактів в поточний відлік часу.

Огляд існуючих навчальних систем та моделей студента показав, що для моделювання його навчальної поведінки використовуються різні студентські параметри: тип мислення, форма представлення знань, впевненість відповіді, загальний рівень знань, ступінь засвоєння, швидкість проходження, ступінь розуміння, швидкість забування, швидкість сприйняття, частота звернень за допомогою, глибина знань, витрачений час, ступінь деталізації, ймовірність засвоєння навчального матеріалу. Для побудови адаптивної траєкторії автором вибрано наступні 5 параметрів,

аналіз яких дозволяє системі максимально об'єктивно виявити прогалини у знаннях студента:

$P_1$  – загальний рівень засвоєння навчального матеріалу;

$P_2$  – глибина знань;

$P_3$  – ступінь засвоєння матеріалу;

$P_4$  – якість засвоєння матеріалу;

$P_5$  – час, витрачений на навчання.

Кожне окремо взяте продукційне правило після отримання вхідного рядка (антецедента) виробляє новий рядок (консеквент). Із групи продукційних правил будуються сценарні приклади, кожен з яких складається із одного чи декількох антецедентів та одного консеквента.

Наприклад :

1) рівень знань – «низький» → подати на опрацювання додаткові кванти знань;

2) ступінь засвоєння – «середній» → подати на опрацювання незасвоєні кванти знань;

3) рівень знань – «низький» І час проходження тесту – «високий» → повторне опрацювання тих самих квантів.

Тобто, кожний сценарний приклад має наступну структуру:

ЯКЩО  $P_1$  і  $P_2$  і ...  $P_j$ , ТО  $R_k$ ,

де  $P_i$  – студентські параметри,  $R_k$  – номер відповідного правила.

Вся сукупність сценарних прикладів представляє базу даних, що складається з різного роду прецедентів, кожен з яких містить множину посилань, що описують деяку навчальну ситуацію та множину дій, які необхідно виконати у випадку, якщо посилання будуть задоволені.

Кожен з параметрів  $P_i$  описується трьома термами: «низький», «середній», «високий». Кожен терм характеризується діапазоном значень з проміжку  $[0..1]$ ; «низький» –  $[0..0,4)$ , «середній» –  $[0,4..0,8)$ , «високий» –  $[0,8..1]$ .

Наведемо зразок побудови сценарних прикладів (табл. 3.14) [105].

Таблиця 3.14

Модель сценарних прикладів

ЯКЦО				ТО
$P_1$	$P_2$	...	$P_i$	$R_j, j=1,2,3$
$C$	$H$	...	$H$	$R_1 \rightarrow a$
...				...
$C$	$B$	...	$C$	$R_2 \rightarrow b$
...				...
$B$	$C$	...	$B$	$R_3 \rightarrow c$

де  $P_1, P_2, \dots, P_i$  – параметри оцінки засвоєння знань студентом;

$R_1, R_2, R_3$  – відповідно режим перенавчання, донавчання та навчання;

$B, C, H$  – відповідно «високий», «середній», «низький» значення параметра  $P_i$ ;

$a, b, c$  – ймовірності прийняття рішення про вибір навчального режиму, причому  $a, b, c \in [0..1]$ .

Кожен рядок табл. 3.14 представляє взаємозв'язки між можливими значеннями параметрів  $P_i$  та значеннями імплікації  $R_j$ , що відповідає режиму навчання. Запропонована модель дає можливість відобразити поточний рівень засвоєних знань у вигляді матриці, клітинки якої моделюють факти та навички, здобуті під час проведення навчального процесу.

Як доведено в теорії інженерії квантів знань [68], для вирішення практичних задач структурування інформації достатньо використовувати термінальні кванти трьох рівнів: 0-го рівня (число, символ) –  $\kappa_0$ , 1-го рівня (вектор) –  $\kappa_1$ , 2-го рівня (матриця) –  $\kappa_2$ .

Згідно визначення, квант 0-го рівня дорівнює [68]:

$$k_o \alpha = [V_k^{(p)}(\alpha_1 | \varphi(\alpha_1), \alpha_2 | \varphi(\alpha_2), \dots, \alpha_p | \varphi(\alpha_p))] = \alpha_k | \varphi(\alpha_k),$$

де  $V_k^{(p)}$  – функція вибору аргументу; значення  $\alpha_k$  з  $p$ -мірної сукупності значень  $\{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p\}$ .

Беручи до уваги те, що кожен з параметрів  $P_i$  визначений на множині  $\{B, C, H\}$ , відповідні кванти 0-го рівня для досліджуваної задачі представлено у вигляді:

$$k_{0_{i1}} = [P_{i1} | B], k_{0_{i2}} = [P_{i2} | C], \dots, k_{0_{ik}} = [P_{ik} | H], \quad (3.3)$$

кожен з яких визначає числове значення відповідного параметра  $P_i$ .

За допомогою термінального кванта 1-го рівня у формі векторного представлення математично описується окремий сценарний приклад:

$$k_{1_i} = [P_{i1} | B : P_{i2} | C : \dots : P_{ik} | H], \quad (3.4)$$

побудований на основі відповідних квантів 0-го рівня.

На основі формул (3.3), (3.4) наведені сценарні приклади (табл. 3.14) представлено у формі термінального кванта 2-го рівня [1], що спрощує подальше його опрацювання за допомогою формул математичної логіки:

$$k_2 R_j = \begin{bmatrix} P_1 | C : P_2 | H : \dots : P_i | H : R_1(\rightarrow) = a \\ \dots \\ P_1 | C : P_2 | B : \dots : P_i | C : R_2(\rightarrow) = b \\ \dots \\ P_1 | B : P_2 | C : \dots : P_i | B : R_3(\rightarrow) = c \end{bmatrix}, \quad (3.5)$$

кожен з рядків якого описаний відповідним квантом 1-го рівня [68].

В загальному квант (3.5) представляється продукційним записом вигляду:

$$(P_i | \varphi(P_i) \wedge (\vee) P_j | \varphi(P_j)) \rightarrow R_k | \varphi(R_k); \varphi((e_i \wedge (\vee) e_j) \rightarrow R_k) = \delta; (\delta = 0..1), \quad (3.6)$$

де  $P_i$  – позначення  $i$ -ої характеристики;  $\varphi(P_i)$  – числове значення показника достовірності (ПД)  $i$ -ої характеристики;  $R_k$  –  $k$ -ий наслідок імплікації;  $\varphi(R_k)$  – числове значення ПД  $k$ -го наслідку;  $\varphi((e_i \wedge (\vee) e_j))$  – позначення антецеденту імплікації  $e_i$  та  $e_j$  подій;  $\delta$  – числове значення ПД імплікації.

Продукційні рядки вигляду (3.6) використовують для створення матриці, яка слугуватиме вхідною інформацією для алгоритму навчання.



Таке трактування дозволяє розглядати розроблену модель як граф (рис. 3.17), вершинами якого виступають предикати, антецедентами яких є значення відповідних студентських параметрів  $P_i$ , а ребрами – операції, що виконуються над ними [5].

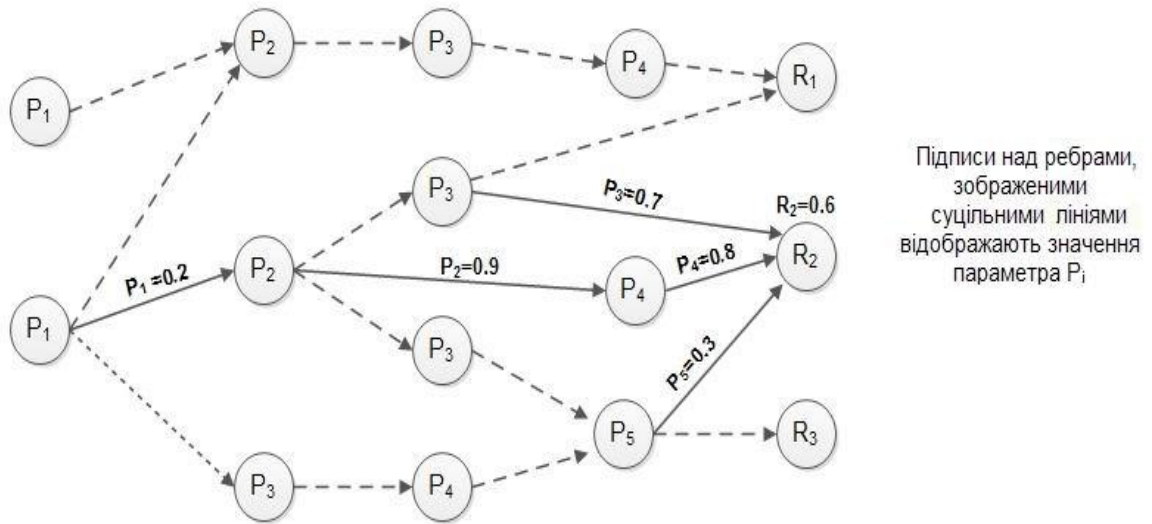


Рис. 3.17. Приклад реалізації графа побудови процесу навчання

Процес навчання полягає у переміщенні по ребрам від вершини до вершини аж до досягнення вершин, що відповідають за завершальні етапи вивчення. У тих випадках, коли процес пошуку набуває розгалуженого вигляду, рішення приймається на основі вагових коефіцієнтів, які експерти присвоїли різним ребрам.

Таку адаптивну модель представлено сукупністю вигляду:  $A = \{P, R, I, F\}$ , де  $P = \{P_1, \dots, P_k\}$  – множина студентських параметрів;  $R = \{R_1, R_2, R_3\}$  – множина режимів навчання;  $I = \{I_1, \dots, I_z\}$  – множина навчальних дій  $I_j$ , що відповідають режиму  $R$ ;  $F$  – функція (алгоритм), що визначає засобами математичної логіки номер режиму відповідно до стану студентської моделі  $P_k$ .

Запропонована технологія побудови індивідуальної адаптивної траєкторії навчання на базі методу різнорівневого алгоритмічного квантування знань надає можливість сформулювати структуру навчального матеріалу відповідно до початкового рівня знань та індивідуальних

характеристик студента. Перевага даного методу полягає в тому, що предикатно-аналітична і векторно-матрична форма представлення знань дозволяє здійснювати машинну обробку інформації засобами алгебри скінченних предикатів і алгоритмічних структур індуктивного пошуку.

### 3.5. Розробка методу групування студентів на основі матриці прецедентів

Запропонований метод полягає в тому, що за відомою множиною сценарних прикладів (прецедентних рішень)  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  та з використанням функції відстані між прецедентами  $P(X, X_i)$  вирішується задача кластеризації студентів на основі результатів перевірки поточного рівня їх знань.

#### 3.5.1. Побудова групування студентів з прив'язкою до режиму навчання

Стан окремого студента в момент часу  $t$  представлено у вигляді  $Y(t) = (M, K_n(t))$ , де  $M$  – модель студента, побудована на множині  $P_i$ ;  $K_n(t)$  – кількість квантів інформації, вивчених за час  $t$ .

Позначимо через  $Y(t), Y(t+1)$  – стан студента до і після взаємодії із системою. Адаптивну взаємодію системи із студентом визначено як  $U(t) = (H_k(t))$ , де  $H_k(t)$  – послідовність навчальних кроків.

Для оцінки результатів навчання побудовано множину класів станів студента відповідно до критеріїв  $Q = \{Q_l, Q_{pr}\}$ , де  $Q_l$  – клас, до якого відноситься стан студента після сеансу навчання;  $Q_{pr}$  – клас, якого можна було досягти за прогнозом навчальної системи.

Результатом навчання називають функцію  $I(t) = IP\{Q_l, Q_{pr}\}$ , де  $IP\{Q_l, Q_{pr}\}$  – функція оцінки якості навчання.

Таким чином, прецедент представляє собою наступний набір даних:

$$PR(t) = (Y(t), U(t), Y(t+1), I(t)).$$

Беручи до уваги те, що в основу дослідження моделі студента в роботі покладено аналіз 5-ти параметрів  $P_i$ , кожен з яких приймає значення з множини  $\{H, C, B\}$ , то загальна кількість можливих прецедентів  $N$  дорівнює:  $N = 3^5 = 243$ . Це значення отримано на основі комбінаторного принципу добутку про кількість заповнення 5-ти місць трьома елементами. З метою скорочення кількості прецедентів використана теорія розбиття натуральних чисел на цілі невід'ємні доданки, яка дозволяє побудувати 21 базовий прецедент та виконати групування по 5-ти категоріях (табл. 3.15) [107].

Таблиця 3.15

Групування студентів з прив'язкою до режиму навчання

№ пп	Гру па	$H + C + B = 5$	Ймовірність вибору режиму		
			$R_1$	$R_2$	$R_3$
1	1	5 0 0	0,9	0,05	0,05
2		4 1 0	0,8	0,1	0,1
3		3 2 0	0,6	0,3	0,1
4		2 3 0	0,3	0,6	0,1
5		4 0 1	0,8	0,1	0,1
6	2	3 1 1	0,6	0,2	0,2
7		2 2 1	0,4	0,4	0,2
8		2 1 2	0,4	0,2	0,4
9		1 4 0	0,1	0,8	0,1
10		1 3 1	0,2	0,6	0,2
11	3	0 5 0	0,05	0,9	0,05
12		0 4 1	0,1	0,8	0,1
13		0 3 2	0,1	0,6	0,3
14	4	1 1 3	0,2	0,2	0,6
15		1 2 2	0,2	0,4	0,4
16		0 0 5	0,05	0,05	0,9

17	5	0 1 4	0,1	0,1	0,8
18		1 0 4	0,1	0,1	0,8
19		0 2 3	0,1	0,3	0,6
20	6*	3 0 2	0,05	0,05	0,05
21		2 0 3	0,05	0,05	0,05

\* – клас неіснуючих (аномальних) прецедентів.

Побудоване групування на основі 5-ти категорій дає можливість системі управляти найбільш типовими (класичними) ймовірнісними переходами студента з одного навчального режиму в інший.

При побудові метрики в роботі використано:

1) метрику Евкліда  $d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (X_{ik} - X_{jk})^2}$  [106], для проведення

початкової кластеризації на основі визначення середньої різниці відстаней між параметрами  $P_i$ ;

2) модифікований метод кластерного аналізу із застосуванням контекстно-залежної метрики [70], орієнтований на розбитті об'єктів із залученням експертних знань.

У результаті експериментальних досліджень різних груп та студентів кожен параметр  $P_i$  проаналізований з точки зору впливу на загальний рівень знань студента та степінь зв'язку з іншими параметрами. Це дозволило визначити структуру відношень кожного класу (побудована матриця близькості між окремими класами) та ймовірності прийняття рішення про вибір навчального режиму перенавчання  $R_1$ , донавчання  $R_2$  чи навчання  $R_3$ .

Проведений кластерний аналіз дозволяє:

- розбити множину  $X_i$  прецедентів на класи подібних об'єктів, що спрощує процес реалізації системи;

- будувати навчальну траєкторію студента за групами, що дозволяє прискорити процес обробки навчальної інформації;

- зменшити об'єм даних, тобто скоротити кількість прецедентів, завдяки використанню тільки базових сценаріїв для кожного класу;

- виділити нетипові (неіснуючі) сценарії, що не використовуються у навчальному процесі та відносяться до класу аномальних прецедентів;
- виконати ієрархію на множині сценаріїв, що дозволяє реалізувати побудову індивідуальної адаптивної траєкторії навчання шляхом переведення студентів з нижчих класів ієрархії у вищі.

### 3.5. 2. Обробка матриці прецедентів із застосуванням математичної тризначної логіки

Використання двозначної логіки не дозволяє успішно виконати математичну обробку матриці прецедентів. Тому в роботі [6] запропоновано використати тризначну логіку для математичної обробки матриці та пошуку режиму  $R_j$ , що перенаправляє навчальну траєкторію на повторне чи поглиблене вивчення певної частини навчального контенту (рис. 3.18) [107].

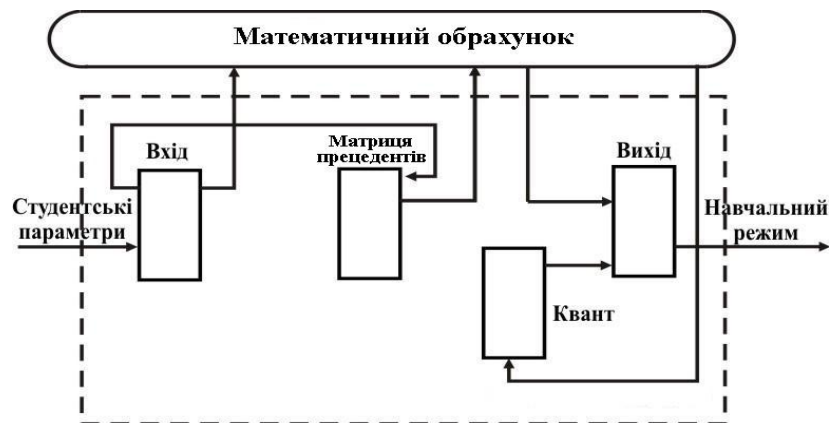


Рис. 3.18. Модель навчальної траєкторії студента

Оскільки у розробленій системі рівень оволодіння студентом навчальним матеріалом студентський модуль визначає на основі аналізу 5-ти параметрів  $P_i$ , кожен з яких приймає значення з множини  $M = \{B, C, H\}$ , то вводиться означення тризначного предиката  $P$  на множині  $M$  у вигляді 5-ти містної функції.

Для побудови тризначної математичної логіки використано тризначну логіку Я. Лукасевича [108]. В якості пропозиційних змінних вибрано описані змінні  $B, C, H$ , що відповідають значенням параметрів  $P_i$ .

Формули логіки висловлювань (пропозиційні формули) будують за допомогою введених пропозиційних змінних та формальних символів – дужок і знаків, що позначають операції над висловлюваннями:

$\wedge$  – кон'юнкція, операція «І»;  $\vee$  – диз'юнкція, операція «Або»;

$\rightarrow$  – імплікація, операція «Якщо..., То».

Пропозиційні формули будуються, починаючи з пропозиційних змінних, за допомогою наступного правила [109]:

«Якщо  $A$  і  $B$  являються формулами логіки висловлювань, то можна побудувати нові формули:  $(A \wedge B)$ ,  $(A \vee B)$ ,  $(A \rightarrow B)$ ».

Згідно з тризначною логікою [110], тризначним предикатом  $P$  розмірності  $n$  на множині  $M$  називають будь-яке відображення  $M^n$  на множині  $\{B, C, H\}$ .

Тобто, тризначним предикатом  $P$  на множині  $M$  буде деяка  $n$ -місна функція, визначена на  $M$  із значеннями з множини  $\{B, C, H\}$ .

В такому випадку окреме прецедентне рішення для 5-ти місної функції представляється у вигляді предикату  $P$  як:

$$P_i(H_1, H_2, C_3, C_4, H_5), P_{i+1}(C_1, C_2, B_3, B_4, C_5), P_{i+2}(B_1, C_2, C_3, B_4, B_5) \text{ і т.д.}$$

Тоді квант (3.5) набуде наступного вигляду:

$$\forall k_2 R_j = \left[ \begin{array}{l} P_1 | H : P_2 | H : P_3 | C : P_4 | C : P_5 | H : R_1(\rightarrow) = a' \\ \dots \\ P_1 | C : P_2 | C : P_3 | B : P_4 | B : P_5 | C : R_2(\rightarrow) = b' \\ \dots \\ P_1 | B : P_2 | C : P_3 | C : P_4 | B : P_5 | B : R_3(\rightarrow) = c' \end{array} \right]. \quad (3.7)$$

З метою спрощення подальших обчислень для першого рядка кванта (3.7) вводять наступні позначення:

$$\begin{array}{cccccc} P_1 | H & P_2 | H & P_3 | C & P_4 | C & P_5 | H & R_1(\rightarrow) = a' \\ \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ H_1 & H_2 & C_3 & C_4 & H_5 & R_1 \end{array},$$

де  $B, C, H$  – значення термів, а нижній індекс відображає прив'язку терми до відповідного параметра  $P_i$ ;  $R_1$  – номер навчального режиму.

Аналогічно вводяться позначення для всіх інших рядків (3.7). Тоді квант (3.7) представляється наступною матрицею:

$$\begin{bmatrix} H_1 \wedge H_2 \wedge C_3 \wedge C_4 \wedge H_5 | R_1 \\ \dots \\ C_1 \wedge C_2 \wedge B_3 \wedge B_4 \wedge C_5 | R_2 \\ \dots \\ B_1 \wedge C_2 \wedge C_3 \wedge B_4 \wedge B_5 | R_3 \end{bmatrix}, \quad (3.8)$$

кожен рядок якої являє собою елементарну кон'юнкцію з імплікацією на відповідний режим навчання  $R_j$ .

З метою математичного обрахунку номера навчального режиму для отриманої матриці прецедентів будують аналог досконалої диз'юнктивної нормальної форми (ДДНФ) [111].

Як відомо, використовуючи закони логіки, будь-яку формулу можна перетворити у рівносильну їй досконалу диз'юнктивну нормальну форму вигляду  $C_1 \vee C_2 \vee \dots \vee C_m$ , де  $m \geq 1$  і кожне  $C_i$  – або змінна, або її заперечення, або кон'юнкція змінних чи їх заперечень [111].

Розглядаючи кожен рядок (3.8) як кон'юнкцію елементарних висловлювань, що відповідають різним наборам значень  $P_i$  та з'єднавши всі кон'юнкції знаком диз'юнкції, матрицю (3.7) представлено у формі ДДНФ:

$$H_1 H_2 C_3 C_4 H_5 | R_1 \vee \dots \vee C_1 C_2 B_3 B_4 C_5 | R_2 \vee \dots \vee B_1 C_2 C_3 B_4 B_5 | R_3. \quad (3.9)$$

Припустимо, що за результатами поточного тестування рівень оволодіння навчальним матеріалом для деякого студента  $M$  описаний, наприклад, вектором  $P(C_1, C_2, B_3, H_4, B_5)$ . Використовуючи ДДНФ, визначимо номер режиму, по якому необхідно продовжити навчання для студента  $M$ .

Беручи до уваги те, що операція кон'юнкції у двозначній логіці визначається як мінімум [109]:

$$(a \wedge b) = \min(a, b), \text{ де } a, b \in [0, 1],$$

емпірично визначено кон'юнктивні правила для означеної модифікованої тризначної логіки [6]:

$$|\alpha_{ik} \wedge \alpha_{jk}| = \begin{cases} 1, & |i-j|=0 \\ 2/3, & |i-j|=1 \\ 1/3, & |i-j|=2 \end{cases}, \text{ де } i, j \in \{1, 2, 3\}; k \in \{1, 2, 3, 4, 5\}$$

причому  $H \rightarrow \alpha_1$ ,  $C \rightarrow \alpha_2$ ,  $B \rightarrow \alpha_3$  та побудована таблиця відповідності виконання кон'юнктивної операції стосовно різних комбінацій значень  $B, C, H$  (табл. 3.16).

Таблиця 3.16

Кон'юнктивні операції модифікованої тризначної логіки

	$H - [0..0,4)$	$C - [0,4..0,8)$	$B - [0,8..1]$
$H - [0..0,4)$	1	2/3	1/3
$C - [0,4..0,8)$	2/3	1	2/3
$B - [0,8..1]$	1/3	2/3	1

Розглядаючи вектор  $P$  як один кон'юнктивний член ДДНФ та використовуючи означені вище кон'юнктивні правила, в результаті множення вектора  $P$  на матрицю прецедентів, представлену у формі (3.9):

$$\begin{aligned} & C_1 C_2 B_3 C_4 H_5 \wedge (H_1 H_2 C_3 C_4 H_5 | R_1 \vee \dots \vee C_1 C_2 B_3 B_4 C_5 | R_2 \vee \dots \vee B_1 C_2 C_3 B_4 B_5 | R_3) = \\ & = \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} \cdot 1 \cdot 1 | R_1 \vee \dots \vee 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} | R_2 \vee \dots \vee \frac{2}{3} \cdot 1 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{3} | R_3 = \\ & = 0,1 | R_1 \vee \dots \vee 0,4 | R_2 \vee \dots \vee 0,07 | R_3 = 0,4 | R_2 \end{aligned} \quad (3.9)$$

отримано номер режиму  $R_2$ , причому ймовірність вибору системою цього режиму дорівнює 0,4.

При обчисленні номера режиму у формулі (3.9) взято до уваги, що диз'юнкція декількох значень у тризначній логіці (за аналогією двозначної) дорівнює максимуму серед цих значень:  $(a \vee b \vee c) = \max(a, b, c)$ .

Описаний механізм дозволяє математично визначити номер навчального режиму, продовження навчання по якому дає змогу адаптувати навчальний контент відносно досягнутих успіхів на поточному етапі навчання.

На рис. 3.19 показано графічне відображення кластерного аналізу різних груп студентів [107].



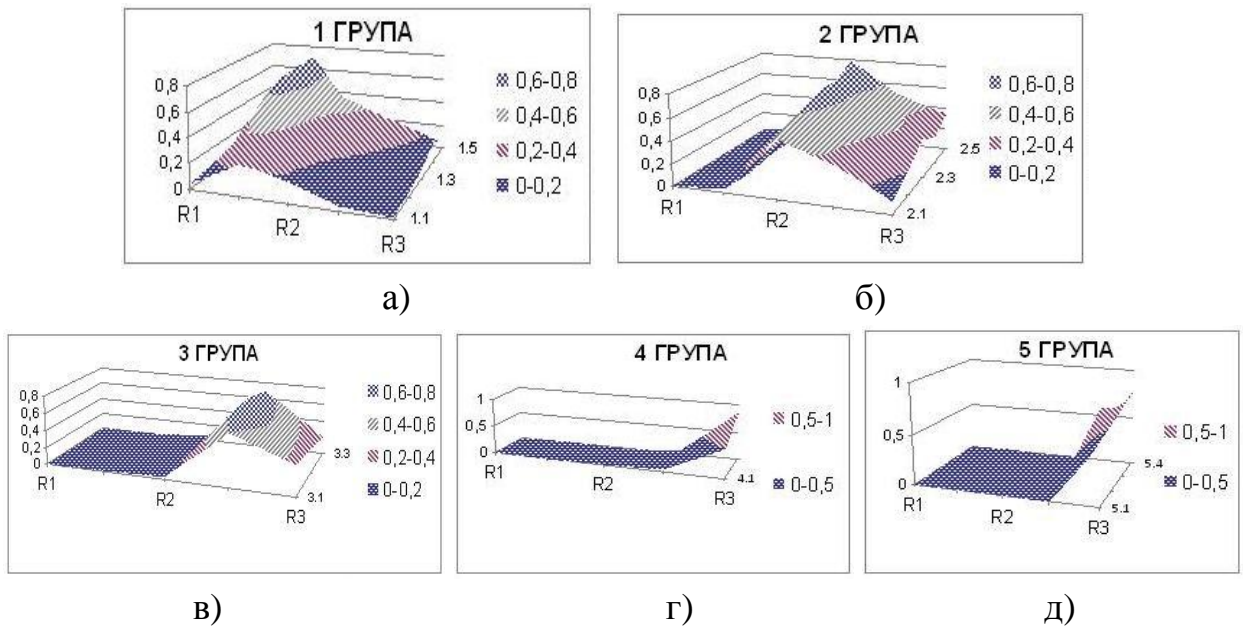


Рис. 3.19. Групове представлення кластеризації студентів

Запропонований метод дає можливість побудувати групові залежності переходів та спростити процес реалізації системи шляхом переведення студентів з нижчих класів у вищі.

### 3.6. Формування вхідних даних і структуризація алгоритму побудови адаптивної системи

Описану методику функціонування адаптивної навчальної системи реалізовано за допомогою розроблених алгоритмів в [2] (рис. 3.20-3.21).

Кроки алгоритму.

1. Проведення вступного тестування та на основі його результатів формування лекційного матеріалу шляхом порційної подачі навчальних квантів.
2. Вивчення студентом сформованого лекційного матеріалу.
3. Формування тестів для поточної перевірки засвоєних знань.
4. Забезпечення діалогу між студентом та системою під час виконання тестових завдань.
5. Застосування мультимножинного аналізу для визначення глибини незасвоєних квантів знань.

6. Обчислення числових значень вектора  $P(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5)$  моделі студента, що відображає поточний рівень отриманих вмій та навичок.
7. Виконання групування студентів та визначення режиму навчання із застосуванням тризначної математичної логіки.
8. Формування системою навчального контенту для повторення згідно визначеного режиму із можливістю включення допоміжних квантів.
9. Продовження навчального процесу за сформованим прецедентом в п. 8.
10. Проведення підсумкового тестового контролю знань.
11. Формування файлу статистики, що відображає результати роботи студента на початковому, проміжних та заключному етапах. Вивід на екран підсумкових даних і висновків та запис їх в протокол.
12. Кінець роботи алгоритму.



Рис. 3.20. Блок-схема адаптивного алгоритму



Рис. 3.21. Блок-схема алгоритму мультимножинного аналізу

Розроблені алгоритми дозволяють навчальній системі формувати та динамічно змінювати безпосередньо в процесі навчання структуру та форму представлення навчального матеріалу.

Особливість його побудови, на відміну від відомих аналогів, полягає у:

- застосуванні мультимножинної процедури визначення не достатньо засвоєних квантів;
- формуванні вектора поточних знань студента на основі багатопараметричної моделі студента, яка дозволяє враховувати як кількісні, так і якісні характеристики рівня засвоєння нових знань;
- використанні умовних переходів продовження навчального процесу відповідно до сформованої бази прецедентів та групи кластеризації студентів;
- застосуванні тризначної математичної логіки з метою визначення режиму навчання.

Програмна реалізація алгоритму дає змогу забезпечити того, хто навчається, індивідуально-спланованою стратегією навчання з врахуванням попереднього рівня його знань та на основі диференційного підходу до реальних вмінь та навиків, які він проявив під час навчання.

### 3.7. Висновки

1. Розроблено модель логічної структури адаптивного процесу із застосуванням математичного апарату теорії графів, яка дозволяє автоматично генерувати логічні послідовності вивчення навчальних квантів та покращити якість засвоєння нових знань.

2. Розроблено новий метод оцінки результатів тестового контролю рівня навчання із застосуванням теорії мультимножин, що забезпечує шляхом визначення глибини незасвоєних квантів інформації покращення інформаційної технології моделювання навчального процесу.

3. Вперше запропоновано технологію побудови індивідуальної адаптивної траєкторії навчання на базі методу різнорівневого алгоритмічного

квантування знань, що дає можливість шляхом використання предикатно-аналітичної і векторно-матричної форми представити інформаційні кванти у вигляді матриці прецедентів і здійснити машинну обробку інформації засобами алгебри скінченних предикатів.

4. Запропоновано новий підхід моделювання прецедентів із застосуванням сценарних прикладів навчальних знань, які дозволяють розробити гнучку послідовність дій системи як на основі результатів поточного контролю, так і аналізу індивідуальних характеристик моделі студента.

5. Вперше запропоновано епюри засвоєння квантів інформації для аналізу вивчення інформаційних квантів у різних навчальних ситуаціях, що дозволило систематизувати можливі випадки засвоєння навчального контенту відповідно до ваги, тривалості та ступеня вивчення кванта.

6. Розроблено метод групування студентів, побудований шляхом застосування кластерного аналізу для обробки матриці прецедентів, який дозволяє шляхом вибору з бази прецедентів адаптованого до конкретного користувача прецедентного рішення прискорити процес засвоєння нових знань та підвищити ефективність навчального процесу.

7. Побудовано алгоритми адаптивного управління із застосуванням запропонованих методів і моделей, що дозволяють системі дистанційного навчання автоматично формувати та динамічно змінювати структуру і тип представлення навчального матеріалу різного рівня складності відповідно до поточних успіхів студента.

## РОЗДІЛ 4

# ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ НА ОСНОВІ РОЗРОБЛЕНИХ МЕТОДІВ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ

### 4.1. Розробка функціональної структури програмного модуля

У результаті проведених теоретичних досліджень побудовано веб-орієнтовану навчальну систему Adaptive Learning System (ALS), на основі якої виконано експериментальну перевірку запропонованих підходів до формалізації процесу адаптивного навчання студентів та оцінювання їх знань (рис. 4.1).

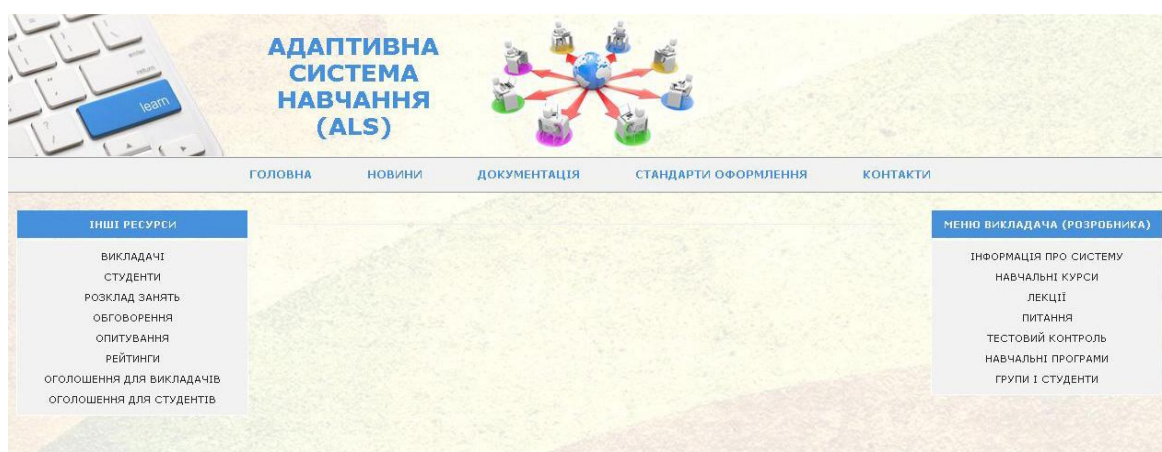


Рис. 4.1. Головна сторінка адаптивної системи

Програма ALS відноситься до діалогових автоматизованих систем завдяки використанню математичних моделей у сукупності з базами даних, а також інтерактивного комп'ютерного процесу моделювання навчальних курсів.

При розробці функціонально-структурної моделі, що описується сукупністю підсистем, задач, функцій та джерел інформації, об'єднаних інформаційними зв'язками, застосовано модульний принцип розробки додатків. Запропонована модульна структура дозволяє фізично розділити процеси розробки, компіляції та відладки окремих модулів, а також забезпечити синтаксичну та функціональну специфікацію їх взаємодії (рис. 4.2) [112].

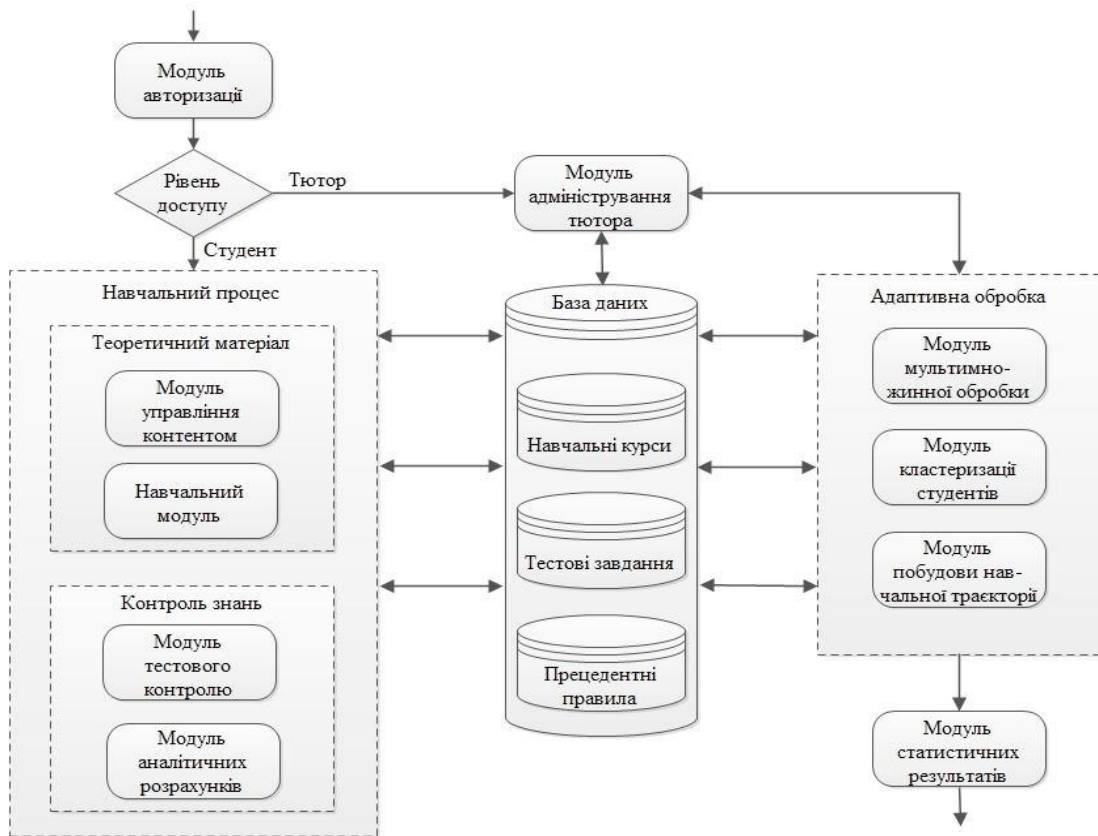


Рис. 4.2. Модульна структура системи ALS

Кожний модуль виконує свої визначені функції, що забезпечує незалежність окремих компонент та зручність подальшого розширення функціональності системи:

- 1) модуль авторизації – реєстрація нового користувача та ідентифікація його при вході в систему;
- 2) модуль управління контентом – автоматичне завантаження та редагування навчальних курсів;
- 3) навчальний модуль – представлення інформаційних квантів (текстів, зображень, схем, аудіо- та відеозаписів) на екрані з метою формування навчального контенту для теоретичного вивчення;
- 4) модуль тестового контролю – автоматичне завантаження тестових завдань та формування тестових наборів для перевірки засвоєних умінь та навичок;
- 5) модуль аналітичних розрахунків – математична обробка результатів тестового контролю та обчислення параметрів студентської моделі;

6) модуль мультимножинної обробки – аналіз глибини засвоєння інформаційних квантів та формування блоків навчального контенту для повторного (поглибленого) вивчення (лістинг даного модуля наведено в додатку Д);

7) модуль кластеризації студентів – кластерний аналіз рівня якості знань студентів та прив'язка студента до окремої групи;

8) модуль побудови навчальної траєкторії – вибір сценарного прикладу та наповнення сторінки навчальним контентом відповідно до вибраного режиму навчання.

Функціонально адаптивна система побудована таким чином, що при завантаженні нового теоретичного курсу та реєстрації користувача система сама підлаштовується під його навчальні потреби. Цьому, з одного боку сприяє зібрана інформація про прецедентні рішення, що відповідають окремим напрямкам навчальної траєкторії. З іншого боку, алгоритми обробки навчальної поведінки студента, направлені на формування системи критеріїв та прийняття рішення, представлені відповідним програмним продуктом.

Формування файлів статистичної інформації про підсумкові та поточні результати дозволяє фіксувати динаміку засвоєння студентом нових знань та створює базу для ведення статистики.

Функціонування системи відбувається у декілька етапів:

1) проведення моніторингу початкового рівня навченості студента щодо представленої навчальної області;

2) використовуючи навчальний контент з обраного курсу, система формує теоретичний матеріал у формі лекційного представлення для організації початкового етапу навчання;

3) відповідно до налаштувань розробника курсу формується набір тестових завдань для проведення проміжного контролю з метою визначення поточного рівня навченості студента;

4) формуються послідовності навчальних квантів, за якими система визначила прогалини у знаннях студента;

5) на основі розроблених методів обробки результатів навчального процесу (значень параметрів із моделі студента) система приймає рішення щодо вибору найбільш ефективного напрямку продовження навчання, максимально адаптованого до групи кластеризації;

б) здійснення підсумкового тестового контролю та прийняття рішення щодо завершення навчання чи необхідності залучення експерта для внесення додаткових коректив в організацію навчального процесу;

7) формування файлів статистичної інформації про результати навчальної діяльності студента та рекомендації для подальших навчальних дій.

На основі описаних етапів підтримки прийняття рішення навчальна система дозволяє шляхом створення електронного адаптивного курсу здійснити ефективно його наповнення навчальним контентом з метою проведення індивідуалізованого навчання (рис. 4.3) [112].

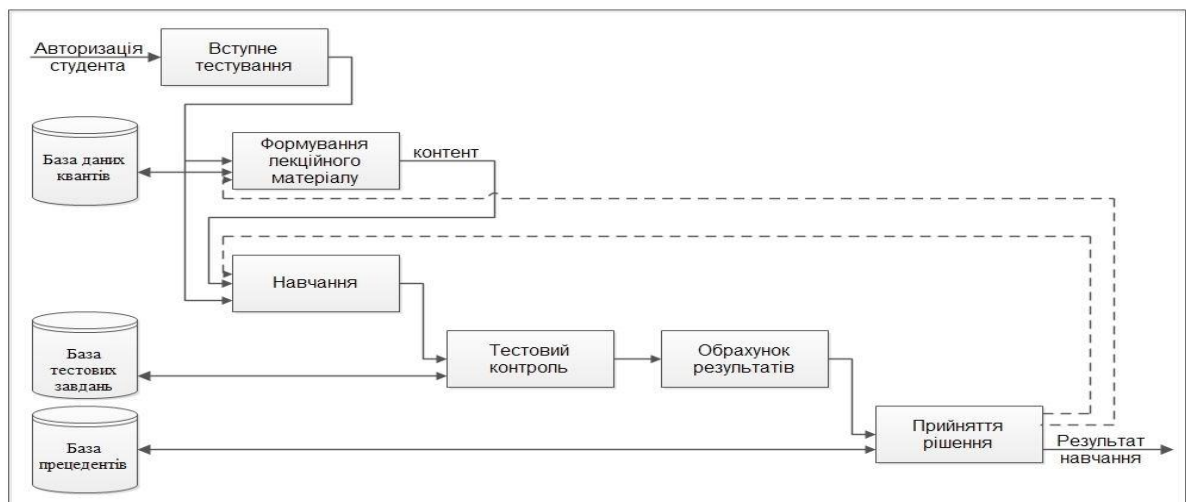


Рис. 4.3. Функціональна модель адаптивної системи

Розроблена система характеризується наступними функціональними особливостями:

- окремі сторінки представлені інтуїтивно-зрозумілим інтерфейсом, що досягається за рахунок використання графіки, кольорів, аудіо- та відеозаписів;

- передбачені багаторазові (в тому числі і багаторівневі) розгалуження навчальної програми;



- у студента є можливість застосовувати різного роду допоміжні засоби при виникненні проблем в навчанні (системи підказок, посилань на допоміжні навчальні матеріали, виходи на інші інформаційні матеріали і т.д.);
- в процесі навчання на екрані з'являються різного роду мотиваційні та інформаційні зворотні повідомлення;
- завдяки наявності в системі множини стратегій навчання (сценарних прикладів) забезпечена постійна прив'язка часу і темпу навчання до рівня результатів успішності кожного студента;
- у будь-який момент функціонування системи можна перервати навчальний процес із збереженням досягнутих на даний момент результатів (протокол навчання) та відповідно можливість продовжити з місця, на якому зупинено навчання (або за бажанням повернутись до початку вивчення курсу).

#### 4.2. Технологічні особливості побудови програмної реалізації

Система ALS побудована на основі тривірневої архітектури та містить клієнтську частину, сервер додатків і базу даних, які забезпечують ефективну її роботу незалежно від типу операційної системи комп'ютера (рис. 4.4).

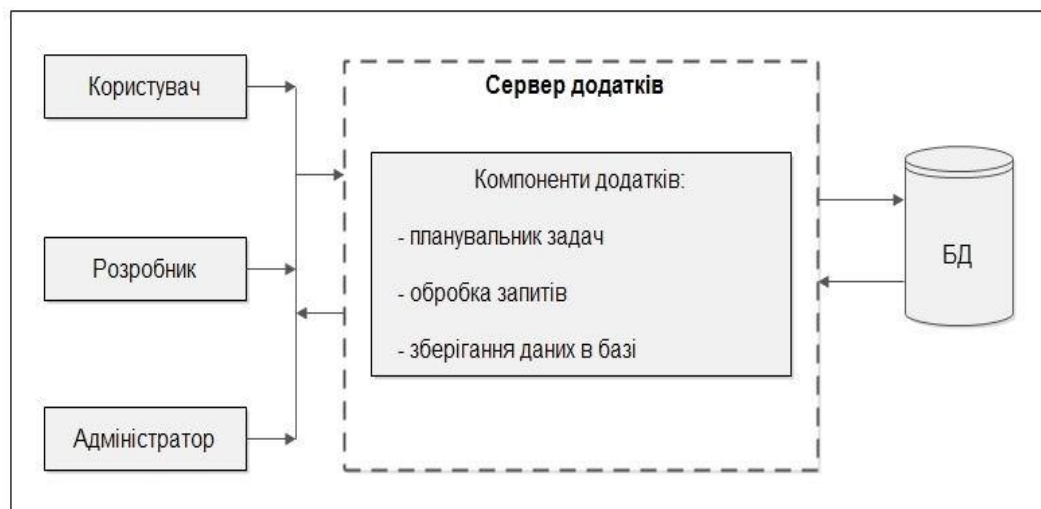


Рис. 4.4. Схема архітектури системи ALS

### Компоненти системи:

1) на стороні клієнта для доступу до web-ресурсу використовується будь-який браузер, що забезпечує перегляд web-сторінок. Модуль, що виконується web-браузером, написаний із використанням мови JavaScript, перевагою якої є поширеність використання та велика бібліотечна підтримка;

2) модуль, що виконується на серверній стороні під управлінням web-сервера, написаний на мові програмування PHP [113], перевагами якої є:

- відкритість ліцензії;
- розвинута підтримка баз даних;
- поширеність застосування;
- наявність великої кількості бібліотек та розширеність мови;
- можливість розвертання на будь-якому сервері.

Web-сервер приймає http запити від клієнтів, обробляє їх та відправляє відповідь згідно стандарту протоколу;

3) база даних, що забезпечує зберігання, накопичення та управління інформаційними потоками даних. Використана система управління базами даних MySQL [114], яка характеризується наступними перевагами:

- багатий функціонал – MySQL підтримує більшість функцій SQL;
- безпека – більша частина функцій, що гарантують безпеку, підтримуються по замовчуванню;
- масштабованість – MySQL легко опрацьовує великі об'єми даних;
- швидкість обробки запитів.

Застосування технології поєднання PHP та MySQL дозволяє адаптувати розроблений програмний продукт під діючі системи у вигляді окремих модулів (наприклад, Moodle, Pias, у яких також використовується технологія поєднання PHP та БД).

Відповідно до наданих прав система надає можливість функціонувати в режимі декількох користувачів : «Студент», «Гість», «Розробник», «Адміністратор» (рис. 4.5).



Рис. 4.5. Структурна схема модуля

Описані функції можуть змінюватись за рахунок наданих прав адміністратором, що забезпечується відкритістю архітектури.

Профілі розробників у систему вносить адміністратор. Після створення профілю «Розробник», автор навчальних курсів отримує обліковий запис із правами розробника.

Розробник створює навчальний курс, розбиває його на лекції та завантажує в систему через спеціально розроблений інтерфейс (рис. 4.6).

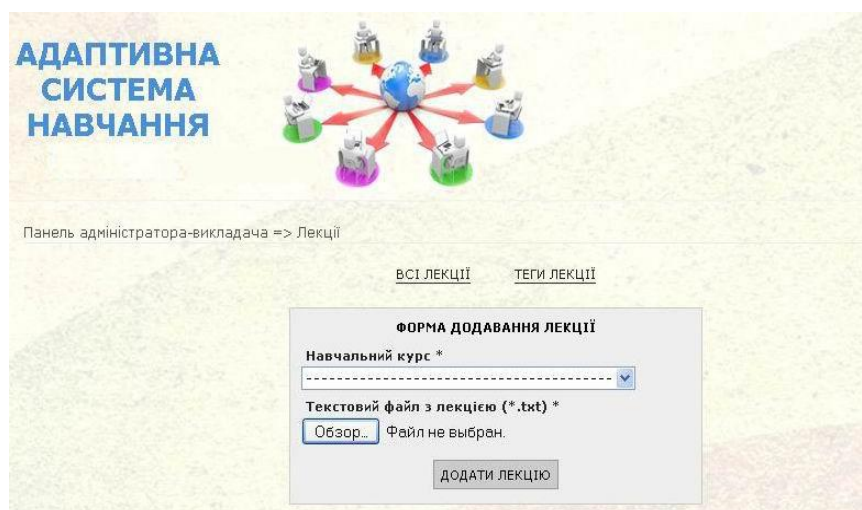


Рис. 4.6. Вікно створення лекції

Крім того, в нього є можливість завантаження чи редагування кванта інформації в ручному режимі за допомогою кнопки «Додати квант», що відкриває доступ до відповідної панелі інструментів (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Вікно редагування кванта

Відповідно до дидактичних показників наповнення кожного кванта представлено на різних рівнях складності (глибини), які відповідають певному рівню підготовки студента (легкий, середній чи важкий контент). При цьому передбачена можливість встановлення зв'язків з іншими квантами за допомогою числового значення коефіцієнта зв'язку (в діапазоні 1 – 99) (рис. 4.8).

**ФОРМА ДОДАВАННЯ ЗВ'ЯЗКІВ МІЖ КВАНТАМИ** [X]

**Вибраний квант даної лекції (квант 1) [ua]:**  
1. Трьохрівнева архітектура ANSI-SPARC

**Квант цієї (або іншої) лекції (квант 2)**  

▼

**Коефіцієнт зв'язку \* (1-99)**

Рис. 4.8. Вікно створення зв'язків між квантами

До кожного навчального курсу розробник здійснює прив'язку тестових завдань, вказавши тип питання, коефіцієнт його складності та посилання на відповідний квант (рис. 4.9).

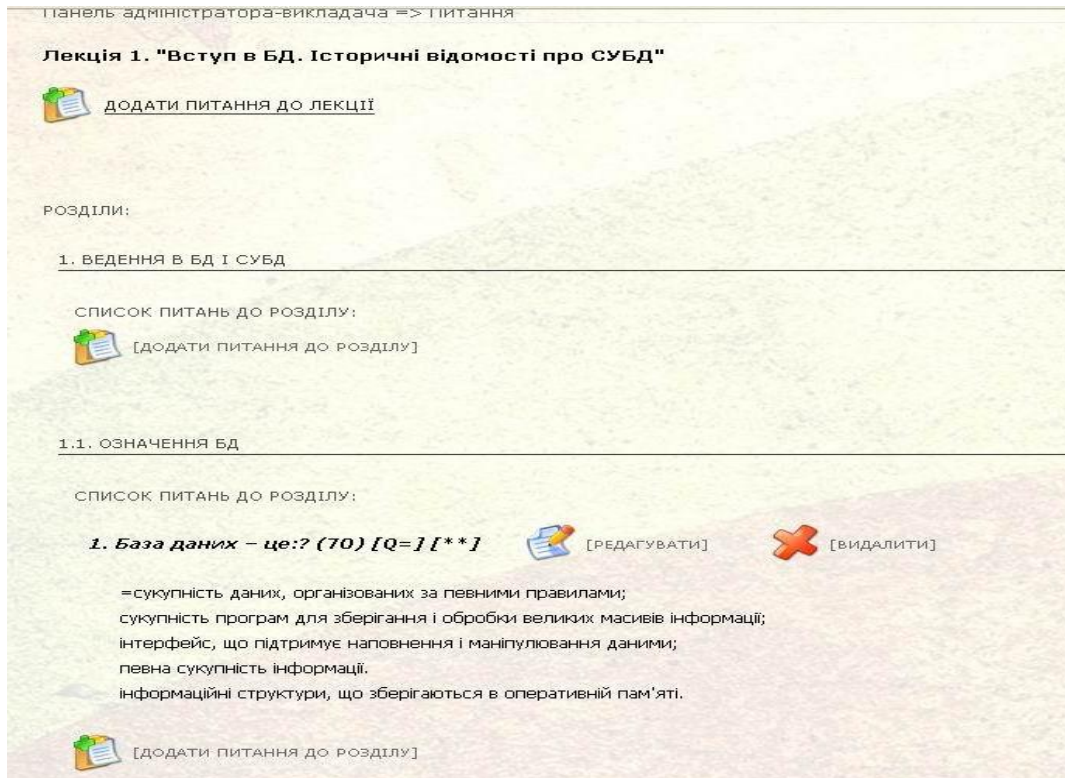


Рис. 4.9. Вікно створення тестових завдань

Для засвоєння навчальних курсів та проходження тестів система розробляє навчальну програму, яка складається із послідовності дій: вивчення лекції, тестовий контроль, повторення матеріалу, заключне тестування і т. д. (рис. 4.10).

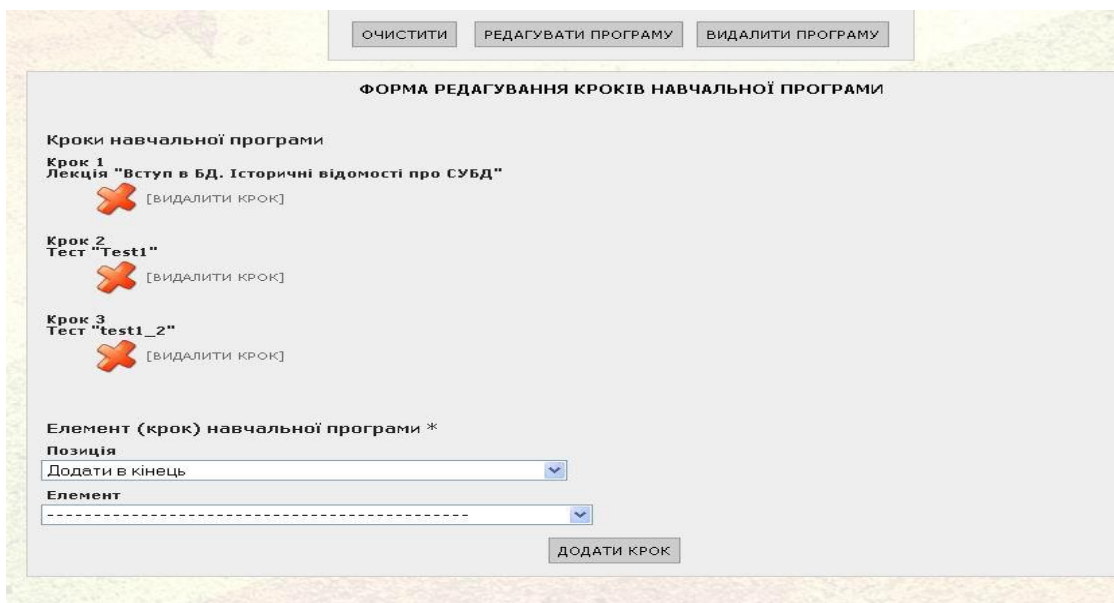


Рис. 4.10. Вікно створення навчальних програм

Початкове налаштування навчальної програми здійснює розробник. Новий користувач «Студент» після успішної авторизації у системі отримує

доступ до програми з відповідним навчальним курсом та тестовими завданнями. У разі неуспішної здачі тестового контролю система в автоматичному режимі підкоректовує навчальну програму – формує нові кроки та наповнює теоретичний курс контентом, спрямованим на усунення прогалин у знаннях.

База даних історії навчання виконує функцію зберігання та оновлення інформації про навчальні успіхи студента. Ці дані служать основою для прийняття рішення системою про вибір подальшої навчальної стратегії. При цьому фіксуються:

- 1) успішно виконані завдання;
- 2) допущені при виконанні завдання помилки, які класифікуються наступним чином:
  - випадкові помилки (випадкове натискання кнопки, не в тому місці і т. д.);
  - помилки, пов'язані з недостатніми знаннями (навичками) з теми, що вивчається;
  - помилки, пов'язані з недостатніми знаннями (навичками) з інших тем;
  - нерозпізнані помилки (наприклад, порушена послідовність букв у слові);
- 3) звернення до довідкової чи іншої додаткової інформації;
- 4) істотні порушення запланованих часових меж;
- 5) виявлені з ініціативи студента відхилення від навчальної стратегії та інші втручання у процес.

Під час вивчення нового матеріалу студент співвідносить ідеї, що знаходяться в електронних засобах навчання із наявними в нього знаннями. Успішність такого співвідношення обумовлює ефективність навчання та визначається тим, наскільки грамотно та логічно структуровано представлена навчальна послідовність квантів. Інформація з поточної моделі студента впливає на тип представлення кванта та його змістовне наповнення. Тому під

час формування навчального матеріалу для повторення система враховує різні типи представлення кванта (текстовий, графічний, формульний) із можливістю наочно-образної форми мультимедійного представлення. Завдяки цьому будується індивідуальна послідовність квантів інформації, адаптована до кожного студента.

До переваг даної системи належить:

- 1) зручність і простота в експлуатації (мінімальні навички роботи користувача ПК);
- 2) можливість роботи з системою одночасно багатьох користувачів;
- 3) зручний інтерфейс як для користувача, так і для розробника;
- 4) можливість розробки додаткових модулів і розширення їх функцій;
- 5) доступ до системи з будь-якого робочого місця, в тому числі з віддалених робочих місць у філіях;
- 6) необмежена кількість груп, що тестуються та кількість студентів у групах;
- 7) невеликий обсяг дискової пам'яті, необхідної для зберігання результатів роботи;
- 8) зберігання статистичних даних щодо результатів навчання та тестування.

#### 4.3. Розробка інструментального засобу математичної моделі адаптивного процесу

Програмне рішення розробленого методу групування студентів реалізовано в інструментальному засобі, побудованому з використанням мови Delphi.

Використовуючи матрицю прецедентів, сформовану експертами на основі табл. 3.14, розроблено загальну архітектуру інструментального засобу, представлену на рис. 4.11.



Рис. 4. 11. Архітектура інструментального засобу

Основними компонентами, що відображають його функціональні можливості, є:

- блок аналізу поточної ситуації – призначений для попередньої обробки інформації про навчальний стан студента;
- блок формування бази прецедентів – забезпечує можливість роботи розробника з базою прецедентів (формування структури, завантаження, редагування, збереження і т.д. );
- блок пошуку рішення – реалізує механізм обробки матриці прецедентів (пошук прецедентного рішення для поточної навчальної ситуації);
- блок виведення результатів – здійснює вивід результатів із вказанням рекомендованого напрямку продовження навчального процесу.

Даний програмний продукт шляхом застосування математичного апарату тризначної математичної логіки автоматично відносить студента до певної групи кластеризації та вибудовує подальшу навчальну траєкторію на основі застосування обчисленого прецедента. Так, на рис. 4.12 відображено вікно результатів програмної обробки навчання студента, якому відповідає вектор  $P(H, H, C, C, C)$  поточних параметрів [112].



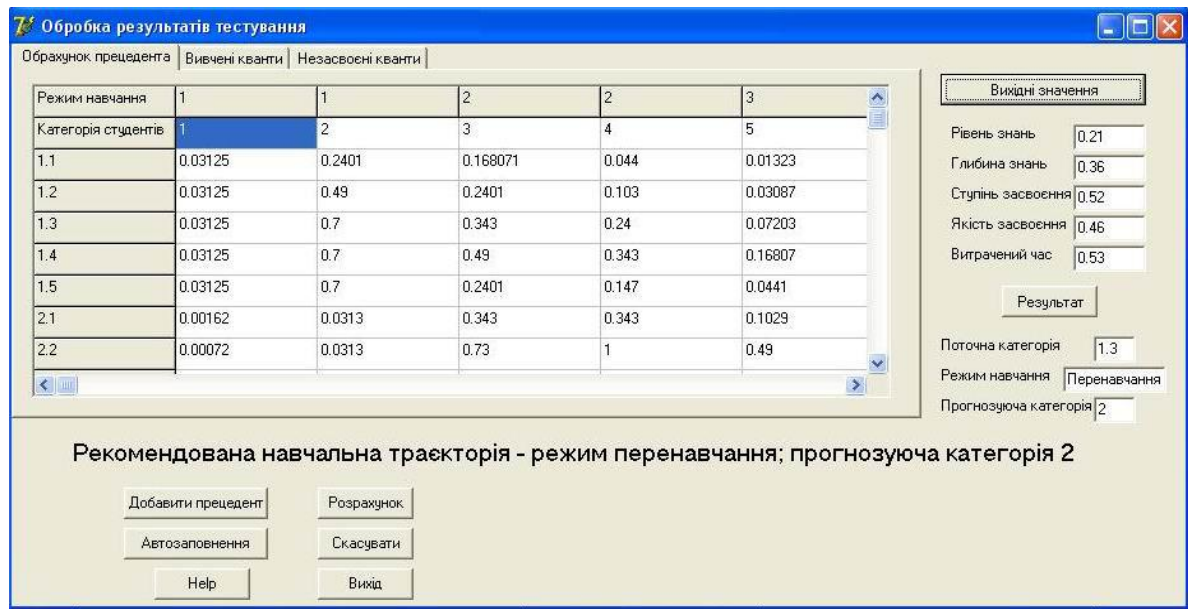


Рис.4.12. Вікно програмної реалізації кластерного аналізу

Таким чином, за результатами поточної тестової перевірки обраного студента навчальна програма формує набір невивчених навчальних квантів, та направляє його траєкторію навчання за прецедентом з максимальним значенням 0.7, який передбачає використання режиму повторного вивчення навчального матеріалу з прогнозуючим попаданням в 2-гу категорію.

Побудований інструментальний засіб дозволяє в дистанційній системі ALS змодельовати довільну навчальну ситуацію, описуючи її вектором поточних студентських параметрів та матрицею прецедентів.

#### 4.4. Організація експериментального дослідження та порівняльний аналіз з іншими системами

Експериментальна перевірка розробленої адаптивної системи виконана на кафедрі інформаційних технологій ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» (м. Івано-Франківськ).

В експерименті взяли участь студенти 8-ми груп денної форми навчання за напрямками «Математика» та «Інформатика». Дослідження тривало упродовж 4-х семестрів відповідно до навчальної програми вивчення дисциплін «Бази даних та інформаційні системи» і «Практикум на ЕОМ».

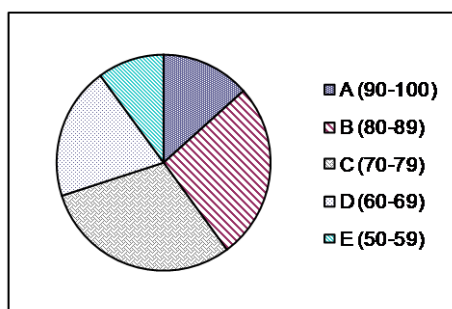
Статистичні обчислення виконані на основі вибірки результатів навчання 3-ох груп за перший семестр 2013/2014 н. р. та 3-ох інших груп за перший семестр 2014/2015 н. р.: двох контрольних, перша з яких проходила навчання у класичній дистанційній системі Moodle, а друга – в адаптивній системі дистанційного навчання та контролю знань EduPro (впроваджена в навчальний процес Прикарпатського національного університету); третя експериментальна група – у розробленій адаптивній системі ALS.

Кожен студент вивчав навчальний матеріал обраного курсу згідно сформованої траєкторії, яка передбачає врахування власного темпу виконання навчальних операцій та індивідуальних можливостей.

Оцінювання знань до і після експерименту здійснювалось на основі тестового контролю знань із використанням інформаційної технології визначення числа категорій (A, B, C, D, E).

Розподіл оцінок у групах першої вибірки до експерименту показано на рис. 4.13-4.15 (результати другої вибірки відображено в додатку Г).

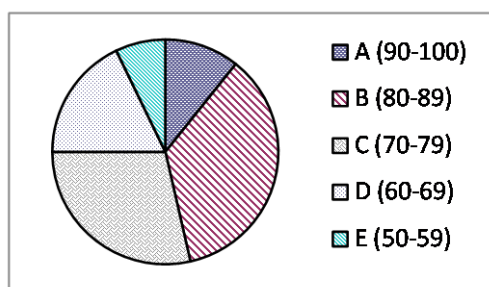
Таблиця 4.1



Група А					
Шкала оцінювання	A (90-100)	B (80-89)	C (70-79)	D (60-69)	E (50-59)
К-ть студентів	4	8	9	6	3

Рис. 4.13. Розподіл студентів групи А

Таблиця 4.2



Група В					
Шкала оцінювання	A (90-100)	B (80-89)	C (70-79)	D (60-69)	E (50-59)
К-ть студентів	3	10	8	5	2

Рис. 4.14. Розподіл студентів групи В

Таблиця 4.3

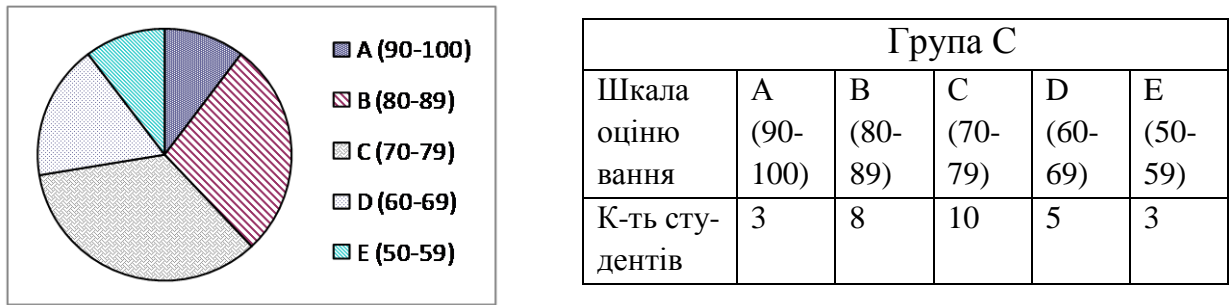


Рис. 4.15. Розподіл студентів групи С

Розподіл оцінок в трьох групах до експерименту показано на рис. 4.16:



Рис. 4.16. Рівень знань студентів контрольних та експериментальної груп до експерименту

На діаграмах видно, що рівні знань в трьох групах достатньо близькі. Порівняння вибірок студентів до експерименту відповідно до визначеного рівня знань у всіх трьох групах проводилось з використанням t-критерію Стьюдента та  $\chi^2$ -квадрат ( $\chi^2$ ) [115]. Перевірка гіпотези про нормальний розподіл вибірок після експерименту виконувалась із застосуванням критерію Пірсона [116].

Розрахунок оцінок до експерименту виконано за t-критерієм Стьюдента.

Порівняння результатів отриманого рівня знань у системах Moodle та ALS:

- 1) Стандартне відхилення обчислюється за формулою [115]:

$\delta = \frac{X_{i\max} - X_{i\min}}{k}$ , де  $X_{i\max}$  – максимальний показник рівня знань,  $X_{i\min}$  –

мінімальний показник рівня знань;  $k$  – табличний коефіцієнт, що відповідає кількості студентів  $n$  в групі (для  $20 < n \leq 30$  коефіцієнт  $k = 4,11$ ) [117].

$$\delta_M = \frac{0,93 - 0,53}{4,11} = 0,097; \quad \delta_A = \frac{0,93 - 0,50}{4,11} = 0,105.$$

Обчислюємо стандартні похибки середнього арифметичного значення ( $m$ ) стандартного відхилення за формулами:

$$m = \frac{\delta}{\sqrt{n-1}}, \text{ якщо } n < 30 \text{ та } m = \frac{\delta}{\sqrt{n}}, \text{ якщо } n \geq 30;$$

$$m_M = \frac{0,097}{\sqrt{30}} = 0,018; \quad m_A = \frac{0,105}{\sqrt{29-1}} = 0,020.$$

2) Обчислюємо емпіричне значення критерію Стьюдента за формулою:

$$t = \frac{X_e - X_k}{\sqrt{m_e^2 + m_k^2}}, \text{ де } X_e, X_k - \text{відповідно середні значення рівня знань в}$$

експериментальній та контрольній групах;

$m_e, m_k$  – значення стандартних похибок відповідно в експериментальній та контрольній групах.

$$t_{em1} = \frac{0,74 - 0,72}{\sqrt{0,018^2 + 0,020^2}} = 0,88.$$

Порівняння результатів отриманого рівня знань у системах EduPro та ALS:

$$1) \quad \delta_E = \frac{0,94 - 0,52}{4,11} = 0,102; \quad \delta_A = \frac{0,93 - 0,50}{4,11} = 0,105;$$

$$2) \quad m_E = \frac{0,102}{\sqrt{28-1}} = 0,020; \quad m_A = \frac{0,105}{\sqrt{29-1}} = 0,020;$$

$$3) \quad t_{em2} = \frac{0,22 - 0,70}{\sqrt{0,020^2 + 0,020^2}} = 0,37$$

Результати розрахунків представлено в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Таблиця розрахунків порівняння статистичних результатів у системах Moodle та ALS та EduPro та ALS за t-критерієм

Навчальна система	К-ть студентів	Середнє арифметичне рівня знань, $M$	Стандартне відхилення, $\delta$	К-ть степенів свободи	Стандартні похибки середнього арифметичного	t-критерій
Moodle	30	0,74	0,097	4	0,018	0,88
ALS	29	0,72	0,105		0,020	
EduPro	28	0,71	0,102	4	0,020	0,37
ALS	29	0,72	0,105		0,020	

Всі розрахунки проводились для рівня значущості 0,05, тобто з ймовірністю похибки 5 %. Обчислені значення статистичних критеріїв Стьюдента показали, що їхні емпіричні значення  $t_{емн1}$  і  $t_{емн2}$  менші їх табличних значень [117]:

$$t_{емн1} < t_{кр} \rightarrow 0,88 < 2,004 \text{ і } t_{емн2} < t_{кр} \rightarrow 0,37 < 2,004 .$$

Підрахунок емпіричного значення критерію  $\chi^2$ -квадрат до експерименту обчислено за модифікованою формулою (за Большевим Л.М., Смірновим Н.В [118]):

$$\chi^2 = \frac{1}{n_1 \cdot n_2} \cdot \sum \frac{(n_1 \cdot O_{21} - n_2 \cdot O_{11})^2}{O_{11} + O_{21}}, \quad (4.1)$$

де  $n_1, n_2$  – відповідно кількість студентів в експериментальній та контрольній групах;  $O_{11}$  – к-ть студентів в експериментальній групі, які віднесені за шкалою оцінювання до 1-ої підгрупи (А);  $O_{21}$  – к-ть студентів в контрольній групі, які віднесені за шкалою оцінювання до 1-ої підгрупи (А).

Підставивши дані з таблиць 4.1–4.3 в формулу (4.1), отримуємо значення критерію  $\chi^2$ -квадрат порівняння результатів рівня знань, отриманих у системах Moodle та ALS:

$$x_1^2 = \frac{1}{30 \cdot 29} \cdot \left( \frac{(30 \cdot 3 - 29 \cdot 4)^2}{4+3} + \frac{(30 \cdot 8 - 29 \cdot 8)^2}{8+8} + \frac{(30 \cdot 10 - 29 \cdot 9)^2}{9+10} + \frac{(30 \cdot 5 - 29 \cdot 6)^2}{6+5} + \frac{(30 \cdot 3 - 29 \cdot 3)^2}{3+3} \right) = 0,27$$

і системах EduPro та ALS:

$$x_2^2 = \frac{1}{28 \cdot 29} \cdot \left( \frac{(28 \cdot 3 - 29 \cdot 3)^2}{3+3} + \frac{(28 \cdot 8 - 29 \cdot 10)^2}{10+8} + \frac{(28 \cdot 10 - 29 \cdot 8)^2}{8+10} + \frac{(28 \cdot 5 - 29 \cdot 5)^2}{5+5} + \frac{(28 \cdot 3 - 29 \cdot 2)^2}{2+3} \right) = 0,63$$

Кількість степенів свободи  $V = (k-1) \cdot (r-1)$  підраховується як добуток кількості стовбців мінус 1, на кількість рядків мінус 1, тобто  $V = (5-1) \cdot (2-1) = 4$ .

За таблицею критичних значень [118] критерій  $\chi^2$ -квадрат для рівня значущості 0,05 та числа степенів свободи  $V = 4$  – дорівнює 9,5.

Результати порівняння:  $x_{емп1}^2 < x_{кр}^2 \rightarrow 0,27 < 9,5$ ;  $x_{емп2}^2 < x_{кр}^2 \rightarrow 0,63 < 9,5$ .

Розрахунок статистичних критеріїв t-критерію Стьюдента та критерію  $\chi^2$ -квадрат показали, що їхні емпіричні значення менші відповідних табличних значень. Тому приймаємо нульову гіпотезу про схожість вибірки навчальних груп, оскільки різниця між рівнями знань студентів, що беруть участь в експерименті статистично незначна.

Отже вибірка виконана правильно, всі три групи належать до єдиної сукупності. Тому доцільність проведення експерименту в даних групах обґрунтована.

Після вивчення кожної лекції студент проходив тестовий контроль. За результатами тестування у системі EduPro формувалася наступний набір тестових завдань відповідно до логітів складності завдань (адаптивне тестування), а в системі ALS для кожного студента формувалася навчальний контент для повторного чи поглибленого вивчення та в подальшому вибудовувалась його навчальна траєкторія із застосуванням відповідного сценарного прикладу по одному із навчальних режимів.

Після завершення експерименту у різних навчальних системах

проведена підсумкова перевірка рівня знань студентів контрольних та експериментальної груп. Оцінки успішності розподілені наступним чином (рис. 4.17).



Рис. 4.17. Рівень знань студентів контрольних та експериментальної груп після експерименту

Після проведення експерименту відбулось перегрупування оцінок за деякими категоріями, причому по-різному для різних груп. Результуючі дані вибірок згруповані в статистичні ряди, що складаються з п'ятих категорій (відповідно до шкали оцінювання ECTS) (рис. 4.18).

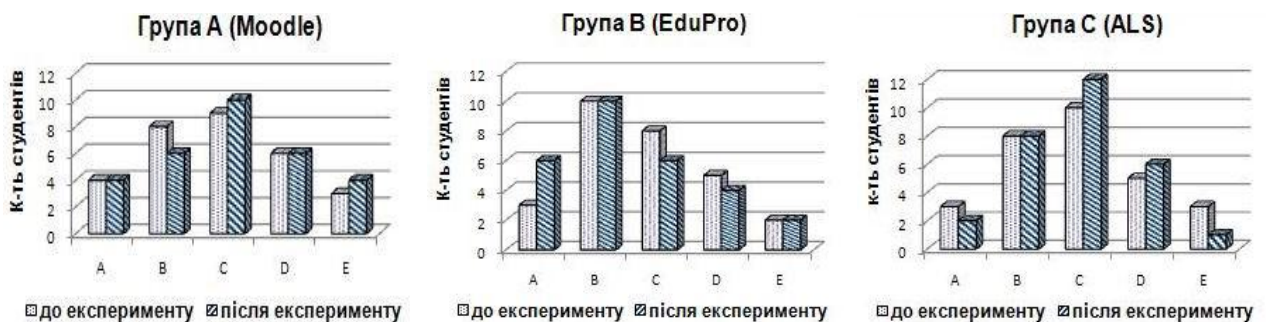


Рис. 4.18. Розподіл рівня знань студентів по категоріях

Згідно отриманих результатів визначено якість знань студентів  $\mu$  в навчальних групах до і після експерименту за формулою 
$$\mu = \frac{N_A + N_B + N_C}{N} \cdot 100\% \quad [119],$$
 де  $N_A, N_B, N_C$  – к-ть студентів відповідно до категорій «відмінно» (А), «дуже добре» (В), «добре» (С);  $N$  – загальна к-ть студентів в групі.

Обчислені результати якості знань систематизовано в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

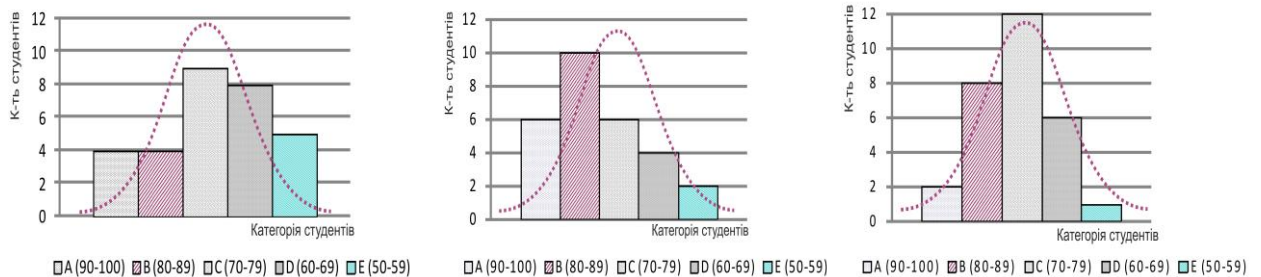
Оцінка якості знань студентів

Система \ Якість знань	Moodle	EduPro	ALS
до експерименту	70	75	72,4
після експерименту	79,7	85,6	84,9

На рис. 4.19 представлені гістограми розподілу контрольних та експериментальної груп після експерименту та відповідна крива нормального розподілу, що описується формулою Гаусса [120]:

$$f = \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\delta^2}\right), \text{ де } \mu - \text{математичне сподівання, } \delta^2 - \text{дисперсія}$$

випадкової величини.



а) група А (Moodle)    б) група В (EduPro)    в) група С (ALS)

Рис. 4.19. Гістограми розподілу навчальних груп після експерименту

Шрихпунктирна лінія – згладжуюча нормальна крива. З рис. 4.19 видно, що гаусівська крива нормального розподілу в цілому відповідає розподілу рівня знань студентів в контрольній групі А та відрізняється по деяких категоріях студентів в контрольній групі В та експериментальній групі С.

За результатами обчислених показників якості знань (табл. 4.5) отримані такі висновки:

1) під час навчання з використанням елементів дистанційної системи Moodle якість знань студентів збільшилась на 5-9 % та відбувся незначний перерозподіл рівня знань в категоріях С і В;



2) під час навчання за адаптивною системою передачі знань EduPro якість знань студентів збільшилась на 10-13 %, причому найбільш ефективною ця система виявилась для навчання студентів категорій А і В. Це свідчить про те, що для студентів з високим та дуже добрим початковим рівнем знань ефективною є застосування адаптивної технології, що ґрунтується на адаптивному тестуванні, яка покладена в основу автоматизованого навчання системи EduPro;

3) під час навчання за адаптивною системою Adaptive Learning System якість знань студентів збільшилась на 12-15 %; розроблена система є найбільш ефективною для навчання студентів з середнім та низьким початковим рівнем знань (категорії С, D і Е), які складають близько 60-70 % від загальної кількості студентів в групі. Це дає можливість стверджувати про ефективність застосування розроблених адаптивних технологій, що ґрунтуються на методі оцінки результатів тестового контролю із застосуванням теорії мультимножин та методу групування студентів, побудованому на основі матриці прецедентів.

Використання інформаційної технології із визначення числа категорій (А, В, С, D, Е) дозволяє оптимально збільшувати якість знань для кожної групи студентів за рахунок використання в навчальному процесі відповідної дистанційної системи та творчо підійти до підготовки груп студентів з різним розподілом по категоріях шляхом вибору відповідної технології адаптації. Це дозволяє реалізувати індивідуальний підхід до кожного студента, враховуючи початковий рівень їх знань та швидкість опрацювання поточної навчальної інформації.

Для ґрунтовної перевірки висновків 1) – 3) виконано статистичний аналіз отриманих результатів експерименту із застосуванням критерію Пірсона [116]:

$$x^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(f_{експ} - f_{контр})^2}{f_{контр}}$$

де  $f_{експ}$  – к-ть студентів в експериментальній групі, розподілені за шкалою оцінювання для  $i$ -ої категорії;  $f_{контр}$  – к-ть студентів в контрольній групі, розподілені за шкалою оцінювання для  $i$ -ої категорії;  $k$  – к-ть категорій.

1) порівняння контрольної та експериментальної груп (Moodle та ALS) за допомогою критерію Пірсона:

$$x_1^2 = \frac{(2-4)^2}{4} + \frac{(8-4)^2}{4} + \frac{(12-9)^2}{9} + \frac{(6-8)^2}{8} + \frac{(1-5)^2}{5} = 9,7;$$

2) порівняння контрольної та експериментальної груп (EduPro та ALS) за допомогою критерію Пірсона:

$$x_2^2 = \frac{(2-6)^2}{6} + \frac{(8-10)^2}{10} + \frac{(12-6)^2}{6} + \frac{(6-4)^2}{4} + \frac{(1-2)^2}{2} = 10,6.$$

За таблицею критичних точок розподілу  $x^2$  для рівня значущості 0,05 та числа степенів свободи  $k = 5 - 1$  знаходимо критичну точку  $x_{кр}^2(0,05; 4) = 9,5$  [121].

Оскільки  $x_1^2 = 9,7 > 9,5 = x_{кр}^2$  та  $x_2^2 = 10,6 > 9,5 = x_{кр}^2$ , то, у відповідності до правила прийняття рішення, нульова гіпотеза відхиляється при рівні значущості 0,05 і приймається альтернативна гіпотеза, що дозволяє зробити висновок про покращення знань студентів під час навчання за адаптивною системою ALS.

Отже, початкові (до початку експерименту) стани контрольних та експериментальної груп збігаються, а кінцеві (після експерименту) – відрізняються. Тому можна зробити висновок, що ефект змін обумовлений саме застосуванням запропонованої експериментальної методики навчання.

4.5. Перевірка результатів експерименту із застосуванням теорії автоматичного управління

З метою детальнішого обґрунтування результатів експерименту виконано математичне моделювання вивчення квантів інформації для різних

навчальних груп із застосуванням теорії автоматичного управління (ТАУ) [122].

Згідно ТАУ, стійкість об'єктів управління визначається на основі аналізу наступних класів: абсолютно стійкі, стійкі, нестійкі та пасивні об'єкти [123].

Будемо вважати, що навчальний процес характеризується стійкістю, тобто під час проведення ком'ютеризованого навчання відбувається зростання рівня знань в часі. В такому випадку, характеристики оцінки засвоєних знань описуються двома класами стійкості:

1. Абсолютно стійкі (відповідають студентам з високим рівнем знань, категорія А) – представляються функцією Дірака  $f(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases}$ .

Особливістю класу 1) є швидке опрацювання навчальних квантів у відповідності до часового розподілу подачі інформації (нові порції квантів інформації засвоюються без затримки в часі) – траєкторія А (рис. 4.20).

2. Стійкі (відповідають студентам категорій В, С, Д і Е) – описуються трьома перехідними функціями (першого порядку, другого порядку та другого порядку з транспортним запізненням) [123]:

2.1. Категорія В – функція 1-го порядку  $f(t) = \mu(1 - e^{-\frac{t}{\lambda_1}})$ , де  $\mu$  – коефіцієнт передачі інформації,  $\lambda_1$  – постійна часу, яка характеризує інерційність кривої; відповідає студентам з середнім початковим рівнем знань (траєкторія В) (рис. 4.20). Особливістю класу 2.1 є невелика затримка в часі засвоєння кожного кванта інформації (графічно визначається постійною часу  $\lambda$ );

2.2. Категорія С – функція 2-го порядку  $f(t) = \mu(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_3} e^{-\frac{t}{\lambda_2}} + \frac{\lambda_3}{\lambda_2 - \lambda_3} e^{-\frac{t}{\lambda_3}})$ , де  $\lambda_2, \lambda_3$  – постійні часу; відповідає студентам з невисоким початковим рівнем знань (траєкторія С) (рис. 4.20). Особливістю

класу 2.2 є збільшена у порівнянні з класом 2.1 витрата часу студента на засвоєння тих самих квантів інформації;

2.3. Категорії D, E – функція з транспортним запізненням  $f(t, \tau) = \mu(1 - e^{-\lambda_4(t-\tau)}) \cdot (t - \tau)$ , де  $\lambda_4$  – постійна часу,  $\tau$  – числовий параметр, який характеризує час запізнення студента; відповідає студентам з низьким початковим рівнем знань (траєкторії D, E) (рис. 4.20). Особливістю класу 2.3 є використання параметра запізнення  $\tau$ , необхідного студенту для початкової підготовки до вивчення нових порцій знань (повторення попереднього матеріалу, деталізація навчальних квантів, різні форми представлення кванта та ін.).

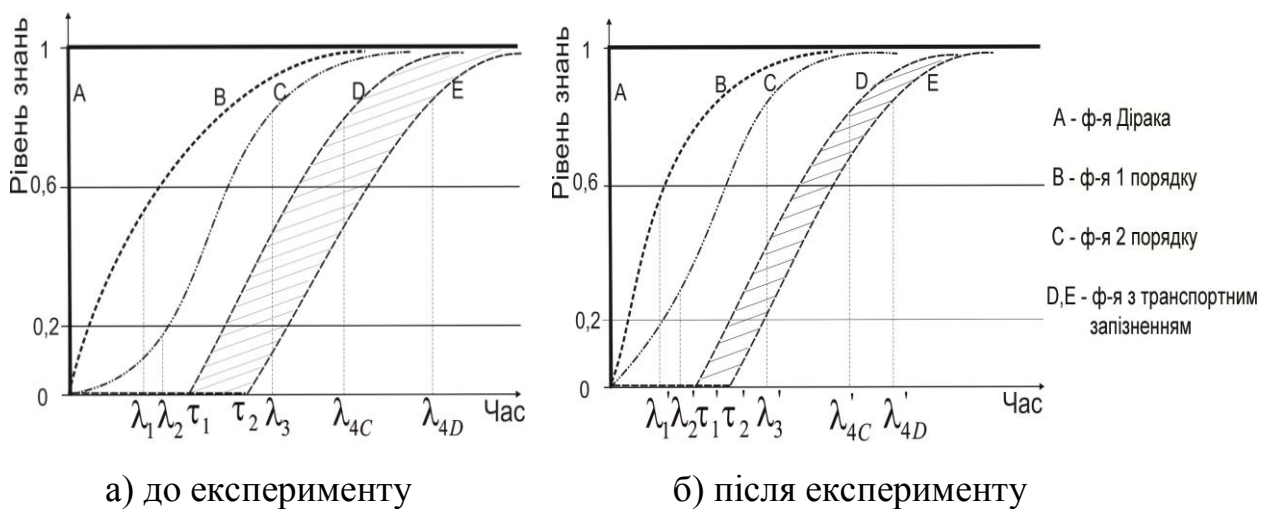


Рис. 4.20. Представлення навчальних траєкторій відповідно теорії автоматичного управління

Порівняння графічного відображення навчальних траєкторій різних категорій до і після експерименту дозволило зробити такі висновки:

- 1) для студентів категорії А графік навчальної траєкторії без суттєвих змін;
- 2) графік студентів категорії В набуває більшої випуклості за рахунок зменшення часу  $\lambda$ , необхідного для вивчення кванта інформації;
- 3) крива, що відповідає студентам категорії С змінює інерційність відображення за рахунок зменшення постійних часу  $\lambda_2, \lambda_3$ , що впливають на швидкість опрацювання кванта інформації;

4) студенти категорій D і E – зменшується загальна кількість студентів в цих категоріях та зменшується час запізнення  $\tau$ , тобто швидше починається процес вивчення інформаційних квантів.

Запропонована технологія дає можливість адаптувати систему до реальних характеристик сприймання інформації різними категоріями студентів. Це дозволяє розширити розроблену модель комп'ютеризованої системи шляхом врахування перехідних функцій та усунути недоліки відомих систем дистанційної освіти.

#### 4.6. Висновки

1. На основі запропонованих методів та алгоритмів розроблено функціональну структуру адаптивної системи із застосуванням модульного принципу розробки додатків, що дає можливість фізично розділити процеси побудови, компіляції та відладки окремих модулів, дозволяє значно скоротити витрати на проведення етапу проектування і програмну реалізацію.

2. Виконано програмну реалізацію навчальної системи на мові програмування PHP із застосуванням системи управління базами даних MySQL, що дозволяє легко її адаптувати під діючі системи у вигляді окремих модулів та розгортати на будь-якій платформі, що підтримує виконання PHP-скриптів та надає доступ до MySQL.

3. Розроблено інструментальний засіб програмної обробки результатів тестування, який дозволяє виконати групування студентів та визначити номер навчального режиму відповідно до сценарного прикладу, найбільш адаптованого до окремої групи.

4. Отримані результати експерименту показали, що навчання студентів за розробленою адаптивною системою дозволяє підвищити загальну якість знань студентів у експериментальних групах на 12-15 %. Порівняння побудованих діаграм успішності студентів до і після

експерименту показало, що дана система найбільш ефективна для навчання студентів із середнім та низьким початковим рівнем знань, які складають близько 60-70 % від загальної кількості студентів в групі.

5. Проведений статистичний аналіз вибірок контрольних та експериментальної груп студентів із використанням t-критерію Стьюдента та критерію  $\chi^2$ -квадрат ( $\chi^2$ ), розрахунок яких показав, що емпіричні значення даних критеріїв для рівня значущості 0,05 (ймовірність похибки 5 %) менші їх табличних значень: ( $t_{емп1} < t_{кр} \rightarrow 0,88 < 2,004$ ;  $t_{емп2} < t_{кр} \rightarrow 0,37 < 2,004$  та  $\chi^2_{емп1} < \chi^2_{кр} \rightarrow 0,27 < 9,5$   $\chi^2_{емп2} < \chi^2_{кр} \rightarrow 0,63 < 9,5$ ). Це дозволило обґрунтувати висновок про збереження нульової гіпотези схожості запропонованої в дослідженні вибірки навчальних груп до експерименту та підтвердити статистично незначну різницю між рівнями знань студентів в різних групах, задіяних в експерименті.

6. Виконано статистичну перевірку нормального розподілу вибірки студентських груп після експерименту із використанням критерію Пірсона, розрахунок якого показав, що емпіричні значення критерію для рівня значущості 0,05 більші за відповідні табличні значення ( $\chi_1^2 = 9,7 > 9,5 = \chi_{кр}^2$  та  $\chi_2^2 = 10,6 > 9,5 = \chi_{кр}^2$ ). Це дозволило згідно правила прийняття рішення відхилити нульову гіпотезу (для ймовірності похибки 5 %) про схожість вибірок в навчальних групах після експерименту та прийняти альтернативну гіпотезу щодо покращення знань студентів під час навчання за адаптивною системою Adaptive Learning System.

7. Виконано математичне моделювання та дослідження навчальної системи шляхом введення перехідних функцій, що дозволило адаптувати систему до реальних характеристик сприймання інформації різними категоріями студентів і розширити модель комп'ютеризованої системи шляхом урахування класів стійкості.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі поставлена та вирішена задача підвищення якості дистанційного навчання шляхом розробки адаптивної системи, побудованої на основі нових інформаційних технологій із застосуванням математичних методів та інструментальних засобів.

Проведені дослідження дозволили зробити такі висновки.

1. Виконано аналіз моделей, методів та інформаційних технологій побудови адаптивних систем дистанційної освіти, що дозволило шляхом введення нових форм представлення навчального матеріалу, реалізації нових стратегій та способів організації процесу навчання визначити перспективні напрямки розробки адаптивної навчальної системи.

2. Розроблено структурну модель та проведено формалізацію компонентів адаптивної системи, яка в порівнянні з відомими дозволяє реалізувати в системі дистанційного навчання ширші можливості адаптації до індивідуальних особливостей сприйняття інформації та рівнів знань тих, хто навчається.

3. Розроблено метод оцінки результатів тестового контролю рівня навчання із застосуванням теорії мультимножин, що дозволило шляхом визначення глибини вивчення квантів інформації забезпечити формування блоків навчального матеріалу із врахуванням індивідуальних особливостей, навичок і здібностей тих, кого навчають.

4. Розроблено метод групування студентів, побудований на основі застосування кластерного аналізу для обробки матриці прецедентів, що забезпечило шляхом вибору з бази прецедентів адаптованого до конкретного користувача прецедентного рішення прискорити процес засвоєння нових знань та підвищити ефективність навчального процесу.

5. Запропоновано інформаційну технологію побудови індивідуальної адаптивної траєкторії навчання на базі методу різнорівневого алгоритмічного

квантування знань, що дало можливість шляхом використання предикатно-аналітичної і векторно-матричної форми представити інформаційні кванти у вигляді матриці прецедентів та здійснювати машинну обробку інформації засобами алгебри скінчених предикатів.

6. Розроблено інструментальний засіб програмної обробки результатів тестування, використання якого дозволяє шляхом застосування апарату тризначної математичної логіки автоматично визначати групу кластеризації студентів та будувати навчальну траєкторію на основі незасвоєних інформаційних квантів.

7. Реалізовано веб-орієнтовану адаптивну систему Adaptive Learning System та експериментально підтверджено її ефективність. Встановлено, що навчання студентів за даною системою дозволяє підвищити загальну якість знань студентів у експериментальній групі на 12-15 %. Порівняння побудованих діаграм успішності студентів до і після експерименту показало, що дана система є найбільш ефективною для навчання студентів із середнім та низьким початковим рівнем знань, які складають близько 60-70 % від загальної кількості студентів в групі.

8. Виконано математичне моделювання та дослідження адаптивної системи шляхом введення перехідних функцій, що дозволило адаптувати систему до реальних характеристик сприймання інформації різними категоріями студентів.

9. Проведено верифікаційні дослідження розробленої навчальної системи на основі статистичного аналізу із використанням t-критерію Стьюдента та критерію Пірсона, що дозволило з 5 % рівнем значущості оцінити ефективність впровадження системи в навчальний процес.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Федорук П. І. Технологія побудови індивідуальної адаптивної траєкторії навчання у системі дистанційної освіти і контролю знань / П. І. Федорук, М. В. Пікуляк // Математичні машини і системи. – 2010. – № 1. – С. 68–76.
2. Федорук П. І. Інтелектуальний механізм побудови індивідуальної навчальної траєкторії в адаптивних системах дистанційного навчання / П. І. Федорук, М. В. Пікуляк, М. С. Дутчак // Штучний інтелект : науково-теоретичний журнал / ІПШ МОН і НАН України «Наука і освіта». – 2010. – № 3. – С. 668–678.
3. Федорук П. И. Использование сценарных примеров знаний при построении индивидуальной учебной траектории / П. И. Федорук, Н. В. Пикуляк // Программные продукты и системы. – Тверь, 2011. – № 2 (94). – С. 89–94.
4. Марценюк В. П. Побудова бази знань в адаптивній навчальній системі / В. П. Марценюк, П. І. Федорук, М. В. Пікуляк // Вісник Київського університету. Серія : фізико-математичні науки. – К., 2011. – № 3. – С. 193–199.
5. Федорук П. І. Побудова модуля верифікації експертних правил для автоматизованої обробки навчальної інформації / П. І. Федорук, М. В. Пікуляк // Системи обробки інформації. – Харків : Вид-во Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2011. – № 5 (95). – С. 301–304.
6. Федорук П. І. Використання математичної логіки для встановлення навчального режиму в автоматизованих системах передачі знань / П. І. Федорук, М. В. Пікуляк // Математичні машини і системи. – 2013. – № 1. – С. 94–101.

7. Пікуляк М. В. Онтологічний підхід до побудови предметної області на основі квантово-фреймової моделі / М. В. Пікуляк // Медична інформатика та інженерія. – 2014. – № 1. – С. 50–54.
8. Пікуляк М. В. Застосування теорії мультимножин для формування індивідуального квантового набору навчального контенту / М. В. Пікуляк // Математичні машини і системи. – 2014. – № 3. – С. 96–103.
9. Аванесов В. С. Научные проблемы тестового контроля знаний : монография / В. С. Аванесов. – М. : Исслед. центр, 1994. – 135 с.
10. Применение ЭВМ в учебном процессе : сб. докладов науч.-техн. семинара / под ред. А. И. Берга. – М. : Сов. радио, 1969. – 248 с.
11. Программированное обучение и обучающие машины : труды науч.-техн. семинара. – К., 1967. – Вып. 2.
12. Carbonell J. R. AI in CAI: Artificial Intelligence Approach to Computer Assisted Instruction / J. R. Carbonell // IEEE Transactions on Man-Machine Systems. – 1970. – N 11(4). – P. 190–202.
13. Сивохин А. В. Представление знаний в интеллектуальных системах обучения : учеб. пособ. / А. В. Сивохин. – Пенза : ППИ, 1990. – 86 с.
14. Федорук П. І. Адаптивна система дистанційного навчання та контролю знань на базі інтелектуальних Інтернет-технологій / П. І. Федорук. – Івано-Франківськ : ВДВ ЦІТ ПНУ ім. В. Стефаника, 2008. – 315 с.
15. Томашевський В. М. Огляд сучасного стану систем дистанційного навчання / В. М. Томашевський, Ю. Л. Новіков, П. А. Камінська // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Т. 160. Вип. 122. Комп'ютерні технології.– Миколаїв : Вид. ЧДУ ім. Петра Могили, 2011. – С. 146–157.
16. Вишнівський В. В. Організація дистанційного навчання. Створення електронних навчальних курсів та електронних тестів : навч. посіб. / В. В. Вишнівський, М. П. Гніденко, Г. І. Гайдур, О. О. Ільїн. – К. : ДУТ, 2014. – 140 с.

17. Гагарін О. О. Дослідження і аналіз методів та моделей інтелектуальних систем безперервного навчання / О. О. Гагарін, С. В. Титенко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2007. – № 6. – С. 37–48.
18. Brusilovsky P. Methods and techniques of adaptive hypermedia / P. Brusilovsky // *User Modeling and User-Adapted Interaction*. – 1996. – N 6 (2–3). – P. 87.
19. Касьянов В. Н. Дистанционное обучение: методы и средства адаптивной гипермедиа / В. Н. Касьянов, Е. В. Касьянова // Программные средства и математические основы информатики. – Новосибирск : ИСИ СО РАН, 2004. – С. 80–141.
20. Brusilovsky P. A tool for developing adaptive electronic textbooks on WWW / P. Brusilovsky, E. Schwarz, G. Weber // *Proc. of World Conf. of the Web Society (WebNet'96)*. – Boston, 1996. – P. 64–69.
21. Kay J. User models for customized hypertext / J. Kay, B. Kummerfeld // *Lect. Notes Comput. Sci.* – 1997. – Vol. 1326. – P. 47–69.
22. Hook K. A glass box approach to adaptive hypermedia / K. Hook, J. Karlgren, A. Waern, N. Dahlback, C. Jansson, K. Karlgren, B. Lemaire // *User Modeling and User Adapted Interaction*. – 1996. – Vol. 6, N 2–3. – P. 157–184.
23. De Bra P. АНА! Version 2.0, more adaptation flexibility for authors / Bra de P., A. Aerts, D. Smits, N. Stash // *Proc. of the AACE ELearn'2002 Conf.* – 2002. – P. 240–246.
24. Henze N. Adaptivity in the KBS hyperbook system / N. Henze, W. Nejdl // *The 2nd Workshop on Adaptive Systems and User Modeling on the WWW*. – Toronto, 1999.
25. Kinshuk Han B. Student adaptivity in TILE / Han B. Kinshuk, H. Hong, A. Ratel // *IEEE Intern. Conf. on Advanced Learning Technologies*. – IEEE Computer Society, 2001. – P. 297–300.
26. Chan A.T.S. SAC: a self-paced and adaptive courseware systems / A.T.S. Chan, S.Y.C. Chan, J. Cao // *IEEE Intern. Conf. on Advanced Learning Technologies*. – IEEE Computer Society, 2001. – P. 78–81.

27. Virvou M. Web-passive voice tutor: an intelligent computer assisted language learning system over the WWW / M. Virvou, V. Tsiriga // IEEE Intern. Conf. on Advanced Learning Technologies. – IEEE Computer Society, 2001. – P. 131–134.
28. Башмаков А. И. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем / А. И. Башмаков, И. А. Башмаков. – М. : Информационно-издательский дом «Филинь», 2003. – 616 с.
29. Брусиловский П. Л. Адаптивные и интеллектуальные технологии в сетевом обучении / П. Л. Брусиловский // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – № 5. – С. 25–31.
30. Андреев А. Б. Экспертная система анализа знаний как инструмент контроля усвоения зачетных единиц / А. Б. Андреев, Ю. Е. Усачев // Проблемы введения системы зачетных единиц в высшем профессиональном образовании : материалы к Всероссийскому совещанию (Москва, 23 апреля 2003 г.) / под ред. В. Н. Чистохвалова. – М. : Изд-во РУДН, 2003. – 100 с.
31. Лорьер Ж. Л. Системы искусственного интеллекта / Ж. Л. Лорьер. – М. : Мир, 1991. – 568 с.
32. Рыбина Г. В. Автоматизированное рабочее место для построения интегрированных экспертных систем: комплекс АТ-ТЕХНОЛОГИЯ / Г. В. Рыбина // Новости искусственного интеллекта. – 2005. – № 3. – С. 69–87.
33. Андреев А. Б. Экспертная система анализа знаний / А. Б. Андреев, А. А. Кузнецов, В. Б. Моисеев, В. В. Усманов, Е. Ю. Усачев // Открытое образование. – М. : Изд-во МЭСИ, 2001. – № 2. – С. 47–52.
34. Погребнюк І. М. Моделювання сценаріїв адаптивного навчання з використанням мереж Петрі / І. М. Погребнюк, В. М. Томашевський // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія : Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2012. – № 55. – С. 38–46.

35. Тархов С. В. Реализация механизмов многоуровневой адаптации в системе электронного обучения «Гефест» / С. В. Тархов // *Education Technology & Society*. – 2005. – N 8 (4). – P. 280–290.
36. Кабальнов Ю. С. Информационно-обучающие среды образовательных систем / Ю. С. Кабальнов., С. В. Тархов., Ш. М. Минасов // *Вестник УГАТУ*. – Уфа, 2002. – Т. 3, № 2. – С. 187–196.
37. Бурдаев В. П. Экспертно-обучающие системы второго поколения / В. П. Бурдаев, Л. В. Бурдаева // *Искусственный интеллект*. – 2002. – Т. 3. – С. 345–353.
38. Курганская Г. С. Система дифференцированного обучения через Интернет / Г. С. Курганская. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2000. – 103 с.
39. Крисилов В. А. Сравнительный анализ моделей представления знаний в интеллектуальных системах / В. А. Крисилов, С. М. Побережник, Р. А. Тарасенко // *Труды Одес. политехн. ун-та*. – Одесса, 1998. – Вып. 2. – С. 45–49.
40. Карпенко А. П. Модельное обеспечение автоматизированных обучающих систем. Обзор [Электронный ресурс] / А. П. Карпенко, А. Н. Добряков // *Наука и образование : электронное науч.-техн. издание*. – Режим доступа : <http://www.technomag.edu.ru/doc>.
41. Зайцев И. Е. Адаптивные технологии в современных автоматизированных обучающих системах / И. Е. Зайцев // *Известия Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена. Аспирантские тетради*. – СПб., 2007. – № 21(51). – С. 214–217.
42. Murray T. MetaLinks: Authoring and affordances for conceptual and narrative flow in adaptive hyperbooks / T. Murray // *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. – 2003. – № 13 (2–4). – P. 197–231.
43. Зайцева Л. В. Модели и методы адаптации к учащимся в системах компьютерного обучения / Л. В. Зайцева // *Education Technology & Society*. – 2003. – N 6 (3). – С. 204–212.

44. Выродов А. П. Применение методов адаптивной гипермедиа при разработке автоматизированных обучающих систем / А. П. Выродов, Д. Б. Костарев, С. В. Ковалева, А. Н. Батрак // Вісник Міжнародного Слов'янського університету. Серія : Технічні науки. – 2008. – Т. 11, № 1. – С. 45–50.
45. Новиков Д. А. Закономерности итеративного научения / Д. А. Новиков. – М. : Институт проблем управления РАН, 1998. – 77 с.
46. Ковалев И. В. Системные аспекты организации и применения мультилингвистической адаптивно-обучающей технологии / И. В. Ковалев, М. В. Карасева, Е. А. Суздалева // Educational Technology & Society. – 2002. – № 5(2).
47. Уваров М. Ю. Адаптивные среды создания образовательных ресурсов / М. Ю. Уваров, Н. К. Соколов, И. П. Норенков [Электронный ресурс] // Электронное научно-техническое издание «Наука и образование». – Режим доступа : <http://techno-mag.edu.ru/doc/115688.html>.
48. Норенков И. П. Синтез индивидуальных маршрутов обучения в онтологических обучающих системах / И. П. Норенков, Н. К. Соколов // Информационные технологии. – 2009. – № 3. – С. 74–77.
49. Blizard W. The Development of Multiset Theory / W. Blizard // Notre Dame Journal of Formal Logic. – 1989. – Vol. 30, N. 1. – P. 36–66.
50. Буй Д. Б. Сучасний стан теорії мультимножин / Д. Б. Буй, Ю. О. Богатирьова // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія : Фіз.-мат. науки. – 2010. – Вип. 1. – С. 51–58.
51. Лобанева А. Р. Разработка программного продукта для оценки качества тестирования в рамках модели Раша / А. Р. Лобанева // Вестник КемГУ. – Кемерово, 2013. – Т. 2, № 4 (56). – С. 52–57.
52. Соловов А. В. Проектирование компьютерных систем учебного назначения : учеб. пособ. / А. В. Соловов. – Самара : СГАУ, 1995 – 138 с.

53. Зайцева Л. В. Разработка и применение автоматизированных обучающих систем на базе ЭВМ / Л. В. Зайцева, Л. П. Новицкий, В. А. Грибкова ; под ред. Л. В. Ницецкого. – Рига : Зинатне, 1989. – 174 с.
54. Аванесов В. С. Педагогическое измерение латентных качеств. Педагогическая диагностика / В. С. Аванесов. – 2003. – № 4. – С. 69–78.
55. Рудинский И. Д. Принципы и технологии создания интегрированной автоматизированной системы контроля знаний / И. Д. Рудинский, Э. М. Аскеров, М. А. Емелин, Н. А. Строилов // Информационные технологии в образовании и науке : сб. трудов ВНИК. – М., 2006. – С. 17–35.
56. Rasch G. Probabilistic Model for Some Intelligence and Attainment Tests / G. Rasch. – Chicago : Univ. of Chicago Press, 1980.
57. Волков С. З. Алгоритм управления контролем знаний / С. З. Волков // Кибернетика и исследование операций в управлении учебным процессом : тез. докл. – Рига : РПИ, 1984. – С. 67–70.
58. Проскурнин А. А. Математические модели оценки знаний / А. А. Проскурнин // Интеллектуальные технологии и системы : сборник учебно-методических работ и статей аспирантов и студентов / сост. и ред. Ю. Н. Филипповича. – М. : Изд-во ООО «Эликс+», 2005. – Вып. 7. – С. 197–210.
59. Rasch G. On Specific Objectivity: An Attempt of Formalizing the Request for Generality and Validity of Scientific Statements / G. Rasch // Danish Yearbook of Philosophy. – Munksgaard, Copenhagen, 1977. – Vol. 14. – P. 58–94.
60. Журавлев Ю. И. Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания и классификации / Ю. И. Журавлев // Проблемы кибернетики. – 1978. – Вып. 33. – С. 5–68.
61. Сети Петри [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://ru.wikipedia.org/wiki/Сеть\\_Петри](http://ru.wikipedia.org/wiki/Сеть_Петри).

62. Николайчук Я. М. Теорія моделей руху даних розподілених комп'ютерних систем / Я. М.Николайчук, І. Р. Пітух, Н. Я. Возна. – Тернопіль : Терно-граф, 2008 – 216 с.
63. Бідюк П. І. Байєсівські мережі в технологіях інтелектуального аналізу даних / П. І. Бідюк, О. М. Терентьєв, М. М. Коновалюк // Наукові праці Чорно-морського державного університету імені Петра Могили. Серія : Комп'ютерні технології. – 2010. – № 121, Т. 134. – С. 6–16.
64. Доррер Г. А. Моделирование вычислительных систем : учеб. пособ. / Г. А. Доррер. – Красноярск : КГТУ, 2004. – 188 с.
65. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника / Ф. Уоссермен. – М. : Мир, 1992 – 180 с.
66. Замай С. С. Нейронные сети и ГИС / С. С. Замай, В. А. Охонин, О. Э. Якубайлик. – Красноярск, 2005. – С. 7–19.
67. Данилов Е. П. Нейронные сети: современное состояние и перспективы / Е. П. Данилов, В. Р. Луцив // Оптико механическая промышленность. – 1991. – № 4. – С. 20–32.
68. Сироджа И. Б. Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления / И. Б. Сироджа. – К. : Наукова думка, 2002. – 427 с.
69. Варламов О. О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное інформаційне просторство / О.О. Варламов. – М. : Радио и связь, 2002. – 282 с. : ил. 44.
70. Карпов Л. Е. Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классификации состояний управляемых объектов / Л. Е. Карпов, В. Н. Юдин // Труды Института системного программирования РАН. – М. : ИСП РАН, 2007. – С. 135–155.
71. Brand L. Van-Den Flexible and Distance Learning. ORT Administration Technology Department / L. Brand. – London, 1992. – 345 p.



72. Капустин Н. П. Педагогические технологии адаптивной школы / Н. П. Капустин. – М. : Академия, 1999. – 216 с.
73. Пікуляк М. В. Формалізація та алгоритмізація моделей адаптивного управління взаємодії компонентів системи передачі знань / М. В. Пікуляк, Я. М. Николайчук // Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління (ICSM-2014) : зб. матеріалів міжнар. науково-координаційної наради, 1–6 липня 2014 р. – Тернопіль, 2014. – С. 124–127.
74. Федорук П. І. Побудова експертної системи на основі бази знань сценарних прикладів / П. І. Федорук, М. В. Пікуляк // Сучасні інформаційні технології в дистанційній освіті : збірник тез доповідей I Всеукраїнського науково-практичного семінару, 7–8 травня 2012 р. – Івано-Франківськ, 2012. – С. 27–29.
75. Загвязинский В. И. Теория обучения. Современная интерпретация / В. И. Загвязинский. – М. : Академия, 2008. – 192 с.
76. Гагарин О. О. Проблемы создания гипертекстовой обучающей среды / О. О. Гагарин, С. В. Титенко // Вестник Восточно-украинского национального университета им. В. Даля. – Луганск, 2007. – Ч. 2, № 4 (110). – С. 6–15.
77. Смирнов А. В. Онтологии в системах искусственного интеллекта: способы построения и организации / А. В. Смирнов, М. П. Пашкин, Н. Г. Шилов, Т. В. Левашова // Новости искусственного интеллекта. – 2002. – № 1. – С. 3–13.
78. Пікуляк М. В. Моделювання предметної області в автоматизованих навчальних системах / М. В. Пікуляк // Інформаційні технології в освіті, науці і техніці (ІТОНТ-2014) : тези доповідей II міжнародної науково-практичної конференції, 24–26 квітня 2014 р. – Т. 2. – С. 75–76.
79. Федорук П. І. Проектування бази знань в адаптивній навчальній системі / П. І. Федорук, М. В. Пікуляк // Інноваційні комп'ютерні технології у

- вищій школі : матеріали 3-ої науково-практичної конференції, (Львів, 18–20 жовтня 2011 року) / Національний університет «Львівська політехніка». – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2011. – С. 14–18.
80. Galeev Ildar. “Adaptation on the basis of the skills overlay model / Ildar Galeev, Larissa Tararina and Oleg Kolosov // Kinshuk Chee-Kit Looi, Erkki Sutinen, Demetrios Sampson, Iganacio Aedo, Lorna Uden and Esko Kähkönen (ed): Proceedings of 4th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT’2004), August 30 – September 1. – Joensuu, Finland, 2004. – P. 648–650.
81. Федорук П. І. Адаптивна передача знань із використанням багатопараметричної моделі студента / П. І. Федорук, С. М. Масловський // Науковий вісник Чернівецького національного університету. Серія : Комп’ютерні системи та компоненти. – Чернівці : ЧНУ, 2011. – Т. 2, вип. 2. – С. 91–96.
82. Рыбина Г. В. Обучающие интегрированные экспертные системы: некоторые итоги и перспективы / Г. В. Рыбина // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2008. – № 1. – С. 22–46.
83. Глибовець М. М. Аналіз тестових завдань на основі статистичної обробки результатів тестування / М. М. Глибовець, О. Ю. Остапенко // Вісник Київського університету. Серія : Фізико-математичні науки. – 2010. – Вип. 1. – С. 84–93.
84. Аванесов В. С. Форма тестовых заданий / В. С. Аванесов. – М. : Центр тестирования, 2005. – 155 с.
85. Майоров А. Н. Теория и практика создания тестов для системы образования / А. Н. Майоров. – М. : Интеллект-центр, 2001. – 296 с.
86. Яковенко А. Е. Методы принятия решений в условиях адаптивного обучения / А. Е. Яковенко, А. В. Нарожный, В. Д. Гогунский // Интеллектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій. – Херсон : Вид-во Херсонського морського ун-ту, 2005. – Т. 4. – С. 95–97.

87. Федорук П. І. Модель процесу прийняття рішень при побудові індивідуальної навчальної траєкторії в адаптивних системах дистанційного навчання / П. І. Федорук, М. С. Дутчак, М. В. Пікуляк // Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика. Збірник доповідей науково-практичної конференції з міжнародною участю. – Київ, 2010 р. – С. 216–220.
88. Колесник Ю. М. Інформатизація ЗДМУ: підсумки, проблеми, перспективи / Ю. М. Колесник, О. А. Рижов // Актуальні питання дистанційної освіти та телемедицини 2009 : матеріали Всеукраїнської науково-практичної відеоконференції, 16–17 квітня 2009 р. – Запоріжжя : Вид-во ЗДМУ, 2009. – С. 4–7.
89. Pikulyak M. The method of formalization of adaptive learning model based on precedents matrix / Mykola Pikulyak // Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці : CADSM 2015 : матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції. – Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2015. – С. 189–192.
90. Кузьмінський А. І. Педагогіка : підручник / А. І. Кузьмінський, В. Л. Омеляненко. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К. : Знання-Прес, 2004. – 445 с.
91. Антонов И. В. Формирование онтологических моделей предметной области для электронных обучающих систем / И. В. Антонов, М. В. Воронов // Информационные технологии в обеспечении нового качества высшего образования : сборник научных статей. – Кн. 2. – М. : Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2010. – С. 48–55.
92. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений / О. И. Ларичев. – М. : Логос, 2000. – 296 с.
93. Долинер Л. И. Компьютерные тесты успеваемости как средство оптимизации учебного процесса / Л. И. Долинер // Вестник Московского

- университета. Сер. 20 : Педагогическое образование. – 2004. – № 1. – С. 35–72.
94. Aamodt A. Case-Based reasoning: Foundational issues, methodological variations, and system approaches / A. Aamodt, E. Plaza // *AI Communications*. – 1994. – Vol. 7, N. 1.
95. Бешелев С. Д. Математико-статистические методы экспертных оценок / С. Д. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М. : Статистика, 1980. – 263 с.
96. Прохоров Ю. К. Управленческие решения : учебное пособие / Ю. К. Прохоров, В. В. Фролов. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2011. – 138 с.
97. Юдин В. Н. Гибридный подход к построению систем поддержки решений / В. Н. Юдин, Л. Е. Карпов // *Труды Института системного программирования РАН (ИСП РАН)*. – 2013. – Т. 24. – С. 447–456.
98. Пікуляк М. В. Застосування прецедентного підходу для моделювання навчальної поведінки студента в адаптивній системі передачі знань / М. В. Пікуляк // *Теорія прийняття рішень : праці VII міжнародної школи-семінару*. – Ужгород : УжНУ, 2014. – С. 200–201.
99. Nykolaychuk Y. Structuring the movement of data in computer systems / Y. Nykolaychuk., I. Pitukh, Vozna N. – Ternopil : Ternograf, 2013. – 284 p.
100. Пікуляк М. В. Проблеми прийняття рішень в адаптивних системах контролю знань / М. В. Пікуляк, О. В. Козич, О. В. Федорук // *Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика : збірник доповідей науково-практичної конференції з міжнародною участю*. – К., 2013. – С. 118–120.
101. Касьянов В. Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В. Н. Касьянов, В. А. Евстигнеев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 1104 с.
102. Газетдинов А. Д. О некоторых способах измерения параметров управляющей информации в автоматизированных обучающих системах

- / А. Д. Тазетдинов // Управление большими системами : сборник трудов. – 2009. – Вып. 27. – С. 308–324.
103. Заторський Р. А. Деякі методи та задачі комбінаторного аналізу (Спеціальний курс математики) / Р. А. Заторський. – Івано-Франківськ : Лік, 2006. – 136 с.
104. Пікуляк М. В. Квантування навчального контенту на основі теорії мультимножин / М. В. Пікуляк, О. В. Козич // Системний аналіз і інформаційні технології – SAIT 2013 : матеріали 15 міжнародної науково-технічної конференції. – К. : ННК “ІІСА” НТУУ “КПІ”, 2013. – С. 315–316.
105. Пікуляк М. В. Побудова експертних правил у адаптивній системі навчання / М. В. Пікуляк // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) : матеріали 1-ї міжнародної науково-технічної конференції. – Черкаси : Маклаут, 2011. – С. 355–356.
106. Bergmann R. Experience Management / R. Bergmann // Lecture notes on artificial intelligence. – 2002. – Vol. 2432.
107. Федорук П. І. Використання сценарного методу для прийняття рішень в адаптивній системі / П. І. Федорук, М. В. Пікуляк // Системний аналіз і інформаційні технології – SAIT 2012 : матеріали 14 міжнародної науково-технічної конференції. – К. : ННК “ІІСА” НТУУ “КПІ”, 2012. – С. 248–249.
108. Lukaszewicz J. O logice trójwartościowej / J. Lukaszewicz // Ruch Filozoficzny. – Lwów, 1920. – № 5. – С. 168–171
109. Колмогоров А. Н. Математическая логика / А. Н. Колмогоров, А. Г. Драгалін. – Изд. 3-е, стереот. – М. : КомКнига, 2006 – 240 с.
110. Карпенко А. С. Многочисленные логики / А. С. Карпенко. – М. : Наука, 1997. – 223 с. – (Логика и компьютер. – Вып. 4).
111. Никольская И. Л. Математическая логика : учебник / И. Л. Никольская. – М. : Высш. школа, 1981. – 127 с.

112. Пікуляк М. В. Розробка функціональної структури програмного модуля адаптивної системи / М. В. Пікуляк // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) : матеріали 3-ї міжнародної науково-практичної конференції. – Київ-Черкаси, 2015. – С. 377-378.
113. Зандстра Мэтт. РНР. Объекты, шаблоны и методики программирования / Мэтт Зандстра. – Вильямс, 2011. – 528 с.
114. Ржеуцкая С. Ю. Базы данных. Язык SQL / С. Ю. Ржеуцкая. – Вологда : ВоГТУ, 2010. – 159 с.
115. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика / А. И. Кобзарь. – М. : Физматлит, 2006. – 816 с.
116. Кулаичев А. П. Методы и средства комплексного анализа данных / А. П. Кулаичев. – М. : Форум–Инфра-М, 2006. – 162 с.
117. Критические точки распределения Стьюдента [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://natalymath.ru/krit\\_student.html](http://natalymath.ru/krit_student.html).
118. Большев Л. Н. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов. – М. : Наука, 1983. – 416 с.
119. Заславская О. Ю. Информационные технологии в управлении образовательным учреждением. Учебное пособие / О. Ю.Заславская, М. А. Сергеева. – М. : Просвещение, 2006.– 128 с.
120. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – 10-е изд., стер. – М. : Академия, 2005. – 576 с.
121. Таблица критических точек распределения Пирсона [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://natalymath.ru/krit\\_pirson.html](http://natalymath.ru/krit_pirson.html).
122. Никулин А. Е. Основы теории автоматического управления / А. Е. Никулин. – СПб. : БХВ- Петербург, 2004. – 640 с.
123. Николайчук Я.М. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем. Навчальний посібник / Я. М. Николайчук, Н.Я. Возна, І.Р. Пітух. – Тернопіль: ТЗОВ «Терно-граф», 2010. – 392 с.

## Додаток А

Таблиця 1.2

## Порівняльний аналіз адаптивних експертних систем

Назва системи	Навчальне призначення	Переваги	Недоліки
Комплекс «АТ-ТЕХНОЛОГІЯ» [32]	інструментальна система для автоматизованої побудови прикладних інтегрованих експертних систем (ІЕС) в статичних проблемних областях	<ul style="list-style-type: none"> <li>- тісна інтеграція компонентів комплексу;</li> <li>- автоматизоване наповнення БЗ та використання універсального вирішувача для забезпечення повного доступу до об'єктів БД;</li> <li>- підтримка репозитарію з можливістю розподіленого зберігання, обробки та експорту-імпорту частин БД;</li> <li>- широке використання піктограм, оперативних підказок;</li> <li>- використання психологічного портрету користувача</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- трудомісткість розробки бібліотеки компонентів та їх подальша адаптація до вимог поточної задачі;</li> <li>- недостатня повнота бази знань інтелектуального планувальника;</li> <li>- обмеженість сфери застосування</li> </ul>
«Експерт-ТС» [33]	атестаційна перевірка знань (залік, іспит) відомих та невідомих для учня на даний момент понять	<ul style="list-style-type: none"> <li>- використання семантичної мережі для побудови предметної області;</li> <li>- використання графа мережі з метою встановлення черговості аналізу вершин (понять) та організації пошуку в глибину та ширину;</li> <li>- обчислення коефіцієнта достовірності вивчення поняття, який визначає подальшу доцільність продовження або завершення пошуку</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- неповнота та суперечливість вихідних даних;</li> <li>- складність у проведенні обчислень при отриманні «фотографії знань»;</li> <li>- велика розмірність простору рішень конкретної задачі;</li> <li>- динамічна мінливість даних та знань</li> </ul>
DA OS [34]	багатокомпонентна дистанційна адаптивна навчальна система	<ul style="list-style-type: none"> <li>- наявність трьохрівневої архітектури (клієнт, сервер додатків, база даних);</li> <li>- використання багаторівневої мережі Петрі в</li> </ul>	складність розробки та моделювання навчальних сценаріїв на основі

		якості функціональної моделі навчальної системи; -застосування карти прогалін знань	результатів тестування та кривих забування
Гефест [35]	мережева інформаційно-навчальна система для проведення занять з студентами в умовах різних форм організації навчального процесу	- реалізація технології динамічної адаптації на базі поточного контролю засвоєння навчального матеріалу; - використання потужних алгоритмів адаптивного управління електронним навчанням на основі теорії кінцевих автоматів Мура [36]; -мультиагентний підхід побудови архітектури; -об'єктно-орієнтовний принцип обробки структурованої навчально-методичної інформації	складність обробки навчальної інформації, що зберігається в реляційній базі даних у вигляді великої кількості фрагментів, що мають завершене логічно-змістовне пояснення та мінімально можливий об'єм зберігання
Каркас [37]	Електронна навчальна система для визначення проміжного контролю знань студентів у процесі виконання курсових проектів, практичних занять і лабораторних робіт	-використання продукційно-фреймової моделі подання знань; -побудова загальної структури комп'ютерної технології навчання та тестування на основі деталізації та активізації знань; -визначення психологічного типу поведінки студента з метою побудови моделі навчання	-необхідність розробки та зберігання в БД навчальних траєкторій, що відповідають різним рівням навченості; -неможливість автоматичного наповнення БЗ та обмежені методи організації діалогу
ГЕКА ДЕМ [38]	система диференційованого Інтернет-навчання розробки адаптивних навчальних курсів, розвитку індивідуального контрольованого навчання й аналізу навчального процесу	-використання альтернативного навчання та системи повернень, направлених на поглиблене вивчення матеріалу; -доступ користувачів до можливості самостійної побудови навчальних планів та планової організації навчання	посилені вимоги до розробки тестових завдань та додаткових навчальних матеріалів



## Додаток Б

Таблиця 1.4

## Порівняльний аналіз моделей оцінки знань

Назва моделі	Переваги	Недоліки
Проста модель (враховує один параметр)	простота реалізації	-залежність від єдиного параметра; -низька об'єктивність оцінки знань
Модель, що враховує час виконання завдання і/або загальний час контрольної роботи	-простота та наочність отриманих результатів; -враховування під час формування підсумкової оцінки часу, відведеного на тестування	відсутність використання параметрів з моделі студента
Модель на основі рівнів засвоєння	використання в обчисленнях рівня знань групового розбиття завдань та формування відповідного до рівнів набору істотних операцій	відсутність використання параметрів з моделі студента
Метод лінійно-частинної апроксимації	одночасне використання дидактичних характеристик завдань та поточного рівня підготовки (рангу) з моделі студента	-залежність оцінки знань студента від складності тесту; -необхідність попередньої класифікації завдань за їх дидактичними характеристиками
Моделі на основі ймовірнісних критеріїв	можливість врахування при обчисленні оцінки ймовірності правильної відповіді студентських параметрів (складність завдань, час виконання завдань; кількість неправильно виконаних завдань та ін.)	необхідність використання вибірки великих об'ємів з метою отримання об'єктивних результатів
Моделі на основі критеріїв класифікації	можливість об'єктивного визначення прогалин у знаннях студента на основі обчислення ступеня схожості отриманих студентських параметрів з еталоном	великі затрати при побудові таблиці навчання та важкість врахування якісних характеристик того, кого навчають

## Додаток В

### Метод експертних оцінок

Короткий опис ситуації: використано метод індивідуального експертного опитування, на основі якого виконана формалізація процедури аналізу думок експертів з метою прийняття обґрунтованого рішення.

В опитуванні в якості експертів обрано 10 викладачів: 6 кафедри інформаційних технологій та 4 викладачі кафедри диференціальних рівнянь та прикладної математики ДВНЗ «Прикарпатський університет імені В. Стефаника».

Залікова чисельність експертної групи: 10 чоловік. 10 кандидатам ( $n=10$ ) запропоновано проранжувати 5 критеріїв ( $k=5$ ) вибору методу моделювання навчальної системи:  $g_1$  – інформаційний;  $g_2$  – математичний;  $g_3$  – алгоритмічний;  $g_4$  – програмний;  $g_5$  – соціальний.

Залікова чисельність методів: 7. Кожному методу відповідно до вибраного критерію експертами присвоєно вагові коефіцієнти від 0,1 до 1 так, щоб сума коефіцієнтів дорівнювала 1.

Результати ранжування по всіх експертах відображено в табл.1 – табл.10.

Таблиця 3.1

Таблиця ранжувань 1-го експерта

Критерій Назва методу	Інформаційний	Математичний	Алгоритмічний	Програмний	Соціальний
Мережі Петрі	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2
Мережа Байєса	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ланцюг Маркова	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Метод нейронних мереж	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
Метод графів	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
Метод прецедентів	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Матричний метод	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1

Таблиця 3.2

Таблиця ранжувань 2-го експерта

Критерій Назва методу	Інформаційний	Математичний	Алгоритмічний	Програмний	Соціальний
Мережі Петрі	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
Мережа Байєса	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Ланцюг Маркова	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1
Метод нейронних мереж	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Метод графів	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
Метод прецедентів	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Матричний метод	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1

Таблиця 3.3

Таблиця ранжувань 3-го експерта

Критерій Назва методу	Інформаційний	Математичний	Алгоритмічний	Програмний	Соціальний
Мережі Петрі	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1
Мережа Байєса	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
Ланцюг Маркова	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
Метод нейронних мереж	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
Метод графів	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Метод прецедентів	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Матричний метод	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Таблиця 3.4

Таблиця ранжувань 4-го експерта

Критерій Назва методу	Інформаційний	Математичний	Алгоритмічний	Програмний	Соціальний
Мережі Петрі	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1
Мережа Байєса	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
Ланцюг Маркова	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Метод нейронних мереж	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
Метод графів	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
Метод прецедентів	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1
Матричний метод	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Таблиця 3.5

Таблиця ранжувань 5-го експерта

Критерій Назва методу	Інформаційний	Математичний	Алгоритмічний	Програмний	Соціальний
Мережі Петрі	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
Мережа Байєса	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Ланцюг Маркова	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
Метод нейронних мереж	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Метод графів	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Метод прецедентів	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Матричний метод	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1

Таблиця 3.6

Таблиця ранжувань 6-го експерта

Критерій Назва методу	Інформаційний	Математичний	Алгоритмічний	Програмний	Соціальний
Мережі Петрі	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
Мережа Байєса	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1

Ланцюг Маркова	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1
Метод нейронних мереж	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
Метод графів	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2
Метод прецедентів	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Матричний метод	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1

Таблиця 3.7

Таблиця ранжувань 7-го експерта

Критерій Назва методу	Інформаційний	Математичний	Алгоритмічний	Програмний	Соціальний
Мережі Петрі	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Мережа Байєса	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ланцюг Маркова	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
Метод нейронних мереж	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Метод графів	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Метод прецедентів	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Матричний метод	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1

Таблиця 3.8

Таблиця ранжувань 8-го експерта

Критерій Назва методу	Інформаційний	Математичний	Алгоритмічний	Програмний	Соціальний
Мережі Петрі	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
Мережа Байєса	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Ланцюг Маркова	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Метод нейронних мереж	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2
Метод графів	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1
Метод прецедентів	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Матричний метод	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

Таблиця 3.9

Таблиця ранжувань 9-го експерта

Критерій Назва методу	Інформаційний	Математичний	Алгоритмічний	Програмний	Соціальний
Мережі Петрі	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Мережа Байєса	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Ланцюг Маркова	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
Метод нейронних мереж	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Метод графів	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
Метод прецедентів	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
Матричний метод	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1

Таблиця 3.10

Таблиця ранжувань 10-го експерта

Критерій Назва методу	Інформаційний	Математичний	Алгоритмічний	Програмний	Соціальний
--------------------------	---------------	--------------	---------------	------------	------------

Мережі Петрі	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
Мережа Байєса	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1
Ланцюг Маркова	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Метод нейронних мереж	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
Метод графів	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
Метод прецедентів	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2
Матричний метод	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1

Для кожного критерію обчислено вагові коефіцієнти  $w_i$  за формулами [95]:

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^m w_{ij}}{m}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m},$$

де  $n=7$  – кількість методів, що порівнюється;  $m=10$  – число експертів;  
 $w_{ij}$  – вага  $i$ -го методу, обчислена за оцінками  $j$ -го експерта:

$$w_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}.$$

По інформаційному критерію для кожного з методів отримано наступні вагові коефіцієнти:

$$w_{\text{Петрі\_інф}} = \left( \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,2}{1} \right) / 10 = 0,17$$

$$w_{\text{Байєса\_інф}} = \left( \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} \right) / 10 = 0,11$$

$$w_{\text{Маркова\_інф}} = \left( \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} \right) / 10 = 0,14$$

$$w_{\text{Нейрон\_інф}} = \left( \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} \right) / 10 = 0,16$$

$$w_{\text{Граф\_інф}} = \left( \frac{0,2}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,2}{1} \right) / 10 = 0,17$$

$$w_{\text{Прец\_інф}} = \left( \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} \right) / 10 = 0,12$$

$$w_{\text{Матр\_інф}} = \left( \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,2}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} + \frac{0,1}{1} \right) / 10 = 0,13$$

Аналогічно обчислено вагові коефіцієнти по інших критеріях для всіх методів, запропонованих для експертного аналізу. Обчислені результати систематизовано в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

## Вагові коефіцієнти

Критерій	Інформаційний	Математичний	Алгоритмічний	Програмний	Соціальний
Ваговий коефіцієнт					
$w_{\text{Петрі}}$	0,17	0,18	0,15	0,16	0,14

$W_{\text{Байеса}}$	0,11	0,14	0,12	0,13	0,12
$W_{\text{Маркова}}$	0,14	0,13	0,17	0,14	0,14
$W_{\text{нейрон}}$	0,16	0,10	0,14	0,16	0,18
$W_{\text{граф}}$	0,17	0,16	0,14	0,17	0,15
$W_{\text{прецедент}}$	0,12	0,14	0,16	0,13	0,17
$W_{\text{матриця}}$	0,13	0,15	0,12	0,11	0,10

Встановлення степеня відповідності думок експертів.

Таблиця 3.12

Таблиця ранжувань по інформаційному критерію

Номер експерта Назва методу	1-й експерт	2-й експерт	3-й експерт	4-й експерт	5-й експерт	6-й експерт	7-й експерт	8-й експерт	9-й експерт	10-й експерт
Мережі Петрі	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2
Мережа Байеса	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1
Ланцюг Маркова	0,1	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
Метод нейронних мереж	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2
Метод графів	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2
Метод прецедентів	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Матричний метод	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
$\sum r_{is}$	10									
$\bar{r} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m r_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^d r_{is}$	1,43									

Таблиця 3.13

Таблиця розрахунків оцінки математичного сподівання  $\bar{r}$ 

Номер експерта Назва методу	1-й експерт	2-й експерт	3-й експерт	4-й експерт	5-й експерт	6-й експерт	7-й експерт	8-й експерт	9-й експерт	10-й експерт
Мережі Петрі	1,51	1,77	1,51	1,51	1,77	1,51	1,77	1,51	1,51	1,51
Мережа Байеса	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,77	1,51	1,77	1,77
Ланцюг Маркова	1,77	1,51	1,77	1,77	1,51	1,51	1,51	1,77	1,77	1,77
Метод нейронних мереж	1,77	1,51	1,51	1,51	1,77	1,51	1,77	1,51	1,77	1,51
Метод графів	1,51	1,51	1,51	1,77	1,51	1,77	1,51	1,77	1,51	1,51
Метод прецедентів	1,77	1,77	1,77	1,51	1,77	1,77	1,77	1,77	1,51	1,77
Матричний метод	1,51	1,77	1,77	1,77	1,51	1,77	1,51	1,77	1,77	1,77
$S = d \sum_{i=1}^m (\sum_{s=1}^d r_{is} - \bar{r})^2$	1158,9									

### Додаток Г

Результати експерименту вибірки № 2 (2014/2015 н. р.)

Розподіл оцінок в усіх групах до експерименту відображена в табл.4.6

Таблиця 4.6

	Група А					Група В					Група С				
Шкала оцінювання	Категорія					Категорія					Категорія				
	А	В	С	Д	Е	А	В	С	Д	Е	А	В	С	Д	Е
К-ть студентів	3	4	6	4	2	2	4	4	3	2	3	7	3	3	1

Розподіл оцінок в трьох групах до експерименту:

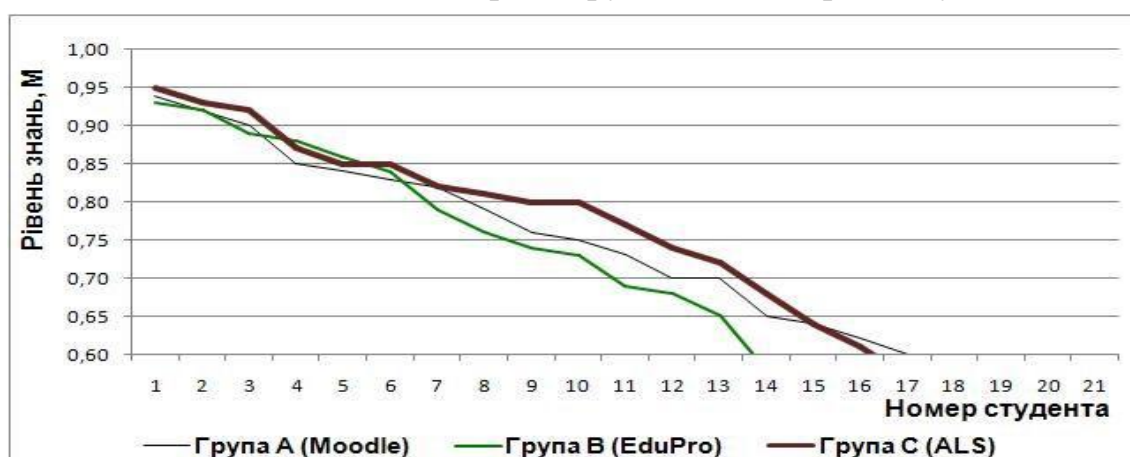


Рис. 4.21. Рівень знань студентів контрольних та експериментальної груп до експерименту

### Результати статистичних розрахунків

Таблиця розрахунків порівняння статистичних результатів

Таблиця 4.7

Навчальна система	К-ть студентів	Середнє арифметичне рівня знань, $M$	Стандартне відхилення, $\delta$	К-ть степенів свободи	Стандартні похибки середнього арифметичного	t-критерій	Критерій $\chi^2$
Moodle	19	0,71	0,003	4	0,024	0,99	2,2
ALS	17	0,74	0,003		0,024		
EduPro	15	0,77	0,001	4	0,027	0,67	1,4
ALS	17	0,74	0,003		0,024		

Розподіл оцінок в трьох групах після експерименту:

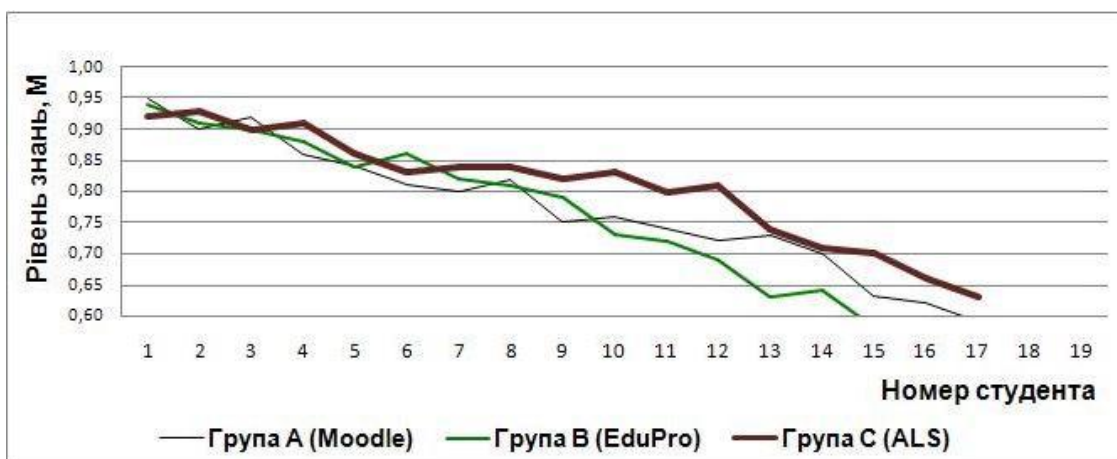


Рис. 4.22. Рівень знань студентів контрольних та експериментальної груп після експерименту

### Статистичні ряди



Рис. 4.23. Розподіл рівня знань студентів по категоріях

Таблиця 4.8

### Оцінка якості знань студентів

Система	Moodle	EduPro	ALS
<b>Якість знань</b>			
до експерименту	68,4	66,7	76,5
після експерименту	73,7	73,3	91,2



## ДОДАТОК Д

### Лістинг модуля мультимножинної обробки результатів тестування

```

<?php

if (isset($_SESSION['stud_uz_id_er']) and isset($pro_el_id)) {
    $test_id = intval($pro_el_id);

    $result_material_msg['ua'] = "На основі результатів вашого тестування
сформовано навчальний матеріал для повторення. Перейдіть до навчальної
програми і виберіть крок \"Повторення навчального матеріалу\".";

    switch ($_SESSION['stud_uz_id_er_lvl']) {
        case "middle":
            $user_lvl = "";
            break;
        case "low": case "high":
            $user_lvl = $_SESSION['stud_uz_id_er_lvl'] . "_";
            break;
    }

    $all_lect_kvants = mysql_query("SELECT lk_id, lk_level, lk_title_" . $lang . ", lk_" .
    $user_lvl . "text_" . $lang . " FROM lekcii_kvanty WHERE lk_lekcija_id = " .
    mysql_result($my_test, 0, 10) . " ORDER BY lk_level");
    if (mysql_num_rows($all_lect_kvants) > 0) {
        $kvants_id = array();
        for ($k = 0; $k < mysql_num_rows($all_lect_kvants); $k++) {
            $cur_lect_kvant_res['id' . mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0)] = -1;
            $cur_lect_kvant_q_count['id' . mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0)] = 0;
            $kvants_id[$k] = mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0);
        }

        $all_lect_tests = array();
        $salt_n = 0;
        for ($p = $cur_step_pos + 1; $p >= 0; $p--) {
            if (substr($all_p_el[$p], 0, 1) == "t") {
                $all_lect_tests[$salt_n] = substr($all_p_el[$p], 1);
                $salt_n++;
            }
        }
    }
}

```

```

    } else {
        break;
    }
}

if (count($all_lect_tests) > 0) {
    for ($p = 0; $p < count($all_lect_tests); $p++) {
        $all_cur_tests_ = mysql_query("SELECT ct_id, ct_create_datetime,
        ct_start_datetime, ct_finish_datetime, ct_result, ct_q_list, ct_a_list FROM
        cur_testy WHERE ct_student_id = " . $_SESSION['stud_uz_id_er'] . " AND
        ct_test_id = " . $all_lect_tests[$p] . " ORDER BY ct_finish_datetime");
    if (mysql_num_rows($all_cur_tests_) > 0) {
        for ($s = 0; $s < mysql_num_rows($all_cur_tests_); $s++) {
            $res_cur_q_list = explode(",", mysql_result($all_cur_tests_, $s, 5));
            $res_cur_a_list = explode("{FULLBORDER}",
            mysql_result($all_cur_tests_, $s, 6));

if (count($res_cur_a_list) > 0) {
    $my_qa_q_id_list = array();
    $my_qa_a_list = array();
    for ($i = 0; $i < count($res_cur_a_list); $i++) {
        $temp_qa_list = explode("{BORDER}", $res_cur_a_list[$i]);
        $my_qa_q_id_list[$i] = substr($temp_qa_list[0],
        1, strlen($temp_qa_list[0]) - 2);
    if (count($temp_qa_list) > 1) {
        for ($j = 1; $j < count($temp_qa_list); $j++) {
            $my_qa_a_list[$i][$j - 1] = trim($temp_qa_list[$j]);
            $my_qa_a_list[$i][$j - 1] = preg_replace("/[\ ]{2,}/", " ",
            $my_qa_a_list[$i][$j - 1]);
        }
    } else {
        $my_qa_a_list[$i][0] = "None_NULL";
        }
        unset($temp_qa_list);
    }
}

if (count($my_qa_q_id_list) > 0) {
    $q_result = array();
    for ($i = 0; $i < count($my_qa_q_id_list); $i++) {

```

```

$cur_q_id = $my_qa_q_id_list[$i];
if (substr($cur_q_id, 0, 1) == "s") {
$cur_q_id = intval(substr($cur_q_id, 1));
if ($cur_q_id > 0) {
$cur_q_data = mysql_query("SELECT skv_p_lp_id, skv_p_type,
skv_p_weight, skv_p_text_" . $lang . ", skv_p_correct_" . $lang . ",
skv_p_wrong_" . $lang . ", skv_p_kv_id, skv_p_skv_id FROM
lekcii_skv_pytannja WHERE skv_p_id = " . $cur_q_id . " LIMIT 1");
if (mysql_num_rows($cur_q_data) == 1) {
if (mysql_result($cur_q_data, 0, 0) == 0) {
$cur_q__ = "s";
} elseif (mysql_result($cur_q_data, 0, 0) > 0) {
$cur_q_id = mysql_result($cur_q_data, 0, 0);
$cur_skv_id = mysql_result($cur_q_data, 0, 7);
unset($cur_q_data);
$cur_q_data = mysql_query("SELECT lp_id, lp_type,
lp_weight, lp_text_" . $lang . ", lp_correct_" . $lang . ",
lp_wrong_" . $lang . ", lp_kvant_id FROM lekcii_pytannja
WHERE lp_id = " . $cur_q_id . " LIMIT 1");
if (mysql_num_rows($cur_q_data) == 1) {
$cur_q__ = "s_";
}
}
}
}
}
else {
$cur_q_id = intval($cur_q_id);
if ($cur_q_id > 0) {
$cur_q_data = mysql_query("SELECT lp_id, lp_type,
lp_weight,
lp_text_" . $lang . ", lp_correct_" . $lang . ", lp_wrong_" . $lang . ",
lp_kvant_id FROM lekcii_pytannja WHERE lp_id = " . $cur_q_id
." LIMIT 1");
if (mysql_num_rows($cur_q_data) == 1) {
$cur_q__ = "";
}
}
}
}

```

```

if (isset($cur_q__)) {
    $q_result[$i] = 0;
    $cur_q_correct_list = explode("{{{BORDER}}}",
    mysql_result($cur_q_data, 0, 4));
if (count($cur_q_correct_list) > 1) {
    for ($q = 1; $q < count($cur_q_correct_list); $q++) {
        $cur_q_correct_list[$q] = trim($cur_q_correct_list[$q]);
        $cur_q_correct_list[$q] = preg_replace("/[\ ]{2,}/", " ",
        $cur_q_correct_list[$q]);
        switch (mysql_result($cur_q_data, 0, 1)) {
            case "YN":
if (in_array($cur_q_correct_list[$q], $my_qa_a_list[$i])) {
    $q_result[$i] += 100;
    }
    break;
            case "Q=":
                $cur_q_correct_list[$q] = substr($cur_q_correct_list[$q], 1);
                $cur_q_correct_list[$q] = trim($cur_q_correct_list[$q]);
            case "=>=":
if (in_array($cur_q_correct_list[$q], $my_qa_a_list[$i])) {
    $q_result[$i] += round(100 / count($cur_q_correct_list) - 1, 2);
    }
    break;
            case "Q%": case "=>%":
                $link_pattern_full = '/^\(\%)([0-9]{1,3})(\%)(\{1,\})/';
                $a_procent = preg_replace($link_pattern_full, "\$2",
                $cur_q_correct_list[$q]);
                $cur_q_correct_list[$q] = preg_replace($link_pattern_full,
                "\$4", $cur_q_correct_list[$q]);
if (in_array($cur_q_correct_list[$q], $my_qa_a_list[$i])) {
    $q_result[$i] += $a_procent;
    }
            unset($a_procent);
            break;
            case ":%":
                $link_pattern_full = '/^\(\%)([0-9]{1,3})(\%)(\{1,\})/';
                $a_procent = preg_replace($link_pattern_full, "\$2",
                $cur_q_correct_list[$q]);
                $cur_q_correct_list[$q] = preg_replace($link_pattern_full,
                "\$4", $cur_q_correct_list[$q]);

```



```

for ($k = 0; $k < mysql_num_rows($all_lect_kvants); $k++) {
    if ($cur_lect_kvant_q_count['id' . mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0)] > 0) {
        $cur_lect_kvant_res['id' . mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0)] =
            ceil($cur_lect_kvant_res['id' . mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0)] /
                $cur_lect_kvant_q_count['id' . mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0)]) + 1;
        $other_lect_kvants = mysql_query("SELECT lekcii_kvanty.lk_id,
            lekcii_kvanty.lk_level, lekcii_kvanty.lk_title_ " . $lang . ", lekcii_kvanty.lk_ " .
            $user_lvl . "text_ " . $lang . " FROM lekcii_kvanty, lekcii_kvanty_zvjazky
            WHERE lekcii_kvanty.lk_id = lekcii_kvanty_zvjazky.lkz_kvant_2_id AND
            lkz_koef >= " . ceil($cur_lect_kvant_res['id' . mysql_result($all_lect_kvants, $k,
            0)] * 0.8) . " AND lekcii_kvanty_zvjazky.lkz_kvant_1_id = " .
            mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0) . " ORDER BY lekcii_kvanty.lk_lekcija_id,
            lekcii_kvanty.lk_level");
    }
    if ($cur_lect_kvant_res['id' . mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0)] < 67) {
        $strm_list .= "," . mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0);
        //echo "<div style=\"margin: 40px 20px;\"><b>" .
            mysql_result($all_lect_kvants, $k, 2) . "</b> [" . $cur_lect_kvant_res['id' .
            mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0)] . "%]<br/><br/>" .
            mysql_result($all_lect_kvants, $k, 3) . "</div>";
    }
    if (mysql_num_rows($other_lect_kvants) > 0) {
        for ($o = 0; $o < mysql_num_rows($other_lect_kvants); $o++) {
            if (!(in_array(mysql_result($other_lect_kvants, $o, 0), $skvants_id) and
                $cur_lect_kvant_q_count['id' . mysql_result($other_lect_kvants, $o, 0)]
                > 0 and $cur_lect_kvant_res['id' . mysql_result($other_lect_kvants, $o, 0)] <
                80)) {
                $strm_list .= "," . mysql_result($other_lect_kvants, $o, 0);
                //echo "<div style=\"margin: 20px 40px;\"><b>" .
                    mysql_result($other_lect_kvants, $o, 2) . "</b><br/><br/>" .
                    mysql_result($other_lect_kvants, $o, 3) . "</div>";
            } else {
            }
        }
    }
    } elseif ($cur_lect_kvant_res['id' . mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0)] >= 67
        and $cur_lect_kvant_res['id' . mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0)] < 80) {
        $cur_kvant_subkvants = mysql_query("SELECT ksk_id, ksk_title_ " . $lang . "
            FROM kvanty_subkvanty WHERE ksk_kvant_id = " .
            mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0) . " ORDER BY ksk_id");
        if (mysql_num_rows($cur_kvant_subkvants) > 0) {
            $sk_n = 0;

```

```

    for ($sk = 0; $sk < mysql_num_rows($cur_kvant_subkvants); $sk++) {
    if (isset($cur_lect_subkvant_res['id' . mysql_result($cur_kvant_subkvants,
        $sk, 0)])) {
    if ($cur_lect_subkvant_res['id' . mysql_result($cur_kvant_subkvants,
        $sk, 0)] < 80) {
        $sk_n++;
        $subkvant_text = "";
        $subkvant_text_start = "[[SUBKVANT_S id=skv_ " .
            mysql_result($cur_kvant_subkvants, $sk, 0) . "_id]]";
        $subkvant_text_stop = "[[SUBKVANT_F]]";
        $subkvant_text_start_pos = strpos(mysql_result($all_lect_kvants, $k,
            3), $subkvant_text_start);
        $subkvant_text = substr(mysql_result($all_lect_kvants, $k, 3),
            $subkvant_text_start_pos);
        $subkvant_text_stop_pos = strpos($subkvant_text,
            $subkvant_text_stop);
        $subkvant_text = substr($subkvant_text,
            strlen($subkvant_text_start), $subkvant_text_stop_pos -
            strlen($subkvant_text_start));
        $strm_list .= ",s" . mysql_result($cur_kvant_subkvants, $sk, 0);
        //echo "<div style=\"margin: 20px 40px;\"><b>" .
            mysql_result($cur_kvant_subkvants, $sk, 1) . "</b><br/><br/>" .
            $subkvant_text . "</div>";
        }
    }
}
if ($sk_n == 0) {
    $strm_list .= "," . mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0);
    //echo "<div style=\"margin: 40px 20px;\"><b>" .
        mysql_result($all_lect_kvants, $k, 2) . "</b> [" .
        $cur_lect_kvant_res['id' .
            mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0)] . "%]<br/><br/>" .
            mysql_result($all_lect_kvants, $k, 3) . "</div>";
    }
unset($sk_n);
} else {
    $strm_list .= "," . mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0);
    //echo "<div style=\"margin: 40px 20px;\"><b>" .
        mysql_result($all_lect_kvants, $k, 2) . "</b> [" . $cur_lect_kvant_res['id' .
            mysql_result($all_lect_kvants, $k, 0)] . "%]<br/><br/>" .

```

```

        mysql_result($all_lect_kvants, $k, 3) . "</div>";
    }
    unset($cur_kvant_subkvants);
}
unset($other_lect_kvants);
}
}

if (trim($trm_list != "0")) {
    if (mysql_num_rows(mysql_query("SELECT trm_id FROM test_result_material
    WHERE trm_user_id = " . $_SESSION['stud_uz_id_er'] . " AND trm_test_id = " .
    $test_id . " LIMIT 1")) == 0) {
        if (mysql_query("INSERT INTO test_result_material (trm_user_id, trm_test_id,
        trm_kv_list) VALUES (" . $_SESSION['stud_uz_id_er'] . ", " . $test_id . ", " .
        $trm_list . ")")) {
            if (mysql_query("UPDATE users_steps SET us_step = 'r' .
            $all_p_el[$cur_step_pos + 1] . " WHERE us_user_id = " .
            $_SESSION['stud_uz_id_er'] . " AND us_program_id = " . $cur_program_id .
            " LIMIT 1")) {
                echo "<div class=\"info_box\">" . $result_material_msg[$lang] . "</div>";
            }
        }
    }
}
}
}
?>

```



## ДОДАТОК Е

## Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

Затверджую  
Проректор з науково-педагогічної роботи  
ДВНЗ «Прикарпатський національний  
університет імені Василя Стефаника»  
С.В. Шарин  
«27» травня 2015 р.




## АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи  
Пікуляка Миколи Васильовича  
«Методи та інструментальні засоби побудови  
адаптивної системи дистанційної освіти»

Комісія у складі: голови, директора навчально-наукового інституту післядипломної освіти та дистанційного навчання ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені В.Стефаника» проф. Нагорняка М. М, заступника директора з навчально-виховної роботи Кицмена Р. Р., провідного фахівця Масловського С.М. склали цей акт про те, що дослідження та результати дисертаційної роботи Пікуляка М.В. впроваджені і використовуються в навчальному процесі навчально-наукового інституту післядипломної освіти та дистанційного навчання, а саме:

- розроблене програмне забезпечення та інформаційна технологія адаптивної дистанційної системи передачі знань базується на мові програмування PHP та системі управління базами даних MySQL, що дозволило зменшити об'єм оперативної пам'яті, підвищити швидкодію алгоритмічних операцій та знизити вимоги до потужності серверів бази знань;
- реалізована комп'ютерна система адаптивного навчання використовується для організації та проведення тестового контролю поточної успішності та державної атестації випускників курсів передпідготовки, що дозволило забезпечити об'єктивність оцінювання знань.

Директор навчально-наукового інституту  
післядипломної освіти та дистанційного  
навчання

М. М. Нагорняк

Заступник директора з навчально-  
виховної роботи

Р. Р. Кицмен

Провідний фахівець

С. М. Масловський




Затверджую

Проректор з науково-педагогічної роботи  
ДВНЗ «Прикарпатський національний  
університет імені В. Стефаника»

*А.В. Загороднюк*

А.В. Загороднюк

«26» травня

2015 р.



#### АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Пікуляка Миколи Васильовича

«Методи та інструментальні засоби побудови адаптивної системи дистанційної освіти» у науково-дослідній роботі на тему:

«Теоретичні та методологічні основи розробки автоматизованих систем передачі та контролю знань»

(державний реєстраційний номер 0112U000063)

Комісія у складі: завідувача кафедри інформаційних технологій ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника» д.т.н., професора Філевич П.В., к.т.н., доцента Лазарович І.М.; к.т.н., доцента Козленко М.І. створена для приймання роботи, виконаної в рамках тематичного плану науково-дослідних робіт на 2012 – 2016 рр. на тему «Теоретичні та методологічні основи розробки автоматизованих систем передачі та контролю знань» (державний реєстраційний номер 0112U000063), встановила:

1. Розроблені Пікуляком М.В. методи мультимножин, прецедентний метод та вдосконалений метод різнорівневого алгоритмічного квантування знань впроваджені в навчальний процес кафедри інформаційних технологій ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені В. Стефаника» для організації та проведення дистанційної освіти.
2. Розроблена Пікуляком М.В. інформаційна технологія адаптивного навчання використовується в навчальному процесі на кафедрі інформаційних технологій при вивченні дисциплін: «Бази даних та інформаційні системи» і «Практикум на ЕОМ» для студентів спеціальностей 6.040302 «Інформатика» та 6.040201 «Математика».
3. Використання зазначених результатів дозволило підвищити рівень підготовки студентів та якість навчального процесу.

Завідувач кафедри  
інформаційних технологій

*П.В. Філевич*

П.В. Філевич

Доцент кафедри інформаційних  
технологій

*І.М. Лазарович*

І.М. Лазарович

Доцент кафедри інформаційних  
технологій

*М.І. Козленко*

М.І. Козленко

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з науково-педагогічної роботи  
Сумського державного університету

В.О. Любчак

12 вересня 2015 р.

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Пікуляка Миколи Васильовича

«Методи та інструментальні засоби побудови адаптивної системи дистанційної освіти»

Комісія у складі: завідувача кафедри комп'ютерних наук д.т.н., професора Довбиша А.С., к.т.н., доцента Шелехова І.В.; к.т.н., доцента Шаповалова С.П. склали цей акт про те, що результати дисертаційної роботи Пікуляка Миколи Васильовича впроваджені в навчальний процес на кафедрі комп'ютерних наук для студентів напрямів підготовки 8.040302 «Інформатика», зокрема для вивчення дисциплін «Основи проектування інтелектуальних систем», «Методи проектування інтелектуальних систем», «Теорія нечітких систем прийняття рішень».

При викладанні цих предметів використані такі матеріали досліджень, проведених автором:

- 1) мультимножинна модель побудови навчальних курсів, на основі якої реалізовано тестовий контроль знань студентів;
- 2) метод сценарного моделювання адаптивного навчання із застосуванням прецедентів, що дозволило прискорити процес засвоєння нових знань;
- 3) інформаційна технологія обчислення кількісних та якісних характеристик засвоєння знань студентами, що забезпечило покращення організації та проведення комп'ютеризованого навчання.

Інформаційна технологія обчислення кількісних та якісних характеристик засвоєння знань впроваджена в систему дистанційного навчання СумДУ, як допоміжний параметр оцінки якості навчальних матеріалів та успішності студентів у модулі «Деканат».

Завідувач кафедри  
комп'ютерних наук

А.С. Довбиш

Доцент кафедри  
комп'ютерних наук

І.В. Шелехов

Доцент кафедри  
комп'ютерних наук

С.П. Шаповалов

Міністерство освіти і науки України  
**Житомирський державний університет  
 імені Івана Франка**  
 Вул. В. Бердичівська, 40,  
 м. Житомир, 10008  
 телефон /факс (0412) 43-14-17  
 E-mail: [zu@zu.edu.ua](mailto:zu@zu.edu.ua) Web: [www.zu.edu.ua](http://www.zu.edu.ua)  
 код ЄДРПОУ 02125208



Ministry of Education and Science of Ukraine  
**Zhytomyr Ivan Franko State University**  
 40, Velyka Berdychivska Str.,  
 City of Zhytomyr Ukraine, 10008  
 Tel/Fax (0412) 43-14-17  
 E-mail: [zu@zu.edu.ua](mailto:zu@zu.edu.ua) Web: [www.zu.edu.ua](http://www.zu.edu.ua)  
 USREOU 02125208

Від 30.06.2015 № 322-5  
 На № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_

### АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження  
 Пікуляка Миколи Васильовича  
**«Методи та інструментальні засоби побудови  
 адаптивної системи дистанційної освіти»**

Комісія у складі: проректора з наукової і міжнародної роботи д.пед.н., професора Сейко Н. А., завідувача кафедри прикладної математики та інформатики д.пед.н., професора Спірина О. М.; к.пед.н., доцента Карплюк С. О. склали цей акт про те, що упродовж 2014-2015 рр. кафедра прикладної математики та інформатики Житомирського державного університету імені Івана Франка здійснювала апробацію і впроваджувала розроблені методи, моделі та концептуальні положення наукового дослідження Пікуляка Миколи Васильовича у навчальний процес під час викладання нормативних курсів «Математичне моделювання соціально-економічних процесів», «Прикладні пакети статистичної обробки», «Інформаційно-комунікаційні технології».

На основі співпраці професорсько-викладацького складу кафедри прикладної математики та інформатики з аспірантом Пікуляком М.В. було зроблено висновки про доцільність упровадження результатів його дослідження в умовах реформування освіти та запровадження дистанційної форми навчання для проведення лабораторних і практичних занять та самостійної роботи студентів. Дисертант брав активну участь у обговоренні питань організації дистанційної форми навчання та актуальних проблем впровадження інформаційних технологій в навчальний процес вищого навчального закладу.

Розроблені автором методи, моделі та інформаційні технології адаптивного навчання дозволяють підвищити успішність студентів та якість проведення навчального процесу.


Акт про апробацію і впровадження результатів дисертаційного дослідження Пікуляка Миколи Васильовича на тему «Методи та інструментальні засоби побудови адаптивної системи дистанційної освіти» було обговорено і затверджено на засіданні кафедри прикладної математики та інформатики (протокол № 12 від 23 червня 2015 р.).

Проректор з наукової і міжнародної роботи  
 Житомирського державного  
 університету імені Івана Франка  
 доктор педагогічних наук, професор

Завідувач кафедри прикладної  
 математики та інформатики  
 доктор педагогічних наук, професор

Доцент кафедри прикладної  
 математики та інформатики,  
 кандидат педагогічних наук, доцент



 Н. А. Сейко

 О. М. Спирін

 С. О. Карплюк

Затверджую  
 Проректор з наукової роботи  
 Донецького національного університету  
 університету  
 І.В. Хаджинов  
 «26» червня 2015 р.

**АКТ**  
 впровадження результатів дисертаційної роботи  
 Пікуляка Миколи Васильовича  
 «Методи та інструментальні засоби побудови адаптивної системи дистанційної освіти»

Даний акт складений про те, що результати дисертаційної роботи Пікуляка Миколи Васильовича використані в навчальному процесі кафедри політології та державного управління Донецького національного університету (м. Вінниця) для студентів напрямів підготовки 6.030104 «Політологія» та 8.03010401 «Політологія».

Зокрема, у викладанні дисциплін «Політологія», «Соціологія» та «Політична конфліктологія» використовується наступні результати дисертаційного дослідження:


- мультимножинна модель побудови навчальних електронних курсів, що забезпечило підвищення успішності засвоєння нових знань студентами шляхом порційного текстово-графічного подання навчального матеріалу в режимі онлайн з незалежною системою оцінювання й перевірки знань;

- інформаційна технологія організації та проведення дистанційного навчання із застосуванням сценарного моделювання, що дозволило оптимізувати навчальний процес та підвищило об'єктивність оцінювання знань з політології, соціології та політичної конфліктології.


Завідувач кафедри  
 політології та державного управління

 д.політ.н., проф. М.В. Примуш

Доцент кафедри  
 політології та державного управління

 к.і.н., доц. В.Ф. Кокорський

Ст.викл. кафедри  
 політології та державного управління

 к.політ.н., ст.викл. Ю.О. Коваль