

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

І.В. Кириченко, Г.Ю. Терещенко, Н.О. Шанідзе, І.Ю. Шубін

**ІДЕНТИФІКАЦІЯ І ТРАНСФОРМАЦІЯ КОНТЕНТУ
В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ**

Монографія

Харків – 2021

УДК 004.912:37.018.43

*Рекомендовано Науково-технічною радою
Харківського національного університету радіоелектроніки
(протокол № 11/5 від 19.11.2020)*

Рецензенти:

Шаронова Н.В., д-р техн. наук, проф., завідувачка кафедри інтелектуальних комп'ютерних систем НТУ «ХП», м. Харків;

Мазурок Т.Л., д-р техн. наук, проф., завідувачка кафедри прикладної математики та інформатики Південноукраїнського національного педагогічного університету ім. К.Д. Ушинського, м. Одеса

Ідентифікація і трансформація контенту в системах електронного навчання: монографія / І.В. Кириченко, Г.Ю. Терещенко, Н.О. Шанідзе, І.Ю. Шубін. – Харків: ТОВ «В СПРАВІ», 2021. –136 с. – Укр. мовою.

ISBN 978-617-7305-71-1

У монографії розглянуто вирішення актуальної науково-практичної задачі підвищення пертинентності, точності та повноти інформаційного пошуку навчальних ресурсів за рахунок створення інформаційної технології ідентифікації навчального контенту в системах адаптивного електронного навчання, зокрема за умов кризових ситуацій, таких як, наприклад, різні форми карантину при пандемії, коли попит на різні елементи дистанційного навчання суттєво зростає та підвищуються вимоги до дистанційного навчання.

Монографія призначена для науковців, викладачів, аспірантів, фахівців в області навчальних електронних систем, інформаційних технологій та тематичного пошуку.

Відповідальність за зміст та достовірність матеріалів несуть автори. Редакція залишає за собою право не публікувати матеріали, що не відповідають формату видання, а також істотно змінювати зміст текстів за узгодженням з автором. Думка авторів може не співпадати з думкою членів редколегії.

УДК 004.912:37.018.43

ISBN 978-617-7305-71-1

DOI: 10.30837/978-617-7305-71-1

© Кафедра програмної інженерії, 2021

© Харківський національний
університет радіоелектроніки, 2021

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1	
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ОБЛАСТІ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ:	
ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ.....	11
1.1 Огляд існуючих систем електронного навчання та сфер їх застосування у навчальному процесі та за його межами	11
1.2 Аналіз алгоритмів пошуку та представлення інформації в системах електронного навчання.....	16
1.3 Огляд підходів до створення інтелектуальних систем навчання.....	25
1.4 Аналіз застосування агентних технологій в сучасних інформаційних системах, використання програмних агентів в системах електронного навчання	31
1.5 Проблеми та перспективи	37
РОЗДІЛ 2	
МЕТОД І МОДЕЛІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОНТЕНТУ	
В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ	40
2.1 Побудова формальної моделі компонентів навчального процесу на основі специфікації стандарту електронного навчання SCORM.....	40
2.2 Математичні засоби моделювання основних компонентів електронного навчання.....	47
2.3 Розробка агентної моделі ідентифікації навчального контенту	60
2.4 Вибір та розробка методу пошуку та ідентифікації навчальних об'єктів	68
РОЗДІЛ 3	
МОДЕЛЮВАННЯ ПОШУКУ КОНТЕНТУ	
В СИСТЕМАХ АДАПТИВНОГО ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ	72
3.1 Модель прототипу системи пошуку навчального контенту на базі агентних технологій	72
3.2 Моделювання джерел навчального матеріалу	79
3.3 Моделювання пошуку навчальних об'єктів на основі агентного підходу	82

РОЗДІЛ 4	
ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ	91
4.1 Практична реалізація та впровадження розробленої моделі адаптивного навчання	91
4.2 Використання методу адаптації навчальних ресурсів та інформаційних об'єктів	97
4.3 Інформаційна технологія управління контентом у системах електронного навчання	100
4.4 Узагальнення практичної реалізації моделей	106
ЗАКЛЮЧЕННЯ	114
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	117

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЕОП – альтернативний електронний освітній простір
БЗ – база знань
БМД – база мультимедіа-даних
МАС – мультиагентна система
МКІ – метод компараторної ідентифікації
НО – навчальний об'єкт
ПЗ – програмне забезпечення
ПСПДО – програмна система підтримки дистанційної освіти
Authoring Packages – авторські програмні продукти
CMS (Content Management Systems) – системи управління контентом навчальних курсів
E-learning – електронне навчання (Е-навчання)
IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) – Інститут інженерної електроніки
IMS – Global Learning Consortium – міжнародний освітній Консорціум глобального навчання
LCMS (Learning Content Management System) – система управління навчальним контентом
LMS (Learning Management System) – система управління навчанням
LO (Learning Object) – навчальний об'єкт
LTSA (Learning Technology Systems Architecture) – комітет стандартизації IEEE
LTSC (Learning Technology Standart Committee) – комітет розробки архітектури і технологій освітніх систем IEEE
SCORM (Sharable Content Object Reference Model) – Міжнародний стандарт (основа обміну електронними курсами)

ВСТУП

В Україні постійно зростає інтерес до систем електронного навчання (e-learning), розроблено багато курсів, які орієнтовані на використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій для навчання. Особливо актуальним це питання постало за умов пандемії коронавірусу, коли всі елементи системи освіти опинилися у непередбачуваному режимі та вимушені були шукати оптимальні варіанти розвитку за короткий проміжок часу та в умовах обмеження ресурсів. Тому питання ефективної організації таких систем є достатньо актуальним у будь-який час.

Важливу роль у сучасній освіті відіграє електронне навчання, як така його форма, за якої основні носії навчального контенту є електронними ресурсами, а засоби спілкування викладача та студентів ґрунтуються на використанні інформаційно-комунікаційних технологій, насамперед мережових технологій, зокрема Інтернет, й мобільного зв'язку. Важливу роль при цьому відіграють якість, повнота та точність контенту в системах адаптивного електронного навчання, його відповідність інформаційним потребам користувача (пертинентність).

Аналіз джерел показав, що перевагами використання електронних технологій є: орієнтація на підвищення рівня автономії навчальної діяльності; методична різноманітність форм, методів і засобів навчання; застосування особистісно-орієнтованих моделей взаємодії та графічних, аудіовізуальних та анімаційних об'єктів для оформлення навчального матеріалу; реалізація моніторингу навчальної діяльності; забезпечення різнидів зворотного зв'язку для контролю, аналізу та оцінки результатів навчальних досягнень в інтерактивному режимі тощо.

Можливості застосування комп'ютерних та телекомунікаційних технологій в освіті досліджуються в працях С. Пейперта, А.М. Довгялло, В.В. Семенця, Є.С. Полат, М.І. Жалдака, А.Ф. Манако, О.Є. Федоровича, В.В. Олійника, В.М. Кухаренка та інших вчених. Питанням розробки та застосування інформаційних технологій та створенню методичної підтримки щодо їх використання присвячені роботи таких науковців, як Т.Л. Архіпова, М.М. Глибовець, В.М. Левикін, А.Ф. Верлань, А.М. Гуржій, Ю.О. Жук, Т.Л. Мазурок, П.І. Федорук, І.В. Шевченко, І.В. Шостак та інші. Практично усі дослідники відмічають високу ефективність використання інформаційних

технологій, які базуються на дослідженнях інтелектуальних функцій людини. Теоретичні аспекти моделювання функцій інтелекту, людино-машинних природно-мовних інтерфейсів знайшли відображення в працях: М.Ф. Бондаренка, Ю.П. Шабанова-Кушнарєнка, Н.В. Шаронової, В.А. Широкова, Н.Ф. Хайрової, Г.Г. Четверикова.

Все вищезазначене обумовлює актуальність науково-практичного завдання подальшого розвитку моделей та методів ідентифікації навчального контенту як інтелектуальної обробки даних і застосування цих методів для автоматизованого подання навчальної інформації в адаптивних інтелектуальних навчальних системах, що знайшло відображення у базовій роботі цієї монографії [180].

Метою роботи є вирішення науково-практичної задачі забезпечення відповідності результатів тематичного пошуку навчальних матеріалів інформаційним потребам користувачів автоматизованих систем адаптивного електронного навчання шляхом створення інформаційної технології ідентифікації навчального контенту.

Відповідно до мети навчання перед розробниками адаптивних електронних систем навчання постають такі завдання.

1. Дослідження досвіду створення електронних курсів у системах електронного навчання, проведення аналізу моделей та методів ідентифікації навчального контенту у зв'язку з необхідністю створення інформаційної технології управління контентом. Розроблення методу збору навчального контенту для підготовки електронного курсу в системі адаптивного електронного навчання.

2. Розроблення моделі ідентифікації навчального контенту на основі аналізу електронних навчальних ресурсів, моделі пошуку навчального контенту у веб-просторі на основі принципів тематичного пошуку. На основі розроблених методів та моделей виникає завдання розробити інформаційну технологію збору та ідентифікації навчального контенту з урахуванням семантичної складової процесу адаптивного електронного навчання.

3. Процес створення інформаційної технології продовжується практичною реалізацією отриманих результатів і перевіркою їх ефективності при впровадженні в реальні системи електронного навчання.

У монографії розглянуто процес моделювання тематичного пошуку контенту в системах адаптивного електронного навчання із використанням

мультіагентної технології. Запропоновано модель прототипу системи пошуку навчального контенту на базі застосування агентних технологій. Розроблено архітектуру інформаційної системи інтелектуального пошуку навчальних матеріалів на базі мультіагентної системи (МАС). Пропонується використання концепції семантичного пошуку за метаданими як теоретичного обґрунтування для подальшої програмної реалізації пошукової системи із використанням семантичної моделі на основі онтології.

Для систематизації інформації про предметну область було складено онтологію предметної області, а саме виділено основні концепти та відношення між ними. За результатами досліджень були впроваджені модулі для забезпечення адаптивних освітніх гіпермедіа систем. В роботі пропонується мультіагентна пошукова система, яка побудована на агентах чотирьох типів: краулер, оцінювач, індексатор та координатор. Розглянуто використання концепції семантичного пошуку за метаданими як теоретичного обґрунтування для подальшої програмної реалізації пошукової системи та використання семантичної моделі на основі онтології.

Використання МКІ надає можливість реалізувати тематичний пошук навчальних електронних ресурсів в межах системи електронного навчання агентного типу, що є першим етапом формування навчального контенту. Запропоновано розвиток інформаційної технології на основі мультіагентної моделі оперативної обробки даних, а також ідентифікації ресурсів електронного навчання з використанням апарату алгебро-логічних моделей, що передусім дозволяє враховувати семантичну складову пошуку навчальних об'єктів.

У монографії обґрунтовано вибір МКІ для опису процесу вибору контенту, та математичний інструментарій у вигляді АСП, яку можна назвати компараторним численням, оскільки формули цієї алгебри будуються на основі базисного предиката впізнавання, який реалізує функцію порівняння (компарації) предметної змінної з її еталоном. Оскільки ми вважаємо, що об'єкти предметного простору для розробки інформаційно-логічних моделей ідентифікації контенту, є дискретними, скінченними і детермінованими, це дозволяє використовувати під час їх обробки МКІ. Удосконалений підхід до розв'язання задачі ідентифікації навчальних об'єктів для систем електронного адаптивного навчання на основі побудови АСП-моделей дозволив суттєво підвищити пертинентність, тобто відповідність інформаційним потребам користувача при виконанні пошуку контенту.

Практична реалізація результатів, описаних у монографії, присвяченв дослідженню та удосконаленню інформаційної технології на основі мультиагентної моделі оперативної обробки даних за рахунок ідентифікації ресурсів електронного навчання. Агент – це сутність, яка сприймає своє середовище за допомогою датчиків та впливає на нього за допомогою виконавчих механізмів. Рефлексний агент, заснований на моделі, – це агент, який обирає дію на основі поточного сприйняття та який володіє знаннями про зовнішнє середовище. Програмний агент – це автономна програмна сутність, яка, безперервно функціонуючи, виконує задачі, спрямовані на досягнення поставлених цілей, та для якої характерні властивості інтерактивності, кооперативності, мобільності та ін. Наведено результати дослідження агентної системи пошуку навчального контенту трьох процесів: послідовної роботи агентів, координованої послідовної роботи, та координованої паралельної роботи множини агентів. Показано, що координована паралельна робота множини агентів має переваги у порівнянні з послідовними координованими та некоординованими роботами агентів.

Розроблено моделі пошуку навчальних об'єктів на основі агентного підходу. Ключовим елементом функціонування пошукової роботи, який впливає на ефективність пошуку, є стратегія обходу посилань, які зберігаються у черзі. Наведено класифікацію алгоритмів обходу веб-сторінок. Запропоновано технологію пошуку навчального контенту.

Таким чином, у монографії описано такі науково-практичні результати:

1. Удосконалений підхід до розв'язання задачі ідентифікації навчальних об'єктів для систем електронного адаптивного навчання на основі побудови алгебро-логічних моделей, що дозволяє підвищити точність, пертинентність, та повноту пошуку навчального контенту.

2. Удосконалені метод і модель пошуку навчальних об'єктів шляхом екстракції ознак навчального матеріалу для ідентифікації контенту в системах електронного навчання за рахунок використання стандарту електронного навчання SCORM, що дозволяє врахувати такі особливості пошуку навчальних об'єктів, як виконання вимог стандартів електронного навчання, відповідність навчальним цілям та забезпечити пертинентність результатів пошуку навчального контенту.

3. Описані розвинуті математичні засоби моделювання основних компонентів електронного навчання за рахунок побудови загальної

багаторівневої моделі адаптивної організації навчального простору в базисі алгебро-логічних рівнянь, що дозволяє забезпечити індивідуалізацію та інтенсифікацію електронного навчання.

4. Описано запропоновану інформаційну технологію пошуку та ідентифікації контенту на основі застосування мультиагентної моделі оперативної обробки даних з використанням апарату алгебро-логічних рівнянь, що дозволяє враховувати семантичну складову пошуку навчальних об'єктів та забезпечити відповідність результатів пошуку навчальним цілям.

РОЗДІЛ 1

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ОБЛАСТІ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ: ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Перший розділ монографії містить критичний системний аналіз існуючих систем електронного навчання, сфер їх застосування, засобів та критеріїв створення навчального контенту, підходів до створення інтелектуальних систем навчання, а також застосування агентних технологій в сучасних інформаційних системах навчання.

Розглянуто існуючий стандарт електронного навчання, який базується на міжнародному стандарті SCORM (Sharable Content Object Reference Model). Аналіз показав, що SCORM відображає поточний «мінімум» стандартизації, який реалізується розробниками рішень e-learning: наявність чітких критеріїв відповідності; сертифікація програмного забезпечення та навчальних об'єктів; наявність загальнодоступних утиліт тестування; еталонні моделі Learning Management System (LMS).

1.1 Огляд існуючих систем електронного навчання та сфер їх застосування у навчальному процесі та за його межами

Сьогодні багато говорять про електронне навчання. Під час карантину 2020, коли прийшлося швидко підлаштовуватись під реалії дійсності, почали навіть виникати нові терміни. З'явився термін «змішане» навчання, що мав під собою суміш аудиторного та дистанційного видів навчання.

Загальні завдання і напрямки інформатизації освіти визначені Законом України «Про основні засади розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007–2015 рр.» та розглянуті у працях провідних вчених країни [1, 2, 90–92]. Як відомо, перші практичні кроки інформатизації і комп'ютеризації освіти України були здійснені у другій половині 80-х років минулого століття, коли комп'ютерними засобами почали оснащуватись провідні вищі навчальні заклади і коли ці засоби в експериментальному режимі почали застосовуватись у навчально-виховному процесі при навчанні елементів програмування і розв'язуванні обчислювальних задач. Широкомасштабна інформатизація освіти почалась у 80-90 роки минулого століття, коли засоби

інформаційних технологій почали активно впроваджуватись, передусім, у систему управління освітою [93].

Сьогодні інформатизація освіти пов'язана насамперед із формуванням електронного освітнього середовища, що стає темою багатьох наукових досліджень. Так, науковці [16] пропонують наступне формулювання фундаментальної проблеми: яким чином визначити і підтримати цілеспрямований розвиток електронного навчання в умовах дисбалансу між обмеженими ресурсами для оновлення інфраструктури, з одного боку, і високою швидкістю появи нових технологічних можливостей, які потребують постійного підвищення ІКТ-компетенцій учасників освітнього простору – з іншого.

Коли ми говоримо про електронне навчання в широкому сенсі, передбачається, що навчальний матеріал буде розміщений в системі електронного навчання – Learning Management System (LMS), що являє собою програмний продукт. Доступ в систему навчання здійснюється через Інтернет або локальну мережу, у вільному режимі або з авторизацією користувачів – за логіном і паролем [135-137].

Відомо, що перші ідеї в області електронного навчання (Е-навчання) були висловлені в Україні (Київський науковий центр), Росії (Новосибірський, Ленінградський, Московський наукові центри), США, Канаді, Франції, Голандії, Норвегії, країнах Східної Європи. Поява цих ідей збіглася з часом активних дискусій і пошуків ефективного застосування нової на той час науки кібернетики і засобів переробки інформації та управління, якими, безумовно, були електронні обчислювальні машини і системи. Цей чинник зіграв істотну роль у формуванні нового наукового напрямку – створення електронних технологій навчання. При цьому останні розглядалися як якісно новий клас технологій, за сукупністю характеристик і можливостей володіли властивостями високих наукоємних технологій [3, с. 4]. Питанням електронного навчання присвячені, наприклад, праці таких авторів, як Кравцов Г., Биков В.Ю., Шишкіна М. [4, 5, 6], які розглядають проблеми створення ефективних систем електронного навчання з різних точок зору.

Ідею e-learning (електронного навчання) можна визначити як комплекс апаратно-програмних засобів, методик і організаційних заходів, які забезпечують доставку освітньої інформації за допомогою мережі, а також перевірку знань, отриманих в рамках курсів. Нарешті, чи не найважливішим її

плюсом виступає менша вартість навчання, яка, за даними Cedar Group, в середньому нижче на 32–45 % від традиційного аудиторного навчання.

У найзагальнішому вигляді е-навчання – це навчання, що проводиться за допомогою електронних медіа. Воно може бути визначене за такими типами:

- комп'ютерне навчання (CBL) – представлене курсами, що розповсюджуються на самостійних носіях інформації;
- web-електронне навчання – курси, які використовують комунікаційні мережі для зв'язку з системою навчання та поставки матеріалів для нього;
- віртуальні класи і співробітництво;
- неформальне навчання в рамках соціальних мереж (спільноти за інтересами, спільні практики, тощо) [37].

Відкрите навчання – на сьогоднішній день, один з найефективніших навчальних форматів в різних навчальних закладах. Такий підхід дозволяє за допомогою сучасних інтерактивних технологій навчати в одній аудиторії і під керівництвом одного викладача слухачів різних курсів схожого спрямування. [67, 69, 70]. Ця технологія, протягом останнього десятиліття успішно відпрацьована в Східній Європі і США, активно розвивається в Україні. У сучасному суспільстві відкрите навчання – спосіб оптимально спланувати свій особистий час для отримання професійних знань швидко і в повному обсязі. Аналітика результативності методу вражає: цей формат в два рази ефективніший в порівнянні з традиційним очним навчанням, а середній бал за результатами підсумкових іспитів вище майже на 30%. Завдяки подібному підходу до системи навчання, викладач може приділити слухачеві в кілька разів більше уваги, ніж в звичайному класі [71, 72, 143].

Філософія відкритих навчальних центрів показує, що вчитель стає помічником в процесі навчання. Вчителі можуть спостерігати, спрямовувати і надавати необхідні матеріали для учнів, мають полегшувати, а не ускладнювати надмірним включенням методологій, процес навчання [67, 68, 69].

Але при всіх перевагах у електронного навчання є обмеження і недоліки, які слід враховувати. По-перше, воно вимагає від учнів насамперед серйозної самодисципліни, самостійності і свідомості, вміння розподіляти свій час. По-друге, тут відсутній особистий контакт між викладачем і учнем, а з огляду на ті чи інші індивідуальні особливості не кожен готовий сприймати віртуального інструктора. По-третє, не вистачає спілкування з колегами-

студентами для обміну досвідом, немає можливості негайного практичного застосування отриманих знань з подальшим обговоренням питань, що виникають. По-четверте, учні не завжди можуть забезпечити себе достатнім технічним оснащенням – мати комп'ютер і постійний вихід в Інтернет (особливо це стосується провінції, де дистанційне навчання є найбільш доцільним) [94, 95].

Щоб нівелювати недоліки і труднощі переходу на «чисте» електронне навчання, експерти радять застосовувати змішану форму (іменовану *blending learning*), яка передбачає використання комбінації різних середовищ (технологій, дій і типів заходів), в яких протікає навчальний процес. Вона покликана поєднувати максимум переваг і мінімум обмежень e-learning і традиційної системи.

Чимало сучасних фахівців присвятили свої праці шляхам застосування сучасних інформаційних технологій у напрямку покращення професійної освіти [51], організації дистанційного навчання, дослідженню різноманітних сторін проблеми формування професійної компетентності молодих учнів при цьому, діяльності інформаційних технологій в освітньому процесі на розвиток пізнавального процесу (Р. Гуревич, Є. Ф. Вінниченко, Ю. В. Триус, В. Г. Логвиненко, Н. В. Морзе, С. О. Лещук, І. С. Іваськів та інші).

Проблема електронного навчання, як правило, розглядається в літературі як проблема впровадження дистанційних освітніх технологій. Аналіз організації формування системи дистанційного навчання в українських вузах здійснюється в роботах [5, 12, 24, 33, 40] і показує, що в цій сфері є значне коло проблем, які потребують негайного вирішення. В першу чергу, це розробка організаційно-нормативного забезпечення дистанційного навчання з урахуванням експертизи створених дистанційних курсів, атестація студентів, що навчаються, з використанням дистанційних освітніх технологій і т.п.

У теперішній час створені різні системи дистанційного навчання. Але більшість цих систем, як зазначається в [19, 22, 50], побудовані шляхом лише доповнення дистанційною підтримкою існуючих навчальних матеріалів або їх електронних версій. В результаті виявляється, що таким системам властиві всі недоліки, які характерні для традиційних методів навчання. Питання вирішення зазначеного завдання необхідно розглядати в контексті основних напрямків і перспектив розвитку дистанційного навчання в Україні з урахуванням об'єктивних умов та кризових ситуацій, що склалися на даний

період в країні [51, 52]. Крім того, необхідно враховувати тенденції впливу світових процесів глобалізації. Звідси випливає головна вимога до систем дистанційного навчання – своєчасно забезпечувати переорієнтацію цілей і завдань освіти в динаміці розвитку цивілізації [52, 53].

Таким чином, спектр досліджень охоплює широке коло проблем, що відносяться до галузі педагогічних, технічних і системних досліджень [23], природи еволюції і конвергенції технологій [24, 25], поняття масовості і безперервності в освітньому контексті [26], особливості інновацій. На основі цих досліджень були створені абстрактні моделі електронних просторів і електронних інноваційних просторів, запропоновані підходи до дослідження інновацій, що враховують тенденції розвитку технологій, а також міжнародні та національні стандарти в сфері ІКТ і освіти [27].

В області дистанційних технологій навчання створена і апробована вітчизняна концепція гнучких дистанційних технологій навчання, в основу якої закладені принципи економічності і доступності, методологічна основа їх створення на базі загальноновизнаних фундаментальних результатів в області комп'ютерних технологій навчання, теорії діалогу і комп'ютерної дидактики [33]. Розроблено технологію педагогічного проектування гнучких мультимедійних дистанційних курсів, технологію автоматизації підготовки навчальних матеріалів, методику оцінювання якості дистанційних курсів [34] і багато іншого [35, 36].

Розвиток запропонованої чл.-кор. Гриценко В. І., підтриманої ЮНЕСКО і схваленої на міжнародному рівні ідеї про систему альтернативної електронної освіти, дозволив сформулювати ключові характеристики альтернативного електронного освітнього простору (АЕОП). Архітектура АЕОП базується на використанні хмарних технологій. Забезпечення ідентифікації учасників АЕОП і обробка даних про них статистичними методами, а також методами інтелектуального аналізу даних дозволяють прогнозувати потребу в реалізації нових характеристик АЕОП [30–32].

Однак, треба зазначити, що електронна освіта не обмежується власне системою освіти, а поширюється на всі форми життєдіяльності людини. У сучасній економіці, що базується на інформації та знаннях, нематеріальні ресурси перетворюються в нові конкурентні чинники. Управління знаннями є менеджерський інструмент із потенціалом мотивувати компанії до пошуку нових можливостей. Тому розвиток бізнесу потребує мобілізації колективного

знання і безперервного навчання в організаціях. Як зазначає болгарський вчений В. Д. Попов, ймовірно, прийшов час, щоб електронне навчання перетворилося в можливість безперервного професійного розвитку і реалізації людського потенціалу [37, с. 37].

Нове цифрове покоління являє собою комунікативне покоління, яке зв'язується через SMS, електронну пошту та Інтернет чати. Велика частина неформального навчання здійснюється в соціальних мережах, де обмін знаннями між учасниками з різними спеціальними знаннями відбувається спонтанно в рамках неформальних груп і співтовариств за інтересами. Це дає підставу ряду дослідників сприймати е-навчання в якості основного соціального процесу [37, 38].

1.2 Аналіз алгоритмів пошуку та представлення інформації в системах електронного навчання

В умовах інформаційного суспільства особливого значення набуває розвиток відкритих освітніх ресурсів, причому як навчального контенту, так і інструментарію для його розробки та підтримки, що в поєднанні з використанням сервісного підходу і сучасних розподілених технологій обробки інформації значно знижує поріг входження в сучасне електронне освітнє середовище для навчальних організацій. Основною особливістю сучасного підходу до забезпечення масовості є перехід від ієрархічних систем розподілу і управління навчанням до мережевої моделі обміну контентом і надання навчальних послуг, в рамках якого відбувається:

- формування нового світогляду користувачів із використанням мотивації до застосування нових технологій для власного розвитку з метою підвищення комфортності існування в новому інформаційному суспільстві;
- розвиток інтернет-інфраструктур, орієнтованих на підтримку масового навчання, які забезпечать підтримку і сталий розвиток індустрії освітніх послуг;
- подальший розвиток процесного і структурного підходів до вирішення завдань організації ефективної взаємодії користувачів із навчальним середовищем;
- створення і реалізація на базі еталонних моделей в середовищі відкритих систем нових типів багаторівневої взаємодії додатків, загальних і прикладних сервісів, а також інфраструктур;

- розробка ІТ-стандартів і рекомендацій для забезпечення інтероперабельності і масштабованості як основи створення та підтримки функціонування надійних платформ електронного навчання нового покоління;
- трансформація технологічних платформ електронного навчання від дидактично нейтральних до дидактично цілеспрямованих, формування розширеного крос-платформного портфеля дидактичних послуг;
- створення мультикомпонентних навчально-технологічних середовищ із вбудованими функціями соціального навчання;
- створення теоретико-методологічної платформи для реалізації універсальних підходів до цілеспрямованої актуалізації, генерації і багаторазового використання гетерогенних інформаційних ресурсів і знань, представлених у вигляді електронного контенту [28, 29];
- створення технологій для підтримки розподіленої роботи з інформацією, ресурсами і знаннями, що підтримують піраміду стратегій навчання, а також інтелектуальних технологій індивідуалізації процесу навчання для підвищення мотивації та ефективності навчального процесу;
- активізація досліджень і впровадження нових підходів в області безпеки і захисту інформації, в тому числі, персональних даних, розвиток засобів аналізу великих даних [16, с. 47].

Спеціалізовані засоби підтримки дистанційного навчання почали з'являтися на ринку з середини 1990-х років. Мова йде про професійні інструменти для створення і проведення курсів. Цей тип ПО, що отримав загальну назву Learning Management Software (LMS), покликаний полегшити процедуру організації навчання, при цьому вважається, що навіть викладачі, що не володіють глибокими знаннями в області інформаційних технологій, здатні розробляти курси за допомогою таких програмних засобів.

В умовах сьогодення зумовлено виникнення великої кількості міжнародних організацій, які здійснюють розвиток напряму сучасної інформатизації освіти та проектування галузевих стандартів мережевих інформаційних технологій: ADL, AICC, ALIC, ARIADNE, CEN/ISSS, EdNA, DCMi, GEM, IEEE, IMS, ISO, PROMETEUS та ін. [64]. Однією з особливо значущих та міжнародних асоціацій, що активно розвиваються – є Консорціум глобального навчання IMS (IMS – Global Learning Consortium). IMS Global є провідним у світі некомерційним спільним проектом, спрямованим на

досягнення оперативної сумісності, інновацій та навчання. IMS забезпечує архітектуру plug-and-play та систему, на якій інноваційні продукти можуть бути швидко розгорнуті та працювати разом без проблем комунікацій. Постачальники IMS є лідерами ринку інновацій.

Відповідно до сучасних наукових розробок, які здійснені провідними науковцями у даній сфері, такими як: І.Б. Готська, В.М. Жуков, А.В. Корабльов, А.В. Якушин, В.А. Богомолів, при великій кількості альтернатив у засобах створення дистанційних курсів та організації мережевого електронного навчання доцільно орієнтуватися на наступні критерії вибору [62, 64, 65]:

1. Інтерфейс студента

1.1. Доступ до матеріалів курсу

- Авторизація користувача. При реєстрації на курс студенту видається логін і пароль. Доступ до всіх навчальних матеріалів здійснюється тільки через авторизацію користувача.

- Пошук за ключовими словами. Середовище має вбудовану пошукову систему, яка дозволяє знаходити необхідну інформацію по ключовим словам.

- Можливість роботи з курсом в автономному режимі. Частина курсу (або курс в цілому) може бути завантажена на локальний комп'ютер для роботи в автономному режимі. Це дозволить скоротити період часу в он-лайн, зменшити трафік, прискорити доступ до навчальних матеріалів.

- Можливість роздруківки матеріалів курсу. Курс можна роздрукувати повністю або частинами. Це забезпечує потребу студентів читати текст на папері і зберігати навчальні матеріали з необхідними позначками після закінчення курсу.

- Підтримка курсу на флеш-носії. Повний курс або його частина може доставлятися студенту на флеш-носії. Це важливо, якщо частина курсу містить високоякісні дані (графіка високої роздільної здатності, аудіо-, відеофрагменти) і не може бути завантажена через Інтернет.

- Ергономічний інтерфейс. Інтерфейс середовища повинен бути інтуїтивно зрозумілим і легким у використанні.

1.2. Навчальне середовище студента

- Календар / розклад. Інтерфейс студента повинен містити розклад або план навчальних заходів.

- Особова картка студента. Студент може створити файл-картку з інформацією про себе. Це необхідно для підтримки особистого спілкування між студентом і тьютором.

- E-mail. Учасники курсу повинні мати можливість спілкуватися по електронній пошті або використовувати внутрішні поштові повідомлення.

- Дискусійний форум. Має бути одним із основних інструментів обміну думок в ході курсу.

- Організація групової роботи. Середовище повинне мати інструменти для організації роботи (в тому числі конфіденційної) в міні-групах (командах).

- Залікова книжка. В ході курсу студенту мають бути доступні дані про результати навчання (оцінки за завдання і тести).

2. Інтерфейс розробника

2.1. Створення матеріалів курсу

- Для створення матеріалів курсу не потрібні спеціальні технічні знання. Автору курсу не обов'язково володіти мовами програмування або технічними деталями мови html.

- Імпорт / Конвертація створених матеріалів. Система пропонує підтримку конвертації створеного курсового матеріалу в html формат. Зв'язки між html-документами не повинні руйнуватися.

- Веб-інтерфейс для розробки курсу. Курс може розроблятися, редагуватися і встановлюватися за допомогою веб-інтерфейсу.

- Управління навчальними планами. Система має передбачати можливість зміни і доповнення заходів навчального плану.

2.2. Характеристика системи тестування

- Редактор / менеджер тестів. Система повинна включати редактор тестів і питань.

- Можливість включення в тести різних типів питань. Залежно від таксономічних цілей і для вироблення різноманітних навичок пізнавальної діяльності розробник повинен мати можливість включати в тести різноманітні питання.

- Інтеграція графіки в тестові питання і відповіді. Тести при необхідності можуть включати графічні елементи.

- Установка термінів доступності тестів. Система передбачає можливість встановити терміни для проходження тесту (дату і / або час).

Можливість обмежувати доступ до тесту в або після намічених термінів проведення тестування.

3. Інтерфейс викладача

- Підтримка декількох тьюторів, кілька навчальних груп. Система повинна підтримувати кілька тьюторів в одному курсі. Кожен тьютор викладає для однієї або декількох груп.

- Асинхронні і синхронні комунікації зі студентами. Наявність інструментів зв'язку зі студентами (e-mail, дошка оголошень, чат і ін.).

- Ресурсний пул групи. Система підтримує завантаження файлів для групи, призначення спеціальних навчальних матеріалів групі студентів.

- Статистичний звіт. Система відстежує підключення користувачів до курсу, їх кількість, тривалість, набрані бали і т.д., генерує і зберігає звіти.

4. Адміністрування

- Реєстрація та супровід студентів. Простота процедури реєстрації (бажана самореєстрація студентів через web).

- Права доступу. Система підтримує групи користувачів з різними правами.

5. Технічні вимоги

- Стандартний веб-браузер. Всі групи користувачів підключаються до системи через стандартний web-браузер.

- Сумісність веб-технологій. Система повинна підтримувати всі типи медіа файлів, доступних для перегляду або запуску в Інтернет.

- Технічна підтримка. Компанія-постачальник повинна забезпечувати технічну підтримку програмного продукту і консалтинг в процесі впровадження.

- Методична підтримка. Бажано, щоб компанія-постачальник могла забезпечити навчання або консультації з методик викладання в середовищі.

- Вартісна політика або ціна ліцензії. Бажана відсутність політики ліцензування клієнтських місць (тобто безкоштовні клієнтські місця).

В даний час існують дві основні гілки систем організації електронного навчання [61]: комерційні LMS \ LCMS; вільно поширювані LMS \ LCMS.

Вільно розповсюджені LMS \ LCMS [62]: ATutor, Claroline, Dokeos, LAMS, Moodle, OLAT, OpenACS, Sakai. Коротко охарактеризуємо кожен з них.

ATutor – це LMS з відкритим вихідним кодом, яка використовується для розробки і управління онлайн-курсами, а також для створення і поширення інтерактивного електронного контенту. Підтримка IMS / ISO AccessForAll дозволяє учням налаштувати середовище та вміст до їхніх конкретних потреб.

Claroline – це платформа для спільного використання e-Learning і eWorking (система управління навчанням), що випускається під ліцензією GPL з відкритим вихідним кодом. Вона дозволяє сотням організацій по всьому світу, починаючи від університетів до шкіл та від компаній до асоціацій, створювати та адмініструвати курси та простори співпраці через Інтернет. Платформа використовується в більш ніж 100 країнах і доступна на 35 мовах.

Dokeos – система дистанційного навчання з відкритим вихідним кодом, яка розповсюджується вільно. Система має весь стандартний функціонал аналогічного програмного забезпечення: форуми, чати, html-документи тощо. Система Dokeos з'явилася завдяки системі Claroline. В Україні система мало поширена, хоча у неї є україномовний інтерфейс.

LAMS – це веб-додаток для проектування, управління та доставки онлайн-навчання за допомогою спільної навчальної діяльності. Вона надає вчителям інтуїтивне візуальне авторське середовище для створення послідовностей навчальної діяльності. В її основу від 2003 року закладено доробки з Відкритого університету Нідерландів як мова освітнього моделювання «Educational Modelling Language» (EML), завдяки якій описується «мета-модель» побудови освітнього процесу.

Moodle – це безкоштовна онлайн система керування навчанням, що дозволяє викладачам створювати власний приватний веб-сайт, наповнений динамічними курсами, які є матеріалом для продовження навчання в будь-який час і в будь-якому місці [60]. Розроблений, щоб бути корисним і доступним, інтерфейс Moodle простий у навігації як на настільних, так і на мобільних пристроях.

Moodle придатний для використання класичних стилів навчання, зокрема, гібридного, що перетворює систему на додаток до презентаційного навчання. Moodle функціонує на всіх комп'ютерах, де можна встановити PHP і запустити базу даних MySQL або PostgreSQL. Web-сайт Moodle безкоштовно надає користувачам платформи якісну підтримку. За допомогою Moodle у різних країнах світу, зокрема в Україні, створені тисячі LMS систем навчального призначення з розміщеними на них навчальними курсами. Система була

спроектована у 1999 році доктором педагогічних наук Мартіном Дугіамосом, який підтримує її до цього часу [66]. Основна мета автора полягала в створенні інструменту для взаємодії між викладачем і учнями, який би дав можливість першим перенести свої педагогічні вміння в он-лайн. В результаті копіткої праці був розроблений повноцінний представник систем дистанційного навчання з відкритими вихідними текстами, що завоював світову популярність не тільки в академічній, а й в корпоративній сфері навчання [162, 165]. Таким чином, Moodle розповсюджується безкоштовно як Open Source-проект і має такі ключові характеристики:

- базується на філософії педагогіки соціального конструктивізму і прогресивних теоріях педагогічних вимірювань;
- придатний як для дистанційного, так і для стаціонарного навчання;
- має «легкий», ефективний, сумісний веб-інтерфейс;
- проста установка: на будь-яку платформу, що підтримує PHP, необхідна тільки одна база даних;
- підтримує такі бази даних, як MySQL, PostgreSQL, Oracle та ін. [12, с. 24].

SkillPort – легка у використанні система організації навчального процесу. Вона була розроблена ірландською компанією SkillSoft, що входить в число лідерів ринку «коробкового» навчального контенту. Фірма сформувала надзвичайно цінну бібліотеку, яку вважають одним із найбільших професійних зібрань контенту в області корпоративного дистанційного навчання. Хоча частина цієї інформації в якійсь мірі вже застаріла і SkillSoft доводиться постійно оновлювати відомості, що стосуються галузей, де інформація швидко змінюється (наприклад, ІТ), багато даних є позачасовими – вони будуть значимі і корисні навіть через роки.

Власне, для забезпечення доступу до цих матеріалів – до всіляких курсів (їх понад 7000, і доступні вони на 18 мовах), книг віртуальної бібліотеки Books 24x7, навчальних модулів і центрів знань – і призначена SkillPort. Вона побудована таким чином, щоб полегшити пошук інформації, завдяки внутрішній контекстній пошуковій системі Search & Learn, необхідні відомості знаходяться в каталогах за лічені секунди. Вибір матеріалу здійснюється як за тематичною і мовною приналежністю, так і за допомогою корпоративних

каталогів, що спрощують знаходження матеріалів для підтримки професійних компетенцій слухачів.

Хоча більшість компаній не вважають SkillPort системою управління знаннями корпоративного рівня, цей продукт має багато розвинених можливостей. SkillSoft пропонує унікальний API, який дозволяє замовникам використовувати її контент. Система ідеально підходить тим, хто планує застосовувати як навчальний матеріал виключно продукти SkillSoft, але обмежує можливість інтеграції спеціально розроблених курсів з даними ПЗ. Надання доступу до вирішення здійснюється за моделлю SaaS (Software-as-a-Service), тому компаніям немає необхідності в розгортанні додаткової та вельми недешевої інфраструктури для проведення веб-конференцій, замовники оплачують лише обсяг наданих послуг.

OpenOLAT є веб-платформою для електронного навчання для викладання, навчання, оцінки та спілкування, LMS, системи управління навчанням. Складний модульний інструментарій забезпечує авторів курсів широким спектром дидактичних можливостей. Кожна установка *OpenOLAT* може бути індивідуально розширена, адаптована до організаційних потреб і інтегрована в існуючі IT-інфраструктури.

OpenACS – це інструментарій для створення масштабованих веб-додатків, орієнтованих на спільноту. *OpenACS* є основою для багатьох продуктів і веб-сайтів, включаючи платформу електронного навчання *LRN*.

OpenACS є платформою з відкритим кодом і доступним за ліцензією GNU General Public License.

Sakai – он-лайн система організації навчального освітнього простору. *Sakai* є системою з повністю відкритим вихідним кодом, яка підтримується спільнотою розробників. У систему інтегрована підтримка стандартів і специфікацій *IMS Common Cartridge*, *SCORM*.

Таким чином, можна зробити висновок, що сучасні тенденції розвитку ринку Open Source LMS \ LCMS спрямовані в бік універсалізації і збільшення функціональності систем. Однак, як показав вітчизняний досвід, використання комерційних систем управління електронним навчанням не є доступним більшості вітчизняних вузів через їх високу вартість і необхідність продовження ліцензії кожного навчального року. Системи з відкритим вихідним кодом дозволяють реалізувати той же набір можливостей, що і комерційні, з істотно меншими витратами і більшою ефективністю.

Досвід створення сучасних програмних систем підтримки дистанційної освіти свідчить, що таку систему необхідно розглядати тільки як інтелектуальну мережу або деяку онтологічну систему, яка підтримує інтерактивні взаємодії. Згідно [78], програмні системи підтримки дистанційної освіти задовольняють таким основним вимогам: налаштовуватися на ефективне виконання запитів користувачів; оптимально виконувати основні операції з базами даних та знань щодо збереження, систематизації і передачі інформації; архітектура послуг повинна забезпечувати роботу з різними програмними платформами і орієнтуватися на якісну передачу значного потоку інформації мультимедійного типу.

З позицій функціональності, з огляду на можливість використання в програмних системах підтримки дистанційної освіти агентних технологій [79, 151], для опису взаємодії підсистем характерне використання рольового принципу завдання предметної області знань системи і створення систематизованого уявлення про це. Архітектурно програмні системи підтримки дистанційної освіти – інтегроване середовище, побудоване з використанням сучасних можливостей Web-технологій [77], забезпечення як віддаленого навчання, так і «традиційного», так званого колаборативного навчання (blanded learning), із розвиненими засобами тестування знань і забезпечення комутативної інтерактивної взаємодії між базовими компонентами системи (слухач, викладач, адміністратор, агент).

Для розробки специфікацій і рекомендацій з розширення використання комунікаційних та інформаційних технологій в освіті створений комітет стандартизації IEEE LTSC (P1484 – Learning Technology Standart Committee) з розробки архітектури і технологій освітніх систем (Learning Technology Systems Architecture – LTSA) і міжнародний освітній консорціум IMS Global Learning Consortium [76, с. 56]. Відповідно до [80], універсальність LTSA забезпечує її використання в якості еталонної моделі для розробки освітніх технологічних систем довільного типу. В роботі [81] виділено три моделі навчання, які можна успішно використовувати.

Когнітивна модель Нормана [82], в основі якої – представлення знань за допомогою семантичної мережі. Отримання нового знання слухачем відбувається шляхом додавання нової інформації в уже існуючу семантичну мережу знань. Успіх засвоєння знань в такому процесі повністю залежить від кількості взаємодій з навчальним матеріалом і середовищем навчання.

Модель гнучкого навчання [83]. У цьому підході процес навчання перетворюється в дослідну діяльність, основна роль в якій відводиться консультації з викладачем по мірі необхідності.

Гіпертекстова модель [84]. В основу моделі покладено поняття асоціативності мислення. Задана в явному гіпертекстовому вигляді семантична мережа знань викладача дає студенту прямий доступ до потрібного матеріалу за допомогою браузерів.

1.3 Огляд підходів до створення інтелектуальних систем навчання

В основу створення більшості інтелектуальних систем навчання покладена алгоритм-евристична теорія навчання [85], розвинена в роботах [86]. У цій теорії вважається, що будь-яку пізнавальну діяльність можна проаналізувати в термінах операцій алгоритмічної, напівалгоритмічної, евристичної, напівевристичної природи. Істотний момент при цьому підході – побудова адекватної моделі слухача.

Можна вважати, що інтелектуалізація навчального процесу програмних систем підтримки дистанційної освіти полягає у виробленні ефективних методів подання знань предметної області як учня, так і середовища навчання шляхом їх поділу на тематичні, функціональні, семантичні, процедурні, операційні елементи, та створення на основі цього авторизованих гіпермедійних розподілених баз знань.

При створенні нових навчальних сучасних комп'ютерних технологій з'являється можливість досягнення високого інтелектуального рівня шляхом використання комп'ютерних навчальних середовищ. Для побудови навчальних технологій на основі комп'ютерних навчальних середовищ представляється можливим використовувати автоматні моделі учня і вчителя, які взаємодіють між собою через простір навчального матеріалу, формалізованого у вигляді розмічених інформаційних дерев. В такому підході вчитель і учень інтерпретуються як адаптивні автомати [13, 14], а процес навчання складається в їх інтерактивній взаємодії. Розробка простору ознак для опису станів автоматів вчителя і учня із зазначенням функціонально-метричних залежностей між ними дозволяє задавати функціонування цих автоматів, що докладно описано в роботі [15].

Використання принципу нових завдань [17], задачного підходу [18], роботи в області комп'ютеризації навчання під керівництвом О.М. Довгялло заклали основу нового наукового напрямку, в рамках якого проводилися перші в Україні дослідження комп'ютерних технологій навчання, діалогових і навчальних систем [19], задачних моделей навчання [20]. Результатом цих розробок стало видання двотомної міжнародної енциклопедії, широко затребуваною вченими і практиками [21].

Аналіз вітчизняної та зарубіжної теорії і практики електронного навчання дозволяє визначити дидактичні переваги використання електронних технологій для інтенсифікації навчального процесу [146, 149-150]. До них відносяться:

- орієнтація на підвищення рівня автономії навчальної діяльності студентів;
- методична різноманітність форм, методів і прийомів навчання;
- застосування особистісно-орієнтованих і індивідуально-орієнтованих моделей педагогічної взаємодії;
- можливість застосування графічних, аудіовізуальних та анімаційних об'єктів для оформлення навчального матеріалу;
- цільове призначення навчально-методичних та довідкових матеріалів;
- реалізація моніторингу навчальної діяльності студентів завдяки протоколюванню результатів виконання завдань;
- забезпечення різних видів зворотного зв'язку для контролю, аналізу та оцінки результатів навчальних досягнень студентів;
- моделювання особистісно та професійно значимого контексту навчальної діяльності;
- формування індивідуальних стратегій, методів і прийомів самонавчання;
- рішення навчальних завдань в інтерактивному режимі [39].

Однак поряд із перевагами необхідно відзначити і недоліки, пов'язані з їх використанням в усіх формах навчання. На думку Соловова А. В., істотним недоліком використання електронних засобів є скорочення соціальних контактів, соціальної взаємодії і спілкування, індивідуалізм. До того ж, нелінійна структура інформації, при невмілому використанні, може відвернути від основного русла викладу навчального матеріалу. Більш того, демонстрація інформації різних типів може переключити увагу студента і змусити пропустити важливу інформацію [41].

На думку автора [39, с. 54], ключовими проблемами організації навчально-педагогічного процесу з використанням електронних технологій навчання, є наступні:

- способи доставки навчальних матеріалів;
- характер навчальної взаємодії між студентом і викладачем;
- організаційні форми та інтерактивні методи навчання;
- режими управління навчально-пізнавальною діяльністю;
- способи контролю і самоконтролю навчальних досягнень студентів [40].

Побудова адаптивної системи дистанційного навчання на базі існуючої неадаптивної системи потребує вирішення низки проблем, серед яких виділяються такі:

- визначення структури моделі медійного простору;
- розробка методу побудови моделі предметної області на базі медійного простору (конспектів лекційних матеріалів) існуючої системи;
- визначення методу встановлення відносин між засобами контролю знань і предметною областю [42, с. 45].

Останнім часом розроблено велику кількість електронних навчальних матеріалів. При цьому слід розрізняти використання в якості елементарних блоків матеріалів об'єктів, що дозволяють посилатися на свої внутрішні елементи і побудованих за принципом «чорного ящика». Приклад об'єктів першого типу – гіпертекстові сторінки, які можна пов'язувати за допомогою посилань, приклад об'єктів другого типу – будь-які SCORM-об'єкти. Обидва підходи мають переваги і недоліки [88]. Так розгалужена система гіперпосилань значно ускладнює повторне використання матеріалу. З іншого боку, побудова курсу з окремих «закритих» фрагментів не дозволяє скласти гнучкий зв'язок між ними – об'єкти не підозрюють про існування «сусідів». Розуміння навчального об'єкта як незалежного і неподільного зводить можливості навігації до посилань на попередній / наступний елемент.

Доцільно більш детально розглянути існуючий стандарт електронного навчання, який базується на міжнародному стандарті SCORM (рис. 1.1). Аналіз показав, що SCORM відображає поточний «мінімум» стандартизації, який реалізується розробниками рішень e-learning: наявність чітких критеріїв відповідності; сертифікація програмного забезпечення (ПЗ) та навчальних об'єктів (НО); наявність загальнодоступних утиліт тестування; еталонні моделі

Learning Management System (LMS) та НО. При цьому вважається, що НО – це об’єкт цифрової сутності, який може бути використаний багаторазово при впровадженні відповідної технології навчання.

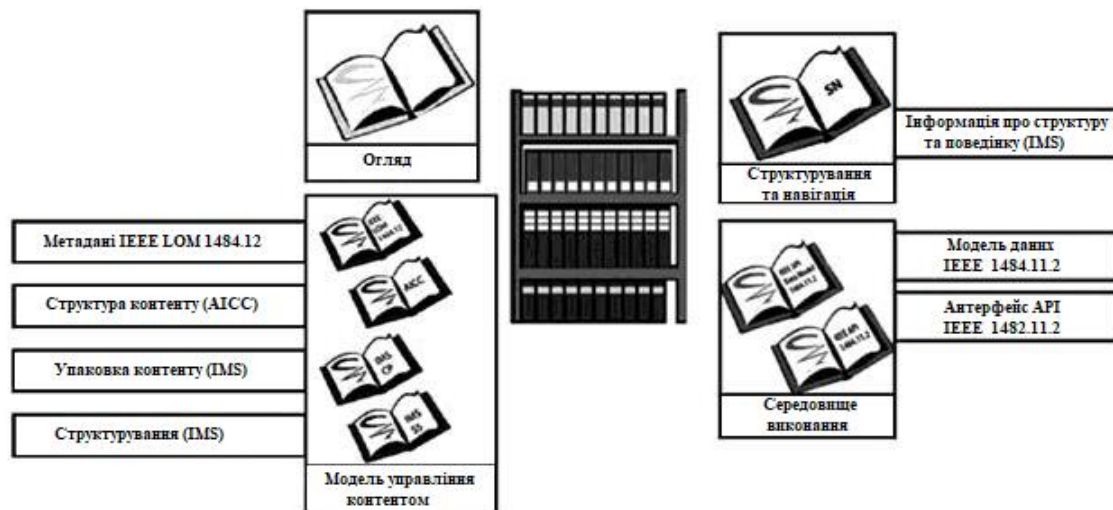


Рисунок 1.1 – Стандарт електронного навчання SCORM

Альтернативним підходом, який використовується в системах, що реалізують різні механізми з області адаптивної навігації, є запровадження «розумних» посилань. Як приклади такого підходу можна навести приховування посилань або застосування до них метафори світлофора. Сюди ж можна віднести і динамічну побудову посилань, коли вказується не сам об’єкт, а тільки критерії його пошуку. Система виконує відбір найбільш релевантного елемента за заданими критеріями з урахуванням особливостей користувача і його рівня знань. Такі критерії обов’язково повинні бути розроблені експертом, тому що ефективність пошуку інформації тим вище, чим точніше сформульовано пошуковий запит. Слабкоструктурована інформація часто залишається непридатною для цілей навчання тому, що учень вимагає допомоги в побудові моделі галузі знань, перш ніж зможе конструювати досить точні пошукові запити [45].

Адаптивні навчальні середовища можна розділити на три групи за принципом, що використовується для зв’язування концептів предметної області та об’єктів простору контенту [47]:

- індексація сторінок концептами, що відносяться до контенту сторінки. При цьому зв’язки між концептами можуть не встановлюватися;

- розбиття сторінок на фрагменти і індексація окремих фрагментів. При цьому при досить дрібному розбитті кожен фрагмент може бути проіндексований рівно одним концептом;

- безпосередній зв'язок між простором контенту і предметною областю: кожній сторінці відповідає концепт, кожному посиланню – міжконцептні відношення. Цей підхід, на відміну від двох попередніх, вимагає наявності моделі предметної області другого або третього рівня.

Крім того, треба зазначити, що останнє десятиріччя характеризується розвитком в сфері ІТ двох базових трендів – зростанням використання хмарних технологій і соціальних мереж в більшості сфер людської діяльності. Науковці вважають, що використання хмарних технологій для побудови системи електронного навчання є оптимальним рішенням, оскільки забезпечує вирішення низки важливих проблем [55, 167], а саме:

- побудови надійної розподіленої інфраструктури інформаційної системи;
- обробки і зберігання великих масивів інформації: наприклад, можна перенести масив відео у високій роздільній здатності сумарною тривалістю кілька годин із сайту інформаційної системи на відео хостинг Youtube, а потім розмістити це відео на сторінках сайту, використовуючи механізм вбудовування (embedding);

- забезпечення одночасного доступу для великого числа користувачів до інформаційних ресурсів. Зокрема, при трансляції потокового відео вирішення такого завдання без використання хмарних технологій вимагає істотних вкладень в апаратну компоненту інфраструктури інформаційної системи;

- вирішення проблем сумісності форматів. Коли мультимедіа ресурси розміщуються на сайті інформаційної системи в єдиному форматі, у частини користувачів виникають проблеми з їх відтворенням через несумісність якоїсь частини клієнтського програмного забезпечення. Хмарні сервіси в більшості випадків здійснюють конвертацію форматів автоматично;

- підтримки мобільного доступу. Адаптація інтерфейсів інформаційних систем для доступу з мобільних пристроїв стала нетривіальним завданням, в той час як використання хмарних сервісів дозволяє вирішувати його в автоматичному режимі, оскільки хмарні сервіси або забезпечують відповідний адаптований інтерфейс, або пропонують для доступу до контенту свої спеціалізовані мобільні додатки [56].

Аналогічно, у випадку із соціальними мережами, можна акцентувати на вирішенні таких актуальних питань.

- Комунікаційна функція. Традиційні рішення, такі як форум або список розсилки, показують меншу ефективність у порівнянні з механізмами поширення інформації та залучення користувачів в процес комунікації в соціальних мережах [22].

- Формування дружнього до користувача інформаційного середовища.

- Підвищення доступності інформаційних ресурсів. Багато інформаційних ресурсів, в тому числі мультимедіа, можуть через механізм вбудовування розміщуватися безпосередньо на сторінках соціальних мереж.

- Залучення цільової аудиторії. Використання соціальних мереж істотно підвищує ступінь поширення інформації в рамках віртуальних професійних співтовариств.

- Забезпечення ефективного зворотного зв'язку з організаторами. Коментування та спілкування в соціальній мережі більш органічно для сучасного користувача, ніж листування електронною поштою або дискусія на спеціалізованому форумі.

Аналіз джерел показав, що загальний підхід до побудови інформаційної системи підтримки електронної освіти з використанням хмарних технологій і механізмів соціальних мереж можна сформулювати наступним чином: традиційна інформаційна система використовується як агрегатор розподіленого контенту з хмарних сервісів. У запропонованій архітектурі хмарні сервіси, наприклад, Youtube або Google Docs, забезпечують оптимальний доступ до контенту, а соціальна мережа реалізує комунікаційний аспект, дозволяючи побудувати ефективне комунікаційне середовище [55, с. 54].

З метою вирішення проблеми адаптації дистанційної освіти до студента і створення адаптивного навчання розроблена адаптивна система дистанційного навчання і контролю знань EduPro [58]. Навчальний курс в системі EduPro представлений у вигляді послідовності кроків, обов'язковими складовими елементами яких є лекційний матеріал і тестування. На відміну від класичної системи навчання, де лекції представлені як навчально-методичний матеріал, в адаптивній системі EduPro лекції поділені на найменші логічні частки – кванти [59], що володіють певними характеристичними властивостями.

Дедалі популярнішими в сфері e-learning стають системи організації спільної роботи з розвиненими можливостями відео-конференц-зв'язку [170]. Яскравим представником таких рішень є Cisco WebEx – лінійка он-лайн сервісів, спрямованих на проведення веб-конференцій для широкого кола бізнес-задач: від підтримки продажів до маркетингу, сервісного обслуговування, проведення нарад і організації електронного навчання. Забезпечення останнього виконує інструмент WebEx Training Center, що дозволяє реалізувати потреби компаній у проведенні онлайн-курсів, семінарів, тренінгів, презентацій та ін. Як і SkillPort, WebEx Training Center пропонується у вигляді сервісу.

Платформа Adobe Acrobat Connect однаково добре підходить для синхронного та асинхронного навчання. Рішення Adobe e-Learning складаються з трьох ключових компонентів: власне платформи для організації дистанційного навчання, набору інструментів для створення контенту і необхідних розробникам для інтеграції з іншими системами і розширення стандартної функціональності API і SDK. Унікальна особливість платформи Acrobat Connect (раніше – Macromedia Breeze) полягає в її придатності для цілей як синхронного (аудиторні заняття), так і асинхронного (самостійного) навчання. В основі Acrobat Connect лежить масштабована модульна архітектура, центральним елементом якої є Flash Media Server. Для потреб синхронної взаємодії призначений модуль Meeting, а асинхронної – Training. Щоб забезпечити автоматичну реєстрацію на семінари зовнішніх учасників і потім інформаційну розсилку, використовується ще один компонент – Events. Adobe Captivate – засіб для швидкої розробки та редагування навчального контенту, що не вимагає навичок програмування.

1.4 Аналіз застосування агентних технологій в сучасних інформаційних системах, використання програмних агентів в системах електронного навчання

Як визначається у проаналізованих роботах, підвищення ефективності процесів прийняття рішень в системах електронного навчання відбувається шляхом розробки моделей та програмних компонент для побудови відкритої мультиагентної системи для оперативної обробки даних. Різні класи агентів і методи їх взаємодії розглядалися в роботах Д. Кеннеді і Р. Еберхарта,

Д. Фербера, В. Бреннера, В. Хорошевського, В. Городецького, В. Тарасова і інших авторів [8, 9].

Серед сучасних українських авторів можна відмітити Субботіна С. О., Ладанюка П. П. та ін. [10, 11]. Питанням щодо електронного навчання присвячені, наприклад, праці таких авторів як Кравцов Г. М., Биков В. Ю., Шишкіна М. [4, 5, 6], які розглядають проблеми створення ефективних систем електронного навчання з різних точок зору.

У сучасних дослідженнях застосовують різні агенти, які утворюють мультиагентні або багатоагентні системи (МАС) [6]. Така система будується як сукупність агентів, які можуть здійснювати інформаційну або інтелектуальну взаємодію один з одним за допомогою інформаційного мови ACL (Agent Communication Language). Організаційна структура МАС визначається рольовими функціями агентів і нормами їх взаємодії. Архітектура МАС задає взаємодію агентів в системі. За організаційною структурою МАС, виділяють наступні типи агентів:

- агенти-виконавці та агенти-менеджери – перші підкоряються другим;
- агенти-координатори, відповідальні за організацію взаємодії агентів;
- інтерфейсні агенти, службовці для зв'язку із зовнішнім середовищем;
- каналні агенти, що забезпечують обмін інформацією в системі.

За типом зв'язків виділяють наступні типи агентів:

- синтагматичні – зв'язки між рівноправними агентами (дволанковий зв'язок);
- парадигматичні – зв'язки підпорядкування тому, що стоїть вище у ланці (дволанковий);
- ієрархічні – зв'язки підпорядкування вище розташованому агенту-координатору (багатоланкові зв'язки);
- субсидіарні – узгоджені дії периферійних агентів, що мають повноваження від центру управління (багатоланкові).

Агент, у загальному випадку, має такі характеристики: автономність (Autonomy), цілеспрямованість (Goal-oriented), корпоративність (Collaborative), реактивність (Reactive), тимчасову безперервність (Temporal continuity), персоніфікованість (Personality), комунікативність (Communicationability), гнучкість (Flexible), мобільність (Mobility), адаптивність (Adaptability), запас

розмірковувань або здатність до висновків (Capacity for reasoning), надійність (Trustworthiness) [143, 151].

Існуючий рівень розвитку теорії і технології проектування деліберативних агентів далекий від практичної сфери застосування. Альтернативний шлях інтелектуалізації агентів може базуватися на основі ситуаційної методології та принципах обчислювального інтелекту. Агенти мають «ментальні» характеристики, які виражають через такі категорії [70]:

- відчуття (perceptions) – сприйняття обстановки;
- переконання (beliefs) – правдоподібна частина знань агента про зовнішнє середовище;
- мети (goals) – бажаний результат впливів на об'єкт;
- наміри (intentions) – план дій.

Найбільш відомі такі агентні платформи [74], розглянемо їх детальніше.

AGLOBE [184] Агентська платформа, призначена для тестування експериментальних сценаріїв, що містять позицію агента і недоступність зв'язку, але вона також може використовуватися без цих розширених функцій. Платформа надає функції для резидентних агентів, таких як комунікаційна інфраструктура, магазин, служби каталогів, функція міграції, розгортання сервісу і т.д. Взаємодія в AGLOBE дуже швидка, і платформа є відносно легкою.

Платформа AGLOBE ще не повністю відповідає специфікаціям Фонду інтелектуальних фізичних агентів (FIPA), наприклад, вона не підтримує міжплатформну комунікацію (зв'язок з іншими платформами агентів поки не підтримується). Ця інтероперабельність не є необхідною при розробці закритих систем, де немає необхідності в комунікації за межами цих систем (наприклад, моделювання на основі агентів). Компанія AGLOBE спонсорується ВПС США, і вона підходить для моделювання в реальному світі, включаючи як статичні (наприклад, міста, порти тощо), так і мобільні пристрої (наприклад, транспортні засоби). У такому випадку платформа може бути запущена в розширеній версії з географічними інформаційними системами (ГІС) та агентом екологічного симулятора (ES).

AnyLogic [185] є платформою для моделювання на декількох методах, яка підтримує не тільки моделювання на основі загального призначення, але й підтримує системну динаміку та моделювання процесового (дискретного) події. Гнучкість своєї мови моделювання дозволяє користувачеві захопити складність

і неоднорідність ділових, економічних і соціальних систем до будь-якого бажаного рівня деталізації. Графічний інтерфейс, інструменти та бібліотечні об'єкти AnyLogic дозволяють швидко моделювати різноманітні області, такі як виробництво та логістика, бізнес-процеси, людські ресурси, поведінку споживача та пацієнта. Крім того, парадигма проектування об'єктно-орієнтованої моделі, яку підтримує AnyLogic, забезпечує модульну, ієрархічну та інкрементальну конструкцію великих моделей, і є одним з кращих рішень для моделювання.

Coguaar [186] дотримується архітектури когнітивного агента і є платформою з відкритим кодом, що фінансується DARPA, і пропонує спеціальну підтримку логістичних проблем. Платформа не відповідає FIPA. Це полегшує розробку комплексних, масштабних і розподілених програмних агентів. Когнітивна архітектура *Coguaar* – ще одна багатообіцяюча функція, оскільки більшість доступних платформ не вирішує таких проблем, незважаючи на те, що вони важливі для моделювання людського мислення і дії.

CybelePro [187] надає своїм користувачам надійну високопродуктивну інфраструктуру для швидкої розробки та розгортання великомасштабних високопродуктивних систем на основі агентів. *CybelePro* є комерційним випуском *Intelligent Automation Inc.* Інфраструктура агента *Cybele* широко використовується урядом, промисловістю та науковими колами для таких програм, як військова логістика, моделювання, моделювання та контроль повітряного і наземного транспорту, мереж зв'язку та розробки відкритих систем.

Інструмент розробки *INGENIAS* [188] є інструментом для розробки багатоагентних систем, що підтримують методологію *INGENIAS*. *INGENIAS* сприяє моделюванню підходу, заснованого на використанні *INGENME* (мета-редактор *INGENIAS*), інструмент для створення автономних візуальних редакторів для мов, визначених за допомогою XML-файлу.

INGENME використовується для створення візуального редактора для мультиагентних систем, де специфікації систем обробляються для створення програмного коду, документів html або інших необхідних продуктів. *INGENIAS* також звертається до інженерних питань, які використовуються в обох напрямках, за допомогою конкретної структури тек і інструменту міграції інформації з коду до специфікації.

JACK [189] є перевіреним крос-платформенним середовищем для побудови, запуску та інтеграції багатоагентних систем комерційного класу. Він

побудований на здоровому логічному фундаменті: BDI (Вірування/Бажання/Намір). BDI – це інтуїтивна і потужна абстракція, яка дозволяє розробникам керувати складністю проблеми. Вона повністю написана на Java. JASK є портативним і працює на будь-якому, від смартфонів до високого класу, багатопроцесорних серверів. Її фундація Java означає, що JASK може працювати з кількома потоками в декількох процесорах, має незалежні від платформи графічні інтерфейси користувача і легко інтегрується з бібліотеками третіх сторін. JASK є провідним комерційним інструментарієм BDI-agent, який використовує інтуїтивно зрозумілу мову, що розширює мову програмування Java з певними ключовими словами для певних агентів. Це перша платформа з підтримкою можливостей і загальних командних структур,

JADE [190] є рамкою, повністю реалізованою в Java. Це спрощує реалізацію мультиагентних систем через середній пристрій, який відповідає специфікаціям FIPA. Конфігурацією можна керувати за допомогою віддаленого графічного інтерфейсу. Конфігурація може бути змінена навіть під час виконання, переміщаючи агенти з однієї машини в іншу, як і коли це потрібно. *JADE* повністю реалізований на мові Java.

JAVA (середовище виконання або *JDK*), тому вона може бути адаптована для використання на пристроях з обмеженими ресурсами, такими як мобільні телефони. З травня 2003 року була створена рада *JADE*, яка контролює управління проектом *JADE*. Наразі в раді *JADE* перелічено 5 членів: Telecom Italia, Motorola, Whitestein Technologies AG, Profactor GmbH і R&D від France Telecom.

NetLogo [191] є багатоагентною програмованою платформою моделювання, яка розроблена, в ключі мови програмування Logo, як «низький поріг і відсутність стелі». Вона може бути використана як вчителями освітнього співтовариства, так і фахівцями з області, які не мають досвіду програмування для моделювання суміжних явищ. *NetLogo* користується великою популярністю в освітньому та науковому співтоваристві [73].

Інтелектуальні МАС – один з відносно нових і перспективних напрямків штучного інтелекту, який сформувався на основі результатів досліджень в області розподілених комп'ютерних систем, мережових технологій вирішення проблем і паралельних обчислень. В МАС закладений принцип автономності окремих частин програми (агентів), спільно функціонуючих в розподіленій системі, де одночасно протікає безліч взаємопов'язаних процесів. Особливий

внесок в розвиток агентно-орієнтованого підходу внесли такі відомі вчені, як Д. О. Поспелов, М. Л. Цетлін, М. М. Бонгард. Великий внесок внесли також учені: В. Г. Редько, В. І. Городецький, В. Б. Тарасов, Є. А. Трахтенгерц та ін. Окремі аспекти застосування агентного підходу розглянуті в роботах І. А. Чмиря, О. П. Мосалова, П. П. Кібякова та ін. Застосування агентного підходу в навчанні розглянуто в роботах В. Б. Тарасова, О. І. Федяєва, В. Б. Ріпки, Т. Б. Шатовської, Т. Л. Мазурок та ін. [75].

Однак найменш дослідженим питанням є моделювання колективної роботи агентів на основі самоорганізації в якості стійкого механізму формування колективної поведінки. Одним з ефективних напрямків вирішення даної задачі є застосування нейронних мереж для реалізації МАС. Конекціоніські архітектури дозволяють створювати агентів, що навчаються самостійно. Особливо перспективним є застосування мереж із зворотними зв'язками і нечіткі штучні нейронні мережі [9].

Розвиток нових інформаційних технологій дозволяє поступово усунути основне гальмо розвитку безперервної дистанційної освіти – формування адаптивної структури навчання в залежності від індивідуальних особливостей учня шляхом адекватної підтримки розвитку методик інтерактивного спілкування вчителя і учня [76, с. 58]. Відомо [8, 87], що до таких технологій можна віднести технологію багатоагентних систем. Система, в якій декілька агентів можуть спілкуватися між собою, обмінюватися поточною інформацією, взаємодіяти, називається мультиагентною. Такі системи відносять до розподілених систем штучного інтелекту [89]. У них для вирішення завдання використовується кілька інтелектуальних агентів, тобто задача розбивається на підзадачі, вирішення яких розподіляється між окремими агентами. У разі програмних систем підтримки дистанційної освіти (ПСПДО) кожного з учасників процесу навчання можна представити у вигляді агента [79]. В даний час багато CASE-засобів автоматизують процес аналізу і проектування в UML, наприклад, Rational Rose. Тому до процесу створення ПСПДО можна підійти таким чином: створити експертну систему з використанням розподіленої бази знань, в якій побудову висновків покладено на деяку мультиагентну систему. Для опису проектування такої системи використовується Rational Rose Professional Edition. Мультиагентну систему можна створити, користуючись програмною платформою Java Agent Development Environment (JADE),

перевага якої – в її платформній незалежності і можливості використання віддаленого GUI-інтерфейсу.

Окреме місце займають роботи з ідентифікації користувачів у системі дистанційного навчання, які теж використовують програмні агенти. Наприклад, у роботі [99] запропоновано підхід до ідентифікації користувача на основі технології програмних агентів, створено комплекс мовних засобів створення програмного агента, розроблено логічну схему інтелектуального програмного агента та наведено приклад логічної схеми такого агента.

1.5 Проблеми та перспективи

Аналіз вітчизняної та зарубіжної літератури з теорії і практики електронного навчання дозволяє визначити дидактичні переваги використання електронних технологій для інтенсифікації навчального процесу. До них відносяться, перш за все, орієнтація на підвищення рівня автономії навчальної діяльності студентів; методична різноманітність форм, методів і прийомів навчання; можливість застосування графічних, аудіовізуальних та анімаційних об'єктів для навчального матеріалу; цільове призначення навчально-методичних та довідкових матеріалів; забезпечення різних видів зворотного зв'язку; управління значимим контентом навчальної діяльності; формування індивідуальних стратегій, методів і прийомів самонавчання; рішення навчальних завдань в інтерактивному режимі тощо.

Однак поряд із перевагами відзначаються і недоліки, пов'язані з їх використанням в усіх формах навчання. Істотним недоліком використання електронних засобів є скорочення соціальних контактів, соціальної взаємодії і спілкування, індивідуалізм. Ключовими проблемами організації навчально-педагогічного процесу з використанням електронних технологій навчання, є: способи доставки навчальних матеріалів; характер навчальної взаємодії між студентом і викладачем; організаційні форми та інтерактивні методи навчання; режими управління навчально-пізнавальною діяльністю; способи контролю і самоконтролю навчальних досягнень студентів.

Дослідженню питань синтезу адаптивних навчальних середовищ присвячене широке коло вітчизняних і зарубіжних досліджень [43–49]. Один із напрямків досліджень – створення адаптованих систем дистанційного навчання на базі неадаптивних, оскільки, незважаючи на переваги

адаптивних, вони менш поширені в порівнянні з неадаптивними. При цьому, беручи до уваги важливість врахування міждисциплінарних зв'язків, система дистанційного навчання розуміється як набір інструментальних засобів, орієнтованих на надання освітніх послуг з ряду дисциплін і орієнтованих на масове використання широкої по спектру своїх особистісних якостей групою користувачів.

Побудова адаптивної системи дистанційного навчання на базі існуючої неадаптивної системи потребує вирішення низки проблем, серед яких виділимо такі:

- визначення структури моделі медійного простору;
- розробка методу побудови моделі предметної області на базі медійного простору (конспектів лекційних матеріалів) існуючої системи;
- визначення методу встановлення відношень між засобами контролю знань і предметною областю [42, с. 45].

Таким чином, сучасний підхід до вирішення завдань оперативної обробки інформації в процесах прийняття рішень пов'язаний із застосуванням мультиагентних технологій, які сьогодні інтенсивно розвиваються. В основі цієї технології лежить поняття «агента», – програмного об'єкта, здатного сприймати ситуацію, приймати рішення і взаємодіяти з собі подібними [7, 99].

Перед розробниками адаптивних навчальних систем сьогодні стоять такі актуальні *задачі*:

1. Дослідження досвіду створення електронних курсів у системах електронного навчання, проведення аналізу моделей ідентифікації навчального контенту обґрунтували необхідність створення інформаційної технології управління контентом. Вважається за необхідне розроблення методу збору навчального контенту для підготовки електронного курсу в системі адаптивного електронного навчання.

2. Розроблення моделі ідентифікації навчального контенту на основі аналізу електронних навчальних ресурсів. Розроблення моделі пошуку навчального контенту у веб-просторі на основі принципів тематичного пошуку. Розроблення інформаційної технології збору та ідентифікації навчального контенту з урахуванням семантичної складової процесу адаптивного електронного навчання.

Таким чином, перший розділ монографії містить аналіз існуючих систем електронного навчання та сфери їх застосування, засобів та критеріїв створення навчального контенту, підходів до створення інтелектуальних систем навчання, а також застосування агентних технологій в сучасних інформаційних системах навчання.

Розглянуто існуючу класифікацію інформаційних технологій електронного навчання: комп'ютерне навчання (CBL), що представлене курсами, які розповсюджуються на самостійних носіях інформації; web-електронне навчання – курси, які використовують комунікаційні мережі для зв'язку з системою навчання та поставки матеріалів; віртуальні класи і співробітництво; неформальне навчання в рамках соціальних мереж тощо. Розглянуті обмеження і недоліки електронного навчання показали, що для усіх систем однією з головних задач є пошук відповідного контенту за його змістом, який є необхідною складовою процесу побудови навчального курсу, при цьому практично відсутня автоматизація процесу пошуку навчального контенту, сам об'єкт є слабо формалізованим, далеко не завжди він відповідає стандартам електронного навчання.

РОЗДІЛ 2

МЕТОД І МОДЕЛІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОНТЕНТУ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ

У другому розділі монографії представлено розробку методу і моделі ідентифікації контенту в системі електронного адаптивного навчання. Запропоновано розробку математичних засобів моделювання основних компонентів електронного навчання та концептуальну модель ідентифікації контенту. Обґрунтовано використання методу компараторної ідентифікації для опису процесу вибору контенту та відповідний математичний інструментарій у вигляді алгебри скінченних предикатів. Запропоновано формальну модель навчального об'єкту на основі специфікації стандарту електронного навчання SCORM.

2.1 Побудова формальної моделі компонентів навчального процесу на основі специфікації стандарту електронного навчання SCORM

В теорії та практиці автоматизованого навчання поширюються методи штучного інтелекту та засоби сучасних інформаційних технологій. Інфокомунікація гіпермедіа навчального середовища відрізняється в комунікаційних технологіях на основі Інтернету. Наприклад: комп'ютерні аудіо- та відеоконференції або інтернет-телефонія різних видів «один для одного», «один – для багатьох», «багато для багатьох»; групова кооперативна робота студентів за єдиним проектом; використання єдиної мережевої програми в реальному масштабі часу, тощо. Визнано, що у всіх поколіннях систем віртуального навчання найбільш ефективною формою електронних ресурсів є комп'ютерна навчальна програма.

У більшості сучасних розробок інтелектуальних та адаптивних систем математичне моделювання представлено у вигляді традиційних математичних рівнянь та функцій (наприклад, диференціального обчислення) [132], а також статистичних і стохастичних моделей [91, 119], які не забезпечують достатньої гнучкості для опису розумових процесів та знань. Це дослідження ґрунтується на алгебро-логічних функціях, які дозволяють найбільш ефективно формалізувати розумову діяльність людини, зокрема, процес навчання.

Теоретичною основою таких досліджень є теорія інтелекту, інструментарієм якої є алгебра скінченних предикатів [96, 97, 98]. Засобами цієї алгебри можна описувати скінченні, дискретні та детерміновані об'єкти, якими можна вважати текстові конструкції природної мови, що описують знання.

Якщо мова йде про управління навчанням, то треба ввести певні визначення. Наприклад, визначення поняття «адаптація» є складною онтологічною (концептуальною) структурою, що складається з певного набору суб'єктів та взаємозв'язків. Взаємодія між її елементами, що визначається бізнес-логікою і множиною бізнес-правил, і є діяльністю компанії. Інформаційна система «відображає» логіку та правила, організовує та трансформує інформаційні потоки, автоматизує робочі процеси з даними та інформацією та візуалізує результати у формі наборів звітних форм. Тому спочатку потрібно розробити модель навчання, яка є відображенням системи управління інформацією. Після розробки моделі формується «мова спілкування» консультантів, розробників та майбутніх користувачів, що дозволяє дійти до єдиної думки щодо розробки системи управління навчальним процесом та наповнення його відповідним контентом.

Розподілені гіпермедіа системи формують модель цілей, уподобань та знань кожного окремого користувача та використовують цю модель в процесі взаємодії з користувачем, щоб адаптуватися до потреб цього користувача [106]. Модель користувача використовується для збору інформації про його знання, цілі, досвід і т.д., для адаптації вмісту та структури навігації. Наведемо приклад. Для користувача з низьким рівнем знань спочатку буде корисним вивчити загальну довідкову інформацію, однак та сама інформація не буде цікавою для досвідченого експерта. Вибір потрібної інформації в потрібний час є задачею створення моделі користувача. Модель вивчає елементи навчання на основі здатності студента до навчання на тій підставі, що студент бере на себе відповідальність за процес навчання [104, 106, 168].

До інтелектуальних технологій адаптації мережевих навчальних систем слід віднести також технологію, яка називається підбором навчальних моделей (або вибір моделей) [130]. Її суть полягає у тому, щоб аналізувати і вибирати моделі для багатьох студентів одночасно, тоді як існуючі адаптивні та інтелектуальні освітні системи працюють з одним стажером (і однією моделлю стажерів) відразу [144].

Найважливішим фактором, який забезпечує адекватність моделі відповідно до досліджуваного об'єкта, є здатність відрізнити значущість для розглянутої інформації про об'єкт та організовувати її в зручному для навчання вигляді. Формальним описом цієї моделі може бути предикат, який називається марка: марка (прізвище, предмет, знак). Термінологія IDEF1X майже збігається з термінологією IDEF1, але існує ряд принципових відмінностей у теоретичних концепціях цих методологій. Графічно модель даних IDEF1X представлена комбінацією блоків (сутностей), сполучних лінійних блоків (співвідношення між сутностями) та іменами атрибутів всередині блоків [109, 110].

Таким чином, для розподілених навчальних систем сфера адаптації досить обмежена, і є остаточне число варіантів, які можна змінити. Кожен з наборів вузлів або документів містить деяку місцеву навчальну інформацію та певні посилання на відповідних сторінках [158]. Інформаційні системи опису ресурсів також можуть містити структуру індексу та глобальну карту для забезпечення доступу за посиланнями на всі можливі сторінки.

Методологічно важливо поряд із розглянутими моделями сфер діяльності ІС запропонувати модель створення такої ІС, яка б мала ті самі аспекти компонентів функціональних груп (користувачі, функції, факти та комунікації). Цей підхід забезпечить комплексний процес проектування та супроводу на всіх етапах експлуатації ІС, а також можливість вибору обґрунтованих стандартів для розробки систем та документування проектів.

Саме тому дія системи підготовки контенту повинна бути в налаштуваннях вмісту ще однієї сторінки (адаптація на рівні контенту) або в зміні посилань на переходи з наступної сторінки, сторінок індексу та сторінок карт (адаптація на рівні посилань). Необхідно відрізнити адаптацію на рівні вмісту та на рівні зв'язків як два різних класи адаптації контенту, перший з яких – подання, а другий – підтримка інформаційного пошуку та навігації.

Цілі та знання користувача можуть бути використані для обмеження кількості можливих посилань системи навчання, таким чином, адаптація системи пошуку контенту також є спробою знизити вірогідність студента «загубитися в гіперпросторі» [109].

Інформаційний пошук навчальних ресурсів забезпечується за допомогою побудови моделі цілей, переваг та знань для кожного конкретного учня, використовуючи цю модель під час взаємодії зі студентом з метою врахування його потреб [159–160]. Створюваний навчальний контент також намагаються

робити більш «інтелектуальним», поєднуючи та виконуючи певну діяльність, яку традиційно проводить викладач, наприклад, інструктаж студентів або їхній контроль, оцінку причин невиконання завдання або нерозуміння навчального матеріалу.

Аналіз показав, що перевагами використання електронних технологій для інтенсифікації навчального процесу є: методична різноманітність форм, методів і прийомів навчання; можливість застосування графічних, аудіовізуальних та анімаційних об'єктів для оформлення навчального матеріалу; забезпечення різних видів зворотного зв'язку для контролю, аналізу та оцінки результатів навчальних досягнень студентів; моделювання професійно значимого контенту навчальної діяльності; формування індивідуальних стратегій.

Для адаптації змісту навчального матеріалу, необхідно виконати значну роботу з формування навчального контенту з кожної дисципліни, з можливістю вибору кращої форми подання інформації. Даний підхід вимагає серйозних витрат інтелектуальної праці та спеціалізованих ресурсів. Для систематизації інформації про предметну область було складено онтологію предметної області, а саме виділено основні концепти та відношення між ними. На рисунку 2.1 представлено фрагмент онтології у вигляді UML-діаграми класів.

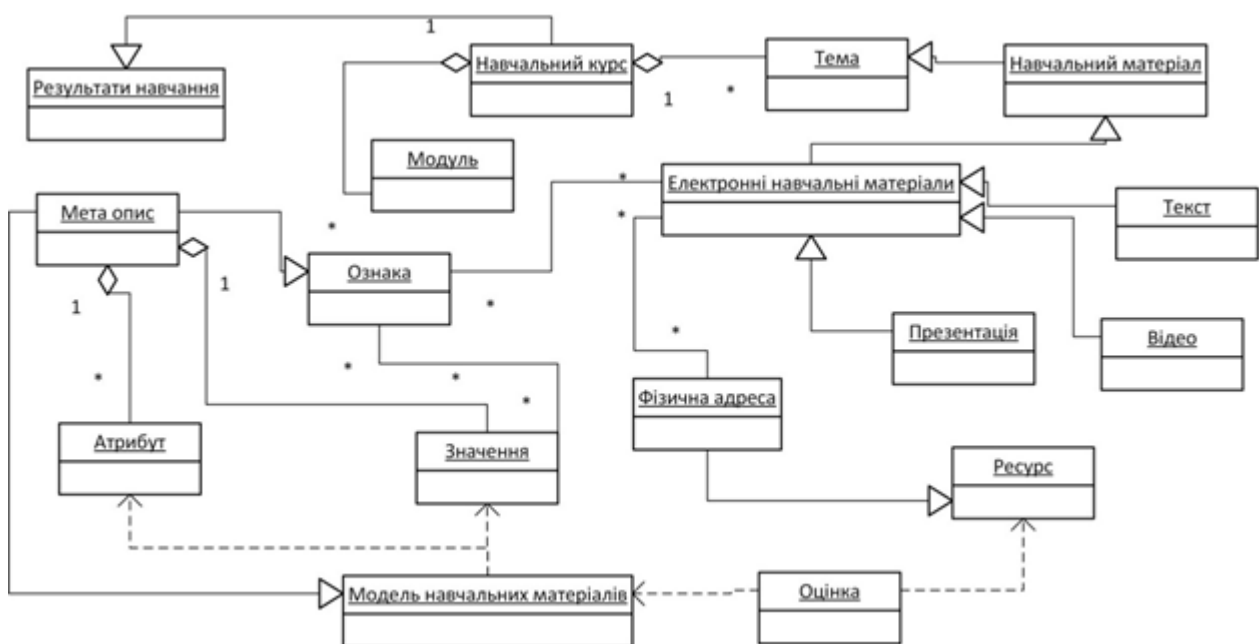


Рисунок 2.1 – Фрагмент онтології у вигляді UML-діаграми

До основних концептів даної предметної області можна віднести:

- 1 Навчальний курс.
- 2 Результати навчання.
- 3 Форма подання контенту.
- 4 Модель навчальних матеріалів.
- 5 Метаопис навчального об'єкту.

Різні науковці досліджують різноманітність методів, спрямованих на застосування адаптивності до стилів навчання студентів. Ці дослідження підтверджують, що надання адаптивного електронного навчання сприятиме покращенню процесу навчання, яке полегшує педагогічна модель, надана кожною методикою адаптації.

У 2000 р. ініціативна група ADL (Advanced Distributed Learning) розробила стандарт SCORM (Sharable Content Object Reference Model), створений для систем дистанційного навчання. Даний стандарт містить ряд вимог до організації навчального контенту і всієї системи навчання. SCORM заснований на стандарті XML і дозволяє підтримувати сумісність компонентів і можливість їх багаторазового використання: навчальний матеріал представлений невеликими розділами, які можуть включатися в навчальні курси і використовуватися системою електронного навчання незалежно від того, ким, де, та за допомогою чого були створені. Структура пакету SCORM приведена на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Структура SCORM-пакету

SCORM – це набір специфікацій і стандартів, які представлені на множині розділів:

- модель зберігання змісту;
- середовище поточного виконання;
- пошук і навігація.

За результатами кількох досліджень були впроваджені модулі для забезпечення адаптивних освітніх гіпермедіа систем. Загальна мета цих досліджень полягала у компенсації дефіциту знань, мінімізації втоми та дискомфорту учнів з вивчення теми, що забезпечує більш легке введення в тему. Загальна структура адаптивної системи дистанційного навчання представлена на рисунку 2.3.

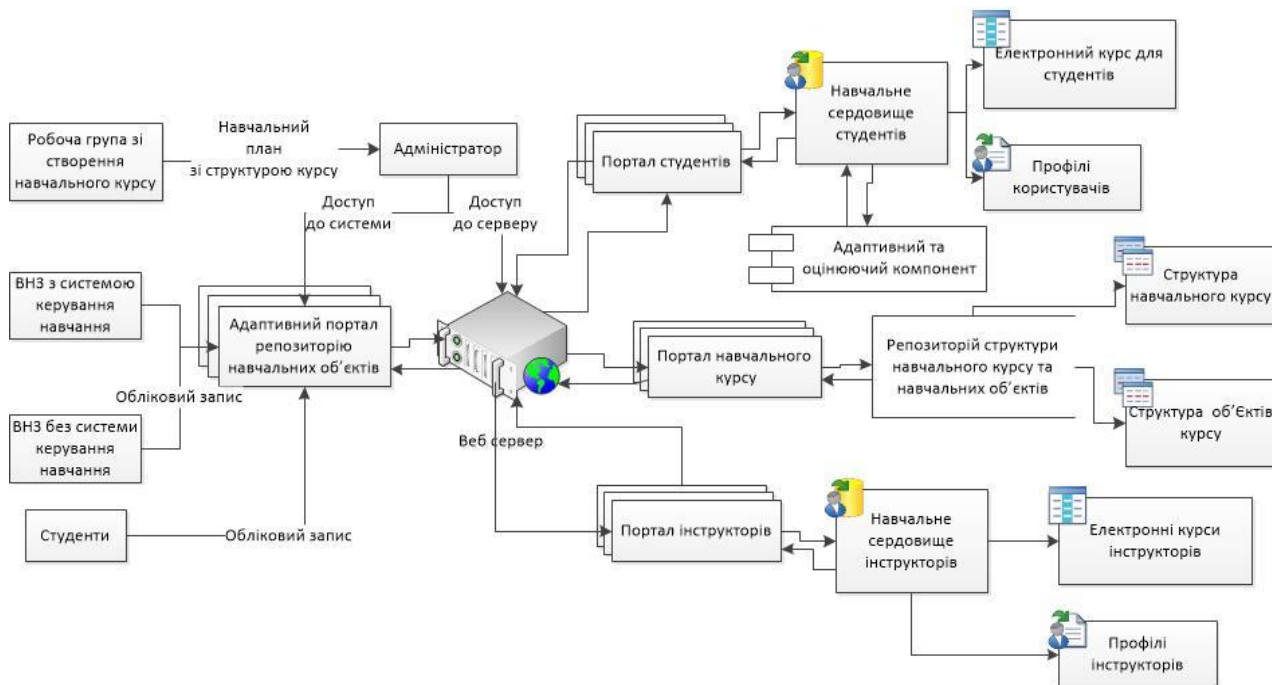


Рисунок 2.3 – Структура адаптивної системи електронного навчання

Модель адаптивних систем навчання заснована на використанні навчальних об'єктів (LO – Learning Objects). Навчальний об'єкт має велику кількість визначень, більшість з яких зосереджуються на загальних принципах, наприклад: багаторазове використання в різних умовах навчання та незалежність контексту [140]. Навчальний об'єкт також визначається як одиниця змісту навчання, незалежна і автономна, яка може повторно використовуватися в декількох навчальних контекстах. Комітетом зі стандартів навчання в галузі технологій навчання IEEE [145] навчальні об'єкти визначаються як будь-який суб'єкт, цифровий або нецифровий, який може бути використаний, повторно використаний або на який можна посылатися під час навчання, що підтримується технологією.

Модель змісту, або контенту, описує компоненти, які використовуються для побудови навчального процесу, спираючись та починаючи з поняття навчального об'єкту. Модель змісту також визначає, як ресурси нижчого рівня

агреговані та організовані в навчальні підрозділи вищого рівня [134, 139–141]. Використання уніфікованої структури адаптованого електронного навчання надає змогу підвищити стандарти та результати навчання, подолавши перешкоди, що виникають внаслідок відсутності гнучкості, що перешкоджає впровадженню технології електронного навчання. Система може бути використана для забезпечення адаптивного електронного навчання, її структура може бути модифікована з урахуванням інших адаптивних методологій.

Модель контенту на основі специфікації SCORM об'єднує набір пов'язаних технічних стандартів, специфікацій та інструкцій, розроблених для задоволення вимог високого рівня SCORM: доступний, сумісний, тривалий та багаторазовий вміст [140]. Модель SCORM має три основні компоненти: модель агрегації вмісту, середовище виконання, навігація та послідовність.

Модель агрегації вмісту визначає структуру з трьома рівнями агрегації [134]:

- активи – це є основний будівельний блок навчального ресурсу; активи можуть бути текстом, анімацією, зображеннями, відео тощо;

- Object Sharable Content (SCO) – це компіляція одного або декількох активів; SCO являє собою найнижчий рівень деталізації одного ресурсу навчання, який зв'язується з LMS, використовуючи SCORM Run Time Environment;

- Content Organization (CO) – це представлення, яке визначає навмисне використання вмісту через структуровані одиниці навчання; представлення показує, як одна діяльність пов'язана з іншою.

Модель домену (Domain model) характеризується своєю компетентністю щодо представлення концепцій для навчання, ресурсів, доступних учням, та структурування різних елементів поля. Зазвичай модель домену розділена на дві частини [140]:

- 1 Всі концепти домену, які користувач (учень, студент, співробітник компанії) може отримати в процесі навчання, незалежно від різних видів ресурсів.

- 2 Навчальні ресурси, які використовуються для реалізації концепцій, разом з їх метаданими. Щоб забезпечити повторне використання навчальних об'єктів, необхідно кваліфікувати їх, використовуючи метадані та необхідні дескриптори, які є важливими для характеристики кожного навчального об'єкту.

Модель ідентифікації навчальних об'єктів спирається на дослідження наукової школи проф. Ю. П. Шабанова-Кушнарєнка та його послідовників в області теорії інтелекту, із застосуванням методу компараторної ідентифікації для моделювання інтелектуальних функцій людини. У роботі приймається, що

алгебра скінченних предикатів, як основний інструментарій теорії інтелекту, має універсальний характер для моделювання інтелектуальних процесів обробки даних. Модель адаптації стосується створення адаптивного контенту, який надалі буде представлений учням/співробітникам. Цей компонент має три підкомпоненти:

1. Навігаційна модель (визначає структуру системи гіпермедіа і описує, як пройти через різні вузли системи).
2. Модель презентації (використовується для адаптації макета до візуальної лінії з перевагами або потребами користувача).
3. Модель вмісту (для надання додаткового контенту, аналогічного контенту, альтернативного контенту або приховування контенту).

2.2 Математичні засоби моделювання основних компонентів електронного навчання

У ході роботи над монографією здійснено аналіз науково-практичних розробок з математичного забезпечення моделей навчання в сучасних розподілених системах, що є доведенням нагальної вимоги створення спеціалізованого технологічного та інформаційного забезпечення, яке має задовольняти та окреслювати процеси керування навчальним контентом. Головними компонентами дистанційних адаптивних освітніх систем є моделі користувача та предметної сфери, та відповідно до різновиду системи – база знань та певні специфічні математичні моделі [100].

Автори монографії вважають, що для розробки інформаційно-логічних моделей ідентифікації контенту та бази знань для створення НО доцільним є використання функціонально-структурного підходу побудови моделей, при якому мережева структура формується цілеспрямовано, описуючи предметний простір у вигляді системи логічних рівнянь на мові алгебри предикатів, а потім отримана математична модель реалізується у вигляді відповідних алгебро-предикатних (АП) структур [96 – 98, 105].

Застосування математичного інструментарію у вигляді алгебри скінченних предикатів (АСП) для вирішення задач обробки контенту аргументовано у цих працях для скінченних, дискретних та детермінованих об'єктів. АСП можна назвати компараторним обчисленням, оскільки формули такої алгебри ґрунтуються на базисному предикаті розпізнавання, який створює

функцію порівняння (компарації) предметної змінної x з шаблоном (еталоном) a . Тому доцільно вважати, що об'єкти предметної площини, для проектування інформаційно-логічних моделей ідентифікації змісту чи наповнення даними, є дискретними, скінченними та детермінованими, що робить можливим їх формалізацію та обробку за допомогою АСП та дозволяє використовувати під час їх обробки метод компараторної ідентифікації (МКІ) [96-98].

Розглянемо який-небудь предикат $S(x_1, x_2, \dots, x_n, y)$, визначений на декартовому добутку $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n \times B$ довільно вибраних множин $A_1, A_2, \dots, A_n, B$. Розглянемо відношення s , що відповідає предикату S , яке задамо рівнянням

$$s(x_1, x_2, \dots, x_n, y) = 1. \quad (2.1)$$

Воно зв'язує змінну y зі змінними $x_1, x_2, \dots, x_n$. Тепер предмет y розглядається як вектор деякого n -мірного простору S , а значення змінних $x_1 \in A_1, x_2 \in A_2, \dots, x_n \in A_n$, що задовольняють умові (2.1), – як його координати. Проте, простір S виходить не зовсім звичайним. У класичній математиці використовуються простори, які природно називати декартовими. Характерна їх властивість (яку має декартова система координат) полягає в тому, що кожен вектор декартового простору визначається єдиним координатним представленням (набором координат) і кожному набору координат відповідає єдиний вектор. Таким чином, усі вектори декартового простору і їх координатні представлення пов'язані взаємно однозначною відповідністю, що дозволяє не розрізняти їх між собою. Для простору, заданого рівнянням (2.1), ця властивість при будь-якому предикаті S , взагалі кажучи, не виконується. Саме тому воно і називається нами узагальненим.

Таким чином, кожне відношення породжує деякий узагальнений простір, який є зв'язком між векторами y і їх координатними представленнями $(x_1, x_2, \dots, x_n)$. Отже, введені тут поняття простору природно розглядати як узагальнення поняття координатної системи, введенного Декартом, яке згодом розвинулося в класичній математиці в поняття простору.

Отримана таким чином конструкція є простором в узагальненому сенсі і не повністю відповідає класичному простору. Наприклад, в математиці вектори простору можна складати, а тут про складання елементів множини B говорити не вірно. У логічній математиці поняття відношення явно ґрунтується на ідеї багатовимірності, тобто можна ототожнювати його з поняттям простору, під

яким можна розуміти будь-яке багатовимірне утворення, тобто просто координатну систему [129].

Нехай $S(x_1, x_2, \dots, x_n, y)$ – який-небудь предикат на $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n \times B$. Говоритимемо, що предикат S породжує узагальнений простір S на декартовому добутку $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ над множиною B . Надалі, скорочено, узагальнені простори називатимемо просто просторами. Предикат S називається *характеристичним* для простору S . Число n називається *розмірністю* простору S . Множина A називається координатною системою простору S , а множини $A_1, A_2, \dots, A_n$ – його координатними осями. Елементи множини A називаються точками або осередками (у разі, якщо множина A скінченна) координатної системи. Множина B називається *носієм* простору S , а його елементи $y \in B$ – векторами простору S . Будь-яка точка $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, що задовольняє умові (2.1), називається координатним представленням вектору y .

Простір S характеризується зв'язком (2.1) між його векторами $y \in B$ і точками $x \in A$ його координатної системи. Для декартових просторів цей зв'язок є бієктивне відображення множини A у множину B , тому кожен декартовий простір можна з точністю до ізоморфізму охарактеризувати його координатною системою. Якщо ж для узагальненого простору S вказати тільки його координатну систему A без визначення предиката S , то характеристика такого простору буде неповною.

Відображення

$$s(x_1, x_2, \dots, x_n) = y \quad (2.2)$$

A в B , що відповідає предикату S , називається відображенням координатної системи A простору S в його носій B [96]. Воно повністю характеризує простір S . Відношення s , задане умовою (2.1), зв'язує кожен вектор $y \in B$ з набором $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ його координат $x_1 \in A_1, x_2 \in A_2, \dots, x_n \in A_n$ (одним, багатьма або жодним). Відображення (2.2) кожному набору координат $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in A$ ставить у відповідність вектор $y \in B$ (один, багато або жодного).

Сказане пояснимо прикладом. Для деяких величин $x_1, x_2 \in \{m, n\}$, $y \in \{1, 2, 3\}$ задамо предикат

$$S(x_1, x_2, y) = x_1^n x_2^n y^1 \vee x_1^n x_2^n y^2 \vee x_1^m x_2^n y^2. \quad (2.3)$$

Узагальнений простір S задаємо рівнянням $s(x_1, x_2, y) = 1$, яке зв'язує кожен вектор y з його координатами x_1, x_2 . Набір координат $(x_1, x_2) = (n, n)$ визначає два вектори $y = 1$ та $y = 2$ цього простору. Набір (m, n) визначає тільки вектор 2,

набори (n, m) та (m, m) – жодного. Вектор 1 має одне координатне представлення (n, n) , вектор 2 – два (n, n) та (m, n) , вектор 3 – жодного.

Очевидно, що задане відношення породжує деякий узагальнений простір, який є зв'язком між векторами y та його координатними представленнями (x_1, x_2) . Тоді відображення $s(x_1, x_2) = y$ виразиться системою умов:

$$x_1^n x_2^n \supset y^1 \vee y^2, \quad x_1^m x_2^n \supset y^2, \quad x_1^n x_2^m \vee x_1^m x_2^m \supset 0.$$

Це означає, що набору (n, n) відображення s ставить у відповідність два вектори 1 і 2, набору (m, n) – один вектор 2, наборам (n, m) та (m, m) – жодного вектору. Відображення $s^{-1}(y) = (x_1, x_2)$, зворотне відображенню s , запишеться системою умов

$$y^1 \supset x_1^n x_2^n, \quad y^2 \supset x_1^n x_2^n \vee x_1^m x_2^n, \quad y^3 \supset 0,$$

яка означає, що вектору 1 відповідає одне координатне представлення (n, n) ; вектору 2 – два (n, n) та (m, n) ; вектору 3 – жодного.

Носієм простору S , заданого предикатом (2.3), є множина $B = \{1, 2, 3\}$, координатними осями служать множини $A_1 = A_2 = \{m, n\}$, в ролі координатної системи виступає множина $A = \{m, n\}^2$. Простір S можна наочно представити у вигляді графіку відображення $s(x_1, x_2) = y$. У лівій нижній комірці графіку $(x_1, x_2) = (n, n)$ містяться два вектори 1 і 2; у правій нижній (m, n) – один вектор 2; у інших комірках графіку немає жодного вектору. Проектуючи вектор 1 на осі x_1 і x_2 , знаходимо його єдине координатне представлення (n, n) ; вектор 2 має два координатні представлення (n, n) та (m, n) . Вектор 3 взагалі не потрапив в межі координатної сітки, тому у нього немає жодного координатного представлення. Якби простір S був декартовим, то усі вектори носія B розташувалися б без повторень в точності по одному разу в кожній комірці координатної системи.

Розглянемо i -ий проекційний предикат простору S відповідно до [96]. Під цим ім'ям розумітимемо предикат $G_i(y, x_i)$ на $B \times A_i$ ($i = \overline{1, n}$), значення якого при будь-яких $y \in B$ і $x_i \in A_i$ визначаються рівнянням:

$$G_i(y, x_i) = \exists x_1 \in A_1 \exists x_2 \in A_2 \dots \exists x_{i-1} \in A_{i-1} \exists x_{i+1} \in A_{i+1} \dots \exists x_n \in A_n \\ S(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n, y). \quad (2.4)$$

Наприклад, для простору, заданого предикатом (2.3), проекційні предикати запишуться у вигляді:

$$G_1(y, x_1) = x_1^n (y^1 \vee y^2), \quad G_2(y, x_1) = x_2^n (y^1 \vee y^2).$$

Предикату $G_i(y, x_i)$ відповідає відображення $g_i(y)=x_i$ з B в A_i , що називається i -им проектором простору S . Проекційний предикат $G_i(y, x_i)$ зв'язує кожну точку $y \in B$ з її координатою $x_i \in A_i$ (однією, багатьма або жодною). Проектор $g_i(y)=x_i$ кожній точці $y \in B$ ставить у відповідність її координату $x_i \in A_i$ (одну, багато або жодну).

Наприклад, для простору, заданого предикатом (2.3), проектири $g_1(y)=x_1$ і $g_2(y)=x_2$ запишуться у вигляді:

$$y^1 \supset x_1^n, \quad y^2 \supset x_1^n \vee x_1^m, \quad y^3 \supset 0; \quad y^1 \vee y^2 \supset x_2^n, \quad y^3 \supset 0.$$

Перейдемо до розгляду внутрішньої структури і властивостей узагальнених просторів. Для цього нам знадобляться деякі допоміжні поняття.

Предикат $P(x, y)$, визначений на $A \times B$, називається

– цілком визначеним зліва, якщо він задовольняє умові

$$\forall x \in A \exists y \in B P(x, y);$$

– цілком визначеним справа, якщо він задовольняє умові

$$\forall y \in B \exists x \in A P(x, y);$$

– і цілком визначеним, якщо він цілком визначений зліва і справа.

Якщо предикат P на $A \times B$ не є цілком визначеним, то його можна перетворити на цілком визначений за допомогою операції природного звуження області його визначення, під якою розуміється заміна області A областю $A' \subseteq A$, що характеризується предикатом $A'(x) = \exists y \in B P(x, y)$, і області B , – областю $B' \subseteq B$, що характеризується предикатом $B'(y) = \exists x \in A P(x, y)$.

В процесі природного звуження області визначення предиката з його таблиці виключаються усі нульові рядки і стовпці. Рядки і стовпці таблиці предиката називаються нульовими, якщо вони суцільно заповнені нулями. Нульові рядки і стовпці не несуть в собі ніякої корисної інформації і тому можуть бути виключені з таблиці предиката без збитку для повноти його характеристики. У разі потреби таблицю предиката завжди можна розширити до первинних розмірів, доповнивши її раніше виключеними з неї нульовими рядками і стовпцями.

Для подальшого дослідження властивостей контенту нам будуть корисні наступні теореми та твердження.

Структура даних просторів описується квазітолерантним предикатом, тобто справедлива наступна теорема 1 і рівність (2.5).

Теорема 1. Про загальний вигляд квазітолерантного предикату. Нехай E – предикат на $B \times B$. Тоді E є квазітолерантність в тому і тільки тому випадку, якщо існує множина A і такий предикат F на $B \times A$, що для будь-яких $x, y \in B$ виконується рівність:

$$E(x, y) = \exists u \in A (F(x, u) \wedge F(y, u)) \quad (2.5)$$

Введемо поняття, що супроводжують узагальнені простори.

Предикат E_i ($i = \overline{1, n}$), визначений на $B \times B$, де B – носій простору S , значення якого при будь-яких $y_1, y_2 \in B$ визначаються рівністю

$$E_i(y_1, y_2) = \exists x_i \in A_i (G_i(y_1, x_i) \wedge G_i(y_2, x_i)), \quad (2.6)$$

називається i -им предикатом, який супроводжує простір S . У виразі (2.6) предикат G_i – це i -ий проєкційний предикат простору S , визначений на $B \times A_i$.

Згідно з теоремою 1 про загальний вигляд предиката квазітолерантності, усі предикати (2.6), що супроводжують простір S , є квазітолерантностями, що дозволяє сформулювати наступне твердження.

Твердження 1. Про квазітолерантності, які супроводжують простір.

а) Для кожного простору S на $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ над B існує єдиний набір $E_1, E_2, \dots, E_n$ супроводжуючих його квазітолерантностей;

б) Для будь-якого набору квазітолерантностей $E_1, E_2, \dots, E_n$ на $B \times B$ знайдуться множини $A_1, A_2, \dots, A_n$ і простір S на $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ над B , для якого предикати $E_1, E_2, \dots, E_n$ будуть супроводжуючими.

Доказ. Твердження а) є прямим наслідком визначення супроводжуючих предикатів простору S і теореми 1.

Доведемо твердження б). Згідно з теоремою 1 про загальний вигляд квазітолерантності, для будь-якого квазітолерантного предиката E_i ($i = \overline{1, n}$) на $B \times B$ існують множина A_i і такий предикат G_i на $B \times A_i$, що при будь-яких $y_1, y_2 \in B$ $E_i(y_1, y_2) = \exists x_i \in A_i (G_i(y_1, x_i) \wedge G_i(y_2, x_i))$. Припустимо $S(x_1, x_2, \dots, x_n, y) = \bigwedge_{i=1}^n G_i(y, x_i)$ для усіх $x_i \in A_i$ ($i = \overline{1, n}$), $y \in B$. Тоді предикат S на $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n \times B$ визначає узагальнений простір S , для якого предикати $E_1, E_2, \dots, E_n$ є супроводжуючими квазітолерантностями. Зауважимо, що вказаний вибір множин $A_1, A_2, \dots, A_n$ і простору S для заданого набору $E_1, E_2, \dots, E_n$ квазітолерантностей на $B \times B$, взагалі кажучи, не є єдино можливим. Твердження доведене.

Введене поняття виявляється дуже важливим у прикладному аспекті. За допомогою супроводжуючих квазітолерантностей можна проводити досить інформативні дослідження. Наприклад, в теорії кольорового зору, якщо зафіксувати один з кольорів – x – і подавати кольори y_1 і y_2 такі, що $G(y_1, x) = G(y_2, x) = 1$, то тоді $E(y_1, y_2) = 1$. А це означає, що кольори y_1 і y_2 взаємозамінні, тобто можна виявляти цілі класи рівнозначних кольорів і вивчати один колір з такого класу замість усього класу. Таким чином, супроводжуючі квазітолерантності задають координатну сітку простору. Звернемо увагу на те, що зв'язок між узагальненими просторами і загальним виглядом 2-го роду предиката розкривається саме поняттям квазітолерантностей, супроводжуючих узагальнений простір і проєкційними предикатами простору.

Представлений новий погляд на відношення, які при підході, що пропонується, розглядаються як відображення, що здійснюють спрямовану обробку інформації, є перспективним для практичного застосування. Тому здається корисним представити декілька можливих інтерпретацій узагальнених просторів.

Морфологічна інтерпретація простору. Застосування узагальнених просторів можна використовувати для опису морфологічних процесів, зокрема, словотворення в будь-якій природній мові.

Будь-які речення природної мови, наприклад, української або російської, складаються із словоформ. Конкретний вид словоформи визначається заданим словом і набором граматичних ознак. До граматичних ознак відносяться відмінок, число, рід, особа, час і т. п. Словоформу можна вивчати як вектор u , а набір, що складається із слова і граматичних ознак, – як його координатне представлення.

Зазвичай словоформа однозначно задається своїм координатним представленням, а координатне представлення однозначно визначається словоформою. Але іноді зустрічаються неоднозначні випадки. Наприклад, набір (мокрый, чоловічий, множинне) і (мокрый, середній, множинне) породжує одну словоформу: *мокри*. Такі випадки підкреслюють, що в поняття декартового простору механізм словотворення мови не укладається із-за своєї багатозначності, але поняття узагальненого описує усі нюанси природної мови.

Введемо носій простору B і проінтерпретуємо його як множину усіх словоформ імен прикметників. Введемо осі простору: A_1 – множина усіх

прикметників, представлених своїми словниковими формами (*добрий, красивий* і так далі); A_2 – рід з трьома значеннями (*чоловічий, жіночий, середній*); A_3 – число зі значеннями *єдине, множинне*.

Визначимо предикат S на $A_1 \times A_2 \times A_3 \times B$ таким чином:

$$S(x_1, x_2, x_3, y) = \begin{cases} 1, & \text{якщо усі дані узгоджуються,} \\ 0, & \text{якщо не узгоджуються.} \end{cases} \quad (2.7)$$

Такий предикат S називається морфологічним предикатом [63, 97]. Морфологічний предикат (2.7) зв'язує слово, граматичні ознаки і словоформу. Носій мови завжди може, в міру свого знання мови, реалізувати цей предикат. Наприклад,

$S(\text{модний, жіночий, єдине, модна}) = 1,$

$S(\text{красивий, жіночий, єдине, модна}) = 0,$

$S(\text{модний, жіночий, єдине, модні}) = 0.$

Простір, що задається яким-небудь морфологічним предикатом, називається морфологічним.

Словоформа легко виділяється з тексту за допомогою аналізу пропусків і розділових знаків. За допомогою морфологічного предиката порівняно просто можна робити операції над словоформою. Операції можуть бути наступними.

- Нормалізація словоформи – перехід від словоформи до слова $g_1(y) = x_1$.
- Аналіз словоформи – знаходження роду і числа словоформи $x_2 = g_2(y)$, $x_3 = g_3(y)$. Наприклад, *грубі* – (*середній, множинне*) або (*чоловічий, множинне*). Тобто $x_2 = g_2(y)$, $x_3 = g_3(y)$ – багатозначні відображення, що є застосовним та корисним для формалізації мовних процесів.

- Синтез словоформи – знаходження словоформи по слову і граматичним ознакам $S(x_1, x_2, x_3) = y$ (неоднозначне відображення). Наприклад: (*синій, середній, єдине*) = *синє*.

Будь-яка природна мова характеризується великою кількістю неоднозначностей, носій мови легко вирішує такі питання, але стандартна математична мова зробити це не може. Проте, узагальнені простори знайдуть своє застосування у вивченні механізмів мови, оскільки людська мова – це складний механізм перетворення в просторі [129]. У цій області існує маса невивчених структур і процесів: графічне представлення слова, фонетичне розпізнавання мови і тому подібне. Можливо, усі ці проблеми зможуть в

недалекому майбутньому знайти своє рішення за допомогою використання теорії узагальнених просторів.

Інтерпретація узагальненого простору як декартової системи координат. Розглянемо узагальнений простір таким чином: B (носії простору) – множина усіх точок площини; y (вектор простору) – точка площини; x_1, x_2 (координати вектору) – координати точки площини; A_1, A_2 – осі абсцис і ординат; $(x_1, x_2)=y$ – координатне представлення точки.

Очевидно, що в цій інтерпретації $y \neq (x_1, x_2)$, а $y = s(x_1, x_2)$, тобто це відображення простору в його носій. Простір $A_1 \times A_2$ — множина усіх пар виду (x_1, x_2) .

Предикат $S(x_1, x_2, \dots, x_n, y)$ називається декартовим на $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n \times B$, якщо він має наступні властивості:

1) функціональність: $\forall x_1 \in A_1 \forall x_2 \in A_2 \dots \forall x_n \in A_n \exists! y \in B S(x_1, x_2, \dots, x_n, y)$, тобто усюди визначеність і однозначність предиката S .

2) зворотна функціональність: $\forall y \in B \exists! x_1 \in A_1 \exists! x_2 \in A_2 \dots \exists! x_n \in A_n S(x_1, x_2, \dots, x_n, y)$, тобто сюр'єктивність і ін'єктивність предикату S .

Простір S , що задається предикатом S називається декартовим (бієктивним), якщо він усюди визначений, однозначний, ін'єктивний і сюр'єктивний. Будь-який декартовий предикат задає деяке декартове простір. У декартовому просторі кожному вектору y відповідає єдине координатне представлення $(x_1, x_2, \dots, x_n)$ і навпаки.

Твердження 2. Про ізоморфність декартових просторів. Нехай S і S' – декартові предикати на $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n \times B$ і $A_1' \times A_2' \times \dots \times A_n' \times B'$. Якщо існують бієкції $\varphi_i: A_i \rightarrow A_i'$ ($i=1, \dots, n$), то знайдеться бієкція $\psi: B \rightarrow B'$, така що для будь-яких $x_1 \in A_1, x_2 \in A_2, \dots, x_n \in A_n, y \in B$

$$S(x_1, x_2, \dots, x_n, y) = S'(\varphi_1(x_1), \varphi_2(x_2), \dots, \varphi_n(x_n), \psi(y)). \quad (2.8)$$

Ця властивість (2.8) означає, що коли координатні осі двох декартових просторів відрізняються тільки позначеннями своїх елементів, то самі простори та їх носії відрізняються тільки позначеннями своїх векторів. Властивість ізоморфності декартових просторів вірна тільки для декартових просторів. У цьому полягає причина поширення поняття декартової системи координат (її вистачає для завдання декартового простору).

Будь-який декартовий предикат є ін'єктивним, тому його можна представити за допомогою проєкційних предикатів у вигляді:

$$S(x_1, x_2, \dots, x_n, y) = G_1(y, x_1) \wedge G_2(y, x_2) \wedge \dots \wedge G_n(y, x_n). \quad (2.9)$$

Тоді $g_1(y)=x_1$, $g_2(y)=x_2$ – проектори простору. Для декартового простору S , g_1, g_2 – функції.

Супроводжуючі квазітолерантності простору $E_1(y_1, y_2)$, $E_2(y_1, y_2)$, що задаються вираженням (2.6), у разі декартової системи координат перетворюються на супроводжуючі еквівалентності, тобто справедливо наступне твердження.

Твердження 3. Про предикати, які супроводжують декартовий простір. Предикати $E_1, E_2, \dots, E_n$, супроводжуючі декартовий простір $A=A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ над B , є еквівалентностями на B . Вони мають властивість:

$$\forall y_1, y_2, \dots, y_n \in B \exists! y \in B (E_1(y_1, y) \wedge E_2(y_2, y) \wedge \dots \wedge E_n(y_n, y)). \quad (2.10)$$

Якщо довільно узяти по одному шару з кожного добутку, що відповідає еквівалентностям $E_1, E_2, \dots, E_n$, то на перетині таких шарів завжди отримуємо один елемент множини B . Будь-які n векторів визначають єдиний вектор, він завжди існує (це вірно тільки для декартової системи координат). Таким чином, розбиття E_1 - це система вертикальних ліній, а E_2 - система горизонтальних ліній. У загальному ж випадку координатні лінії можуть перериватися, виникати, з'єднуватися.

Твердження 4. Про задання декартового простору його супроводжуючими еквівалентностями. Будь-який набір еквівалентностей $E_1, E_2, \dots, E_n$ на B , що мають властивість (2.10), визначає єдиний (з точністю до роздільних позначень елементів множин $A_1, A_2, \dots, A_n$) декартовий простір $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ над B .

Твердження 3 і 4 є наслідками Твердження 1.

Іншими словами, якщо два декартова простори $S(x_1, x_2, \dots, x_n, y)$ на $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n \times B$ і $S'(x'_1, x'_2, \dots, x'_n, y)$ на $A'_1 \times A'_2 \times \dots \times A'_n \times B$ мають одні і ті ж супроводжуючі еквівалентності $E_1, E_2, \dots, E_n$, то існують бієкції $\varphi_i: A_i \rightarrow A'_i$ ($i=1, \dots, n$), такі що для будь-яких $x_1 \in A_1, x_2 \in A_2, \dots, x_n \in A_n, y \in B$

$$S(x_1, x_2, \dots, x_n, y) = S'(\varphi_1(x_1), \varphi_2(x_2), \dots, \varphi_n(x_n), y). \quad (2.11)$$

З усього вищерозглянутого з очевидністю витікає, що широко і давно відоме поняття декартового простору відповідає структурі узагальненого простору.

Квазідекартовий простір. Розглянемо наступне застосування узагальненого простору.

Простір називається квазідекартовим (рис. 2.4), якщо він однозначний, ін'єктивний і сюр'єктивний. Тобто на відміну від декартового простору немає умови усюди визначеності.

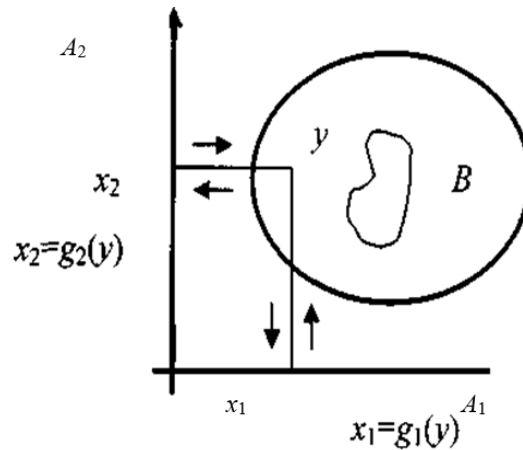


Рисунок 2.4 – Квазідекартовий простір

Предикат S на $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n \times B$ називається квазідекартовим, якщо він має властивості:

- 1) $\forall x_1 \in A_1 \forall x_2 \in A_2 \dots \forall x_n \in A_n \forall y, y' \in B \quad (S(x_1, x_2, \dots, x_n, y) \wedge S(x_1, x_2, \dots, x_n, y') \supset D(y, y'))$, що означає однозначність предиката S по змінній y , але він не є усюди визначеним.
- 2) зворотна функціональність: $\forall y \in B \exists! x_1 \in A_1 \exists! x_2 \in A_2 \dots \exists! x_n \in A_n S(x_1, x_2, \dots, x_n, y)$

Властивість ізоморфності для квазідекартових просторів невірна. Але супроводжуючі предикати виду (2.6) продовжують справно працювати.

Твердження 5. Про предикати, супроводжуючі квазідекартовий простір. Предикати $E_1, E_2, \dots, E_n$, супроводжуючі квазідекартовий простір з координатною системою $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ над B , є еквівалентностями на B . Вони мають властивість:

$$\forall y_1, y_2, \dots, y_n, y', y'' \in B (E_1(y_1, y') \wedge E_2(y_2, y') \wedge \dots \wedge E_n(y_n, y') \wedge E_1(y_1, y'') \wedge E_2(y_2, y'') \wedge \dots \wedge E_n(y_n, y'') \supset D(y', y'')). \quad (2.12)$$

Якщо узяти по одному шару з розбиття, що відповідає еквівалентностям $E_1, E_2, \dots, E_n$, то на перетині таких шарів або отримуємо порожню множину, або тільки один елемент множини B . Це – еквівалент n -мірного простору.

Твердження 6. Про задання квазідекартового простору його супроводжуючими еквівалентностями. Будь-який набір еквівалентностей $E_1, E_2, \dots, E_n$ на B , що мають властивість (2.11), визначає єдиний (з точністю до

роздільних позначень елементів множин $A_1, A_2, \dots, A_n$) квазідекартовий простір на частині $A_0 \subseteq A_n$ координатної системи $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$, визначений умовою $A_0(x_1, x_2, \dots, x_n) = \exists y \in B \ S(x_1, x_2, \dots, x_n, y)$.

Вищеописана властивість виходить з Твердження 1.

Всередині області A_0 значення y (вектори) взаємно однозначно визначаються своїми координатними представленнями (x_1, x_2) . Інакше кажучи, квазідекартовий простір можна задати його координатною сіткою.

Використовуючи загальні положення теорії інтелекту, за допомогою вище наведених понять, теорем та тверджень, проведено аналіз структури стандартів електронного навчання SCORM, визначено ключові ознаки навчального об'єкту, відношення між ними, що дозволило побудувати декларативну модель навчального об'єкту в базисі алгебри предикатних операцій (АПО).

На рис. 2.5 наведено фрагмент структури метаопису навчального об'єкту (НО) відповідно до стандарту SCORM.

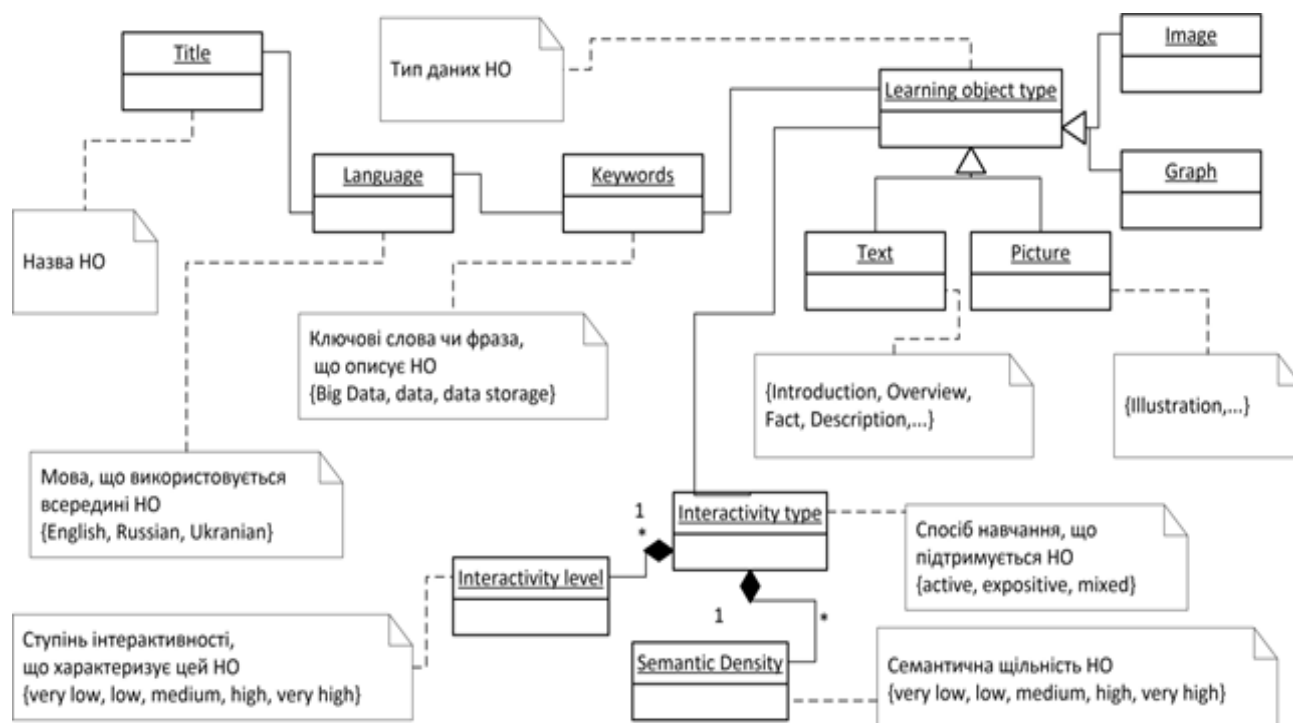


Рисунок 2.5 – Структура метаопису навчального об'єкту (фрагмент)

Предикат, як довільна функція $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$, що задана на предметній площині $S = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_m$, що відтворює простір S в множину

$B = \{0,1\}$, де 0 і 1 – це булеві елементи, описує певне відношення на множині навчальних об'єктів [131]. Відношення та відповідні предикати для моделювання довільних інтелектуальних процесів, таких як отримання нових знань, розробка чи моделювання процесу управління освітянським змістом відповідно до вимог учнів, та інші, потребують введення можливості переходу від відношення до відповідного предикату та навпаки.

$$P(x_1, x_2, \dots, x_m) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_1, x_2, \dots, x_m \in Q \\ 0, & \text{якщо } x_1, x_2, \dots, x_m \notin Q, \end{cases} \quad (2.13)$$

де P – предикат, а Q – відношення. Зворотний перехід від предиката до відношення формально буде записано: якщо $P(x_1, x_2, \dots, x_m) = 1$, то $x_1, x_2, \dots, x_m \in P$, якщо $P(x_1, x_2, \dots, x_m) = 0$, то $x_1, x_2, \dots, x_m \notin P$.

Відповідно до основних постулатів теорії інтелекту [96], будь-якому відношенню Q у взаємно однозначну відповідність стає предикат, який на мові алгебри предикатів можна записати у формульному вигляді, використовуючи базисні предикати 0, 1 і предикат впізнавання предмета x_i^a , а також базисні операції кон'юнкції $\wedge$ і диз'юнкції $\vee$. Предикат впізнавання предмета a , що знаходиться на місці x_i , визначається наступною формулою:

$$x_i^a = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x_i = a \\ 0, & \text{якщо } x_i \neq a. \end{cases} \quad (2.14)$$

Формальне представлення знань у інтелектуальних системах за допомогою методу компараторної ідентифікації детально описано у роботі [179], зокрема, представлення знань у семантичних інформаційних системах, використання алгебри предикатів і предикатних операцій для формалізації декларативної та процедурної складових знань, тощо. Важливим результатом цієї праці є підрозділ з використання методу компараторної ідентифікації (МКІ) знань для удосконалення технології набуття знань [179, с. 224–232]. У подальшому основні положення роботи з навчальним контентом, як технології пошуку та екстракції знань, набули розвитку у роботі одного з авторів цієї монографії [180].

Згідно з цими дослідженнями, методом навчання припускається визначена сукупність дій, які необхідно зробити, щоб вирішити певну задачу навчання, або досягти певної мети [100 – 108, 110].

Таким чином, описано удосконалений підхід до розв'язання задачі ідентифікації навчальних об'єктів для систем електронного адаптивного навчання на основі побудови алгебро-логічних моделей, що дозволило підвищити пертинентність, тобто відповідність інформаційним потребам, пошуку контенту. Для розробки концептуальної моделі управління навчальним контентом використовувалися метод компараторної ідентифікації (МКІ) та апарат алгебри скінченних предикатів (АСП). МКІ застосовують для класифікації учбового контенту на відповідні класи еквівалентності, та поєднання структури учбових даних, які надають та контролюють вибір та керування даними, в залежності від потреб та вимог тих, хто навчається, який представлено відповідними рівняннями алгебри скінченних предикатів. Такі рівняння АСП можна розв'язувати в залежності від завдань навчання, які вирішуються.

2.3 Розробка агентної моделі ідентифікації навчального контенту

Відкритий характер сучасного інформаційного суспільства та розвиток економіки веде до прискорення науково-технічного прогресу та росту конкуренції на ринку. Це призводить до необхідності пошуку нових методів та засобів управління, які повинні більш якісно та ефективно задовольняти індивідуальні потреби споживачів. Один з таких підходів передбачає побудову мережевої структури організації, де окремі підрозділи розглядаються як автономні підприємства. Перевагами такої організації є прямий характер взаємодії окремих підрозділів з іншими підприємствами, свобода приєднання та виходу із організації. Це дозволяє підприємствам адаптуватися до ринкових змін за рахунок гнучкості, відкритості, узгодженості та оперативності процесів прийняття рішень.

При цьому такий тип організаційної структури передбачає розробку спеціальних систем щодо управління ресурсами, тому що існуючі традиційні програмні системи не задовольняють вимоги щодо своєчасної ідентифікації потреб, оперативного прийняття рішень, реструктуризації ресурсів для ефективного вирішення різноманітних завдань в умовах мінливого динамічного середовища.

Система освіти в Україні у своєму сучасному стані характеризується наявністю ієрархічної структури, розподіленим характером та великою кількістю взаємозв'язків як всередині освітньої системи, так і з зовнішнім

світом (наприклад, з органами влади, з підприємствами, зі споживачами освітніх послуг, їх батьками тощо). Це говорить про актуальність проблем управління в системі освіти на основі нових принципів, які враховують розподіленість, ієрархічність та складність структури об'єкта управління, а також дозволяють визначити узгоджене рішення задач управління функціонуванням та розвитком освітньої системи. Одним із напрямків, які активно розвиваються в сучасних умовах глобальної інформатизації суспільства та мережі інтернету, є комп'ютерні дистанційні форми отримання освіти [117, 118]. Комп'ютерне навчання – це така форма отримання освіти та знань, на основі якої, головні постачальники освітньої інформації – це інформаційні ресурси, а формат контакту викладача та студентів базуються на застосуванні інформаційно-комунікаційних технологій, таких як форуми, соціальні мережі, чати та засоби мобільного зв'язку і їх додатки [119].

В Україні постійно зростає інтерес до систем електронного навчання (e-learning), розроблено багато курсів, які орієнтовані на використання сучасних інформаційно-комунікаційних технологій для навчання [117, 119]. Особливо актуальним це питання постало за умов пандемії коронавірусу, коли всі елементи системи освіти опинилися у непередбачуваному режимі та вимушені були шукати оптимальні варіанти розвитку за короткий проміжок часу та в умовах обмеження ресурсів. Тому питання ефективної організації таких систем є достатньо актуальним у будь-який час.

Серед підходів до вирішення завдань оперативної обробки інформації в процесах прийняття рішень виділяються ті, що засновані на мультиагентних технологіях [8, 121]. Ці підходи з'явилися на стику методів штучного інтелекту, об'єктно-орієнтованого програмування, паралельних обчислень та телекомунікацій. В їх основі лежить поняття «агента», програмного об'єкта, здатного сприймати ситуацію, приймати рішення і взаємодіяти з собі подібними [122, 123]. Ці можливості кардинально відрізняють мультиагентні системи (МАС) від традиційно організованих систем, реалізуючи таку важливу властивість як здатність до самоорганізації. При цьому агенти можуть діяти від імені осіб, які приймають рішення, на основі виданих їм повноважень, тобто в автоматичному режимі вести переговори, знаходити варіанти рішень та узгоджувати ці рішення.

Вирішення завдання одним агентом представляє точку зору класичного штучного інтелекту, згідно якої інтелектуальна система (агент) має усі

необхідні здібності, знання та ресурси для вирішення певної задачі [122]. Розподілений штучний інтелект передбачає, що окремий агент може мати лише часткове уявлення загальної проблеми та здатен вирішити лише її частину [123]. Тому для вирішення складних задач потрібна взаємодія множини агентів, що формує підґрунтя для концептуально нових комп'ютерних технологій з використанням мультиагентних систем.

Не зважаючи на велику кількість публікацій щодо проектування та застосування мультиагентних систем, зокрема в системах електронного навчання, питання оперативної обробки даних для вирішення завдань розподілу ресурсів в режимі реального часу залишаються відкритими.

Для підвищення ефективності процесів прийняття рішень в системах електронного навчання шляхом розробки моделей та програмних компонент для побудови відкритої мультиагентної системи для оперативної обробки даних необхідно розробити принципи побудови відкритих мультиагентних систем підтримки прийняття рішень, які забезпечують оперативну ідентифікацію потреб та можливостей в процесі формування рішень, а також формалізувати взаємодію агентів в таких системах [138]. Вирішення поставлених завдань дозволить розробити архітектуру мультиагентної системи, дослідити характеристики розроблених методів та взаємодії агентів, застосувати теоретичні розробки для побудови мультиагентної системи підтримки прийняття рішень в системі електронного навчання.

На відміну від традиційної системи освіти, де головними типами ресурсів є кадри та матеріальне забезпечення, в системах електронного навчання на перше місце виходять інформаційні ресурси, які є різними за змістом та формою, можуть бути розподіленими та зазвичай характеризуються динамічною потребою. Для ефективної роботи системи навчання необхідно реалізувати програмну систему, яка повинна забезпечити як функціонування самої системи, так і завдання управління та координації процесів електронного навчання. У порівнянні із традиційними, програмні системи, які базуються на агентному підході, мають певні переваги для вирішення складних слабо структурованих завдань управління [9, 97, 121, 123, 178], які полягають у наступному.

По-перше, архітектура програмної мультиагентної системи являє собою велику мережу окремих автономних програмних агентів, що забезпечує простоту реалізації, відкритість, здатність до перенесення та масштабування. По-друге, мультиагентна організація дозволяє реалізувати дійсно паралельне

обчислення за рахунок незалежності роботи окремих програмних агентів. По-третє, програмні системи, які основані на агентах, керуються системами на основі знань, на відміну від традиційних систем підтримки прийняття рішень, які керуються даними. По-четверте, використання мультиагентної технології для вирішення складних завдань управління дозволяє отримувати розподілені рішення на відміну від централізованих механізмів традиційних програмних систем. І, нарешті, по-п'яте, мультиагентні системи, як клас систем штучного інтелекту, мають властивості до самоорганізації та еволюціонування, що надає можливість використання переваг інтелектуальних технологій прийняття рішень.

Таким чином, можна зробити загальний висновок, що сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій та програмної інженерії пов'язані з використанням агентного підходу до вирішення різноманітних прикладних завдань автоматизації діяльності в різних галузях економіки [169].

Можна підкреслити такі особливості мультиагентного підходу, як:

- функціонування програмної системи будується залежно від подій, які відбуваються в реальному часі;
- програмні агенти працюють асинхронно та квазіпаралельно, аналізуючи і перебудовуючи поточний стан шляхом встановлення або перегляду зв'язків, що призводить до їхньої самоорганізації;
- рішення агентами приймаються еволюційно, при цьому можливі зміни щодо раніше прийнятих рішень.

Такий підхід дозволяє розглядати отримане рішення як «нестійку рівновагу» і спостерігати такі феномени поведінки складних систем, як порядок і хаос, катастрофи та інші нелінійні ефекти. При цьому структура і логіка роботи окремих програмних агентів досить прості, але вони демонструють надзвичайно складну поведінку системи в цілому, фактично утворюючи емерджентний інтелект. На відміну від традиційної технології, коли проводиться пошук деякого чітко визначеного алгоритму, що дозволяє знайти найкраще вирішення проблеми, в мультиагентних технологіях розв'язання отримується автоматично в результаті взаємодії скінченної множини самостійних програмних модулів (агентів).

Програмні агенти функціонують у віртуальному світі і взаємодіють між собою шляхом відправлення повідомлень. Як результат взаємодії агентів

формується поточне рішення проблеми, яке гнучко змінюється відповідно до динаміки середовища. Зазвичай взаємодія агентів моделюється як переговори або аукціон [123, 126]. Одним із можливих різновидів переговорів агентів є торгівля, коли існують агенти потреб і агенти можливостей (наприклад, ресурсів), між якими відбуваються переговори, в рамках віртуального ринку.

Система електронного навчання розглядається як відкрита система, яка об'єднує розподілені інформаційні навчальні ресурси та до якої постійно звертаються споживачі. При цьому запити щодо інформаційних ресурсів виникають постійно, але потреба в ресурсах змінюється динамічно, та не може бути передбачена заздалегідь. Тому для формалізації розподілу ресурсів у системі електронного навчання пропонується використання моделі мережі, яка формується динамічно та у кожний момент часу відображає взаємозв'язок між потребами та можливостями системи (рис. 2.6).

При взаємодії у системі, необхідно визначити два типи автономних агентів, так звані – агенти-можливості (АМ) та агенти-потреби (АП). Дані агенти використовують згідно вимог та досягнення визначеної мети, за умови виконання певних правил, все це сприяє самостійній дії та взаємозв'язку між собою. За допомогою множини агентів можливо сформувати співвідношення, які мають змогу поєднувати агентів. У залежності від різновиду завдання, що вирішується, можливо охарактеризувати різнобічні співвідношення [102]. В монографії розглянуто одне з розповсюджених відношень між декількома типами агентів, а саме їх відповідність.

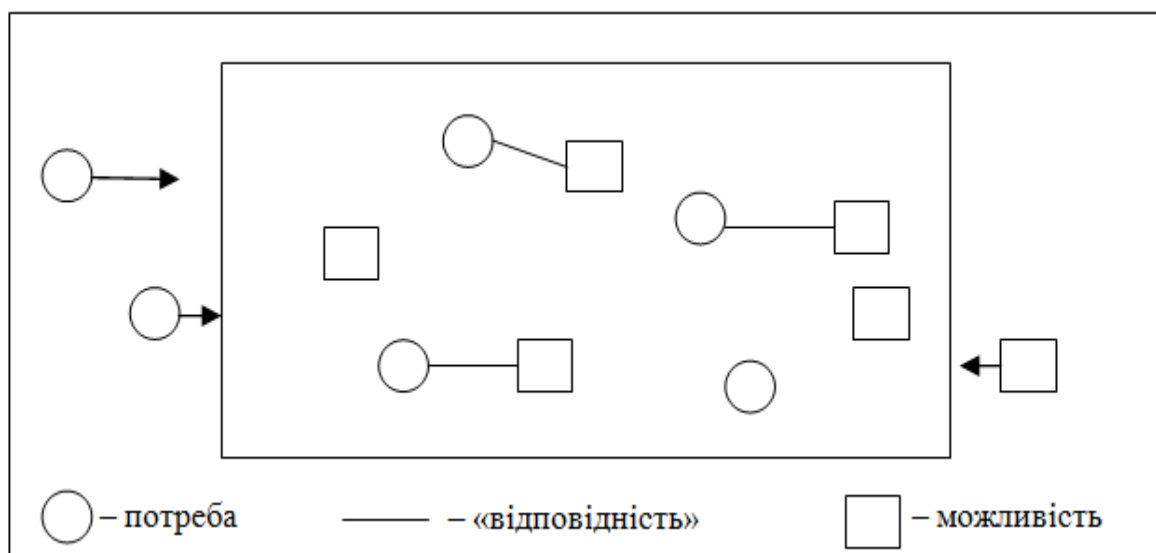


Рисунок 2.6 – Мережа відповідності, можливостей і потреб

Модель мультиагентної системи, яку запропоновано до розгляду, функціонує наступним чином:

- у довільний проміжок часу система утворює перелік критеріїв можливостей – це засоби, які є невикористаними на даний момент;
- до системи надходять запити щодо використання ресурсів – потреби. Всі потреби та можливості в такій системі надаються, як незалежні агенти, які шляхом перемовин виробляють один між одним співвідношення належності;
- у випадку коли агент-потреби та агент-можливості визначили відношення «відповідність», далі вони не беруть участі у наступних перемовинах із рештою агентів та припиняють бути вільними;
- множина агентів цих ознак та взаємодія між ними утворюють у певний момент часу середовище динамічної системи розподілу ресурсів у системі електронного навчання.

У формальному випадку, таку мультиагентну систему можна окреслити наступним чином:

$$G = \{A, R, M, V\},$$

де A – множина агентів (АП та АМ);

R – множина ймовірних взаємозв'язків між агентами;

M – множина норм формування рішень та визначення або розірвання послідовності між агентами;

V – множина потреб, відповідно до яких функціонують агенти.

Мультиагентна система у загальному вигляді представляє собою орієнтований граф, у якого вершини – це агенти, а дуги – це відповідність між агентами. Таке представлення допускає використання всього математичного апарату теорії графів, а також може задавати деякі довільні відношення для моделювання необхідної задачі управління в системі електронного навчання.

З метою спрощення моделі встановимо наступні обмеження (рис. 2.7). По-перше, в системі функціонує два типи агентів – АМ і АП, між якими можливо встановити лише один тип відношень – «відповідність». По-друге, усі агенти взаємодіють в межах віртуального середовища (ринку), де вони можуть шукати відповідних агентів, проводити торги та встановлювати зв'язок, утворюючи відповідну пару. По-третє, кожна потреба та кожна можливість характеризується вектором індивідуальних особливостей, відповідно до яких

агенти шукають собі пару. По-четверте, усі агенти мають власну функцію корисності, яку вони прагнуть максимізувати.

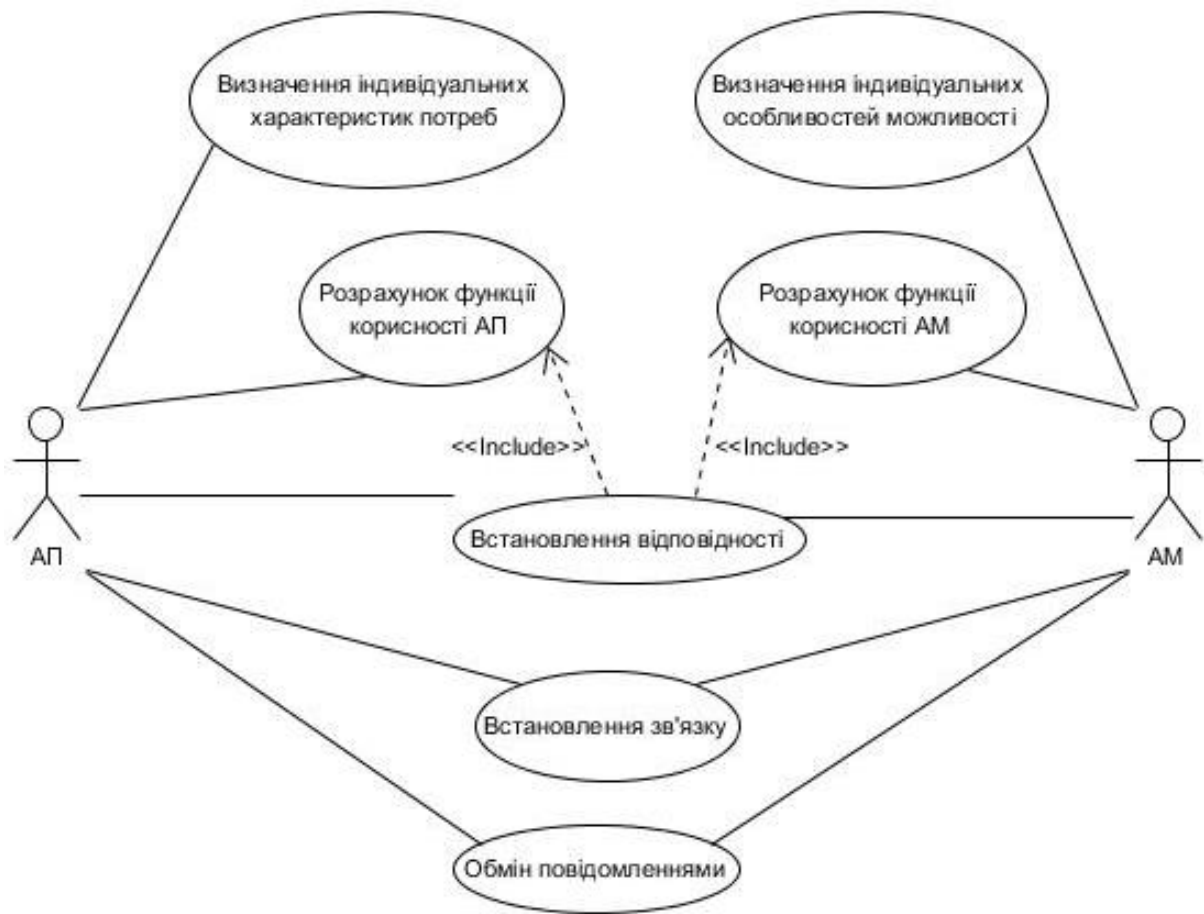


Рисунок 2.7 – Приклад використання агентів

Однією з проблем, що виникають в системі електронного навчання, є проблема координації. Частково розв'язання цієї задачі можливе при деталізації множини правил прийняття рішень агентами [121, 124, 126]. У загальному випадку можливі такі види координації:

- 1) координація відносно задачі, яка вирішується на верхньому рівні управління;
- 2) координація відносно задач, які вирішуються в кожній з підсистем ієрархічної системи управління;
- 3) координація відносно компромісного значення цільових функцій підсистем ієрархічної системи управління.

Визначимо $f_i(x_i, u_i)$ – критерії прийняття рішень на рівні локальних підсистем, наприклад, цільові функції агентів, які визначають правила прийняття рішень при веденні переговорів.

Тоді загальний критерій ефективності всієї системи можна подати таким чином:

$$F(x, u) = \sum_{i=1}^N L_i f_i(x_i, u_i) \rightarrow \max_{u_i \in U_i},$$

$$U = U_1 \times U_2 \times \dots \times U_N$$

де N – кількість підсистем в системі управління;

L_i – ваговий коефіцієнт важливості i -го локального критерію.

Вирішення цієї задачі зводиться до вирішення локальних задач управління, які формально можна записати таким чином:

$$f_i(x_i, u_i, \bar{s}_i) \rightarrow \max_{u_i \in U_i},$$

де $\bar{s}_i \in S$ – параметр координації, значення якого задано для кожної локальної задачі.

Тоді загальна координаційна задача трансформується таким чином:

$$F(x, u) = \sum_{i=1}^N L_i f_i(\bar{x}_i, \bar{u}_i, s_i) \rightarrow \max_{s_i \in S},$$

де $\bar{x}_i$ і $\bar{u}_i$ – рішення відповідних локальних задач управління.

Алгоритм взаємодії АМ та АП у мультиагентній системі можна описати наступними кроками (рис. 2.8).

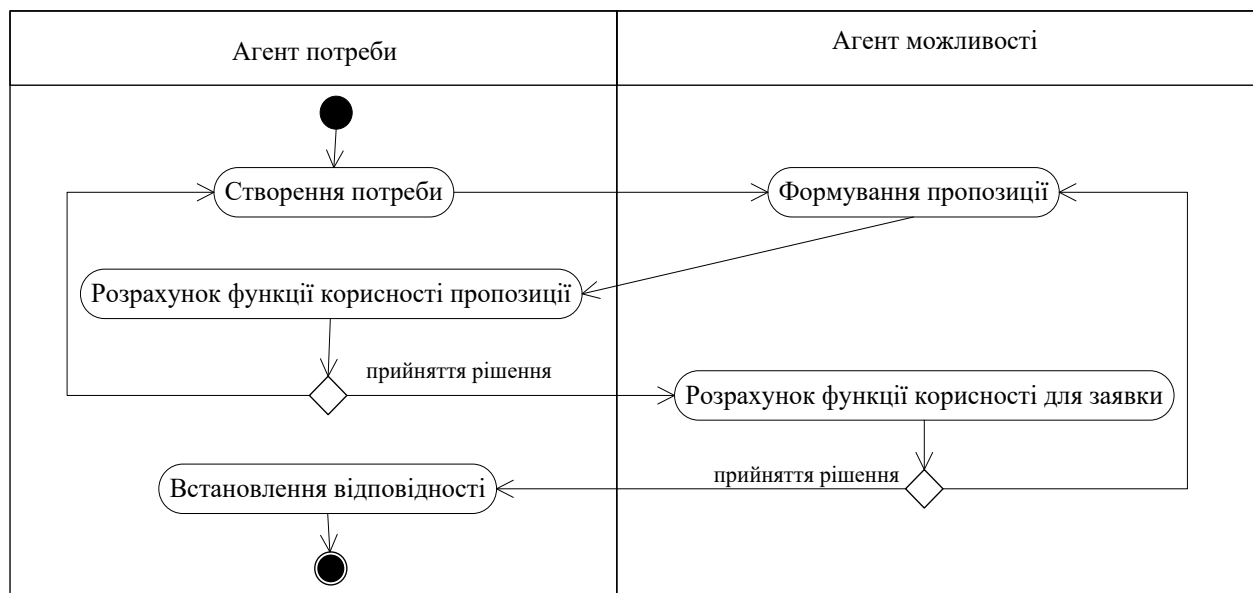


Рисунок 2.8 – Взаємодія агентів

Крок 1. Створення агента потреби та формування повідомлення усім існуючим в системі АМ про необхідність ресурсу з певними характеристиками h .

Крок 2. Формування АМ пропозицій щодо потреби з характеристикам h , причому пропозицію надають усі АМ, які мають необхідні характеристики h у повному обсязі або частково.

Крок 3. Прийняття рішення АП згідно власної функції корисності та встановлених правил прийняття рішень.

Крок 4. Прийняття рішення АМ, якщо є конкуруючі заявки, то зв'язок встановлюється з тим АП, для якого функція корисності АМ буде мати найкраще значення.

Крок 5. Встановлення зв'язку між АП та АМ, якщо обидва агенти дійшли згоди, не мають кращих пропозицій та повністю згодні з умовами.

Крок 6. Розрив зв'язку виконується після повідомлення агентом про відмову та підтвердження іншою стороною згоди, або у разі коли потреба або ресурс видаляється із системи, то агент відправляє повідомлення про розрив зв'язку, а зв'язаний з ним агент починає знову шукати відповідну пару.

Крок 7. Процес виконується до тих пір, доки усі потреби не будуть задоволені та розраховується загальносистемна вартість [102].

Для реалізації запропонованого підходу на основі мережі взаємодії агентів-потреби та агентів-можливості у системі електронного навчання необхідно розробити мову взаємодії агентів, яка базується на визначеній онтології предметної галузі. Виділяються такі спеціалізовані складові для роботи агентів у системі.

1. *Компонент комунікації агентів* – відповідає за взаємодію агентів, встановлення зв'язків між цими агентами, контролює дозволи у варіантах рішень.

2. *Компонент прийняття рішень* – компонент, що утворює множину варіантів прийняття рішень, визначає відповідність рішення за формуванням критеріїв та дозволяє отримати найкращий з існуючих варіантів.

3. *Компонент поточкових розрахунків* – отримує дозвіл на проведення розрахунків значень атрибутів агентів, які потрібні для формування зв'язку та прийняття рішень, зважаючи на взаємозв'язки термінів із предметної онтології.

2.4 Вибір та розробка методу пошуку та ідентифікації навчальних об'єктів

Описаний вище підхід може бути адаптований до розв'язання будь-якого завдання пошуку та ідентифікації контенту в системі електронного навчання. Запропонований метод дозволяє гнучко та оперативно реагувати на будь-які зміни у відкритій системі управління або у зовнішньому середовищі. В основі запропонованого методу лежить поняття пертинентності.

Пертинентність – це бінарне відношення між інформаційною потребою користувача (формалізованої в запиті) та списком ресурсів, який пошукова система видала у відповідь на цей запит. Вона виражає відповідність отриманої інформації інформаційній потребі, вона визначає ступінь відповідності між очікуваннями користувача і результатами пошуку.

Пертинентність залежить від релевантності списку результатів, і адекватності формалізованого запиту. Для кількісного аналізу пертинентного пошуку пропонується використовувати методику, засновану на використанні семантичних зв'язків при організації пошукових запитів. В її основі лежить процедура складання послідовності умовно нормалізованих запитів, лексичні одиниці яких пов'язані парадигматичними відносинами і формуються відповідно до інформаційно-пошуковому тезаурусу. Введено предикат пертинентності, який визначає відношення між інформаційними потребами пошуку та навчальним об'єктом.

Будь-якому відношенню Q у взаємно однозначну відповідність стає предикат, який на мові АСП можна записати у формульному вигляді, використовуючи базисні предикати 0, 1 і предикат впізнавання предмета x_i^a , а також базисні операції кон'юнкції і диз'юнкції. Предикат впізнавання предмета a , що знаходиться на місці x_i , визначається у відповідності з формулами (2.13) та (2.14).

Уведено предикат пертинентності, який визначає відношення між інформаційними потребами пошуку та навчальним об'єктом. В експерименті використано предикат $P(x, y) = \xi$, де x відповідає певній ситуації пошуку (умови пошуку, вимоги до контенту тощо), а y – у загальному випадку

знайдений контент. Значення змінної ξ подано двійковою реакцією (відповіддю) учасника експерименту на пару сигналів (x, y) . Якщо зміст знайденого контенту y відповідає потребам користувача в ситуації x , тоді учасник експерименту реагує позитивною відповіддю $P(x, y) = 1$, в іншому випадку – негативною відповіддю $P(x, y) = 0$.

Таким чином, удосконалено підхід до розв’язання задачі ідентифікації навчальних об’єктів для систем електронного адаптивного навчання на основі побудови алгебро-логічних моделей, що дозволило забезпечити пертинентність, тобто відповідність інформаційним потребам, пошуку контенту. Для розробки концептуальної моделі управління навчальним контентом використовувалися МКІ та апарат АСП.

На основі вищезазначеного, можна зробити такі висновки.

1. Визначення характерних рис розподіленої системи електронного навчання, аналіз головних моделей представлення знань, розгляд головних методів ідентифікації знань (метод компараторного аналізу та класифікація) доводять, що для управління контентом навчання можна використовувати алгебро-логічні рівняння, як засіб опису дискретних, скінченних та детермінованих об’єктів.

2. Запропонована модель математичного забезпечення процесів навчання в сучасних розподілених системах, яка оснований на використанні методу компараторної ідентифікації для розбивання навчального матеріалу на класи еквівалентності і зв’язування структури навчальних матеріалів, що, в свою чергу, надає і контролює ідентифікацію контенту в залежності від потреб користувача, що представлено рівняннями АСП.

3. Запропонована модель базується на використанні методу компараторної ідентифікації для класифікації навчального матеріалу на типи еквівалентності і взаємодії структури освітніх матеріалів, яка, в свою чергу, контролює вибір та управління контентом у відповідності до вимог користувача, які описані рівняннями АСП.

4. Удосконалений підхід до розв'язання задачі ідентифікації навчальних об'єктів для систем електронного адаптивного навчання на основі побудови алгебро-логічних моделей дозволив забезпечити пертинентність, тобто відповідність інформаційним потребам, пошуку контенту. Для розробки концептуальної моделі управління навчальним контентом використовувалися МКІ та апарат АСП.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ПОШУКУ КОНТЕНТУ

В СИСТЕМАХ АДАПТИВНОГО ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ

У третьому розділі монографії розглянуто процес моделювання тематичного пошуку контенту в системах адаптивного електронного навчання із використанням мультиагентної технології. Запропоновано метод збору навчального контенту для підготовки електронного курсу в системі адаптивного навчання. У роботі пропонується використання концепції семантичного пошуку за метаданими як теоретичного обґрунтування для подальшої програмної реалізації пошукової системи із використанням декларативної моделі електронних навчальних ресурсів.

3.1 Модель прототипу системи пошуку навчального контенту на базі агентних технологій

Організація агентної системи електронного навчання надає переваги щодо індивідуалізації та адаптації навчального процесу до потреб користувача. Загалом можна виділити такі складові електронної навчальної системи: пошук навчального контенту, доставка навчального контенту, збереження, контроль, інтерфейс користувача та інше.

Користувачі системи електронного навчання прагнуть використовувати матеріали із численних джерел. Для забезпечення цього повинні існувати механізми, які дозволяють знаходити та використовувати необхідні матеріали як в локальних архівах, так і в мережі Internet.

Пошук навчального контенту для інтеграції та багаторазового використання є одним з важливих завдань вбудованих інтелектуальних інформаційних агентів. Однією з основних проблем пошукових систем в інтернеті є неефективність алгоритмів ранжирування знайдених документів. Це багато в чому обумовлено тим, що пошукові запити в середньому складаються всього з двох-трьох слів, тобто просто не вистачає вихідної інформації для ефективного ранжування видачі.

Сучасні дослідники поділяють проблему пошуку навчальних об'єктів на два типи задач:

- 1) пошук навчальних ресурсів у єдиному локальному архіві;
- 2) розподілений пошук навчальних об'єктів у мережі Інтернет.

Вирішення першої задачі призвело до певних теоретичних та практичних результатів [121], що дозволяє впроваджувати їх застосування в системах підтримки електронного навчання. Друга частина проблеми поки що не має ефективного вирішення на основі узагальненого теоретичного підходу. Це призводить до необхідності дослідження процесів пошуку даних у мережі Інтернет, а також розробки теоретичних засад вирішення задачі пошуку навчальних об'єктів.

Навчальний об'єкт – це самодостатня інформаційна одиниця, яка може бути використана для навчальних цілей та має теги у якості внутрішніх зв'язків [118, 103]. Створення навчального курсу вимагає зіставлення в одне ціле обумовленої послідовності навчальних об'єктів. Для зберігання навчальних курсів використовують різноманітні навчальні репозитарії (архіви, інформаційні портали). До особливостей навчальних об'єктів можна віднести здатність до багаторазового використання, можливість агрегування або декомпозиції відповідно до навчальних цілей та згідно метаопису, а також відповідність існуючим стандартам.

В роботі пропонується архітектура інформаційної системи інтелектуального пошуку навчальних матеріалів на базі мультиагентної системи (МАС). Агенти спілкуються один з одним через службу транспортування повідомлень. Робота агентів координується та контролюється службою імен та сервісом авторизації. Каталог агентів необхідний для інформування агентів про оточуюче середовище, тобто про усіх агентів, їхні функції та цілі. Онтологія необхідна для того, щоб забезпечити спільний опис предметної області для різних агентів. Дані, необхідні для функціонування інформаційної системи, зберігаються у базі даних та знань.

На концептуальному рівні будемо розглядати наступні ситуації використання МАС пошуку навчальних об'єктів (рис. 3.1):

- 1) пошук (метаданих, документації, навчальних матеріалів) у мережі;
- 2) перегляд змісту електронних навчальних ресурсів;
- 3) редагування пакетів;
- 4) збір та зберігання пакетів.

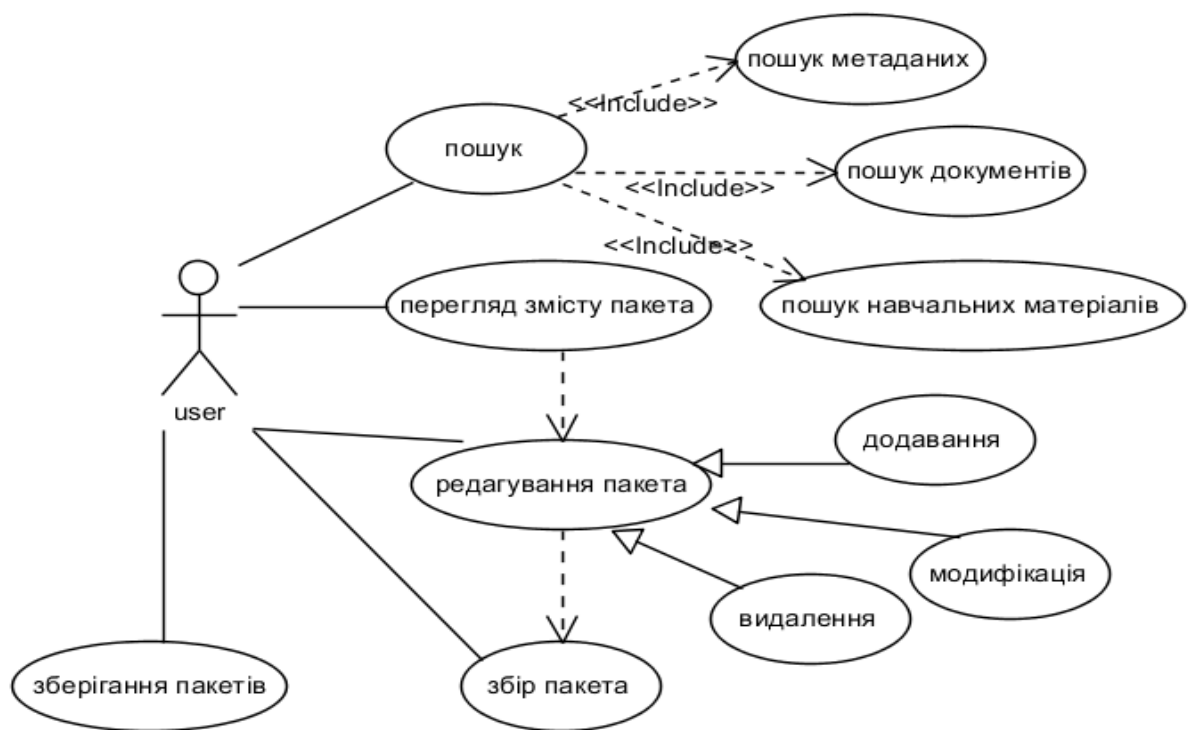


Рисунок 3.1 – Варіанти використання МАС

В роботі пропонується мультиагентна пошукова система, яка побудована на агентах чотирьох типів: краулер, оцінювач, індексатор та координатор (рис. 3.2).

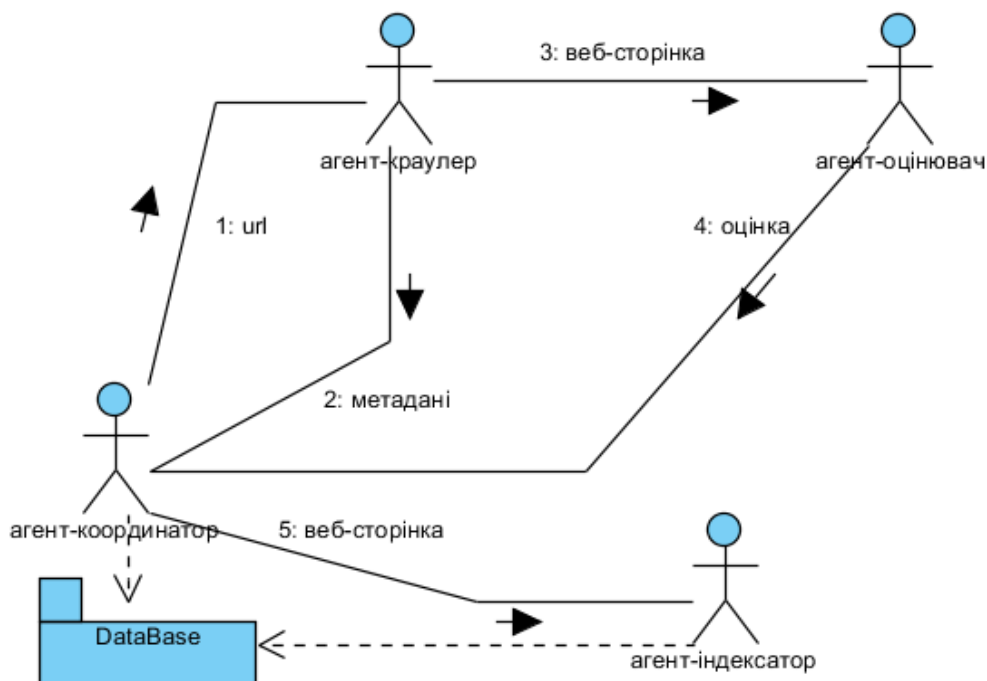


Рисунок 3.2 – Структура пошукової системи

Агент-краулер здійснює перехід на задану агентом-координатором url-адресу, видобуває метадані, якщо вони є наявні, додаткові дані та передає ці

дані агенту-оцінювачу. Агент-оцінювач застосовує компаратор, побудований на основі моделі предметної області та дескрипторної моделі пошуку, що надає ефективний механізм для визначення перспектив подальшого пошуку з оцінюваної сторінки. Головне завдання агента-індексатора полягає у автоматичному формуванні метаданих, які описують знайдений документ відповідно до обраної моделі.

Процес пошуку навчальних матеріалів можна розглядати у двох основних варіантах використання: пошук нових навчальних ресурсів (рис.3.3) та пошук навчальних матеріалів за наявними метаданими (рис. 3.4).

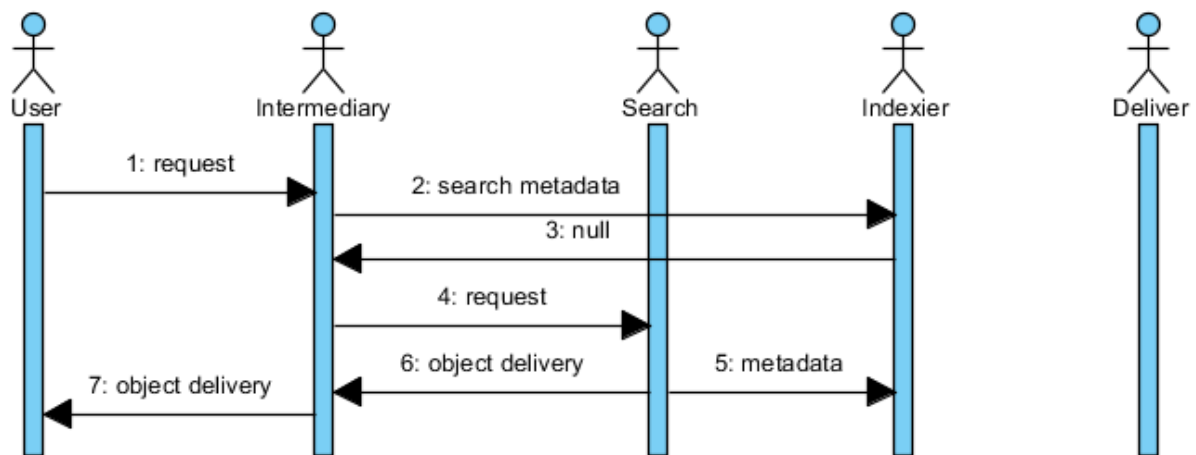


Рисунок 3.3 – Варіант використання:
пошук нового навчального об'єкта

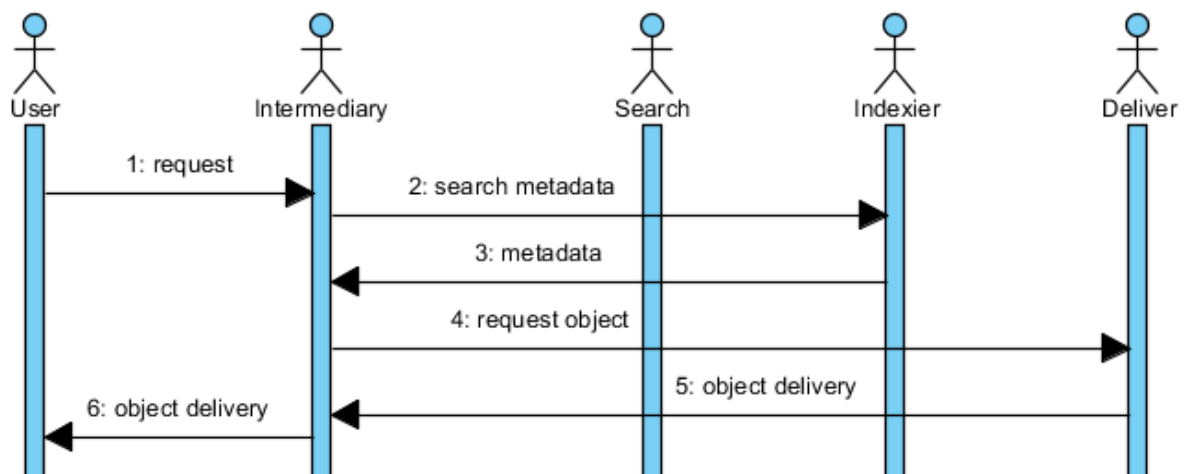


Рисунок 3.4 – Варіант використання:
пошук навчального контенту за метаданими

У варіанті пошуку навчального контенту за метаданими, задачу пошуку можна розділити на такі кроки:

- 1) пошук архіву навчальних матеріалів у мережі Internet;
- 2) пошук навчального контенту у одному репозитарії;
- 3) пошук у веб-просторі електронних ресурсів, які можуть бути використані для навчальних цілей.

Перша задача може розглядатися як задача пошуку тематичних сутностей у веб-просторі, вирішення якої розглядається, наприклад, у роботі [112]. Питання щодо пошуку навчальних ресурсів в одному репозитарії розкрито в таких роботах, як [111, 112, 113]. Третя задача, з точки зору пошуку навчального контенту, має певні особливості.

По-перше, відповідно до рекомендацій стандартів (LOM, SCORM) навчальні електронні ресурси характеризуються певним набором метаданих, які описують ці ресурси відповідно до навчального контенту, але, з іншого боку, ці метадані мають гетерогенну природу та є слабоформалізованими.

По-друге, зазвичай стандарти носять рекомендаційний характер та надають певну свободу розробникам навчальних ресурсів, що призводить до неточності, невизначеності та неоднозначності при автоматичній обробці метаданих.

По-третє, існують певні труднощі щодо встановлення відповідності між пошуковим запитом та значенням метаданих.

Все це обумовлює необхідність досліджень у напрямку вдосконалення пошукових алгоритмів у системах підтримки електронного навчання. У даній роботі пропонується використання концепції семантичного пошуку за метаданими як теоретичного обґрунтування для подальшої програмної реалізації пошукової системи. Враховуючи накопичений науковцями досвід у даному напрямку, в роботі пропонується використовувати семантичну модель на основі онтології.

Пошук навчальних об'єктів потребує наявності двох типів онтологій. По-перше, предметно-орієнтовані онтології, які описують деяку область знань навчального простору (наприклад, математика, фізика та ін.) або її частину. По-друге, загальна онтологія інформаційного пошуку, яка відображає загальні поняття та їх відношення, що є знанням про процес пошуку навчальних матеріалів та не залежить від навчальної дисципліни.

Узагальнена архітектура системи на основі запропонованого підходу наведена на рисунку 3.5.

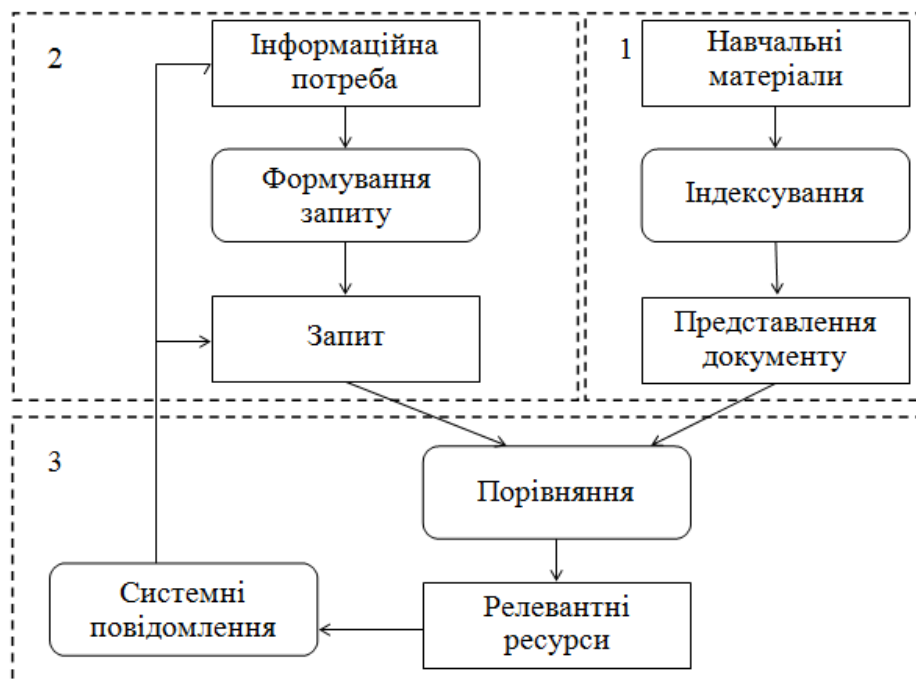


Рисунок 3.5 – Узагальнена архітектура системи пошуку

На цій схемі позначено три базові функції пошукової системи, а саме: індексування, формування запитів та порівняння. Реалізація цих функцій визначається обраною моделлю пошуку. В даній монографії пропонується продовжити дослідження семантичної моделі пошуку з використанням метаопису навчальних об'єктів на базі метаданих.

Функція індексування пов'язана з пошуком навчальних об'єктів у мережі Internet, формуванням їхнього метаопису та зберігання цієї інформації для подальшого використання. Модель представлення документа визначає алгоритм пошуку, мову формування запиту та механізм оцінки релевантності. Відповідно до цілей стандартизації електронних навчальних ресурсів, передбачається наявність метаданих, які повинні охарактеризувати навчальний контент відповідно до вимог обраного стандарту.

У якості одиниці метаопису будемо розглядати пару $m = (n_i, v_i)$, де n_i – ім'я i -го елемента в описі змісту навчального об'єкту, v_i – значення цього елемента метаопису. Тоді метаопис документа можна представити наступним чином

$$m(d) = \{(n_i, v_i), k_i | i = 1 \dots l\},$$

де k_i – ваговий коефіцієнт i -го елемента метаопису; l – кількість елементів.

Процес визначення семантичної близькості можна представити як інтелектуальний процес, що дозволяє застосувати для його моделювання методологію теорії інтелекту, зокрема метод компараторної ідентифікації [98]. Задача ідентифікації полягає у тому, щоб за вхідними сигналами x із множини A та вихідними сигналами y із множини B встановити закони перетворення сигналів цим об'єктом, тобто функцію $f(x)$. Така задача називається задачею прямої ідентифікації, вона вирішується за умови прямого доступу до вихідних сигналів об'єкта. Коли у дослідника немає доступу до вихідних сигналів, мова йде про непряму ідентифікацію. Метод компараторної ідентифікації є найбільш зручним серед методів непрямої ідентифікації.

До початку пошуку необхідно побудувати предметну онтологію за темою пошуку, яка описує поняття цієї предметної області та дозволяє визначити набір слів, які можуть зустрітися в заголовку, ключових словах або посиланнях (рис. 3.6).

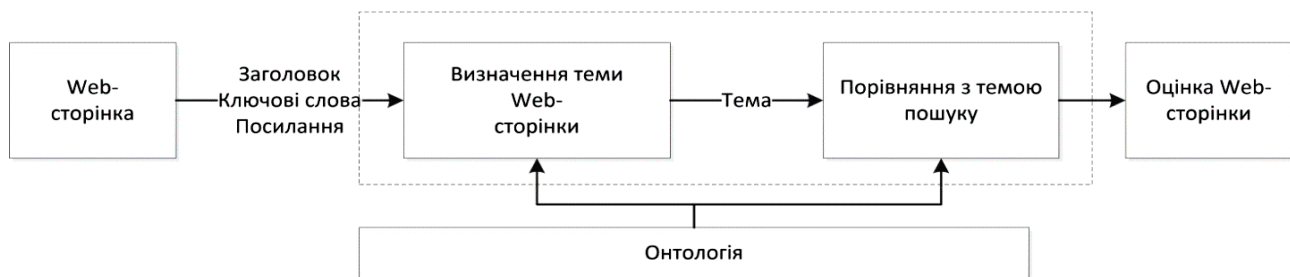


Рисунок 3.6 – Схема оцінки web-сторінки

Такі елементи обрано завдяки тому, що у більшості електронних ресурсів вони описані за допомогою відповідних тегів.

Щоб визначити тему web-сторінки, агенту потрібно порівняти з описаними у предметній онтології слова у заголовку h , ключові слова k та слова у посиланні на цю сторінку r . Визначену тему треба порівняти з темою пошуку:

$$P_k(k, q) = P_k(k, q_1) \vee P_k(k, q_2) \vee \dots \vee P_k(k, q_l),$$

$$P_h(h, q) = P_h(h, q_1) \vee P_h(h, q_2) \vee \dots \vee P_h(h, q_l),$$

$$P_r(r, q) = P_r(r, q_1) \vee P_r(r, q_2) \vee \dots \vee P_r(r, q_l),$$

де q – тема пошуку;

h – слова у заголовку;

k – ключові слова;

r – слова у посиланні на цю сторінку.

Власне, оцінку приналежності сторінки до теми пошуку можна виразити наступним предикатом

$$S = P(k, h, r, q) = P_k(k, q_1) \vee P_h(h, q_1) \vee P_r(r, q_1),$$

де S – предикат (оцінка) сторінки, який приймає значення 0 або 1.

Тобто, якщо хоч одне слово у заголовку або ключове слово або слово у посиланні належить до теми пошуку, то сторінка теж належить до теми пошуку. Можливо побудувати також іншу структуру предикату.

Таким чином, використання методу компараторної ідентифікації надає можливість реалізувати тематичний пошук навчальних електронних ресурсів в межах системи електронного навчання агентного типу, що є першим етапом формування навчального контенту. За рахунок цього отримала подальший розвиток інформаційна технологія на базі мультиагентної моделі оперативної обробки даних на основі ідентифікації ресурсів електронного навчання з використанням апарату алгебро-логічних моделей, що дозволяє враховувати семантичну складову пошуку навчальних об'єктів.

3.2 Моделювання джерел навчального матеріалу

Під методичним матеріалом будемо розуміти сукупність інформації, що містить знання про мету, форми, методи та засоби навчання і сприяє оптимізації рішення навчально-виховних завдань. При цьому під час розгляду завдань створення бази знань поняття «навчальний матеріал» і «методичний матеріал» об'єднаємо в одне поняття «навчально-методичний матеріал». Для формального представлення джерел навчального матеріалу скористаємося результатами робіт [101, 153, 155, 171].

Розглянемо ієрархію знань навчально-методичних матеріалів. Аналіз організації навчального матеріалу дозволяє виділити наступні основні рівні моделі представлення навчального матеріалу VU в базі знань семантичною мережею [103]:

$$VU = (\{VR\}, \{VPR\}, \{PG\}),$$

де VR – розділ, тобто частина навчально-методичних матеріалів, яка відповідає розділу дисципліни;

$\{VR\}$ – множина розділів навчальної дисципліни;

$\{VPR\}$ – множина підрозділів;

$\{PG\}$ – множина тем основного навчального матеріалу.

$$\{PG\} = (MI, MP, (MKT, MKR)),$$

де MI – навчальний матеріал для представлення знань дисципліни, що вивчається;
 MP – навчальний матеріал, який використовується для повторення;
 (MKT, MKR) – блок, який представляє базу знань для організації тестового контролю навчального процесу:

MKT – навчальний матеріал для контролю за темами;

MKR – навчальний матеріал для тестування по розділах.

$$SVR = (\{VR\}, CVR, H(SVR)),$$

де SVR – шар ієрархії навчально-методичних матеріалів, що відображає представлення навчального матеріалу на рівні розділів;

CVR – відношення слідування розділів, тобто ставлення квазіпорядку на множині $\{VR\}$;

$H(SVR)$ – множина узагальнених характеристик моделі матеріалу рівня розділів (оцінки необхідного часу для вивчення розділу, а також оцінки відносної складності матеріалу розділу для сприйняття учнів).

Аналогічно розкривається другий шар ієрархії

$$SVPR = (\{VPR\}, CVPR, H(SVPR)),$$

де $SVPR$ – шар ієрархії навчально-методичних матеріалів, що відображає уявлення навчального матеріалу на рівні підрозділів;

$CVPR$ – відношення слідування підрозділів;

$H(SVPR)$ – множина узагальнених характеристик моделі навчального матеріалу рівня підрозділів.

Множини VR , VPR , PG мають наступні властивості [103]:

1. $\{VR\} = VR_1, VR_2, \dots, VR_N$;
2. $\forall VR_i \neq \emptyset, i = \overline{1, N}$;
3. $VR_i \cap VR_k = \emptyset, i = \overline{1, N}, k = \overline{1, N}, i \neq k$;
4. $\{VPR\} = VPR_1, VPR_2, \dots, VPR_m$;
5. $\forall VPR_i \neq \emptyset, i = \overline{1, m}$;
6. $VPR_i \cap VPR_k = \emptyset, i = \overline{1, m}, k = \overline{1, m}, i \neq k$;
7. $\bigcup_{i=1}^N VR_i = \{VR\}$;
8. $\bigcup_{j=1}^m VPR_j = \{VPR\}$;

9. $\{PG\} = PG_1, PG_2, \dots, PG_M$;
10. $\forall PG_k \neq \emptyset, k = 1, \overline{M}$;
11. $PG_i \cap PG_j = \emptyset, i = 1, M, j = 1, M$;
12. $\bigcup_{k=1}^M PG_k = \{PG\}$;
13. $(\forall VR_i \in \{VR\}) = (\{VPR_{ij} \in \{VPR\}\})$;
14. $(\forall VPR_{ij} \in \{VPR\}) = \{PG_{ijk} \in \{PG\}\}$,

тобто, кожен i -тий розділ може бути декомпозований в множину тем і занять на рівнях підрозділів VPR і параграфів PG . Кожен шар моделі VU відповідає конкретним знанням A_i навчальної дисципліни. На рівні розділів VR і підрозділів VPR надалі вирішуються завдання визначення матеріалів для побудови навчальних програм. Рівень PG з підпорядкованою йому множиною складових четвертого рівня мережевої моделі забезпечує деталізацію кожного розділу з множини VR .

Відзначимо, що кожен елемент множини VU має «ім'я», тобто, власна назва розділів, підрозділів, параграфів., Які можна інтерпретувати місцевим предикатом. Тоді сукупність предикатів одного джерела навчальної інформації складе деякий алфавіт.

$$VU = \left\{ (VR_1, VPR_1, \dots, VPG_m, PG_1, \dots, PG_k), \dots, \right. \\ \left. (VR_N, VPR_1, \dots, VPG_M, PG_1, \dots, PG_K) \right\}.$$

Навчальний матеріал відрізняється від інших джерел інформації тісним зв'язком компонентів всередині кожної з підмножин між собою.

Введемо в розгляд відношення W – близькість текстів за смисловим змістом відповідних параграфів, підрозділів і т. д. навчального матеріалу [173]. Зрозуміло, що відношення W є нечітким відношенням, так як смисловий зміст тексту параграфу всередині одного підрозділу, підрозділів усередині одного розділу і т. д. різні. Тоді між елементами підмножин VP , VR , VPR , PG можна задати відношення функціями належності, які мають вигляд:

$$\mu_w : y_1^{\Pi} \times \dots \times y_1^{\Pi} \rightarrow [0,1], \quad Y_{\alpha}^{\Pi} \in Y_{\beta}^{\Pi\Pi}, \\ \mu_w : y_1^{\Pi\Pi} \times \dots \times y_b^{\Pi\Pi} \rightarrow [0,1], \quad Y_{\beta}^{\Pi\Pi} \in Y_{\gamma}^P, \\ \mu_w : y_1^P \times \dots \times y_q^P \rightarrow [0,1], \quad Y_{\gamma}^P \in Y_{\psi}^{\Gamma},$$

де $[0,1]$ – універсальна множина; Π , $\Pi\Pi$, P – відповідно параграф, підпараграф, розділ навчального матеріалу.

Навчальний об'єкт – це елемент, який має своє відображення, що розглядається як єдине ціле, містить деякі змінні, що визначають його властивості, і деякі методи для управління об'єктом. Об'єкти мають імена, атрибути або властивості, а також відношення з іншими об'єктами.

Структурування матеріалу навчальних дисциплін можна проводити різними способами в залежності від їх пов'язаності. Зазвичай модель знань орієнтована на логіку зв'язку окремих блоків. Управління навчальним процесом в адаптивній навчальній системі визначається результатами вхідного (вихідного) контролю знань навчальних блоків. В процесі тестування система повинна адаптуватися до рівня знань користувача. Чим більше помилок допускає користувач, тим простіше питання і тим нижче оцінка знань. В кінцевому рахунку, тип учня визначається оцінкою за результатами вхідного тестування, а в ході процесу навчання тестування визначає події управління.

3.3 Моделювання пошуку навчальних об'єктів на основі агентного підходу

Для наочної репрезентації можливих варіантів дій пошукового агента та його поведінки у зовнішньому середовищі – потрібно мати інструмент, що зробить можливим у формальному вигляді окреслити поведінку агента. У формальну архітектуру закладено поведінку агента [103]. Формальна архітектура агента – такий інструмент, що надає можливість моделювання поведінки агента із застосуванням певних формальних методів. Формальна архітектура агента характеризується за допомогою опису середовища, у якому працює агент, сприймання агентом даного середовища та його взаємодії з ним [8, 9, 10].

Якщо позначити зовнішнє середовище агента на основі множини станів через S , ймовірна поведінка агента визначиться за допомогою множини дій A [103]. У загальному вигляді агент можливо представити функцією $g_s : S \rightarrow A$, тобто вибір необхідної дії із множини можливих дій агент здійснює на основі поточного стану зовнішнього середовища $s_i \in S$. При цьому дії агента можуть впливати на середовище, але не контролювати його повністю. Для представлення агента зручно використовувати модель сприйняття зовнішнього середовища. Для цього вводиться множина можливих

сприйняття P та функція $f : S \rightarrow P$, яка описує, у який спосіб певні стани середовища сприймаються агентом.

У даному випадку у результаті системного аналізу знання та правила, якими володіє агент в системі електронного навчання, рекомендовано формалізувати за допомогою методів теорії інтелекту, наприклад, із застосуванням методу компараторної ідентифікації [98, 103].

Першим етапом реалізації процесу управління навчальним контентом є пошук джерел даних, а саме пошук веб-сторінок, на яких знаходяться навчальні матеріали. Пошук і збір веб-сторінок здійснюється засобами веб-кроулінгу, або обходу веб-простору. Обхід веба (web crawling) – це процес збору веб-сторінок у мережі Інтернет для їхнього подальшого індексування та підтримки функціонування пошукової системи [103]. Метою обходу є швидкий та ефективний збір якомога більшої кількості корисних веб-сторінок разом з посиланнями, що їх об'єднують. Обхід здійснюється пошуковим роботом (веб-кроулером) (рис. 3.7). Отримуючи стартову URL адресу, з якої розпочинається обхід, пошуковий робот завантажує відповідну веб-сторінку, видобуває із неї усі вихідні посилання та додає їх у чергу для подальшого обходу. Цей процес продовжується до тих пір, поки черга не залишається порожньою.

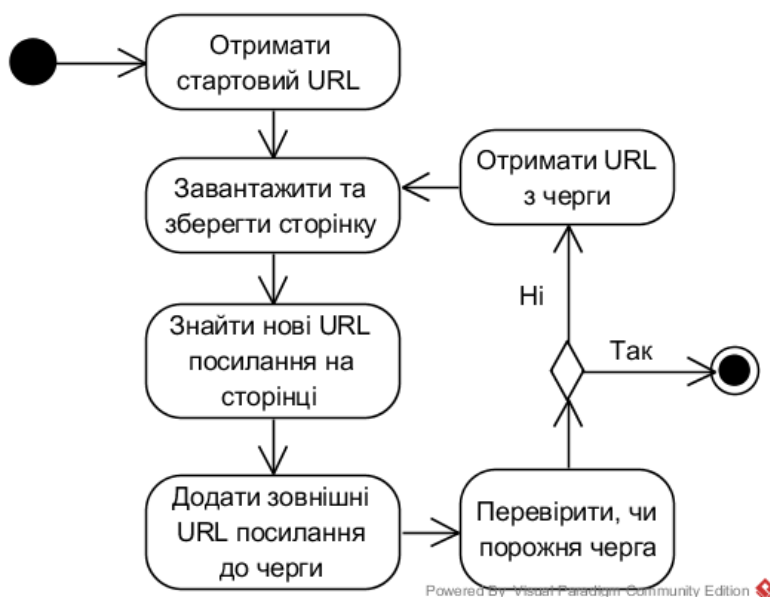


Рисунок 3.7 – Базова схема роботи пошукового робота

Базова схема роботи пошукового робота на практиці розширюється функціональністю, пов'язаною з оцінюванням релевантності веб-сторінки, її збереженням у базі даних, видобуванням інших даних, окрім посилань. Ключовим

елементом функціонування пошукового роботу, який впливає на його ефективність, є стратегія обходу посилань, які зберігаються у черзі [103, 104]. Найчастіше застосовуються два підходи: сліпий пошук та евристичний підхід. Порівняльний аналіз підходів до обходу посилань наведено у Таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Алгоритми обходу веб-сторінок

Алгоритм	Опис	Необхідні розрахунки	Переваги	Недоліки
1	2	3	4	5
Алгоритми, що не потребують додаткових знань				
Пошук в ширину (Breadth-First Algorithm)	Посилання обходяться у порядку, в якому вони додавалися до черги (порядок FIFO)	Не потребує розрахунків	Простота реалізації	Обмежений об'єм черги: коли черга повна, пошуковий робот може додати тільки одне посилання із закаченої веб-сторінки
Алгоритм обліку зворотних посилань (Backlink-count algorithm)	Посилання в черзі впорядковуються згідно з рейтингом зворотних посилань	Розрахунок кількості посилань на дану сторінку	Простота реалізації	Враховується кількість посилань, зроблених з вже скачаних сторінок, не бере до уваги їхню важливість
Алгоритм ранжування веб-сторінок (PageRank Algorithm)	Вибирається посилання з найбільшим значенням коефіцієнту PageRank, що відображає значимість веб-сторінки на основі значимості сторінок, що на неї посилаються.	Розрахунок коефіцієнту PageRank		Оцінка веб-сторінки розраховується на дуже малій, не випадковій підмножині мережі, що може змінюватися; На важливість сторінки не впливає час, який користувач на ній проводить; здійснюється пошук важливих сторінок, а не тих, що відносяться до певної теми – не прийнятний для рішення задач тематично-сфокусованого пошуку
Алгоритм Batch-pagerank	Кожні K сторінок впорядковуються за значенням коефіцієнту PageRank	Розрахунок коефіцієнту PageRank для K сторінок	Більш швидка реалізація порівняно з алгоритмом PageRank	Апроксимація значення PageRank для вибірки із K сторінок не є точною

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5
Алгоритм Partial-pagerank	Модифікація алгоритму Batch-pagerank, що враховує кількість зовнішніх та зворотних посилань	Для даної сторінки сума коефіцієнтів PageRank сторінок, що на неї посилаються, ділиться на кількість посилань, що міститься на даній сторінці	Врахування кількості зовнішніх посилань	Розрахунок наближеного значення PageRank на малій вибірці
Алгоритм OPIC (On-line Page Importance Computation)	Пріоритет сторінки визначається вагою, що надається сторінками, які посилаються на неї	Розрахунок перерозподілу ваги батьківської сторінки на усі сторінки, на які вона має посилання	Завдяки відсутності ітеративних розрахунків є значно швидшим за PageRank	Не враховуються випадкові посилання, що є спрощенням у порівнянні з PageRank
Алгоритм Larger-sites-first	Пріоритет сторінки визначається розміром веб-сайту, якому вона належить	Розрахунок кількості сторінок одного веб-сайту, що не були обійдені	Попередження утворення довгих черг сторінок одного веб-сайту та в результаті завантаження малої кількості сторінок з великих сайтів	Ігнорування малих сайтів
Алгоритми, що потребують додаткових знань				
Алгоритм наївного першого найкращого варіанту (Naïve Best-First Algorithm)	Вибирається посилання з найбільшим значенням функції релевантності, що оцінює схожість між заданими ключ. словами та кожною сторінкою.	Розрахунок функції релевантності		
Алгоритм Fish-Search	Пошук здійснюється глибше в напрямку тих документів, які виявилися релевантними до пошукового запиту	Оцінка релевантності у двійковій шкалі	Забезпечує динамічний пошук, результати якого є актуальними в момент запиту	Примітивна дискретна шкала оцінювання релевантності; використання параметру ширини пошуку може призвести до відсікання потенційно корисної частини пошукового дерева

Продовження табл. 3.1

1	2	3	4	5
Алгоритм Shark-Search	Розширення алгоритму Fish-Search. Найзначнішим доопрацюванням є використання нечітких оцінок релевантності веб-сторінки від 0 до 1	Оцінка релевантності, що змінюється від 0 до 1, враховує успадковану оцінку та оцінку сусідніх посилань	Чітка диференціація оцінок документів, що визначає їхнє місце у черзі за пріоритетом; Відсутня необхідність введення параметру ширини пошуку	Глибина пошуку обмежується моментом знаходження нерелевантної сторінки
Алгоритми, що використовують існуючі таксономії документів	Для вибору посилання використовується модель оцінювання релевантності та ранжування	Релевантність веб-сторінки визначається класифікатором згідно з таксономією		Застосовується за наявності розробленої таксономії
Алгоритми, що базуються на онтологіях	Для розрахунку релевантності використовуються знання, які містяться в онтології	Здійснюється пошук та підрахунок слів, що зустрічаються в онтології. Релевантність сторінки розраховується за допомогою метрик, що базуються на аналізі графу онтології	Підходить для тематично-сфокусованого пошуку	Потребує формального опису онтології
Graphic Context Algorithm	Наступне посилання для обходу обирається з черги найглибшого рівня	Завантажена сторінка класифікується за приналежністю до одного з рівнів контекстного графу, кожне з яких має власну чергу. Чим ближча сторінка до центру, тим вона краща.	Реалізує здатність класифікатора до навчання	Потребує сформувати сторінки найглибшого рівня вручну; потребує реалізації алгоритму класифікації

Закінчення табл. 3.1

1	2	3	4	5
History Path Algorithm	Наступне посилання вибирається на основі релевантності батьківських посилань	Сторінка успадковує від батьківської значення відстані до релевантної сторінки та додає власну відстань	Врахування історії релевантності батьківських сторінок	Обґрунтування метрики відстані та встановленого максимального значення відстані, починаючи з якого посилання не додаються у чергу.
Learning Anchor Algorithm	Наступне посилання вибирається на основі оцінки релевантності тексту гіперпосилання (anchor text)	Використовується найвний баєсівський класифікатор, що навчається на тексті гіперпосилань, клас сторінок яких заздалегідь відомий	Швидкий аналіз релевантності сторінки на основі тексту гіперпосилання	Релевантність всього документу не враховується

Евристичний підхід представлений алгоритмами, заснованими на певному критерії вибору наступного посилання із черги для обходу. Евристичні алгоритми класифікуються на такі, що потребують додаткових знань для визначення критерію вибору посилання із черги або не потребують. У даній монографії пропонується алгоритм тематичного направлено пошуку веб-сторінок, які є джерелами навчального контенту.

Розглянемо алгоритм тематичного пошуку у веб-просторі, удосконалений за рахунок використання мультиагентного підходу до реалізації пошуку навчального контенту. Передбачається, що пошук джерел даних здійснюється множиною агентів, розподілених у середовищі, які діють як єдина система за рахунок здатності взаємодіяти з метою досягнення спільної мети [104, 154]. Пошук навчального контенту ініціює агент-координатор (рис. 3.8).

Цей алгоритм потрібно допрацювати, оскільки на сторінках знаходяться сотні посилань, а на наступних посиланнях так само, і вже через декілька ітерацій, буде створено мільйони агентів, кожен агент створюється в потоці даних, що передбачає використання ресурсів оперативної пам'яті. Оперативна пам'ять обмежена, і в певний момент може виникнути помилка переповнення пам'яті. Також може виникнути ситуація в якій URL посилання буде вести на уже перевірену сторінку, при цьому виникне зациклювання, що також приведе

до руйнування програми. Тому потрібно цей алгоритм доробити. Доопрацювання полягає в створенні механізму видалення повторів, та обмеженні кількості агентів. Алгоритм з урахуванням доопрацювання наведено на рисунках 3.9 та 3.10.

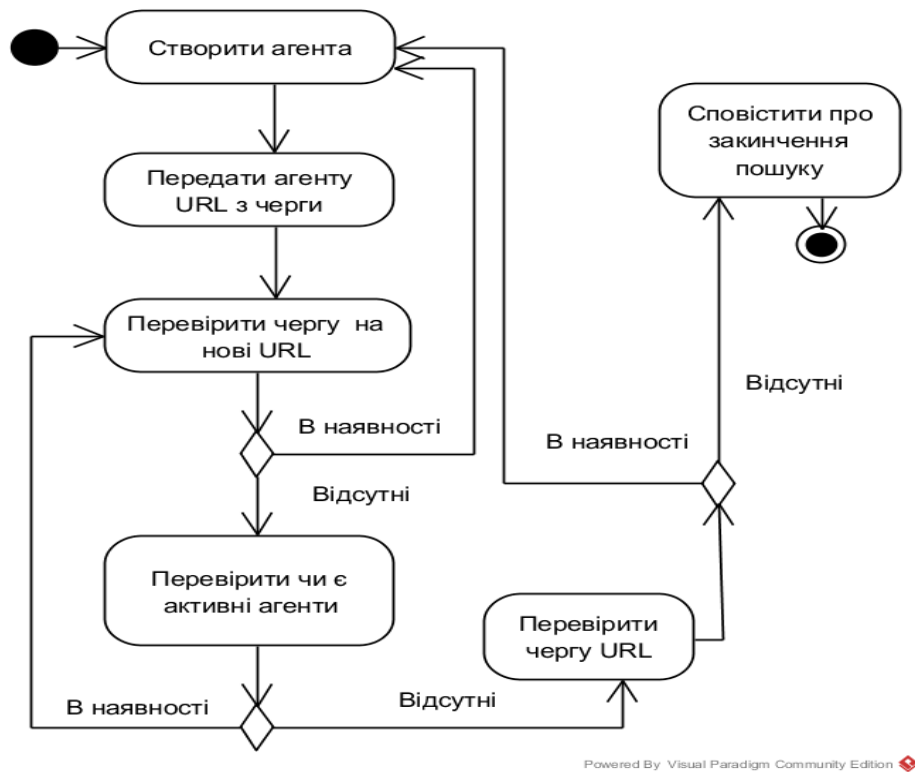


Рисунок 3.8 – Функціонування агента-координатора

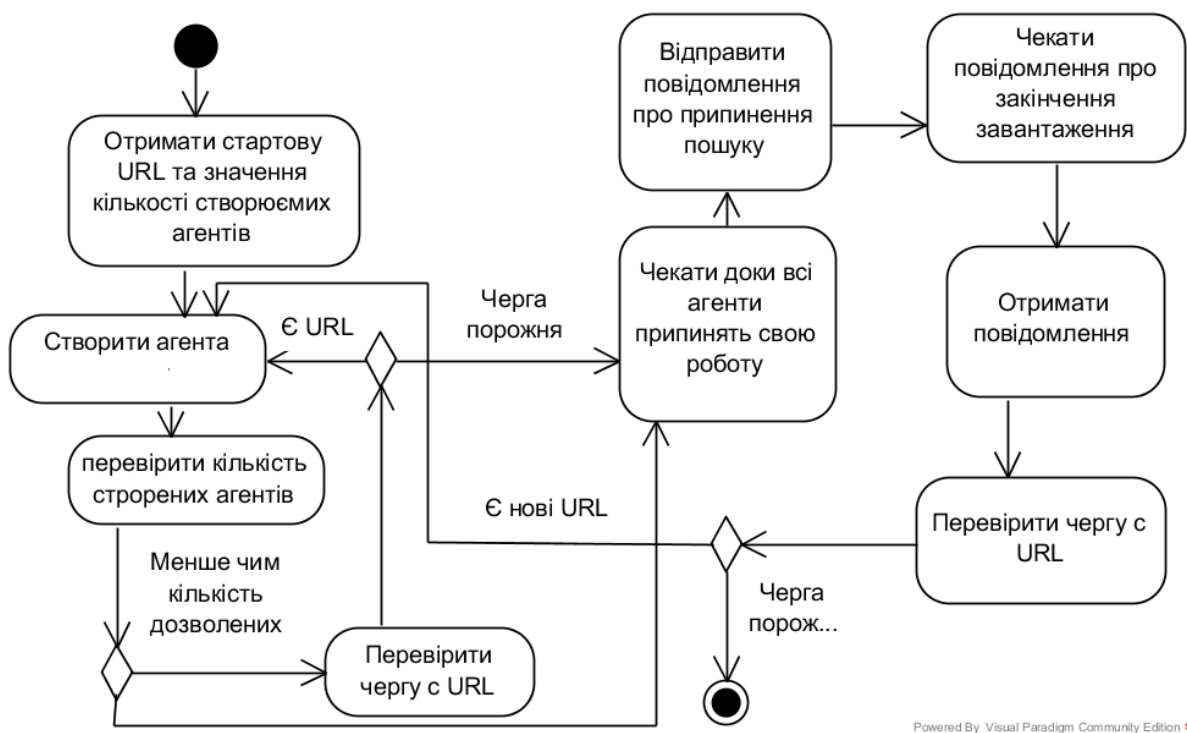


Рисунок 3.9 – Алгоритм створення агентів

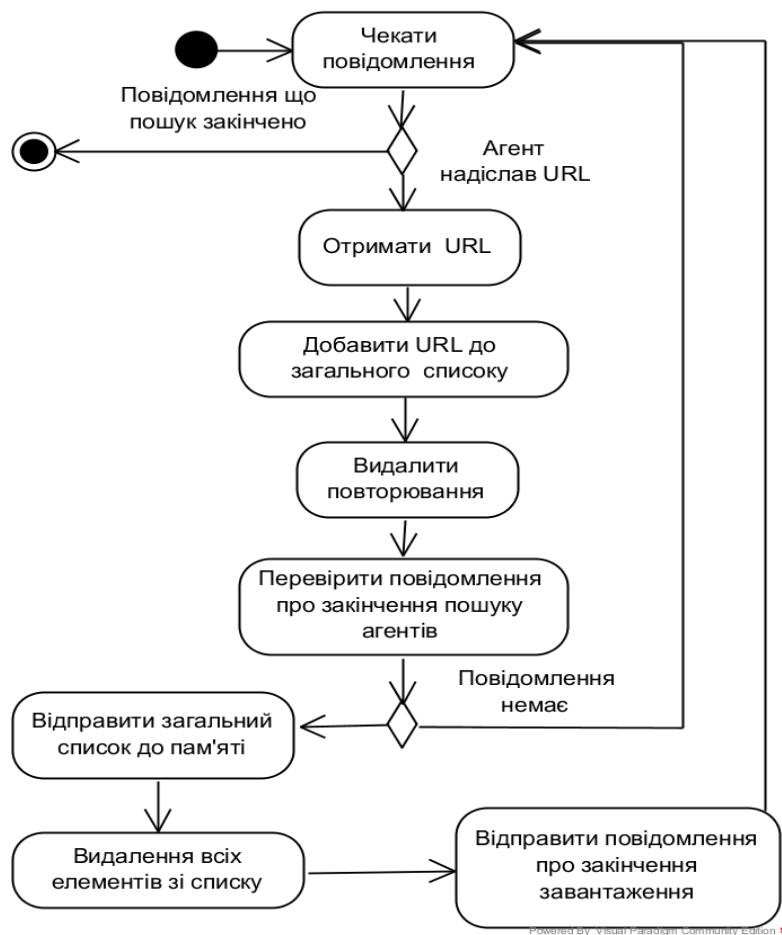


Рисунок 3.10 – Збереження посилань в пам'яті

Така структура вирішує наступні проблеми:

- позбуваємося дублікатів в 3 кроки:
- позбавлення на рівні однієї сторінки;
- вилучення URL котрі уже є в пам'яті;
- вилучення однакових URL від різних агентів.
- під час перевірки пам'яті на дублікати, до пам'яті не надходять нові URL, що дозволяє коректно виконати перевірку.
- обмеження в кількості агентів дає змогу уникнути переповнення RAM пам'яті.

У результаті роботи агента-кроулера у кеш-пам'яті зберігаються усі посилання, частина з яких відповідає темі пошуку, але не всі вони є навчальними матеріалами. Тому на наступному етапі необхідно із зібраних сторінок відібрати ті, що безпосередньо є навчальним контентом. Для вирішення цієї задачі необхідна подальша обробка збережених у кеш-пам'яті посилань.

Таким чином, використання методу компараторної ідентифікації надає можливість реалізувати тематичний пошук навчальних електронних ресурсів в

межах системи електронного навчання агентного типу, що є першим етапом формування навчального контенту. Інформаційна технологія на основі мультиагентної моделі оперативної обробки даних, яка отримала подальший розвиток за рахунок ідентифікації ресурсів електронного навчання з використанням апарату алгебро-логічних моделей, дозволяє враховувати семантичну складову пошуку навчальних об'єктів.

Наприкінці розділу можна зробити такі висновки та зауваження.

1. Запропоновано модель прототипу системи пошуку навчального контенту на базі застосування агентних технологій та розроблено архітектуру інформаційної системи інтелектуального пошуку навчальних матеріалів на базі мультиагентної системи (МАС).

2. Запропоновано використання концепції семантичного пошуку за метаданими, як теоретичного обґрунтування для подальшої програмної реалізації пошукової системи із використанням семантичної моделі на основі онтології.

3. Використання методу компараторної ідентифікації надає можливість реалізувати тематичний пошук навчальних електронних ресурсів в межах системи електронного навчання агентного типу, що є першим етапом формування навчального контенту.

4. Проведене моделювання джерел навчально-методичного матеріалу дозволяє використати ієрархічну систему організації навчального контенту. Введено визначення навчального об'єкту як елементу, який має своє відображення, що розглядається як єдине ціле, містить деякі змінні, що визначають його властивості, і деякі методи для управління об'єктом. Об'єкти мають імена, атрибути або властивості, а також відношення з іншими об'єктами.

5. Показано, що управління навчальним процесом в адаптивній навчальній системі визначається результатами вхідного (вихідного) контролю знань навчальних блоків. В процесі тестування система має адаптуватися до рівня знань користувача. В кінцевому рахунку, тип учня визначається оцінкою за результатами вхідного тестування, а в ході процесу навчання тестування визначає події управління.

6. Розроблено моделі пошуку навчальних об'єктів на основі агентного підходу. Ключовим елементом функціонування пошукового роботу, який впливає на ефективність пошуку, є стратегія обходу посилань, які зберігаються у черзі. Наведено класифікацію алгоритмів обходу веб-сторінок. Запропоновано технологію пошуку навчального контенту.

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛЕЙ

Четвертий розділ монографії присвячено удосконаленню інформаційної технології на основі мультиагентної моделі оперативної обробки даних за рахунок ідентифікації ресурсів електронного навчання. Запропоновано модель прототипу системи пошуку навчального контенту на базі застосування агентних технологій, а також розроблено архітектуру інформаційної системи інтелектуального пошуку навчальних матеріалів на базі мультиагентної системи.

4.1 Практична реалізація та впровадження розробленої моделі адаптивного навчання

Агентна модель вирішення задачі має вид (рис. 4.1), при цьому Агент – це сутність, яка сприймає своє середовище за допомогою датчиків та впливає на нього за допомогою виконавчих механізмів. Рефлексний агент, заснований на моделі, – це агент, який обирає дію на основі поточного сприйняття та який володіє знаннями про зовнішнє середовище.

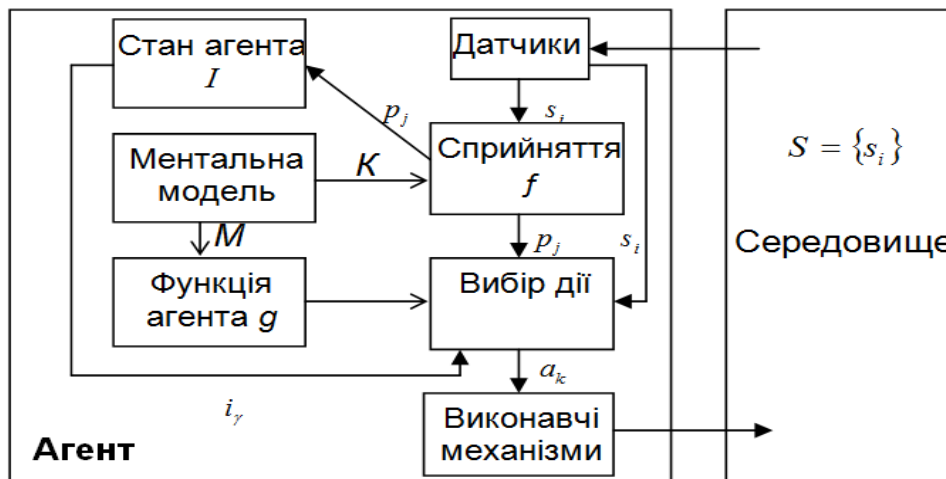


Рисунок 4.1 – Агентна модель

Програмний агент – це автономна програмна сутність, яка, безперервно функціонуючи, виконує задачі, направлені на досягнення поставлених цілей, та для якої характерні властивості інтерактивності, кооперативності, мобільності та ін.

Розглянемо формальну архітектуру пошукових агентів на прикладі агента-координатора. Зовнішнім середовищем агента є кеш-пам'ять, в якій зберігаються веб-сторінки. Зовнішнє середовище може бути описане за допомогою множини станів $S_{A0} = \{s_i, i = \overline{1,7}\}$ (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Стани зовнішнього середовища агента

Позначення	Опис
s_1	Кеш-пам'ять порожня
s_2	Веб-сторінка знаходиться в процесі обробки
s_3	Веб-сторінка має позитивну оцінку відповідності темі пошуку
s_4	Веб-сторінка має негативну оцінку відповідності темі пошуку
s_5	Веб-сторінка має позитивну оцінку відповідності контенту
s_6	Веб-сторінка має негативну оцінку відповідності контенту
s_7	Веб-сторінка була оброблена в системі

Тоді можливі сприйняття середовища агентом задаються множиною $P_{A0} = \{p_j, j = \overline{1,5}\}$ (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Елементи множини сприйняття зовнішнього середовища

Позначення	Опис
p_1	Кеш-пам'ять порожня
p_2	Веб-сторінка знаходиться в процесі обробки
p_3	Веб-сторінка має позитивну оцінку відповідності темі пошуку
p_4	Веб-сторінка має позитивну оцінку відповідності контенту
p_5	Веб-сторінка має бути видалена із кеш-пам'яті

Відповідно функція сприйняття агента має вигляд:

$$p = \begin{cases} p_1, \text{ якщо } E(s, s_1) \\ p_2, \text{ якщо } E(s, s_2) \\ p_3, \text{ якщо } E(s, s_3) \\ p_4, \text{ якщо } E(s, s_5) \\ p_5, \text{ якщо } E(s, s_4) \vee E(s, s_6) \vee E(s, s_7) \end{cases},$$

де $E(s, s_i)$ – предикат еквівалентності, який визначає один із можливих станів зовнішнього середовища.

Дії агента задаються множиною $A_{A0} = \{a_k, k = \overline{1,6}\}$ (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Дії агента

Позначення	Опис
a_1	Видалення агента-координатора
a_2	Оцінити відповідність темі пошуку
a_3	Оцінити відповідність контенту
a_4	Видобути навчальний контент
a_5	Записати веб-сторінку до бази даних та звільнити кеш-пам'ять
a_6	Перейти до наступної сторінки у кеш-пам'яті

Функція вибору дії агента задається у наступному вигляді:

$$a = \begin{cases} a_1, \text{якщо } E(p, p_1) \\ a_2, \text{якщо } \neg E(p, p_1) \wedge \neg E(p, p_2) \wedge \neg E(p, p_3) \wedge \neg E(p, p_5) \\ a_3, \text{якщо } E(p, p_3) \\ a_4, \text{якщо } E(p, p_4) \\ a_5, \text{якщо } E(p, p_5) \\ a_6, \text{якщо } E(p, p_2) \end{cases}$$

Технологія пошуку навчального контенту складається з наступної послідовності кроків:

Крок 1. Ініціалізація агента-координатора із множиною станів $S_{A0} = \{s_i, i = \overline{1,7}\}$ множиною сприйнятів $P_{A0} = \{p_j, j = \overline{1,5}\}$ та множиною дій $A_{A0} = \{a_k, k = \overline{1,6}\}$.

Крок 2. Агент отримує модель пошуку навчального контенту $M_{SEARCH} = \langle R_{SEARCH}, R_{SOURCE}, P_{SEARCH}, P_{PATTERN}, Seed \rangle$.

Крок 3. Агент перевіряє чергу посилок у кеш-пам'яті згідно із функцією сприйняття $f_{A0} : S_{A0} \rightarrow P_{A0}$.

Крок 4. Агент A0 обирає дію на основі функції вибору дії $g_{A0} : P_{A0} \rightarrow A_{A0}$.

Крок 5. Агент-координатор створює агента із моделлю теми пошуку навчального контенту та стартовим посиланням.

Крок 6. Агент-координатор створює агента із моделлю джерела навчальних матеріалів.

Крок 7. Агент-координатор створює агента для видобування навчальних матеріалів.

У Таблиці 4.4 наведено результати експериментів в залежності від організації взаємодії агентів.

Таблиця 4.4 – Результати тестування

Характеристика	1-ий підхід Послідовна робота агентів A0, A1, A2				2-ий підхід Координована паралельна робота 50 агентів A1				3-ій підхід Координована паралельна робота множини агентів A0(50), A1, A2			
	Запис у БД								Запис у Ehcache та БД			
	10 хв	20 хв	40 хв	60 хв	10 хв	20 хв	40 хв	60 хв	10 хв	20 хв	40 хв	60 хв
Кількість завантажених посилань	2452	3342	5543	6196	9531	13545	21051	34393	12414	20134	38530	57535
Кількість перевірених посилань	1452	1654	1934	2144	2542	3398	4765	6342	9515	1754	26130	38914
Навантаження ЦП додатком	33	35	35	37	43	45	46	46	49	53	56	54
Навантаження оперативної пам'яті (МБ)	34	34	35	37	94	98	102	101	450	595	902	920

Ілюстрація проведених експериментів наведена у вигляді графіків на рис. 4.2, 4.3. Наведено результати дослідження агентної системи пошуку навчального контенту 3-х процесів: послідовної роботи агентів, координованої послідовної роботи, та координованої паралельної роботи множини агентів.

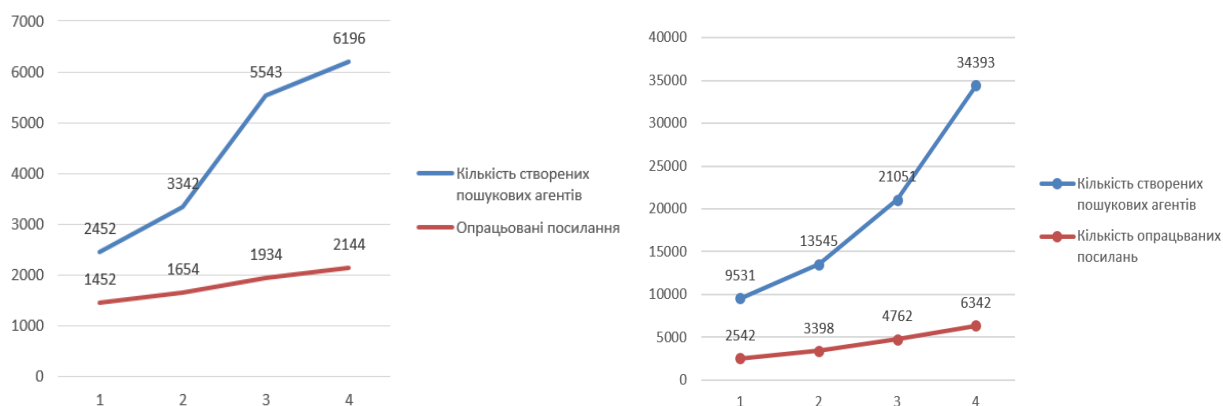


Рисунок 4.2 – Результати роботи агентів (координованої, послідовної)

Показано, що координована паралельна робота множини агентів має переваги у порівнянні з послідовними координованими та некоординованими роботами агентів.

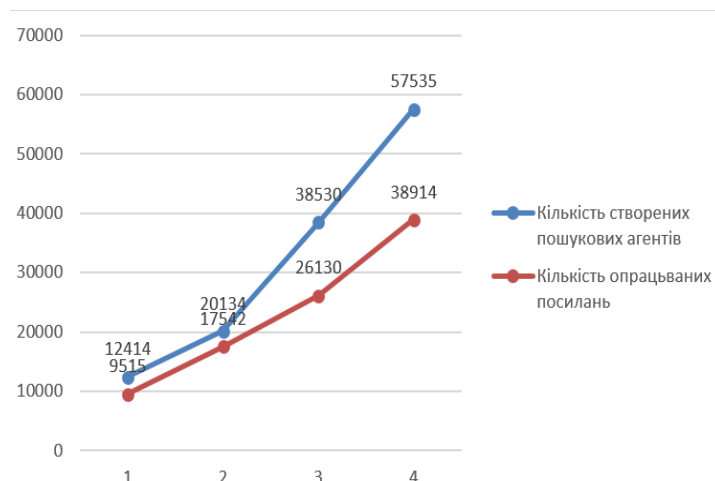


Рисунок 4.3 – Результати координованої паралельної роботи множини агентів

Таким чином, у монографії запропоновано та описано розроблену авторами мультиагентну технологію пошуку навчальних об'єктів на основі алгебро-логічної моделі ідентифікації навчального контенту. Отримала подальший розвиток інформаційна технологія на основі мультиагентної моделі оперативної обробки даних за рахунок ідентифікації ресурсів електронного навчання з використанням апарату алгебро-логічних моделей, що дозволяє враховувати семантичну складову пошуку навчальних об'єктів.

Проведено моделювання пошуку джерел навчально-методичного матеріалу. Розглянуто ієрархічну систему організації навчального контенту. Уведено визначення НО як елементу, який має своє відображення, що розглядається як єдине ціле, містить змінні, що визначають його властивості відповідно до стандарту SCORM. Для формування експерименту проведено оцінку необхідної кількості випробувань (кількості навчальних об'єктів у базі даних, до яких була застосована тестова вибірка). Відповідно до розрахунків необхідної кількості НО (для оцінки рівня значень критеріїв *precision*, *fallout* та *pertinence*) для експерименту було обрано 324 об'єкта.

При проведенні експериментів виділено чотири класи інформаційних ресурсів по відношенню до включення у відповідні і релевантні документи: n_{yy} – кількість документів, релевантних запиту; n_{yn} – кількість документів що не є релевантними; n_{ny} – кількість не знайдених, але релевантних записів; n_{nn} – кількість не знайдених та не релевантних документів.

Тоді коефіцієнт точності визначається наступним чином:

$$precision = \frac{n_{yy}}{n_{yy} + n_{yn}} = \frac{307}{313} = 0,98.$$

Коефіцієнт шуму визначаємо як:

$$fallout = \frac{n_{yn}}{n_{yy} + n_{yn}} = \frac{6}{313} = 0,02.$$

Коефіцієнт пертинентності видачі визначаємо як:

$$pertinence = \frac{n_p}{n_{yy}} = \frac{281}{307} = 0,915,$$

де n_p – кількість документів, визначених експертом як такі, що є відповідними інформаційній потребі в навчальних матеріалах.

Після обробки результатів проведеного експерименту можемо стверджувати, що математичний апарат, використаний при розробці семантичної бази даних, задовольняє інформаційні потреби в контексті задачі оцінки навчальних параметрів, що зберігаються у метаописі навчального контенту. У якості критеріїв оцінки ефективності розробленої технології екстракції контенту застосовуються інтегральні показники оцінки якості знань, добутих з різномірних електронних джерел.

Результат досліджень представлено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Результати експериментального оцінювання ефективності технології екстракції контенту

	НО	НО	НО	Атрибути	Атрибути	Атрибути	Атрибути
<i>recall</i>	0,92	0,91	0,91	0,97	0,96	0,95	0,93
<i>precision</i>	0,81	0,79	0,76	0,90	0,90	0,89	0,84

Середній коефіцієнт повноти, який визначається відношенням числа правильно ідентифікованих програмним додатком коректних НО до загального числа коректних НО даного типу, представлених у тексті, дорівнює 0,93. Середній коефіцієнт точності, який визначається відношенням числа правильно ідентифікованих програмним додатком НО до загального числа визначених системою НО (як коректних, так і некоректних), дорівнює 0,84. Дані показники перевищують середні показники ефективності роботи систем фактографічного пошуку навчального контенту на необмежених предметних областях.

Розроблено моделі пошуку навчальних об'єктів на основі агентного підходу. Ключовим елементом функціонування пошукової роботи, який впливає на ефективність пошуку, є стратегія обходу посилань, які зберігаються у черзі. Наведено класифікацію алгоритмів обходу веб-сторінок. Запропоновано технологію пошуку навчального контенту.

4.2 Використання методу адаптації навчальних ресурсів та інформаційних об'єктів

Для побудови математичних моделей адаптації в навчальних системах, за аналогією з об'єктним програмуванням, вводяться поняття об'єкт, властивості, методи. Також будемо вважати, що основним компонентом множини є об'єкти.

Об'єкт – це елемент, який має своє відображення, що розглядається як єдине ціле (елемент управління, модель системи контролю або навчальний матеріал), та містить деякі змінні, що визначають його властивості, і деякі методи для управління об'єктом. Їх множину позначимо через $O = \{O_1, O_2, \dots, O_I, \dots, O_N\}$.

Удосконалена модель включає експертні (в тому числі і нечіткі) оцінки, а також текстові (гіпермультитекстові) описи (анотації) розділів, занять і об'єктів (понять предметної області). Їх використання дозволяє забезпечити компроміс при поданні семантики понять, оскільки текстові фрагменти, не будучи формалізованими структурами, дозволяють в той самий час однозначно подати семантику [100, 175].

Структурування матеріалу навчальних дисциплін можна проводити різними способами залежно від його пов'язаності. Зазвичай модель знань орієнтована на логіку зв'язку окремих блоків, але іноді виявляється важливим при побудові навчального матеріалу враховувати і логічну незалежність (незв'язність) знань. Незалежність блоків дозволяє будувати різні варіанти керованої послідовності викладу навчального матеріалу і вибирати з них найкращі з точки зору викладача і студента.

Ідентифікація інтелектуальної діяльності людини основана на математичному описі і штучному відтворенні таких важливих для машинного інтелекту сторін, як сприйняття, розуміння, впізнавання і усвідомлення. Методи прямої ідентифікації в даному випадку не застосовуються, оскільки образи

ситуацій і суть текстів, будучи суб'єктивними станами людини, недоступні прямому фізичному виміру. Компараторна ідентифікація являє собою напрямок непрямой ідентифікації, що добре зарекомендувала себе при вирішенні завдань, пов'язаних з моделюванням лінгвістичних об'єктів [107, 108]. Розглянемо уявлення і класифікацію неструктурованих даних в мультимедіа-системах, використовуючи метод компараторної ідентифікації для розбиття на класи еквівалентності і зв'язування в гіперструктурах документів, відібраних в результаті запиту до бази мультимедіа-даних (БМД). Пропонується алгоритм розбиття на класи еквівалентності всіх документів, відібраних у результаті запиту до БМД, що підключається при адаптації гіпермедійних навчальних ресурсів [174, 194].

Припустимо, що в результаті деякого запиту користувача до навчальної системи з БМД були відібрані n документів. Всі мультимедіа-дані були отримані в результаті деякої процедури обробки запиту, відповідно до якої в індексних записах документів міститься одне або кілька понять бази знань проблемної області (або нащадків необхідних понять), що виконують роль аналога ключових слів при індексуванні документів. Позначимо множину документів БМД через $T = \{t_i\}$, $1 \leq i \leq n$, а множину вихідних понять проблемної області та відносин між ними – через $P = \{p_j\}$, $1 \leq j \leq m$.

На відміну від традиційних систем, що розглядаються поняття p_j – неоднорідні об'єкти, які є елементами моделі проблемної області: поняття, властивості, значення цих властивостей, складові поняття і т.п. Відносини між ними – довільні зв'язки. При цьому для подання мультимедіа-даних з різних точок зору (зберігання і обробки, навігації тощо), а також для реалізації різних стратегій або методик навчання може використовуватися множинне індексування [157, 161]. Отже, неоднорідність понять БЗ визначається також і різницею механізмів згортання інформації БМД (уявлення основного змісту документів набором ключових слів). В цілому множина понять P описує в стислому вигляді документи множини T .

Тому для кожної пари t і p існує точно певне значення відповідності (або невідповідності) даного поняття проблемної області та розглянутого документа. Це відповідність може бути виражена деяким предикатом, який назовемо предикатом релевантності R . Для кожної

пари документа t з множини T і поняття p з P значення предиката дорівнює 1 в разі відповідності даного поняття мультимедійного документа або 0 – в іншому випадку. При цьому важливо, щоб при кожній спробі встановити відповідність t і p предикат релевантності R визначався однозначно. Виконання цієї вимоги (так званого постулату існування предиката R) означає встановлення для кожної пари (t, p) при повторному розгляді того самого значення предиката $R(t, p)$. У разі, коли компарацію здійснює людина, постулат існування ідеально точно виконуватися не буде ніколи. Ідеально точно виконання постулату існування можливе лише при комп'ютерній обробці інформації.

Якщо $R(t, p) = 1$, приймаємо документ t справедливим щодо поняття p .

Для формування фрагментів підсумкової гіперструктури потрібна класифікація відібраної інформації, розбиття на певні логічні елементарні групи, логічні одиниці.

Назвемо кожен такий окремий елемент подання інформації в гіперструктурах архітектурним конструктивом і введемо приналежність Δ відібраних мультимедіа-документів t_a, t_b одному конструктиву таким чином:

$$t_a \Delta t_b (R(t_a, p) = R(t_b, p)).$$

Приналежність Δ визначає мінімально розчленоване уявлення цілісності. Дійсно, якщо $t_a \Delta t_b$, то $R(t_a, p) = R(t_b, p)$ для будь-якого поняття або зв'язку, що описує задану предметну область. Це означає, що дані поняття містяться в індексних записах кожного з цих документів, тобто інформація, представлена в документах t_a і t_b , семантично близька.

Процес такої функції є пристосування, організоване у вигляді навігаційних норм та правил. Також користувач має можливість незалежного опанування матеріалу під управлінням технології адаптивної гіпермедіа, яка дозволяє та контролює одержання даних, які базуються на основі вузлів для знань суб'єкта навчання. Запропоновані засоби представлення та класифікації неструктурованих даних в мультимедіа-системах ґрунтуються на використанні методу компараторної ідентифікації для розбиття на класи еквівалентності і зв'язування в гіперструктурах документів, відібраних в результаті запиту до бази мультимедіа-даних.

4.3 Інформаційна технологія управління контентом у системах електронного навчання

Зацікавленість у системах електронного навчання [147] не згасає вже не одне десятиліття. При цьому для користувача важливо відібрати саме той курс, що його цікавить та задовольняє всім висунутим вимогам [148, 149, 150]. Мультиагентні системи інформаційного пошуку навчальних ресурсів дозволяють виконати висунуті вимоги. Агенти можуть бути досвідченими асистентами для пошуку необхідної інформації, даючи людям можливість використовувати інформацію опосередковано та ефективно.

Під агентною платформою (агентним середовищем, Agent Environment) зазвичай розуміють набір програмних інтерфейсів (API – Application Programming Interface), який надає можливості створення, життєвого циклу, обміну повідомленнями, зв'язку та доступу до інформації та баз знань агентів [152, 156]. Агентну платформу наділяють функціями базового життєвого середовища агентів. Основними функціями агентної платформи є: керування життєвим циклом агентів (народження, життя, смерть); обмін повідомленнями між агентами та агентами і агентною платформою; підтримка мобільності агентів; забезпечення безпеки впродовж життя агентів (для локальних систем та самих агентів); забезпечення низькорівневої інфраструктури (використання можливостей операційної системи для виконання своїх функцій – наприклад використання мережних функцій операційної системи для забезпечення взаємодії з іншою агентною платформою).

Як було відмічено раніше у підрозділі 4.1, агентна платформа є найважливішою частиною в процесі створення агентної системи.

Агентна система – це платформа, яка може створювати, інтерпретувати, запускати, переміщати і знищувати агенти. Також як і агент, Агентна система асоціюється з повноваженнями, що визначають організацію або персону, від імені яких працює система [142]. Агентна система з повноваженнями конкретної особистості, реалізує політику безпеки користувача в плані захисту його ресурсів.

Агентна система ідентифікується за допомогою імені та адреси. На одному персональному комп'ютері можливо розташовуватися кільком агентним системам. Тип агентної системи характеризує сукупність параметрів агента. Наприклад, якщо типом агентної системи є «агенти», то це означає, що

агентна система розроблена компанією IBM, та підтримує мову Java як мову реалізації агентів, і використовує Java Object Serialization для перетворення агентів у послідовну форму [147-148].

Всі взаємодії між агентними системами відбувається через комунікаційну інфраструктуру. Адміністратор мережевого регіону керує службами комунікації для регіональних і міжрегіональних відношень. Комунікаційна інфраструктура забезпечує транспортні служби зв'язку (наприклад RPC), службу імен і службу безпеки для агентських систем [163].

Коли агент переміщується, він рухається між стаціонарними процесами, що називаються місцями [163]. Місце – це контекст усередині агентської системи, у якому може бути запущений агент. Цей контекст може надавати набір функцій, таких як контроль доступу, наприклад. Вихідне місце й місце адресації можуть знаходитися як у межах однієї агентської системи, так і в різних агентських системах, що підтримують однакову сукупність параметрів агента. Місце зіставляється з місцем розташування. Агентна система може містити одне або кілька місць і місце може містити одного або більш одного агентів. Хоча місце визначається як оточення, у якому запускається агент. Якщо агентна система не реалізує поняття місця, то місце визначається за замовчуванням. Коли клієнт запитує місце розташування агента, то як відповідь він одержує адресу місця, де знаходиться агент.

Зазначимо, що наразі не існує інструментальної системи розробки або мови програмування, яка б повністю відповідала потребам побудови агентів. Така система повинна була б відповідати таким вимогам: забезпечення перенесення коду на різноманітні платформи, доступність на багатьох платформах, підтримка мережної взаємодії, багатопотокова обробка та інші [163, 166, 167].

Частіше всього в агентних технологіях використовуються: спеціалізовані мови програмування агентів (TeleScript); мови, «орієнтовані на знання», такі, як мови представлення знань (KIF); універсальні мови програмування (Java); мови переговорів й обміну знаннями (KQML, AgentSpeak, April), мови сценаріїв й scripting languages (Tcl/Tk); мови специфікацій агентів; символічні мови й мови логічного програмування (Oz) [163].

Одна з найголовніших властивостей агента – це інтелектуальність. Інтелектуальний агент володіє визначеними знаннями про навколишнє середовище і про себе, і він здатний визначати свою поведінку на основі

цих знань. Інтелектуальні агенти є основною сферою інтересів агентної технології. Важливе також середовище існування агента: це може бути як реальний світ, так і віртуальний, що стає важливим у зв'язку з широким розповсюдженням мережі Internet [152, 156]. Від агентів вимагають здатності до навчання й навіть самонавчання.

Існує багато інструментальних рішень для проектування MAC (Media Access Control), та найпопулярнішими серед них є агентні платформи. Агентна платформа – це проміжний виконавчий рівень, який знаходиться між агентами та операційною системою [169, 171, 194]. У деяких випадках вона може спиратися не на саму операційну систему, а на якусь платформу (Java Virtual Machine або .NET Framework).

Основні функції агентної платформи:

- представляє собою середовище для існування та взаємодії агентів;
- реалізує певні стандарти для забезпечення взаємодії та сумісності з іншими платформами.

У таблиці 4.6 наведена порівняльна характеристика найбільш відомих агентних платформ [73].

Таблиця 4.6 – Порівняльна характеристика агентних платформ

Критерій порівняння	Платформи			
	<i>JADE</i>	<i>Cougaar</i>	<i>ZEUS</i>	<i>Jason</i>
Мова програмування	Java	Java	Візуальні генератори коду	AgentSpeak
FIPA-сумісність	+	–	+	–
Ліцензія на використання	Не потрібна	Не потрібна	Потрібна	Не потрібна
Область застосування	Розподілені системи, що складаються з багатьох компонент	Розподілені системи, що складаються з багатьох компонент	Основа для написання правил та сценаріїв	Розподілені системи, що складаються з багатьох компонент

Для реалізації інформаційної системи веб-моніторингу була використана платформа JADE. До основних переваг цієї платформи можна віднести можливість інтеграції з іншими системами, підтримку стандартів специфікації FIPA-2000 та вільне розповсюдження [73]. Агентна платформа JADE може бути

розподілена між декількома комп'ютерами. Віртуальна машина Java – це основний контейнер агентів, що забезпечує середовище виконання агента і дозволяє кільком агентам одночасно виконуватися на тому ж самому хості.

Для створення МАС використовуються наступні основні класи: Agent і Behavior. Клас Agent (агент) представляє собою загальний базовий клас для агентів, обумовлених користувачем. З точки зору розроблювача, агент JADE – звичайний екземпляр Java-класу, що розширює базовий клас Agent. Мається на увазі успадкування властивостей для здійснення основних взаємодій з агентною платформою (реєстрація, конфігурація, віддалене керування тощо) і основний набір методів, що можуть викликатися для реалізації заданого поведіння агента [163]. Обчислювальна модель агента є багатозадачною і паралельною, у якій задачі (чи поведіння) виконуються одночасно. Кожна функціональна можливість і/чи сервіс, наданий агентом, повинні бути реалізовані як одне чи кілька поведінь. Внутрішній планувальник, схований від розроблювача, автоматично керує плануванням поведінь.

Spring Framework складається з кількох модулів, які надають широкий спектр послуг[163, 166]:

- Контейнер Інверсії управління: Конфігурація компонентів додатків і управління життєвим циклом об'єктів Java, здійснюється головним чином через Інверсію управління.
- Аспектно-орієнтоване програмування: дозволяє реалізувати наскрізні процедури.
- Доступ до даних: робота з реляційною системою управління базами даних на платформі Java з використанням JDBC і об'єктно-реляційні відображення та інструментів з NoSQL баз даних.
- Управління транзакціями: об'єднує кілька API, управління транзакціями та координує операції для Java-об'єктів.
- Модель-Вигляд-Управління (Model-View-Controller): програмний каркас на основі HTTP сервлета, що забезпечує створення веб-додатків і веб-служб RESTful.
- Аутентифікація і авторизація: налаштування процесів безпеки, які підтримують цілий ряд стандартів, протоколів, інструментів і практик за допомогою підпроекту Spring Security (колишня система безпеки AcerI для Spring).

- Віддалене управління: конфігураційний вплив і управління Java-об'єктами для місцевої (локальної) або віддаленої конфігурації через JMX.
- Тестування: підтримка класів для написання юніт-тестів та інтеграційних тестів.

Незалежність баз даних може бути реалізована за допомогою шаблону Репозиторій (Repository). Такий підхід використовується для відокремлення логіки, яка отримує дані, і перетворює її в моделі сутностей для подальшої роботи на доменному рівні. На використання чистої архітектури та принципу інверсії залежностей для забезпечення повного контролю над компонентами системи використовується шаблон впровадження залежностей (Dependency Injection). Таким чином, даний підхід надає можливість підміни залежностей об'єктів системи за допомогою такого контейнеру без необхідності зміни інших компонентів системи [175].

В процесі розробки зроблено висновок, щодо застосування мікросервісної архітектури та написання окремих модулів системи як незалежних програм, виконання яких буде оброблятися агентною платформою, тобто поведінка (Behavior) агенту буде містити бізнес логіку окремого компонента (сервісу) системи. Так за допомогою аспектно-орієнтованого програмування виконання методів та обробка їх результатів надавалась агентам, які для взаємодії сервісів використовують ACL середовище обміну повідомлень.

Алгоритмічне забезпечення інформаційної технології збору навчального контенту складається з наступної послідовності кроків:

Крок 1. Ініціалізація агента A_0 із множиною станів $S_{A_0} = \{s_i, i = \overline{1,7}\}$, множиною сприйняття $P_{A_0} = \{p_j, j = \overline{1,5}\}$ та множиною дій $A_{A_0} = \{a_k, k = \overline{1,6}\}$.

Крок 2. Агент A_0 отримує модель пошуку навчального контенту $M_{SEARCH} = \langle R_{SEARCH}, R_{SOURCE}, P_{SEARCH}, P_{PATTERN}, Seed \rangle$.

Крок 3. Агент A_0 перевіряє чергу посилок у кеш-пам'яті згідно із функцією сприйняття $f_{A_0} : S_{A_0} \rightarrow P_{A_0}$.

Крок 4. Агент A_0 обирає дію на основі функції вибору дії $g_{A_0} : P_{A_0} \rightarrow A_{A_0}$.

Крок 5. Агент A_0 створює першого агента A_1 із моделлю теми навчального об'єкта та стартовим посиленням.

Крок 6. Агент A_0 створює агента A_2 із моделлю навчального об'єкта.

Крок 7. Агент A_0 створює агента A_3 із моделлю шаблону метаопису.

Крок 8. Ініціалізація агента A_1 із множиною станів $S_{A_1} = \{s_i, i = \overline{1,4}\}$, множиною сприйнятів $P_{A_1} = \{p_j, j = \overline{1,4}\}$ та множиною дій $A_{A_1} = \{a_k, k = \overline{1,4}\}$.

Крок 9. Агент A_1 перевіряє посилення згідно із функцією сприйняття, основою на моделі $f_{A_1} : S_{A_1} \xrightarrow{K_{A_1}} P_{A_1}$.

Крок 10. Агент A_1 обирає дію на основі функції вибору дії $g_{A_1} : P_{A_1} \xrightarrow{M_{A_1}} A_{A_1}$.

Крок 11. Ініціалізація агента A_2 із множиною станів $S_{A_2} = \{s_i, i = \overline{1,2}\}$, множиною сприйнятів $P_{A_2} = \{p_j, j = \overline{1,3}\}$ та множиною дій $A_{A_2} = \{a_k, k = \overline{1,6}\}$.

Крок 12. Агент A_2 перевіряє інформаційний ресурс згідно із функцією сприйняття, заснованою на моделі $f_{A_2} : S_{A_2} \xrightarrow{K_{A_2}} P_{A_2}$.

Крок 13. Агент A_2 обирає дію на основі функції вибору дії $g_{A_2} : P_{A_2} \xrightarrow{M_{A_2}} A_{A_2}$.

Крок 14. Ініціалізація агента A_3 із множиною станів $S_{A_3} = \{s_i, i = \overline{1,3}\}$, множиною сприйнятів $P_{A_3} = \{p_j, j = \overline{1,2}\}$ та множиною дій $A_{A_3} = \{a_k, k = \overline{1,3}\}$.

Крок 15. Агент A_3 перевіряє знайдений ресурс згідно із функцією сприйняття, заснованою на моделі навчального об'єкта $f_{A_3} : S_{A_3} \rightarrow P_{A_3}$.

Крок 16. Агент A_3 обирає дію на основі функції вибору дії $g_{A_3} : P_{A_3} \rightarrow A_{A_3}$.

Таким чином, розроблена прикладна інформаційна технологія передбачає агентну реалізацію етапів пошуку та збору навчального контенту.

Таким чином, для управління контентом у системах електронного навчання проводиться пошук та збір певної інформації. Відповідно до вимог, що висувуються до контенту, математично описується модель за допомогою алгебри скінченних предикатів. Пошук реалізовано шляхом використання мультиагентної системи [113].

Основними перевагами такого підходу є :

- незалежність від фреймворків та конкретних бібліотек;
- легкість у тестуванні – бізнес правила можуть бути протестовані окремо, без користувацького інтерфейсу, баз даних тощо.
- незалежність користувацького інтерфейсу – відображення може бути зміненим без впливу на інші компоненти системи, що знижує шанси виникнення потенційних помилок;
- незалежність від платформи – бізнес правила не знають, де вони будуть використані, і не прив'язані до особливостей конкретної платформи;

– незалежність баз даних – бізнес логіка додатку не прив'язана до конкретної бази даних, що дає можливість її зміни у будь-який момент часу без впливу на інші складові системи.

4.4 Узагальнення практичної реалізації отриманих результатів

Протягом останніх двох десятиріч років, ми спостерігаємо процес переходу від традиційного навчання до навчання із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій. Це стало можливим завдяки глобальному розвитку мережі Інтернет, що дало можливість переміщувати необхідну кількість даних з одного ресурсу в інший, вільно вести дискусії з іншими користувачами мережі в online-режимі та розміщувати різноманітну інформацію на Інтернет-ресурсах, що зробило інформаційні дані високодоступними для всіх бажаючих. Сучасні інформаційні технології дають змогу підвищити та вдосконалити ефективність освітнього процесу.

Більшість онлайн-курсів використовують Систему управління навчанням або LMS. Деякі з найпопулярніших платформ LMS у вищій освіті включають Moodle, Blackboard, D2L та Canvas. На цих платформах студенти можуть отримати доступ до курсу. Викладач завантажує їх вміст у межах оболонки курсу. Цей вміст попередньо записується (асинхронно) або в реальному часі (синхронно). Викладачі можуть використовувати свої LMS для доручення роботи студентам, звітування про оцінки і результати навчання та ведення дискусій.

У 2020 році в зв'язку з пандемією COVID-19 найважливішими заняттями для більшості учнів у дистанційному навчанні були [192]:

- Відео та презентації Powerpoint від викладача – 58% студентів вважали, що це дуже корисно, порівняно з 3%, хто ними не користувався.
- Підручники / письмові матеріали – 52% студентів вважали, що це дуже корисно, порівняно з 3%, хто ними не користувався.
- Письмові завдання – 51% студентів вважають, що вони дуже корисні, порівняно з 3%, хто ними не користувався.
- Вікторини – 49% студентів вважали, що вони були дуже корисними, а 4% не використовували їх.

- Інтерактивні медіа – 46% студентів вважають, що вони дуже допомагають, у порівнянні з 9%, хто ними не користувався.
- Дошки обговорень – 43% студентів вважають, що вони дуже допомагають, у порівнянні з 3%, хто ними не користувався.
- Сторонні відео – 37% студентів вважають, що вони дуже допомагають, у порівнянні з 6%, хто ними не користувався.
- Синхронні сесії – 33% студентів вважають, що вони дуже допомагають, у порівнянні з 17%, хто ними не користувався.

Більша частина сучасного життя нині відбувається на мобільних пристроях, і важливість мобільного онлайн-навчання лише зростає. Щонайменше 79% студентів виконали певні курсові роботи на своїх мобільних пристроях.

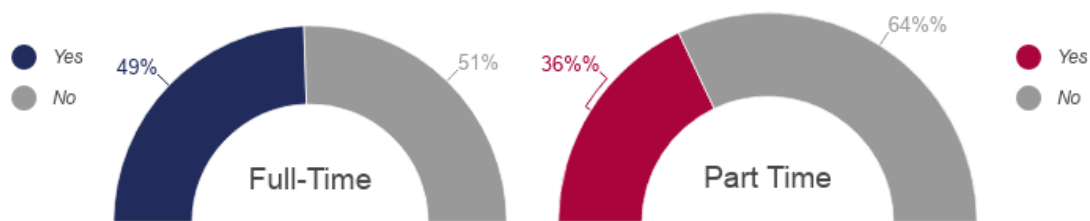


Рисунок 4.4 – Результати вибору студентами онлайн чи змішаного навчання

Станом на 15 червня 2020 року серед вищих учбових закладів спостерігається зниження кількості учнів на 6-8%. Потенційні студенти та студенти, які навчаються, не вважають, що витрати на навчання в Інтернеті повинні бути такими ж, як очні заняття. Серед старшокласників, які мали б намір вступити на бакалавра восени 2020 року та подати документи на здачу ЗНО до 1 березня, COVID-19 вплинув таким чином:

- 11% вирішили, що більше не планують вступати до вищого навчального закладу на осінь 2020 року;
- 8% зазначили, що їхні зміни у планах відбулися внаслідок пандемії COVID-19;
- 3% зазначили, що їхні зміни у планах зумовлені іншими причинами;
- 53% зазначили, що матеріальне становище їх сім'ї постраждало через COVID-19;
- 44% навряд чи передумали, який вищий навчальний заклад вони відвідуватимуть;

– 24% зазначили, що вони, ймовірно, передумують, у який заклад поступати через COVID-19.

Серед невизначених старшокласників, які не впевнені, куди вступатимуть:

- 28% зазначили, що COVID-19 не впливає на вибір рішення;
- 34% зазначили, що COVID 19 впливає на вибір Вишу;
- 40% старшокласників, які прийняли рішення про освіту 2020 року, заявляють, що не отримують адекватної інформації про те, як COVID-19 вплине на зарахування [192].

Серед нинішніх студентів молодших курсів, які були зараховані до закладів восени 2019 року COVID-19 вплинув наступним чином:

- 97% студентів вищих навчальних закладів перейшли на онлайн-навчання;
- 63% вказують на те, що отримані онлайн-інструкції гірші порівняно з особистими спілкуваннями;
- 31% вказують, що це приблизно однаково;
- 5% вважають, що це краще.

У березні 2020 року CDC (Центри з контролю та профілактики захворювань) видав настанови для вищих навчальних закладів. Рекомендації включали використання альтернативних методів навчання. Це насамперед Інтернет та дистанційне навчання.

Установи повинні використовувати принаймні один тип технології, для спілкування зі студентами, надання навчальних матеріалів та вимагати від студентів подання робіт в електронному вигляді.

Більшість студентів, які реєструються в онлайн-класах, роблять це, оскільки очна форма навчання в класі наразі неможлива із-за пандемії COVID-19. Більшість студентів, які навчаються в режимі онлайн, є студентами державних установ. Як правило, онлайн-курси використовують систему управління навчанням (LMS), таку як Moodle, Blackboard, D2L або Canvas. Шкільні викладачі рідше проходили підготовку або підвищення кваліфікації для дистанційного навчання. Крім того, за останні роки менше половини вищих навчальних закладів читали онлайн-курс. Більшість студентів, які навчаються в Інтернеті, навчаються в бізнесі, науках про здоров'я та інформатиці. В 2020 році COVID-19 вплинув настільки, що майже всі вищі навчальні заклади перейшли на онлайн-навчання і вже доволі чітко видно, що дистанційна та змішана форми навчання будуть й надалі в пріоритеті [192].

Електронне адаптивне навчання передбачає високотехнологічний підхід до процесу передачі знань і дає можливість створення системи масового безперервного самонавчання, загального обміну інформацією. Саме ця система може адекватно і гнучко реагувати на потреби суспільства щодо підготовки високопрофесійних фахівців. Крім того, впровадження дистанційного навчання уможлиблює на практиці ідею пожиттєвої освіти, навчання через усе життя. Система дистанційної освіти підвищує ефективність і якість навчання завдяки додатковим можливостям пізнання навколишньої дійсності і самопізнання, розвитку особистості студента; управління навчально-виховним процесом, проведенню моніторингу (контролю, корекції результатів навчальної діяльності, комп'ютерного педагогічного тестування і психодіагностики; поширення науково-методичного досвіду; організації інтелектуального дозвілля).

Досягнення в області інформаційних та комунікаційних технологій надають багато перспектив, зокрема в сфері освітніх технологій, особливо через наявність мережових та Інтернет технологій. Такі технології дозволили розвинути різноманітні педагогічні підходи, що суттєво вплинуло на навчальний процес за рахунок створення нових можливостей для обміну та надання знань [114–116]. Наявність різноманітних постачальників програмного забезпечення для підтримки та супроводу великої кількості ресурсів та сервісів дозволило багатьом університетам та освітнім закладам використовувати їх для управління навчальним процесом, студентами та розподіленням навчальних матеріалів.

Для навчальних систем адаптивність надає таку важливу перевагу як індивідуалізація навчального процесу. В процесі класичного навчання у форматі «людина-людина» досвідчений викладач може виявити сильні та слабкі сторони того, кого навчають, оцінити його загальну ерудицію та рівень знань конкретної дисципліни – і, виходячи з цих даних, визначити обсяг та оптимальну форму подачі матеріалу [178]. Теорія адаптивних систем виникла внаслідок необхідності вирішення великої кількості прикладних задач, для яких неможливо використати традиційні методи, які потребують знання адекватної математичної моделі об'єкту дослідження.

Навчання, засноване на використанні комп'ютерних систем, в силу своєї специфіки спочатку було позбавлено можливості враховувати особисті індивідуальні особливості кожного конкретного учня, являючи собою перекладення паперового підручника в цифровому вигляді з додаванням елементів інтерактивності. Вирішенням цієї проблеми зайняті розробники

адаптивних систем навчання. Ці системи намагаються бути більш пристосованими шляхом побудови моделі цілей, переваг та рівня знань кожного окремого студента, якого навчають, та використання цієї моделі під час взаємодії, для адаптації до його потреб. Крім того, з урахуванням особливостей знань учня за курсом, системи можуть регулювати об'єм навчального матеріалу, що подається, а також форму його представлення: текст, гіпермедіа, зображення, презентація тощо [164].

Підготовка та розвиток персоналу є важливим у всіх компаніях, незалежно від їх розміру [177]. Підготовлені співробітники забезпечують кращу продуктивність, що призводить до більшого прибутку. Оскільки навчання є важливим для всіх компаній, дуже важливо мати програмне забезпечення, яке може автоматизувати цей процес. Саме тому багато компаній намагаються створити автоматизований навчальний процес для своїх співробітників [127–128].

Системи управління навчанням (LMS або Learning Management System) стали невід'ємною частиною процесу розробки контенту електронного навчання. Система управління навчанням – це програмне забезпечення, яке допомагає керувати електронним навчанням, дозволяючи керувати контентом, доставляти курс та відслідковувати прогрес [173, 176]. Такі системи надають електронні модулі навчання через мережу Інтернет або за допомогою спеціального програмного забезпечення.

Відповідно до статистики [54, 88], завдяки автоматизації системи навчання та тренінгів, збільшуються такі показники, як: задоволеність співробітників роботою зростає на 38%, покращується продуктивність роботи на 42%, покращується виконання робочих зобов'язань на 32.5%. Перевагами використання системи управління навчанням є [57, 88, 120, 125, 133]:

1. Контент в одному місці. Система управління навчанням дозволяє зберігати весь зміст у одному місці, зменшуючи ризик втрати важливих даних. Кожен учасник команди керування e-Learning або інші користувачі можуть отримати доступ до інформації, даних або будь-чого іншого через систему хмарного зберігання.

2. Легкий доступ до навчального матеріалу. Завантажений на LMS навчальний матеріал стає постійно доступним для всіх користувачів. Студенти легко можуть отримувати курси з будь-якого місця, своєчасно та з використанням будь-якого мобільного пристрою.

3. Легко відстежувати навчальний процес та розвиток учнів. LMS дає можливість відстежувати прогрес студентів у матеріалах курсу. Точніше, можливо відстежувати їх розуміння матеріалу, вимірювати їх взаємодію з наданим вмістом, з'ясовувати, чи відповідає тренінг всім потребам особи, що навчається.

4. Зниження витрат на навчання та підвищення рівню знань. Система управління навчанням забезпечує велику мобільність, оскільки фактична присутність необов'язкова.

5. Зниження тривалості навчання. Особа, що навчається може придбати навички або знання певного змісту запропонованого курсу. У цьому плані LMS дозволяє отримати прямий доступ до курсів. Система тестів може дозволити бути в змозі підтвердити, що певні елементи, розділи або частини можуть бути звільнені від подальшого вивчення.

6. Легко оновити навчальний матеріал. Якщо потрібно додати, видалити або оновити онлайн-модулі для електронного курсу навчання, можна просто отримати доступ до системи управління навчанням та внести необхідні зміни.

7. Легкість інтеграції соціальних навчальних навичок. Система управління навчанням дозволяє інтегрувати досвід соціального навчання в стратегію електронного навчання, де можна включати посилання на Facebook, Twitter, LinkedIn та онлайн-форуми, які, безумовно, будуть корисні.

Освітні стандарти сучасного покоління допускають персональний підхід до кожного учня. У програмі навчання повинні міститися необхідні дисципліни, а також дисципліни з можливістю вибору. Таким чином, виникає можливість в підтримці індивідуальних навчальних планів. Так само сучасним напрямком в області систем електронного навчання є адаптивні навчальні системи. Основною відмінністю таких систем є можливість адаптації навчального матеріалу до індивідуальних особливостей того, хто навчається. Завдання адаптивних систем навчання – оптимізація навчального процесу шляхом надання користувачу навчального матеріалу в найбільш відповідній формі. Результатом такого підходу є безумовне підвищення якості результатів навчального процесу.

Для реалізації адаптації на рівні змісту навчального матеріалу, необхідно виконати значну роботу з формування навчального контенту з кожної дисципліни, з можливістю вибору кращої форми подання інформації. Даний підхід вимагає серйозних витрат інтелектуальної праці та спеціалізованих

ресурсів, але в результаті дозволяє отримати абсолютно нову та сучасну, високоефективну систему навчання, яка відповідає вимогам споживача.

Схему процесу формування навчального курсу представлено на рис. 4.4. Центральне місце займає тематичний пошук навчальних матеріалів, який запропоновано реалізовувати на основі розробленої предикатної моделі НО. Запропонована архітектура пошукової системи (рис.4.5)

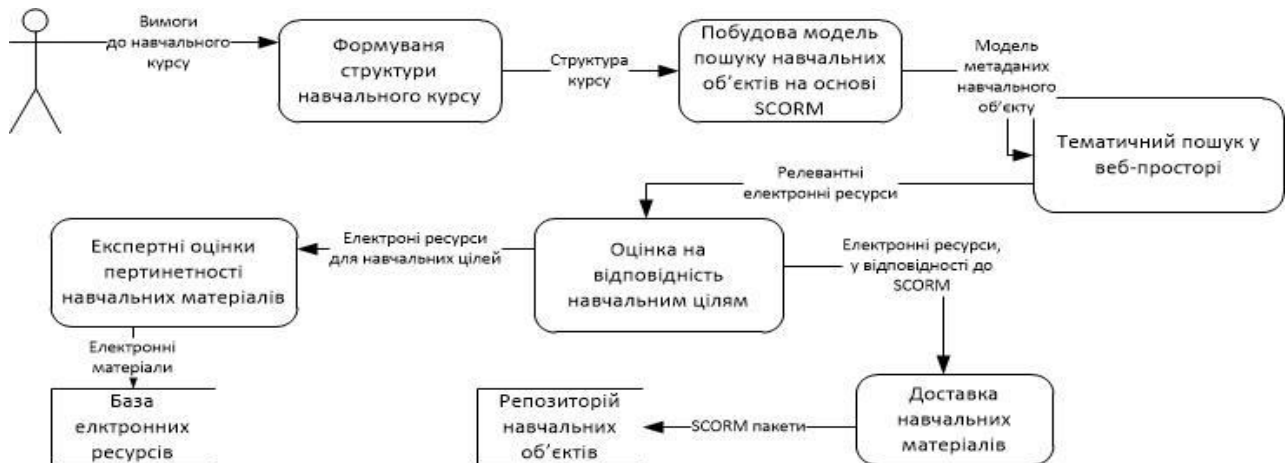


Рисунок 4.4 – Процес формування курсу

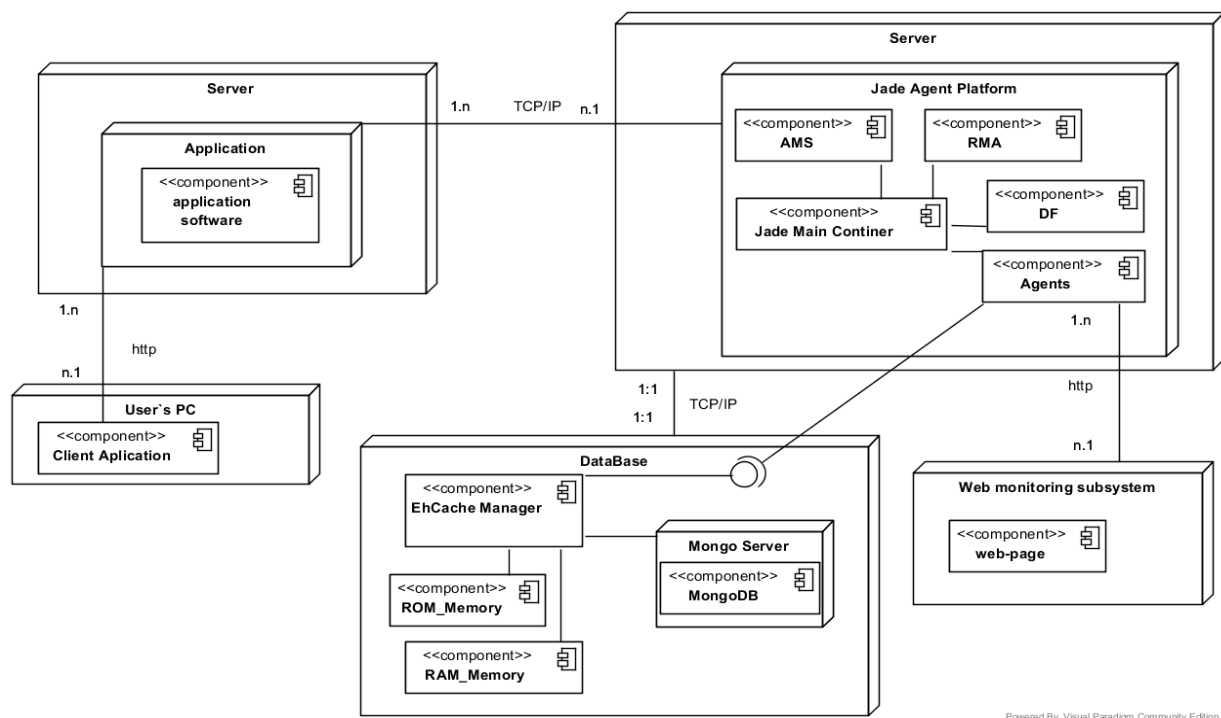


Рисунок 4.5 – Архітектура пошукової системи

Таким чином, було розглянуто базові засади розв'язання задачі ідентифікації навчальних об'єктів для систем електронного адаптивного навчання. Вирішення задачі ідентифікації навчального контенту доцільно на

основі побудови відповідних алгебро-логічних моделей. З урахуванням наведеного, про електронне навчання можна говорити як про педагогічну технологію, що заснована на принципі самостійного навчання і ставить за мету творчий розвиток особистості, обов'язковою умовою ефективного використання якого є якісне інформаційне наповнення, що забезпечує підтримку процесу навчання.

Можна підкреслити наступні переваги від використання адаптивної системи електронного навчання: різні університети можуть використовувати цю систему; учні мають однакові шанси мати різні навчальні об'єкти, незалежно від того, в якому університеті вони відвідують навчальну дисципліну; навчальні об'єкти будуть надаватися адаптивним способом; інструктори матимуть краще середовище для обміну навчальними об'єктами між собою. Система буде корисною для користувачів з обмеженими можливостями. Учень має свій власний навчальний простір, який він може контролювати та керувати багатьма способами, змінюючи зміст навчання та його цілі.

Наприкінці ми можемо зробити такі висновки.

1. У монографії описано розробку мультиагентної технології пошуку навчальних об'єктів на основі алгебро-логічної моделі ідентифікації навчального контенту. Вона спричинила подальший розвиток інформаційної технології на основі мультиагентної моделі оперативної обробки даних за рахунок ідентифікації ресурсів електронного навчання з використанням апарату алгебро-логічних моделей, що дозволило враховувати семантичну складову пошуку навчальних об'єктів.

2. Розроблено моделі пошуку навчальних об'єктів на основі агентного підходу. Ключовим елементом функціонування моделі, який впливає на ефективність пошуку, є стратегія обходу посилань, які зберігаються у черзі. Наведено класифікацію алгоритмів обходу веб-сторінок. Запропоновано технологію пошуку навчального контенту.

3. Обробка результатів проведеного експерименту дозволила стверджувати, що математичний апарат, використаний при розробці семантичної бази даних, задовольняє інформаційні потреби в контексті задачі оцінки навчальних параметрів, що зберігаються у метаописі навчального контенту. У якості критеріїв оцінки ефективності розробленої технології екстракції контенту застосовуються інтегральні показники оцінки якості знань, добутих з різномірних електронних джерел.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Монографію присвячено вирішенню актуальної науково-практичної задачі підвищення пертинентності, точності та повноти інформаційного пошуку навчальних ресурсів за рахунок створення інформаційної технології ідентифікації навчального контенту в системах адаптивного електронного навчання, зокрема за умов кризових ситуацій, таких як, наприклад, різні форми карантину при пандемії, коли попит на різні елементи дистанційного навчання суттєво зростає та підвищуються вимоги до самого дистанційного навчання.

У монографії розглянуто системи електронного навчання та сфери їх застосування, засоби та критерії створення навчального контенту, підходи до створення інтелектуальних систем навчання, а також застосування агентних технологій в сучасних інформаційних системах навчання. Розглянуто існуючий стандарт електронного навчання, який базується на міжнародному стандарті SCORM.

Розглянуто існуючу класифікацію інформаційних технологій електронного навчання: комп'ютерне навчання (CBL), web-електронне навчання; віртуальні класи і співробітництво; неформальне навчання в рамках соціальних мереж тощо. Розглянуті обмеження і недоліки електронного навчання показали, що для усіх систем однією з головних задач є пошук відповідного контенту за його змістом, який є необхідною складовою процесу побудови навчального курсу, при цьому практично відсутня автоматизація процесу пошуку навчального контенту, сам об'єкт є слабо формалізованим, далеко не завжди він відповідає стандартам електронного навчання.

У монографії представлено розробку методу і моделі ідентифікації контенту в системі електронного навчання. Запропоновані математичні засоби моделювання основних компонентів електронного навчання. Описано розробку концептуальної моделі ідентифікації контенту. Обґрунтовано використання методу компараторної ідентифікації (МКІ) для опису процесу вибору контенту та математичний інструментарій у вигляді алгебри скінченних предикатів (АСП). Запропоновано формальну модель навчального об'єкту на основі специфікації стандарту електронного навчання SCORM.

Модель ідентифікації навчальних об'єктів (НО) спирається на дослідження наукової школи проф. Ю. П. Шабанова-Кушнарєнка та його

послідовників в області теорії інтелекту, із застосуванням МКІ для моделювання інтелектуальних функцій людини, таких як сприйняття, розуміння, впізнавання та усвідомлення. У роботі приймається, що АСП, як основний інструментарій теорії інтелекту, має універсальний характер для моделювання інтелектуальних процесів обробки даних. Визначено, що для розробки інформаційно-логічних моделей ідентифікації контенту доцільним є використання функціонально-структурного підходу побудови моделей, при якому мережева структура формується цілеспрямовано, описуючи предметний простір у вигляді системи логічних рівнянь на мові АСП, а потім отримана математична модель реалізується у вигляді відповідних алгебро-предикатних структур.

У монографії обґрунтовано вибір МКІ для опису процесу вибору контенту, та математичний інструментарій у вигляді АСП, яку можна назвати компараторним численням, оскільки формули цієї алгебри будуються на основі базисного предиката впізнавання, який реалізує функцію порівняння (компарації) предметної змінної з її еталоном. Оскільки ми вважаємо, що об'єкти предметного простору для розробки інформаційно-логічних моделей ідентифікації контенту, є дискретними, скінченними і детермінованими, це дозволяє використовувати МКІ під час їх обробки.

Серед найважливіших результатів можна виділити наступні:

1. Досліджено досвід створення електронних курсів у системах електронного навчання, проведено аналіз моделей ідентифікації навчального контенту та обґрунтовано необхідність створення інформаційної технології управління контентом. Запропоновано підхід до розв'язання задачі ідентифікації навчальних об'єктів для систем електронного адаптивного навчання на основі побудови алгебро-логічних моделей, що дозволило підвищити пертинентність, точність та повноту пошуку контенту.

2. Удосконалено метод і модель пошуку навчальних об'єктів шляхом екстракції ознак навчального матеріалу для ідентифікації контенту в системах електронного навчання за рахунок використання стандарту електронного навчання SCORM, що дозволило врахувати такі особливості пошуку навчальних об'єктів, як виконання вимог стандартів електронного навчання, відповідність навчальним цілям та забезпечити пертинентність результатів пошуку навчального контенту.

3. Розроблено модель ідентифікації навчального контенту на основі аналізу електронних навчальних ресурсів. Дістали подальшого розвитку математичні засоби моделювання основних компонентів електронного навчання за рахунок побудови загальної багаторівневої моделі адаптивної організації навчального простору в базисі алгебро-логічних рівнянь, що дозволяє забезпечити індивідуалізацію та інтенсифікацію електронного навчання.

4. Отримала подальший розвиток інформаційна технологія пошуку та ідентифікації контенту на основі застосування мультиагентної моделі оперативної обробки даних з використанням апарату алгебро-логічних рівнянь, що дозволяє враховувати семантичну складову пошуку навчальних об'єктів та забезпечити відповідність результатів пошуку навчальним цілям.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гриценко В. И. Информационно-коммуникационные технологии в образовании для всех – в ракурсе проблем общества знаний / В. И. Гриценко. – Киев : Академперіодика, 2007. – 28 с.
2. Кремень В. Г. Суспільство знань і якісна освіта / В. Г. Кремень // Освіта : Всеукраїнський громадсько-політичний тижневик – 2007. – № 13 – 14, 21–27 березня.
3. Гриценко В. И. Перспективы компьютерного обучения / В.И. Гриценко // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 2 – 3. – С. 3–14.
4. Шишкіна М. Перспективні технології розвитку систем електронного навчання / М. Шишкіна // Інформаційні технології в освіті. – 2011. – № 10. – С. 132–139.
5. Биков В. Ю. Моделі організаційних систем відкритої освіти / В. Ю. Биков. – Київ : Атіка, 2009. – 684 с.
6. Кравцов Г. М. Структура системы управления качеством электронных ресурсов обучения / Г. М. Кравцов // Информационные технологии в образовании. – 2011. – № 10. – С. 94–101.
7. Russell S. Artificial Intelligence : A Modern Approach, 3rd Edition / Russell S., Norvig P. – Paris : Pearson Education France, 2010. – 1152 p.
8. Городецкий В. И. Многоагентные системы : обзор / В. И. Городецкий, М. С. Грушинский, А. В. Хабалов. // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – № 2. – С. 64–116.
9. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б. Тарасов. – Москва : Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
10. Субботін С. О. Неітеративні еволюційні та мультиагентні методи синтезу нечітко логічних і нейромережних моделей / С. О. Субботін, А. О. Олійник, О. О. Олійник. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2009. – 375 с.
11. Ладанюк П. П. Основы системного анализа : учеб. пособие / П. П. Ладанюк. – Винница : Нова книга, 2004. – 176 с.
12. Артеменко В. Б. Модель внедрения дистанционных образовательных технологий в высшей школе / В. Б. Артеменко // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 2. – С. 23–42.

13. Кудрявцев В. Б. Об автоматном моделировании процесса обучения / В. Б. Кудрявцев и др. // Дискретная математика. – 1996. – Т. 8. – № 4. – С. 3–10.
14. Подколзин А. С. О развитии техники моделирования логических процессов / А. С. Подколзин // Интеллектуальные системы. – 2006. – Т. 10. – № 1–4. – С. 169–188.
15. Ходаковский Н. И. Построение автоматной модели обучения в компьютерных обучающих средах / Н. И. Ходаковский, Б. В. Кузьменко // Управляющие системы и машины. – 2016. – № 1. – С. 45–52.
16. Манак А. Ф. Информационные технологии в образовании / А. Ф. Манак, Е. М. Сеница // Управляющие системы и машины. – 2017. – № 2. – С. 46–57.
17. Глушков В. М. Введение в АСУ / В. М. Глушков. – Киев : Техніка, 1972. – 312 с.
18. Довгялло А. М. Диалог пользователя и ЭВМ : основы проектирования и реализации / А. М. Довгялло. – Киев : Наук. думка, 1981. – 231 с.
19. Дистанционное обучение: теория и практика / В. И. Гриценко и др. – Киев : Наук. думка, 2004. – 376 с.
20. Колос В. В. Задачная модель функционирования информационно-образовательной среды / В. В. Колос, С. П. Кудрявцева // Управляющие системы и машины. – 2005. – № 6. – С. 75–81.
21. Компьютерная технология обучения : словарь-справочник / Под ред. Гриценко В. И., Довгялло А. М. : в 2-х томах. – Киев : Наук. думка, 1992. – 784 с.
22. Voychenko O. Knowledge Sharing via Web 2.0 for Diverse Student Groups in Distance Learning / Voychenko O., Synytsya K. // Learning Environments and Ecosystems in Engineering Education : Global Engineering Education Conf. Proc. IEEE EDUCON, April 2011, Jordan. (EDUCON), IEEE. – 2011. – P. 933–936.
23. Von Brevern H. A systemic activity based approach for holistic learning & training systems / Von Brevern H., Synytsya K. // Educational Technology & Society. – 2006. – № 3. – P. 100–111.
24. Манак А. Ф. ИКТ в образовании: эволюция, конвергенция и инновации / А. Ф. Манак, А. С. Воронкин // Образовательные технологии и общество. – Казань, 2014. – №. 1. – С. 487–521. – URL: http://ifets.ieee.org/russian/depository/v17_i1/pdf/11.pdf

25. Манако А. Ф. Инновации в образовании: эволюция и конвергенция как источник трансформаций / А. Ф. Манако, А. С. Воронкин // Новые информационные технологии в образовании для всех: непрерывное обучение : сборник научных трудов. – Киев : Академперіодика, 2013. – С. 90–120.
26. Манако А. Ф. Непрерывное образование и инновационные электронные научно-образовательные пространства / А. Ф. Манако, Е. М. Синица // Новые информационные технологии в образовании для всех: непрерывное обучение : сборник научных трудов. – Киев : Академперіодика, 2013. – С. 121–205.
27. Манако А. Ф. ИКТ в обучении: взгляд сквозь призму трансформаций / А. Ф. Манако, Е. М. Синица // Образовательные технологии и общество. – 2012. – № 3. – С. 392–414.
28. Манако А. Ф. Информационно-дидактический базис МАНОК/S / А. Ф. Манако // Управляющие системы и машины. – 2005. – № 3. – С. 63–70.
29. Синица Е. М. Модели метаданных учебных ресурсов / Е. М. Синица // Управляющие системы и машины. – 2006. – № 6. – С. 20–25.
30. Synytsya K. E-learning in Ukraine / Synytsya K., Manako A. / Cases on Challenges Facing E-Learning and National Development : Institutional Studies and e-Learning Practices, Turkey, 2010. – № 2. – P. 989–1008.
31. Синица Е. М. Описание учебных ресурсов : метаданные, стандарты, профили / Е. М. Синица, М. С. Бурцев // Образовательные технологии и общество. – 2006. – Т. 9, № 1. – С. 365 – 396.
32. Synytsya K. Learning object metadata: Implementations and open issues / Synytsya K. // IEEE LTTF Learning Technology. – 2003. – Т. 5, № 1. – P. 1–6.
33. Довгялло А. М. Опыт дистанционного обучения на основе телекоммуникационных технологий в Украине / А. М. Довгялло и др. // Управляющие системы и машины. – 1999. – № 5. – С. 84–91.
34. Rovinskyi D. Distance Courses Quality: A Learner's View / Rovinskyi D., Synytsya K. // Advanced Learning Technologies, IEEE Int. Conf. Proc. – 2004. – P. 1080–1081.
35. Подгорнов А. Object Orchestrator – приложение для создания и поддержки учебного материала / А. Подгорнов, Е. Синица // Образовательные технологии и общество. – 2005. – Т. 8, № 3. – С. 319–322.

36. Synytsya K. Towards Support of Object-Based Learning Content Authoring / Synytsya K. // ICICIS'07, Proc. Int. Conf. March 15–18, 2007 (Cairo, Egypt). – 2007. – P. 482–486.
37. Попов В. Д. Электронное обучение на предприятиях малого и среднего бизнеса / В. Д. Попов // Економічний вісник Донбасу. – 2013. – № 2 (32). – С. 36–41.
38. Gray C. Organizational learning and entrepreneurial strategy / Gray C., E. Gonsalves // The International Journal of Entrepreneurship and Innovation. – 2002. – Vol. 3, No 1. – P. 7–16.
39. Каменева Т. Н. Технологии, методы и средства электронного обучения / Т. Н. Каменева // Управляющие системы и машины. – 2015. – № 1. – С. 47–56.
40. Каменева Т. Н. Разработка электронного учебника как компонента информационного образовательного пространства / Т. Н. Каменева // Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society). – 2012. – Т. 15, № 3. – С. 464–478.
41. Соловов А. В. Электронное обучение: проблематика, дидактика, технология / А. В. Соловов. – Самара : Новая техника, 2006. – 464 с.
42. Любчак В. А. Развитие доступа к качественному образованию на примере Сумского государственного университета: формирование адаптивной системы дистанционного обучения / В. А. Любчак, Б. О. Кузиков, Т. В. Лаврик // Управляющие системы и машины. – 2011. – № 4. – С. 44–50.
43. Любчак В. О. Дистанційне навчання: досвід впровадження в українському університеті / В. О. Любчак та ін. – Суми : СумДУ, 2009. – 160 с.
44. Гриценко В. И. Информационный синтез адаптивной мультиагентной системы управления дистанционным обучением / В. И. Гриценко, А. С. Довбиш, В. А. Любчак // Управляющие системы и машины. – 2006. – № 6. – С. 4–9.
45. 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. – № 278. – С. 80–141.
46. De Bra P. ANAM : A Dexter-based Reference Model for Adaptive Hypermedia / De Bra P., Houben G.J., Wu H. // Proc. of ACM Hypertext'99. – Darmstadt, 1999. – P. 147–156.

47. Brusilovsky P. Adaptive hypermedia, an attempt to analyze and generalize // *Lect. notes. Comput. Sci.* – 1996. – № 1077. – P. 288–304.
48. Barabasi Albert-Laszlo Emergence of scaling in random networks / Barabasi Albert-Laszlo, Reka Albert // *Science*. – 1999, Oct. 15. – № 286. – P. 509–512.
49. Гаврилов Н. А. Некоторые аспекты анализа эффективности формирования дистанционных образовательных ресурсов / Н. А. Гаврилов // *Дистанционное и виртуальное обучение*. – 2010. – № 2. – С. 15–22.
50. Distance Education for the Information Society: policies, pedagogy and professional development / Analytical Survey. ИТЕ, UNESCO. – Moscow, 2000. – 94 p.
51. Згуровский М. З. Развитие информационных технологий в образовании в Украине / М. З. Згуровский // *Материалы совещания экспертов стран СНГ, ЦВЕ по вопросам международного сотрудничества в области применения информационных и коммуникационных технологий в образовании*. – Киев, 1999. – С. 13–19.
52. Панкратова Н. Д. Общие тенденции и системные проблемы развития информационных технологий / Н. Д. Панкратова // *Проблемы управления и информатика*. – 1999. – № 1. – С. 58–68.
53. Pankratova N. Current distance learning projects in Ukraine / Pankratova N. // *LEARNTEC : proceedings of the 9-th European Congress and Trade fair for Educational and Information Technology*. UNESCO. – Karlsruhe, 2001. – P. 73–77.
54. Згуровский М. З. Проблемы и тенденции развития информационных технологий образования в Украине / М. З. Згуровский, Н. Д. Панкратова // *Вестник Международной академии наук высшей школы*. – 1999. – № 3 (9). – С. 122–131.
55. Войченко А. П. Использование облачных технологий и социальных сетей для поддержки научно-учебных мероприятий / А. П. Войченко // *Управляющие системы и машины*. – 2015. – № 4. – С. 52–66.
56. Educational Technology and Mobile Learning / 3 Wonderful Google Apps Proficiency Checklists for Teachers and Educators. – URL : <http://www.educatorstechnology.com/> дата звернення: 10.09.2020 p.
57. Khairova N. Modeling a logical network of relations of semantic items in superphrasal unities / N. Khairova and N. Sharonova // *9th East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, Sevastopol, 2011. – P. 360–365.

58. Федорук П. И. Исследование эффективности функционирования адаптивной системы дистанционного обучения Edu Pro / П. И. Федорук // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 6. – С. 64–70.
59. Федорук П. И. Адаптивная система дистанционного обучения и контроля знаний на базе интеллектуальных Интернет-технологий / П. И. Федорук. // Ивано-Франковск : ВДВ ЦИТ Прикарпатского национального университета им. В. Стефаника, 2008. – 326 с.
60. Тецкий А. Г. Исследование структуры системы управления образовательным контентом MOODLE с использованием элементов реверс-инжиниринга / А. Г. Тецкий, Д. Д. Узун // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2014. – № 65. – С. 206–210.
61. Якушев П. С. Анализ технологий и систем управления электронным обучением / П. С. Якушев // Реализация образовательных программ инновационного типа в области ИТ. – URL : <http://inno.cs.msu.su/implementation/it-university/07/report.doc> дата звернення: 12.08.2020 р.
62. Богомолов В. А. Обзор бесплатных систем управления обучением / В. А. Богомолов // Образовательные технологии и общество. – 2007. – Т. 10, № 3. – С. 439–460. – URL : http://ifets.ieee.org/russian/depository/v10_i3/html/9_bogomolov.htm дата звернення: 11.07.2020 р.
63. Ідентифікація людини за параметрами мовних сигналів (проблеми та шляхи їх вирішення) / М. Ф. Бондаренко, О. Я. Дрюченко, С. Ф. Коряк, Ю. П. Шабанов-Кушнаренко. – Харків : Компанія СМІТ, 2006. – 259 с.
64. Якушин А. В. Использование LMS в учебном процессе педагогического вуза / А. В. Якушин // Современные информационные технологии и ИТ-образование : сборник докладов научно-практической конференции / под ред. В. А. Сухомлина, отв. ред. Е. Н. Никелина. – Москва : МАКС пресс, 2006. – С. 189–193.
65. Выбор системы дистанционного обучения : аналитическая записка / И. Б. Готская, В. М. Жучков, А. В. Кораблев. – РГПУ им. А. И. Герцена. – URL : <http://edu.of.ru/attach/17/18088.doc> дата звернення: 12.07.2020 р.
66. Dougiamas M. Reading and Writing for Internet Teaching / Dougiamas M. – June 1999. – URL : <http://dougiamas.com/writing/readwrite.html>. дата звернення: 02.07.2020 р.
67. Шишкіна М. П. Тенденції розвитку та використання інформаційних технологій в контексті формування освітнього середовища / М. П. Шишкіна //

Інформаційні технології і засоби навчання. – 2006. – № 1. – URL : <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/ITZN/em1/emg.html>. дата звернення: 23.05.2020 р.

68. Everett R. MLEs and VLEs explained / R. Everett // JISC, Briefing Paper. – 2002. – № 1. – URL : http://www.jisc.ac.uk/uploaded_documents/bp1.pdf. дата звернення: 05.09.2020 р.

69. Galloway W. Virtual Learning Environment / W. Galloway, S. Boland, A. Benesova. – 2002. – URL : http://www.dcs.napier.ac.uk/~mm/socbytes/feb2002_i/3.html. дата звернення: 18.08.2020 р.

70. Anderson T. Theory and Practice of Online Learning / T. Anderson, F. Elloumi. – Canada : Athabasca University, 2001. – 454 р.

71. Бублик В. В. Електронне навчання в Україні і світі. Ретроспектива і перспектива / В. В. Бублик, О. К. Закусило, В. П. Шевченко // Теорія і методика навчання інформатики та математики : збірник наукових праць / під ред. І. П. Аносова та ін. – Мелітополь : МДПУ, 2004. – Вип. 3. – С. 10–27.

72. Шуневич Б. Обґрунтування наукової термінології з дистанційного навчання / Б. Шуневич // Проблеми української термінології : Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів, 2003. – № 490. – С. 95–104.

73. Аналіз існуючих агентних платформ для побудови систем управління вузлами мобільних радіомереж класу manet / О. А. Симоненко, О. Я. Сова, В. А. Романюк, Я. Л. Уманець // Системи обробки інформації. – 2014. – Вип. 1 (117). – С. 200–203.

74. Task distribution algorithm for the cooperating group of light autonomous unmanned aerial vehicles / Amelin K., Amelina N., Granichin O., Putov V. // Education and Development of Unmanned Aerial Systems : Proc. of the 2nd IFAC Workshop on Research, RED-UAS, Compiègne, France, November 20 – 22, 2013. – P. 152–155.

75. Мазурок Т. Л. Управление взаимодействием агентов в системе электронного обучения / Т. Л. Мазурок // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3. – С. 340–346.

76. Принципы реализации учебных взаимодействий в системах дистанционного образования / Н. Н. Глибовец, А. Н. Глибовец, А. Н. Корень, Ю. В. Рощенко // Управляющие системы и машины. – 2010. – № 6. – С. 54– 63.

77. Курилов М. А. Классификация систем управления содержимым web-ресурсов и их использование для разработки сайта дистанционного обучения / М. А. Курилов, С. В. Терещенко // Штучний інтелект. – 2010. – № 3. – С. 648–654.
78. Chen M. A methodology for characterizing computerbased learning environments / Chen M. // Instructional Science. – 1995. – № 23. – P. 183–220.
79. Глибовець М. М. Використання агентних технологій в системах дистанційної освіти / М. М. Глибовець // Управляющие системы и машины – 2002. – № 6. – С. 69–76.
80. Андреев А. А. Дистанционное обучение: сущность, технология, организация / А. А. Андреев, В. И. Солдаткин. – Москва : МЭСИ, 1999. – 196 с.
81. Грицай В. П. Информационная технология «Динамический гипертекст ТЕТ-А-ТЕТ» / В. П. Грицай // Вестник Международного Соломонова университета, 2000. – № 2. – С. 24–32.
82. Norman D. A. Defending Human Attributes in the Age of the Mashine / Norman D. A. – New York : Addison Wesley Publ. Voyager, 1995. – 304 p.
83. Nunan T. Flexible delivery – a discussion of issues / Nunan T. // University of South Australia: Distance Education Centre, 1995. – URL : <http://www.londonmet.ac.uk/.../flexible.../nunan.cfm>. дата звернення: 15.08.2020 р.
84. Эпштейн В. Л. Введение в гипертекст и гипертекстовые системы / В. Л. Эпштейн // Институт проблем управления РАН. – Москва : ИПУ РАН, 2000-2006. – URL : <http://www.ipu.rssi.ru/publ/epstu.htm>. дата звернення: 07.09.2020 р.
85. Landa L. Algorithmization in Learning and Instruction / Landa L. // Englewood Cliffs – NJ : Educational Technology Publ., 1974. – 713 p.
86. Атанов Г. А. Пятикомпонентная предметная модель обучаемого / Г. А. Атанов // Educational Technology&Society. – 2001. – № 4 (1). – P. 111–124.
87. Гороховський С. С. Агентні технології: спроба критичного огляду / С. С. Гороховський // Наукові записки НаУКМА. Комп'ютерні науки. – 2000. – Т. 18, Ч. 2. – С. 34–45.
88. Асмиковіч І. К. Використання інформаційних технологій при навчанні математичних дисциплін «Інформатика та інформаційні технології в освіті, науці і виробництві» / І. К. Асмиковіч, А. П. Лашенко // Збірник наукових статей. – 2014. – Ч.1. – С. 37–40.

89. Смирнов А. В. Многоагентная технология проектирования сложных систем / А. В. Смирнов, Л. Б. Шереметов // Автоматизация проектирования. – 1998. – Ч. 1:3(9). – С. 45 – 50; 1999. – Ч. 2:1(11). – С.42–46.
90. Пінчук Є. А. Модернізація Української системи освіти як теоретико-філософська і практична проблема: автореферат дисертації д-ра філос. наук 09.00.10 / Є. А. Пінчук // Ін-т вищої освіти НАПН Укр. – Київ, 2010. – 25 с.
91. Скалацький В. М. Інформаційне суспільство: сучасні теорії та моделі (соціально-філософський аналіз) : автореферат дисертації канд. філософ. наук: 09.00.03 / В. М. Скалацький ; КНУ ім. Т. Шевченка. – Київ, 2006. – 17 с.
92. Райда К. Ю. Проблеми теоретичного осмислення концепції «Інформаційного суспільства» в сучасній філософії. Ідеї альтернативних концепцій / К. Ю. Райда // Мультиверсум. Філософський альманах. – Киев : Центр духовної культури, 2008. – № 72. – С. 3–13.
93. Биков В. Ю. Сучасні завдання інформатизації освіти / В. Ю. Биков // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2010. – № 1 (15). – URL : <http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/ITZN/em15/emg.html>. дата звернення: 14.07.2020 р.
94. Информационные технологии и средства дистанционного обучения : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / И. М. Ибрагимов. – Москва : Издательский центр «Академия», 2005. – 336 с.
95. Теория и практика дистанционного обучения : учебное пособие / Е. С. Полат и др. – Москва : Изд. центр «Академия», 2004. – 416 с.
96. Бондаренко М. Ф. Теория интеллекта : учебник / М. Ф. Бондаренко, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко. – Харьков : ООО «Компания СМІТ», 2006. – 576 с.
97. Бондаренко М. Ф. Мозгоподобные структуры : Справочное пособие / М. Ф. Бондаренко, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко. – Киев : 2011. – 459 с.
98. Бондаренко М. Ф. Об общей теории компараторной идентификации / М. Ф. Бондаренко, С. Ю. Шабанов-Кушнарченко, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко // Бионика интеллекта. – 2008. – № 2 (69). – С. 13–22.
99. Филатов В. А. Идентификация пользователей в системе дистанционного образования на основе программных агентов / В. А. Филатов, Р. В. Семенец // Бионика интеллекта. – 2007. – №1(66). – С. 130–133.
100. Моделі алгебри скінченних предикатів для побудови адаптивних гіпермедійних комп'ютерних систем / Т. В. Горбач, П. В. Гончаров, І. В. Кириченко, І. Ю. Шубін // Вісник ХНТУ. – 2013. – № 1 (46). – С. 229–233.

101. Модели интеллектуальной адаптивной поддержки навигации в компьютерных обучающих системах / И. Шубин, В. Чернов, В. Гриценко, И. Кириченко // International Journal «Information Models and Analysis». – Vol.2, N. 2. – 2013. – P. 194–199.

102. Шубін І. Ю. Програмні агенти в системах електронного навчання / І. Ю. Шубін, І. В. Кириченко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – Харків: Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2018. – № 1 (1277). – С. 57–63.

103. Кириченко І. В. Концепція пошукової системи агентного типу в системах електронного навчання / І. В. Кириченко, І. Ю. Шубін / Системи обробки інформації. – Харків: ХУПС, 2018. – № 2 (153). – С. 100–107.

104. Кириченко І. В. Концепція системи адаптивного електронного навчання на основі ідентифікації навчального процесу / І. В. Кириченко // Біоніка інтелекту. – Харків: ХНУРЕ, 2018. – № 2 (91). – С. 71–77.

105. Шубин И. Ю. Применение метода компараторной идентификации в адаптивных обучающих системах / И. Ю. Шубин, И. В. Кириченко, А. С. Щербак // Информационные системы и технологии: материалы 2-ой Междунар. научно-техн. конф., Евпатория–Харьков, 2013. – Харьков: НТМТ, 2013. – С. 76–77.

106. Кириченко И. В. Информационные технологии моделирования адаптивных систем обучения / И. В. Кириченко, И. Ю. Шубин // Информационные системы и технологии (ИСТ-2014): материалы 3-й Междунар. научно-техн. конф, Харьков, 2014. – Харьков: НТМТ, 2014. – С. 77–78.

107. Formal Representation of Knowledge for Infocommunication Computerized Training Systems / Igor Shubin, Iryna Kyrychenko, Petr Goncharov, Stanislav Snisar // Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T'2017) : proceeding of the 4th International Scientific-Practical Conference. – Kharkiv, Ukraine, 2017. – P. 287–291.

108. Шубин И. Ю. Идентификация знаний в адаптивных компьютеризированных обучающих системах / И. Ю. Шубин, И. В. Кириченко // Стратегия качества в промышленности и образовании: материалы IX Междунар. конф. (в 3-х томах). – том 3. – Варна, Болгария, 2013. – С. 54–55.

109. Горбач Т. В. Методи класифікації неструктурованих мультимедійних даних в освітніх системах / Т. В. Горбач, І. В. Кириченко, О. А. Карманенко // Modern (e-) Learning : proceedings of the IX-th International Conference Kyiv, Ukraine, Sofia, Bulgaria. – 2014, – С. 29–30.

110. Шубин І. Ю. Інформаційні технології ідентифікації та адаптивної фільтрації навчальних матеріалів / І. Ю. Шубин, І. В. Кириченко, О. А. Карманенко // Інформаційні системи та технології (ІСТ-2015) : матеріали 4-й Міжнарод. науково-техн. конф., Харків, 2015. – Харків : НТМТ, 2015. – С. 120–121.

111. Кириченко І. В. Інформаційні технології в моделюванні адаптивних систем навчання / І. В. Кириченко, І. Ю. Шубин // Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку : матеріали Міжнарод. науково-практ. конф., Харків, 2017. – Харків : Національна академія Національної гвардії України, 2017. – С. 126–128.

112. Кириченко І. В. Інформаційний пошук навчального контенту у веб-просторі / І. В. Кириченко, І. Ю. Шубин // Проблеми та перспективи розвитку ІТ-індустрії : тези доповідей VII Міжнародно-практ. конф., 2018. – Харків : Харківський національний економічний університет ім. Семе́на Кузне́ця, 2018. – С. 45.

113. Кириченко І. В. Інформаційна технологія управління контентом у системах електронного навчання / І. В. Кириченко // Інформаційні системи і технології (ІСТ-2018) : Секція 6. Програмна інженерія : матеріали 7-ї Міжнарод. наук.-техн. конф., Коблево-Харків, – 2018. – Харків : НТМТ, 2018. – С. 313–316.

114. Кириченко І. В. Програмна система візуалізації роботи алгоритму адаптивної навігації / І. В. Кириченко, Г. Ю. Терещенко, І. Ю. Шубин // Рішення про реєстрацію авторського права на твір № 85230 від 13.11.2018 р. Свідоцтво № 84536.

115. Кириченко І. В. Програмна система візуалізації алгоритмів адаптивного навчання – Courses / І. В. Кириченко, Г. Ю. Терещенко, І. Ю. Шубин // Рішення про реєстрацію авторського права на твір № 85231 від 13.11.2018 р. Свідоцтво № 84535.

116. Кириченко І. В. Програмна система розпізнавання і відстеження заздалегідь позначених образів у відео / І. В. Кириченко, Г. Ю. Терещенко, І. В. Груздо // Рішення про реєстрацію авторського права на твір № 85232 від 13.11.2018 р. Свідоцтво № 84443.

117. Пономаренко В. С. Возможности использования современных информационных и телекоммуникационных технологий в образовании / В. С. Пономаренко // Управління розвитком. – 2009. – № 4. – С. 86 – 89.
118. Глибовець М. М. Архітектура колаборативного навчального простору / Глибовець М. М., Гороховський С. С. // Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем: збірник праць Міжнар. конф. ТАAPSD'2007. – Київ, 2007. — С. 21–25.
119. Глибовець М. М. Моделі та методи створення і супровіду високопродуктивного розподіленого навчального середовища: автореферат дисертації доктор фіз-мат. наук. / М. М. Глибовець // Київ, 2006. – 36 с.
120. Клокар Н. Методологічні основи запровадження дистанційного навчання в системі підвищення кваліфікації / Н. Клокар // Шлях освіти. – 2012. – № 4 (46). – С. 38–41.
121. Глибовець М. М. Проект освітньої платформи, що використовує переваги SemanticWeb / М. М. Глибовець, С. С. Гороховський, Т. О. Лаврович // Нові інформаційні технології для всіх: збірник праць 5-ї Міжнародної конференції. – Київ, 2010. – С. 60–70.
122. Wooldridge M. J. Intelligent Agents / M. J. Wooldridge // Multiagent Systems. – 2001. – P. 27–79.
123. Wooldridge M. J. An introduction to multiagent systems / M. J. Wooldridge. – John Wiley & Sons, LTD, 2009. – 461 p.
124. Li Z. Cooperative Control of Multi-Agent Systems: A Consensus Region Approach / Z. Li, Z. Duan. – CRC Press, 2014. – 252 p.
125. Відділ дослідження і проектування навчального середовища ІТЗН АПН України. – URL : <http://www.ime.eduua.net/nauk.html>. дата звернення: 27.06.2020 р.
126. Чередніченко О. Ю. Формальна архітектура агентної системи моніторингу результатів наукової діяльності вищого навчального закладу / О. Ю. Чередніченко, О. В. Янголенко, Ю. М. Баранова // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 55. – С. 71–87.
127. Fayad R. The Technology Acceptance Model E-Commerce Extension: A Conceptual Framework / R. Fayad, D. Paper // Procedia Economics and Finance. – 2015. – № 26. – P. 1000–1006.

128. Kumar Raja D. R. Feature level review table generation for E-Commerce websites to produce qualitative rating of the products / D. R. Kumar Raja, S. Pushpa // *Future Computing and Informatics Journal*. – 2017. – № 2. – P. 118–124.
129. Применение аппарата обобщенных пространств для моделирования морфологии естественного языка / М. К. Ефимов, В. А. Лещинский, Л. Г. Петрова, С. Ю. Шабанов-Кушнаренко // *Системи обробки інформації*. - 2012. - Вип. 9. - С. 148-152.
130. Когаловский М. Р. Перспективные технологии информационных систем. – Москва : ДМК Пресс, 2003. – 288 с.
131. Salton G. Extended Boolean information retrieval / Salton G., Fox E., Wu H. // *Communications of the ACM*. – 2001. – Vol. 26, No. 4. – P. 35–43.
132. Кравцов Г. М. Моделирование системы управления качеством электронных ресурсов обучения: интегрированный и дифференцированный подходы обучения / Г. М. Кравцов // *Информационные технологии в образовании*. – 2012. – № 11. – С. 24–31.
133. Plummer D. C. Cloud Computing Confusion Leads to Opportunity / Daryl C. Plummer, David W. Cearley, David Mitchell Smith – Report № G00159034. – Gartner Group, 2008 – URL : http://www.gartner.com/it/content/868800/868812/cloud_computing_confusion.pdf. дата звернення: 20.05.2020 р.
134. Волокита А. Специфіка інформаційних систем на основі технології cloud computing / А. Волокита, В. Мухін, В. Стешин. – URL : http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/vcndtu/2011_53/29.htm. дата звернення: 11.06.2020 р.
135. Янголенко О. В. Аналіз стану інформаційних технологій в системі вищої освіти / О. В. Янголенко, І. В. Лютенко, О. В. Яковлева // *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. – Харків : НТУ «ХПІ», 2012. – № 30. – С. 105–109.
136. University Management System – UMS. – URL : <http://www.techxact.com/university-management-system-ums.html>. дата звернення: 16.04.2020 р.
137. Gorokhovatskyi, V.A. Vechirska, I.D., Chetverikov, G.G. Method for building of logical data transform in the problem of establishing links between the objects in intellectual telecommunication systems // *Telecommunications and Radio Engineering*, V.75, 2016, Issue 18, P. 1645-1655.

138. Henderson-Seller B. Agent-Oriented Methodologies / B. Henderson-Seller, P. Giorgini. – London : Idea Group Publishing, 2005. – 413 p.
139. Заячук Я. І. Використання дистанційних віртуальних практикумів у навчальному процесі ВНЗ / Я. І. Заячук, О. В. Мойсеєнко, В. В. Бойчук // Сучасні інформаційні технології в дистанційній освіті: матеріали IV Всеукраїнського науково-практичного семінару, Івано-Франківськ, 21-23 вересня 2015. – Івано-Франківськ, 2015. – С. 12–14.
140. Assessing Teaching presence in a Computer Conference Environment / Anderson, T., Rourke, L., Garrison, D. R., Archer, W. // Journal of asynchronous learning networks. – № 5 (2). – 2001. – P. 1–17.
141. Dewey J. Experience and Education / Dewey J. – Toronto : Collier-MacMillan Canada Ltd, 1938. – p. 96.
142. Alkhateeb F. Multi-Agent Systems – Modeling, Interactions, Simulations and Case Studies / F. Alkhateeb, E. Al Maghayreh, I. Abu Doush. – In Tech, 2011. – 512 p.
143. Weiss G. Multiagent Systems / G. Weiss. – MIT Press, 2013. – 867 p.
144. Поздняков В. А. Практична реалізація адаптованої системи якості підготовки smart-суспільства / В. А. Поздняков // Вісник наукових досліджень. – 2013. – № 6. – С. 70–75.
145. Manuel J. Sánchez-Franco. Users' intrinsic and extrinsic drivers to use a webbased educational environment / Manuel J. SánchezFranco, Begoña Peral-Peral, Ángel F. Villarejo-Ramos // Computers & Education. – 2014. – Vol. 74. – P. 81–97. – URL : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131514000293>. дата звернення: 10.06.2020 р.
146. Quendler E. Learning as a lifelong process-meeting the challenges of the changing employability landscape : competences, skills and knowledge for sustainable development / Quendler E., Lamb M. // International Journal of Continuing Engineering Education and Life Long Learning. – 2016. – № 26.3. – P. 273–293.
147. Методичне керівництво для виконання практичної роботи Об'єктно-орієнтоване програмування. Мова Java. з дисципліни «Програмне забезпечення телекомунікаційних систем». освітньо-кваліфікаційного рівня магістр / Н. І. Кунах, О. В. Невдачина – Київ : Державний університет телекомунікацій, 2014. – URL : http://www.dut.edu.ua/uploads/1_1216_25218115.pdf. дата звернення: 20.07.2020 р.

148. Петруня Ю. Є. Маркетинг : навч. посібн. / Ю. Є. Петруня, В. Ю. Петруня. – 3-тє вид., переробл. і доповн. – Дніпропетровськ : Університет митної справи та фінансів, 2016. – 362 с.
149. Полторац В. А. Маркетингові дослідження : навч. посібн. / В. А. Полторац, І. В. Тараненко, О. Ю. Красовська. – 3-тє вид., переробл. та доповн. – Київ : Центр учб. літ-ри, 2014. – 342 с.
150. Григорьев М. Н. Маркетинг : учебник для прикладного бакалавриата / М. Н. Григорьев. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Изд-во Юрайт, 2017. — 559 с.
151. Symeonidis A. L. Agent Intelligence through Data Mining / A. L. Symeonidis, P. A. Mitkas. – Aristotle University of Thessaloniki, Greece : Springer, 2005. – 201 p.
152. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Інтелектуальні агенти» для студентів спеціальності 8.080403 «Програмне забезпечення автоматизованих систем» напряму підготовки 6.050103 «Програмна інженерія» (усіх форм навчання) / С. О. Субботін, А. О. Олійник, О. О. Олійник. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2007. – 30 с.
153. Горбач Т. В. Методы реализации адаптивной гипермедиа в обучающих системах / Т. В. Горбач, Я. В. Святкин, И. Ю. Шубин // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон : Херсонский национальный технический университет, 2010. – № 2 (38). – С. 503–508.
154. Реализация методов адаптации в гипермедийных системах обучения / Т. В. Горбач, Я. В. Святкин, И. Ю. Шубин, А. С. Щербак // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон : Херсонский национальный технический университет, 2011. – № 2 (41). – С. 464–468.
155. Шубін І. Ю. Методи та моделі побудови інтелектуальних адаптивних гіпермедіа систем / І. Ю. Шубін, Я. В. Святкін // Восточно-европейский Журнал передовых технологий. – Харків, 2012. – № 3/11 (57). – С. 11–13.
156. Ткачук Н. В. Глосарій деяких сучасних термінів програмної інженерії / Н. В. Ткачук. – Харків, 2005. – С. 1 – 6.
157. Святкин Я. В. Модель навчання з застосуванням навігаційних правил генерації і динамічної модифікації стратегій навчання в базисі алгебри скінчених предикатів / Я. В. Святкин // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків, 2012. – № 26. – С. 74 – 80.

158. Brusilovsky P. A Study of User Model Based Link Annotation in Educational Hypermedia // P. Brusilovsky, J. Eklund // Journal of Universal Computer Science. – 1998. – Vol. 4, No. 4. – P. 429–448.
159. Kidron I. The discrete continuous interplay. Will the last straw break the camel's back? / I. Kidron, T. Dana-Picard, D. C. Seventeenth // Technology Revisited : ICMIS Study Conference, 2006. – P. 270–277.
160. Yerushalmy M. Challenging Known Transitions : Research of technology supported long-term learning / M. Yerushalmy, D. C. Seventeenth // Technology Revisited : ICMIS Study Conference, 2006. – P. 582–587.
161. Lingefjärd T. Mathematical modeling and technology in teacher education–Visions and reality / T. Lingefjärd, M. Holmquist // University of Gothenburg, 2001. – P. 205–215.
162. Buteau C. Evolving technologies integrated into undergraduate mathematics education» / C. Buteau, E. Muller, D. C. Seventeenth // Technology Revisited : ICMIS Study Conference. – 2006. – P. 74 – 81.
163. Spring Professional // Spring Framework Certification – URL : <https://spring.io/>. дата звернення: 03.06.2020 р.
164. Brusilovsky P. Adaptive Hypermedia. User Modeling and User–Adapted Interaction / P. Brusilovsky // Kluwer Academic Publishers, 2001. – P. 87–110.
165. Roa H. A Model for teaching mathematics via problem-solving supported by technology» / H. Roa, D. C. Seventeenth // Technology Revisited : ICMIS Study Conference, 2006. – P. 66–73.
166. Pierre Bourque Guide to the Software Engineering Body of Knowledge Version 3.0 (SWEBOK Guide V3.0) / Pierre Bourque. – 2013. – 31 p.
167. Бурбело С. М. // Вибір гнучких методів розробки програмного забезпечення / С. М. Бурбело, О. С. Стародуб, М. С. Богданова // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 4. – С. 139–143.
168. Shubin I. The Methods of Adaptation in Computer-Based Training Systems / I. Shubin, O. Karmanenko, K. Umyarov // ITIB 2015. – Kharkov, Ukraine, 2015. – P. 64–67.
169. Розробка розподіленої системи обробки бізнес-інформації з використанням агентного підходу / Ю. М. Гонтар, О. Ю. Чередніченко, О. В. Янголенко, М. А. Вовк // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2016. – Вип. 4. – С. 137–142.

170. Bondarenko M. The Ukrainian e-Learning Region / M. Bondarenko, N. Bilous, I. Shubin // Proceedings of 10-th International LLinE Conference New Partnerships and Lifelong Learning. – Helsinki, Finland, 2008. – P. 88–92.

171. The technique of adaptive interactive lectures for the «Multimedia Systems» course / I. Shubin, T. Gorbach, A. Scherbak, Y. Svyatkin // Образование и виртуальность ВИРТ-2011: сборник научных трудов по материалам 13-й Международной конференции Харьков–Ялта, Украина. – 2011. – С. 181–186.

172. Гаврилова Л. Теоретичні аспекти впровадження дистанційної освіти в Україні / Л. Гаврилова, Ю. Катасонова // Освітологічний дискурс. – 2017. – № 1 – 2. – С. 168–182.

173. Применение методов адаптивной гипермедиа при разработке автоматизированных обучающих систем / С. В. Ковалева, А. П. Выродов, А. Н. Батрак, Д. Б. Костарев // Вестник Международного Славянского университета. – Серия: Технические науки. – 2008. – Т. XI, № 1. – С. 45–50.

174. Шаронова Н. В. Выявление закономерностей структурирования цельности при создании гипермедийных обучающих систем на основе метода компараторной идентификации / Н. В. Шаронова, О. В. Дьячкова // Вестник ХГТУ, 1999. – № 1 (15). – С. 81–82.

175. Кушнірецька О. І. Принципи семантичного пошуку науково-технічних інформаційних ресурсів / О. І. Кушнірецька, І. І. Кушнірецька, А. Ю. Берко // Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-Одеса-2014): матеріали III Міжнарод. науково-практ. конф., 23 – 25 вересня 2014 р. – Одеса: «ВМВ», 2014. – 328 с.

176. Положення про дистанційне навчання / Затверджено наказом Міністерства освіти і науки України 21.01.2004 № 40. – URL : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0703-13#n18>. дата звернення: 11.04.2020 р.

177. Закон України «Про Національну програму інформатизації» від 4 лютого 1998 р. № 74/98-ВР // Відомості Верховної Ради України. – 1998 р. – № 27 – 28. – Ст. 181.

178. Концепція розвитку дистанційної освіти в Україні / затверджено Постановою МОН України 20 грудня 2000 р. – URL : www.osvita.org.ua/distance/pravo/00.html. дата звернення: 17.03.2020 р.

179. В. И. Булкин, Н. В. Шаронова. Математические модели знаний и их реализация с помощью алгебропредикатных структур: монография // Булкин В.И., Шаронова Н.В. – НТУ «ХПИ», МЭГИ. – Донецк, 2010. – 304 с.

180. Кириченко І.В. Інформаційна технологія ідентифікації контенту в системах адаптивного електронного навчання. – Дис. кандидата техн. наук. – Кремечуцький національний університет ім. Михайла Остроградського, 2019. – 150 с.

181. Хайрова Н.Ф., Шаронова Н.В. Информационно-лингвистические технологии экстракции и идентификации глубинных знаний в текстах: монографія / Н.Ф.Хайрова, Н.В.Шаронова. – Х.: ФЛП Коряк С.Ф., 2016. – 205 с.

182. Шанідзе Н.О. Проблеми інформатизації освітньої діяльності / Н. О. Шанідзе // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVI міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2018, 16-18 травня 2018р.: у 4 ч. Ч. IV. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». – 337 с. – С. 286.

183. Kyrychenko I. Application of Paragraphs Vectors Model for Semantic Text Analysis. // Kyrychenko I, Gruzdo I., Tereshchenko G., Cherednichenko O. // Proceedings of the Fifth International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Systems (COLINS-2020). – 2020. – Volume I. – PP. 283-293.

184. Sislak D. Deployment of A-globe Multi-Agent Platform // Sislak D., Rehak M., Pechoucek M., Pavlicek D. // Proceedings of the Fifth International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems. – 2006. – P. 1447–1448.

185. Борщев А. В. Имитационное моделирование: состояние области на 2015 год, тенденции и прогноз. – Санкт-Петербург: ИММОД, 2015. – 16 с.

186. Helsinger A. Cougaar: A Robust Configurable Multi Agent Platform / Helsinger A., Wright T. // Aerospace Conference, IEEE. – 2005. – pp. 1–10.

187. Kravari K. A Survey of Agent Platforms / Kalliopi Kravari, Nick Bassiliades // Journal of Artificial Societies and Social Simulation. – 2015. – Vol 18 (1), No11. – URL : <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/18/1/11.html>. дата звернення: 19.07.2020 р.

188. Gómez-Sanz J. INGENIAS Development Kit (IDK) Manual / Gómez-Sanz J., Pavón, J. // Facultad de Informática, Universidad Complutense de Madrid, Spain. – 2004. – URL : <http://ingenias.sourceforge.net>. дата звернення: 22.06.2020 р.

189. Winikoff M. (2005). JACK intelligent agents: An industrial strength platform / M. Winikoff // Multi-Agent Programming. Springer. – 2005. – Vol 15. – P. 175–193.

190. Bellifemine F. (2003). JADE: A white Paper / Bellifemine F., Caire G., Poggi A., Rimassa G. // EXP in search of innovation. – 2003. – Vol. 3, No. 3. – pp. 6–19.
191. Tisue S. NetLogo: Design and implementation of a multi-agent modeling environment / Tisue S., Wilensky U. // Proceedings of the Agent 2004 Conference on Social Dynamics: Interaction, Reflexivity and Emergence, Chicago, Illinois. – 2004. – P. 2 – 20.
192. Online Education Statistics / EducationData.org. – URL : <https://educationdata.org/online-education-statistics>. дата звернення: 17.09.2020 р.
193. Smelyakov K., Chupryna A., Hvozdiev M., Sandrkin D., Martovytskyi V. Comparative efficiency analysis of gradational correction models of highly lighted image // 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T). – 8-11 Oct. 2019. – Kyiv, Ukraine. – P. 703-708.
194. Smelyakov K., Datsenko A., Skrypka V., Akhundov A., Chupryna A. Efficiency of Image Reduction Algorithms with Small-Sized and Linear Details // 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T). – 8-11 Oct. 2019. – Kyiv, Ukraine. – P. 745-750.

Наукове видання

**КИРИЧЕНКО Ірина Віталійовна
ТЕРЕЩЕНКО Гліб Юрійович
ШАНІДЗЕ Надія Олександрівна
ШУБІН Ігор Юрійович**

ІДЕНТИФІКАЦІЯ І ТРАНСФОРМАЦІЯ КОНТЕНТУ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ

Монографія

За авторською редакцією
Відповідальний випусковий З.В. Дудар

Видавець: ТОВ «В СПРАВІ»
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
серія ДК № 4845 від 06.02.2015 р.
м. Харків, вул. Жон Мироносиць, 10, оф. 6,
тел. +38(057)714-06-74, +38(050)976-32-87
copy@vlavke.com

Віддруковано в типографії ФОП Андреев К.В.
61166, Харків, вул. Богомольця, 9, кв. 50.
Свідоцтво про державну реєстрацію
№ 24800170000045020 від 30.05.2003 р.
ep.zakaz@gmail.com
тел. 063-993-62-73