

**ТИТЕНКО Сергій Володимирович**

**ОНТОЛОГІЧНО-ОРІЄНТОВАНІ  
СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОНТЕНТОМ  
ІНФОРМАЦІЙНО-НАВЧАЛЬНИХ  
WEB-ПОРТАЛІВ**

Американ Юніверсіті Київ  
2024

УДК 004.4:004.774.6CMS  
Т75

Рекомендовано до друку  
рішенням Вченої ради Американ Юніверсіті Київ  
(протокол № 10 від 22 серпня 2024 року)

**Титенко, Сергій**

Т75 Онтологічно-орієнтовані системи керування контентом  
інформаційно-навчальних Web-порталів : монографія /  
Сергій Титенко. — Київ: Американ Юніверсіті Київ,  
2024. — 248 с.

Монографія присвячена розробці моделей та методів керування навчальним контентом на основі онтологічного підходу. У роботі досліджується структурування, моделювання та автоматизація побудови інформаційно-навчальних систем, що відповідають сучасним освітнім вимогам. Книга буде корисна для науковців, розробників навчальних платформ, освітніх адміністраторів, викладачів і студентів, які цікавляться питаннями розробки інтелектуальних систем навчання, а також для тих, хто працює над покращенням якості контенту та індивідуалізацією навчальних середовищ.

ISBN 978-617-95412-2-3

© Сергій Титенко, 2024

© Американ Юніверсіті Київ, 2024

# Зміст

|  |           |
|--|-----------|
| Перелік умовних скорочень і позначень .....  | 5         |
| Вступ .....  | 6         |
| <b>1. Інформаційно-навчальні Web-системи в контексті сучасних освітніх викликів .....</b>                          | <b>8</b>  |
| 1.1. Безперервна освіта і навчальні системи .....  | 8         |
| 1.2. Керування контентом та обробка контенту в інтелектуальних системах навчання .....                             | 13        |
| 1.2.1. Методи адаптивних та інтелектуальних інформаційно-навчальних систем .....                                   | 15        |
| 1.2.2. Об'єкти моделювання інтелектуальних інформаційно-навчальних Web-систем .....                                | 19        |
| 1.2.3. Карти понять як інструменти презентації контенту інформаційно-навчальних систем .....                       | 26        |
| 1.2.4. Вимоги до сучасних інформаційно-навчальних Web-систем .....   | 39        |
| 1.3. Синтез проблем керування знаннями і керування контентом .....   | 41        |
| 1.3.1. Технології подання і керування знаннями в навчальних системах .....   | 43        |
| 1.3.2. Аналіз і синтез підходів до подання знань в інформаційно-навчальних Web-системах .....                      | 51        |
| 1.4. Концептуальна архітектура системи керування інформаційно-навчальним Web-контентом .....                       | 57        |
| <b>2. Структурно-алгоритмічні основи системи керування інформаційно-навчальним Web-контентом .....</b>             | <b>59</b> |
| 2.1. Дворівневий підхід до побудови програмної системи керування контентом інформаційно-навчального порталу .....  | 59        |
| 2.2. Керування знаннями в інформаційно-навчальному порталі .....   | 67        |
| 2.2.1. Ієрархічно-мережева об'єктно-орієнтована модель структури навчального Web-контенту .....                    | 68        |
| 2.2.2. Формалізація понятійної складової Web-контенту і засоби побудови онтології предметної області .....         | 81        |
| 2.2.3. Модель професійних компетенцій (МПК) .....  | 113       |
| 2.3. Організація індивідуального навчання в інформаційно-навчальному порталі .....                                 | 119       |
| 2.3.1. Модель контролю і діагностики знань та стану навчання .....   | 119       |
| 2.3.2. Модель освітнього запиту .....  | 154       |
| 2.3.3. Модель користувача .....  | 156       |
| 2.3.4. Моделі, методи і алгоритми підсистеми автоматизованої побудови індивідуального навчального середовища ..... | 157       |

|   |            |
|---|------------|
| 2.3.5. Інтерактивні карти понять в індивідуальному навчальному середовищі.....  | 175        |
| 2.3.6. Організаційна модель навчання.....   | 188        |
| <b>3. Актуальні аспекти програмної реалізації систем керування інформаційно-навчальним Web-контентом .....</b>                    | <b>192</b> |
| 3.1. Інформаційно-логічні та архітектурні засади універсальних систем керування web-контентом.....                                | 192        |
| 3.2. Моделювання спеціалізованих інформаційних об'єктів в універсальних системах керування Web-контентом.....                     | 198        |
| 3.3. Архітектура онтологічно-орієнтованої системи керування контентом....   | 204        |
| 3.3.1. Функціональність системи на рівнях керування знаннями та організації безперервного навчання.....                           | 205        |
| 3.3.2. Бібліотеки класів онтологічно-орієнтованої системи керування контентом .....   | 205        |
| 3.3.3. Засоби автоматичної побудови онтології предметної області контенту.....  | 209        |
| 3.3.4. Засоби побудови індивідуального навчального середовища.....  | 211        |
| 3.3.5. Фізична архітектура онтологічно-орієнтованої системи керування контентом .....   | 212        |
| <b>4. Застосування програмного комплексу керування інформаційно-навчальним Web-контентом .....</b>                                | <b>216</b> |
| 4.1. Предметна формалізація контенту і автоматична побудова та візуалізація онтології навчального курсу «Технології е-урядування» | 216        |
| 4.2. Автоматизація тестування в курсах «Технологія ADO в Delphi» та «Технології е-урядування».....                                | 219        |
| 4.3. Інформаційно-навчальний портал Semantic Portal.....  | 222        |
| 4.3. Побудова порталу організації, структурування та формалізація інформації на основі запропонованої моделі Web-контенту .....   | 223        |
| 4.4. Побудова індивідуального навчального середовища в межах циклу дисциплін з програмування .....                                | 224        |
| <b>Висновки.....</b>  | <b>228</b> |
| <b>Список використаних джерел .....</b>   | <b>231</b> |

## Перелік умовних скорочень і позначень

БЗ — база знань

БД — база даних

БН — безперервне навчання

ІНП — інформаційно-навчальний портал

ІНС — індивідуальне навчальне середовище

КЗ — керування знаннями

МВ — модель викладання

МОЗ — модель освітнього запиту

МПК — модель професійних компетенцій

ОЗ — освітній запит

ПТМ — понятійно-тезисна модель

ПрО — предметна область

СБН — система безперервного навчання

СДН — система дистанційного навчання

ШІ — штучний інтелект

## Вступ

В умовах інформаційного перенасичення та інтенсивного розвитку мережі WWW, коли щорічний приріст знань складає 4–6%, фахівець отримує до 50% знань після закінчення навчального закладу і майже третину загального обсягу свого робочого часу мусить витратити на поповнення професійних знань. У зв'язку з цим питання побудови ефективних систем керування професійною інформацією і підтримки навчання набуває особливої значущості. Україна стоїть перед викликом впровадження і підтримки освітніх процесів за принципом «навчання впродовж усього життя». Стандартизовані і достатньо статичні п'яти-шестирічні університетські програми не здатні в повноті задовольнити перемінливі вимоги ринку праці. Інновації постійно змінюють попит на різні професії і самі професії зокрема. Тому навчання і професійний розвиток не припиняються після завершення університету, а тривають і надалі. Технології побудови інформаційно-навчальних Web-порталів і систем дистанційної освіти мають потенціал відповісти на такий суспільний виклик, надавши зручні механізми доступу користувачів до затребуваної професійної інформації і забезпечивши підтримку індивідуалізованого навчання.

Сьогодні існує достатньо велика кількість програмних систем для організації дистанційного навчання, серед них Blackboard, WebCt, Moodle, IBM LearningSpace та ін. Такі системи надають інструментарій для керування електронним навчанням, натомість вони не володіють достатніми функціями для гнучкого керування Web-контентом в контексті побудови інформаційних порталів організацій чи установ. З іншого боку типові системи керування контентом (CMS), придатні для створення інформаційних порталів, не містять необхідних функціональних можливостей в контексті навчального процесу. Сучасність ставить вимоги індивідуалізації і адаптації навчального та професійного контенту до потреб користувача, а це не може бути якісно реалізовано в межах згаданих систем і вимагає застосування засобів опису предметних областей і моделей подання знань. Проблема моделювання знань в задачі керування Web-контентом інформаційно-навчальних програмних систем вимагає спеціальних підходів на стику різних галузей, серед яких розробка програмного забезпечення,

моделювання баз даних та знань, дидактика, а також сучасні засоби розробки Web-систем.

У галузь моделювання навчального контенту програмних систем навчання зробили вагомий внесок такі науковці як П. Л. Брусилівський П., Т. Мюррей, П. Де Бра, О. І. Башмаков, В. О. Семікін, А. Ф. Манак, Д. МакАртур, Т. Л. Мазурок та ін. Проблема автоматизованого тестування на основі програмних комплексів розглянута в роботах Г. М. Єлізаренка, В. С. Аванесова, В. М. Сороко, С. Станкова та ін. Сучасні освітні вимоги, а також концепція безперервного навчання досліджувалися такими вченими як М. З. Згуровський, І. Ф. Богданова, В. О. Дресвянніков, С. Д. Сивець та ін. Незважаючи на досягнення, невирішеною залишається проблема побудови програмних систем для створення інформаційно-навчальних Web-порталів, які б надавали користувачам зручні механізми індивідуалізованого доступу до затребуваних професійно-навчальних ресурсів міждисциплінарного характеру. Вирішення цієї задачі вимагає розробки комплексу моделей і методів та створення на їх основі програмного забезпечення системи автоматизованого керування інформаційно-навчальним Web-контентом.

# **1. Інформаційно-навчальні Web-системи в контексті сучасних освітніх викликів**

## **1.1. Безперервна освіта і навчальні системи**

Сучасне суспільство перебуває в умовах «інформаційного вибуху», інтенсивного розвитку мережі WWW і технологій розробки програмного забезпечення. Щорічний приріст знань досягає 4–6%, і теперішній фахівець майже третину загального обсягу свого робочого часу мусить витратити на поновлення професійних знань, і, таким чином, він отримує до 50% знань вже після закінчення навчального закладу [1]. Тому питання побудови ефективних Web-систем керування професійною інформацією і навчанням набуває особливої значущості. Україна стоїть перед викликом впровадження і підтримки освітніх процесів за принципом «навчання впродовж усього життя» [1-3]. Потреба в безперервному поповненні й відновленні професійних знань, їхньої актуалізації на продуктивному етапі людського життя обумовлена темпами науково-технічного прогресу, переходом до інформаційного етапу розвитку суспільства, широким застосуванням інноваційних технологій. Аналіз робіт по проблемам безперервного навчання, дистанційної освіти [1-7] та освіти для дорослих [8, 9] дозволив виявити особливості безперервного навчання і визначити перелік вимог, які воно ставить до сучасних інформаційно-навчальних систем.

Сьогодні відбувається розширення і диверсифікація освітніх послуг. Послуги безперервного навчання (БН) мають доповнити базову шкільну і вищу освіту. Це демонструється появою таких нетрадиційних освітніх закладів як «Університети без стін», «школи гнучкого навчання», центри дистанційної освіти. Застосування інформаційно-навчальних Web-порталів і дистанційного навчання є ефективним методом для підтримки БН.

Основна аудиторія безперервної освіти — дорослі люди. Метою навчання є перепідготовка, підвищення кваліфікації і культурного рівня людей, які подолали вік базового навчання. Тому інформаційно-навчальні системи, що служать як системи підтримки безперервного навчання (СБН) повинні врахувати особливості навчання дорослих.

БН орієнтується на постійне вдосконалення і цілісний розвиток людини як особистості протягом усього її життя, підвищення можливостей її трудової і соціальної адаптації у світі, який так швидко змінюється. Роботодавці дедалі більше керуються принципом: «Люди — найвища технологія і найцінніший капітал». Тому для СБН необхідно передбачити можливість в одній системі подати курси з різних областей знань, що забезпечить можливість різностороннього навчання. Особливості безперервного навчання і їх відображення в СБН подані в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

**Особливості безперервного навчання і їх відображення в СБН**

| № п/п | Особливість БН   | Пояснення  | Відображення в СБН  |
|-------|--|--|---|
| 1     | 2  | 3  | 4   |
| 1.    | <p><b>Актуальність і релевантність навчання</b></p>              | <p>Відповідність змісту освіти розвитку суспільства і технологій, сучасним потребам ринку праці.</p> <p>Навчання повинне відповідати поточним задачам по освоєнню нових технологій на виробництві, вдосконаленню професійної діяльності робітників, підготовки і перекваліфікації кадрів. Необхідністю стає зв'язок навчання із посадовими обов'язками.</p> <p>На рівні учня навчання повинне відповідати його потребам, цілям, посаді, безпосередньо допомагати виконувати професійну діяльність.</p> | <p>СБН повинні справлятися з постійно зростаючим об'ємом інформації, так званим «інформаційним вибухом».</p> <p>Актуальність навчального контенту, зручні методи оновлення і супроводження контенту.</p> <p>Моделювання кадрових і виробничих задач, моделювання компетенцій, посад, професій.</p> <p>Встановлення відповідності між компетенціями і навчальними матеріалами.</p> |
| 2.    | <p><b>Орієнтація на негайне застосування отриманих знань</b></p> | <p>Особливість навчання дорослих виражається у потребі в обґрунтуванні або сенсі навчання. Тобто навчання має базуватися на особистій потребі у вирішенні практичних посадових, виробничих задач і потребі особистісно-професійного розвитку.</p>  | <p>Актуальність навчального контенту, зручні методи оновлення і супроводження контенту.</p> <p>Застосування зв'язків між уміннями і навчальним контентом.</p> <p>Моделювання навичок та компетенцій і їх зв'язок із навчальним контентом</p>  |

Продовження табл. 1.1

| 1  | 2  | 3   | 4   |
|----|--|---|---|
| 3. |  | Принцип актуалізації результатів навчання полягає у тому, що доросла людина шукає найшвидшого застосування отриманим у навчанні знанням і навичкам.   | Релевантне професійним потребам учня подання контенту курсу.  |
| 4. | <b>Виявлення і урахування особистого досвіду і знань учня</b>            | Виявлення, систематизація і формалізація вже наявного особистого досвіду та знань учня з метою його використання для побудови відповідного навчального процесу<br>Доросла людина володіє професійним і життєвим досвідом, знаннями і уміннями, які мають бути використанні і враховані при організації навчання.  | Методи діагностування, контролю і моделювання знань та навичок учня.<br><br>Моделювання передумов навчання за допомогою моделей учня і компетенцій.<br><br>Застосування методів побудови курсу на основі передумов навчання.  |
| 5. | <b>Корегування і поповнення знань учня у відповідності до його цілей</b> | Функція вчителя — корегування і поповнення знань учня з урахуванням їх попереднього виявлення і систематизації, а також у відповідності до цілей учня. На противагу БН, для базової освіти є характерним подання знань «з нуля» і у повному об'ємі.   | Моделювання учня, його цілей, знань і навичок.<br><br>Методи автоматизованої побудови навчальних курсів відповідно до цілей студента з урахуванням вже наявних у нього знань і навичок.<br><br>Моделювання посад і компетенцій.<br>Методи побудови релевантних курсів для подолання інтервалів між компетенціями. |
| 6. | <b>Індивідуалізація і гнучкість навчання</b>                             | Принцип індивідуального підходу до навчання на основі особистісних потреб з урахуванням соціально-психологічних характеристик особистості і тих обмежень, які накладаються його діяльністю, наявністю вільного часу, фінансових ресурсів тощо.<br>Можливість адаптації вмісту до потреб слухачів, вибір змісту у відповідності до заявленої учнем проблеми, урахування інтересів і проблем студентів. | Моделювання освітніх потреб і цілей учня.<br><br>Методи діагностування, контролю і моделювання знань та навичок учня.<br><br>Соціально-психологічне моделювання учня.<br><br>Методи адаптації навчального процесу на основі відомостей про учня і його поточних навчальних досягнень.                             |

Закінчення табл. 1.1

| 1  | 2  | 3  | 4  |
|----|--|--|--|
| 7. | <b>Провідна роль учня в навчанні</b>       | Основне положення в освіті для дорослих полягає у тому, що провідну роль процесі навчання відіграє не учитель, а учень. Конструктивізм — педагогічна філософія, що наріжним каменем вважає точку зору учня, якою б «сирою» вона не була, припускає досягнення результату навчання через особисте, активне засвоєння знань. В БН підкреслюється пріоритетність самостійного навчання. | Забезпечення керованості навчального процесу зі сторони учня.<br><br>Застосування моделей учня, відкритих для перегляду, можливість вибору учнем напрямку навчання.<br><br>Активне застосування соціальних мереж і електронного спілкування. |
| 8. | <b>Важливість між-дисциплінарних знань</b> | На перше місце виходять дисципліни, що містять інтегрований матеріал по декільком суміжним областям знань (між-дисциплінарні дисципліни).  | Моделювання предметних областей. Єдине сховище матеріалів по різним дисциплінам. Методи підтримки міждисциплінарних зв'язків в навчальних матеріалах.<br>Моделювання навчального контенту.   |
| 9. | <b>Співробітництво в навчанні</b>          | Сумісна діяльність учня, співучнів і учителя в процесі навчання грають важливу роль.   | Підтримка колективної діяльності, електронного спілкування, освітньої спільноти.<br>Моделювання соціальних освітніх мереж.<br>Застосування технологій штучних одногрупників, персоналізованих помічників тощо.                               |

Типова модель використання систем дистанційного навчання передбачає: 1) підготовку статичного навчального курсу на основі освітніх потреб певної групи людей; 2) організацію доступу до матеріалів курсу; 3) організацію спілкування учасників навчального процесу; 4) проходження студентами точок контролю і завершення курсу іспитом. Проте описані вище особливості безперервного навчання передбачають, що СБН мають бути чимось більшим, ніж просто середовище для передачі статичних навчальних матеріалів певній групі користувачів. Такі характеристики як індивідуальність, практична доцільність, релевантність, міждисциплінарність та інші особливості БН

вимагають якісно інших методів і моделей побудови інформаційно-навчальних систем підтримки безперервного навчання.

Основними вимогами до навчального процесу, який мають забезпечити системи безперервного навчання, є індивідуалізація, релевантність і орієнтація на практичний, прикладний результат. Тому основними якостями систем, в яких реалізуються ці вимоги, будуть адаптивність і інтелектуальність, а також здатність підтримувати прикладний характер навчального процесу. Адаптивність являє собою тенденції функціонування цілеспрямованої системи, які визначаються відповідністю або невідповідністю між її цілями і результатами її діяльності. Адаптивність системи виражається в узгодженні цілей і результатів. Для СБН цілями будуть індивідуальні навчальні цілі учня, а результатами — результати його навчання на даному етапі навчального процесу. Інтелектуальність СБН передбачає застосування для освітніх процесів вже розроблених технологій штучного інтелекту, а також розробку специфічних методів реалізації «педагогічної свідомості» системи.

Модель освітнього процесу за вимогами безперервного навчання на відміну від класичного дистанційного навчання міститиме такі етапи: 1) визначення освітніх потреб і цілей учня; 2) визначення вже наявних у учня знань та навичок, що відповідають цілям навчання; 3) побудова і адаптивна підтримка релевантного навчального процесу на основі відомостей отриманих на 1-му і 2-му етапах.

Таким чином освітні тенденції і розвиток технологій розробки програмних систем вимагають застосування в інформаційно-навчальних системах наступних характеристик і функцій: індивідуалізація та адаптивність; урахування попередніх знань та досвіду студентів; більш ефективне керування навчальним контентом з можливістю повторного використання, поступального розвитку і розширення; урахування міждисциплінарних зв'язків в навчальному контенті; генерація індивідуального навчального середовища; інтелектуалізація соціальних мереж для освіти та інтелектуалізація контролю знань.

## **1.2. Керування контентом та обробка контенту в інтелектуальних системах навчання**

Керування Web-контентом — галузь, що набула великої актуальності із розвитком мережі WWW. Потреба в інтенсивній підтримці Web-сайтів і великих порталів вимагає засобів автоматизації процесу організації і керування їх інформаційним наповненням. Відповіддю на дану потребу стали системи керування контентом — CMS-системи. CMS (WCMS), Web-content management system — це програмне забезпечення, що автоматизує процеси створення і підтримки Web-сайтів. Як галузь розробки програмного забезпечення (ПЗ), проектування і реалізація CMS-систем спирається на досягнення в сфері методології моделювання і розробки програмних систем [10-11] та забезпечення якості ПЗ [12].

Із розвитком Web-технологій і спеціального програмного інструментарію для обслуговування Web-сайтів широкого розповсюдження набув клас масштабних Інтернет-ресурсів, які називають Web-порталами. Web-портал — це Web-сайт, що надає велику кількість послуг та/або надає доступ до великої кількості інформаційних ресурсів широкій аудиторії користувачів. До Web-порталів відносяться корпоративні, державні, портали новин, розважальні та ін. Розвиток Інтернету і явище «інформаційного вибуху» зумовили велику актуальність ресурсів навчального призначення, і, зокрема, інформаційно-навчальних порталів.

Під інформаційно-навчальним порталом (ІНП) слід розуміти Web-портал, метою якого є надання доступу до навчальної інформації, затребуваної користувачем. Для побудови таких порталів застосовуються як CMS загального призначення, так і спеціальні системи, серед яких Wiki-системи, системи керування навчальним контентом (LCMS), системи дистанційного навчання, системи керування навчанням (СДН, LMS, VLS) тощо.

Класифікація систем побудови ІНП наведена в табл.1.2.

При проектуванні ІНП слід враховувати багатий досвід в області розробки інтелектуальних навчаючих систем (ITS) і адаптивних гіпермедіа-систем. Деякі технології, що застосовуються в навчальних Web-системах, беруть також свій початок в таких технологіях як машинне навчання, Data Mining, інформаційний пошук та в інших галузях штучного інтелекту. Адаптивні і інтелектуальні системи навчання

широко розглянуті в роботах [13-31]. Аналіз цих робіт дозволив зробити огляд ключових технологій і методів, що застосовуються в таких системах.

Таблиця 1.2

### Класифікація систем побудови ІНП

| Типи систем                 | Системи керування контентом сайтів загального призначення, CMS                 | Системи дистанційного навчання (СДН) LMS, VLS, LCMS                       | Wiki-системи   |
|-----------------------------|--|---|--|
| Популярні приклади систем   | Drupal, Plone, Joomla, Wordpress. TYPO3, 1С-Битрикс, NetCat, DotNetNuke, Mambo | Moodle, LearningSpace, Blackboard, WebCT, ATutor, Віртуальний Університет | Wikimedia, DocBookWiki, DokuWiki, PhpWiki                                |
| Галузі застосування для ІНП | Корпоративні портали, Web-ресурси освітніх установ                             | Портали дистанційного навчання, Web-ресурси освітніх установ              | Інформаційно-довідкові Web-ресурси, Корпоративні портали обміну знаннями |

*Адаптивні гіпермедіа-системи* — це усі гіпермедіа-системи, які зберігають опис особливостей користувача в моделі користувача і застосовують цю модель для адаптації до користувача різних візуальних аспектів системи. Іншими словами система повинна задовольняти трьом критеріям: вона має бути гіпертекстовою або гіпермедійною, вона повинна мати модель користувача і вона повинна адаптувати свій гіпермедіа-простір, використовуючи цю модель [13].

*Інтелектуальні навчаючі системи* (Intelligent Tutoring Systems, ITS) — це комп'ютерні навчальні системи, що містять моделі освітнього контенту, які визначають, чому потрібно навчати, і викладацькі стратегії, які визначають, як потрібно навчати. Такі системи роблять висновки щодо ступеня оволодіння студентами тих чи інших тем або завдань з метою динамічної адаптації контенту або стилю викладання. Моделі контенту (або бази знань, експертні системи чи симуляції)

надають цим системам виразності, завдяки чому студенти «вчаться, діючи» в реалістичному і смисловому контексті. [14].

На рис. 1.1 подаються методи і технології, що використовуються в адаптивних гіпермедіа-системах і інтелектуальних навчаючих системах, та можуть бути застосовані для потреб інформаційно-навчальних Web-систем, що служать для побудови ІНП.

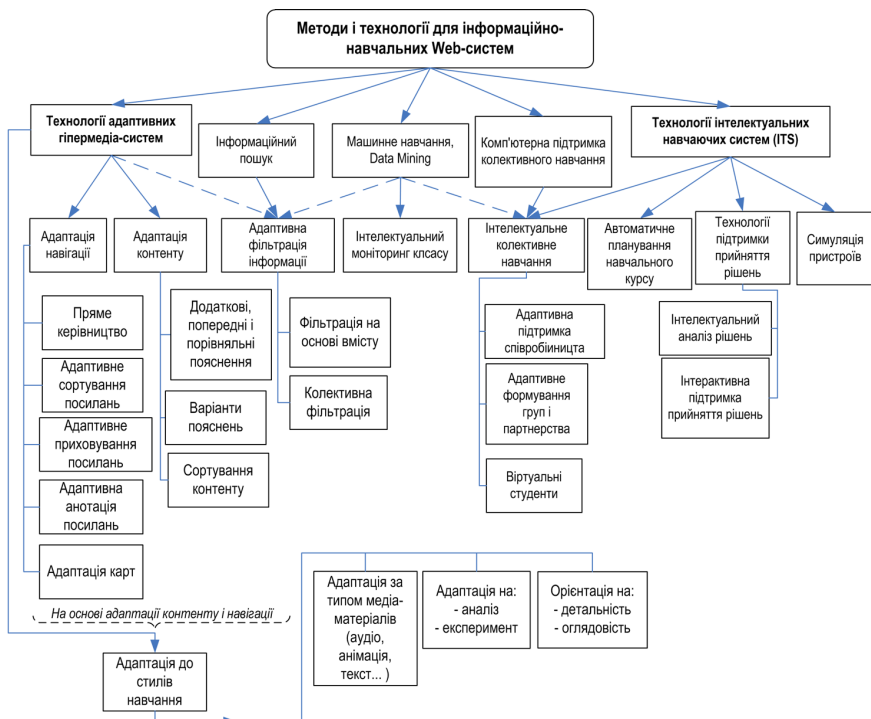


Рис. 1.1. Методи і технології для інформаційно-навчальних Web-систем

### 1.2.1. Методи адаптивних та інтелектуальних інформаційно-навчальних систем

Методи адаптивних гіпермедіа-систем [15–17]. *Адаптація контенту та адаптація навігації* — дві найпоширеніші технології, що застосовуються системами адаптивного гіпертексту та адаптивного

гіпермедіа. Метою технології *адаптивного контенту* є пристосування вмісту кожного вузла (сторінки) до цілей студента, знань і іншої інформації, що зберігається в моделі студента. У системі адаптивного подання контенту сторінки — не статичні, а такі, що адаптивно генеруються для кожного користувача.

Метою технології *адаптивної навігації* є допомога студенту зорієнтуватися і переміщуватися у гіперпросторі за допомогою зміни вигляду видимих посилань. Наприклад, система адаптивного гіпермедіа може адаптивно сортувати, анотувати, або частково сховати посилання поточної сторінки для того, щоб спростити вибір, куди пересуватися далі. Підтримка адаптивної навігації розділяє ту саму мету, що й автоматичне планування курсу навчання — допомогти студенту знайти оптимальний шлях через навчальний матеріал. В той же час підтримка адаптивної навігації менше керуюча і більше «партнерська», ніж традиційне автоматичне планування: вона провадить студента, залишаючи йому можливість самостійно обрати наступний елемент знань для вивчення, наступне завдання для розв'язання. У контексті WWW, де гіпермедіа є базовою організаційною парадигмою, підтримка адаптивної навігації є природною і ефективною.

*Адаптивна фільтрація інформації* (АФІ) — класична технологія з області інформаційного пошуку. Її мета — знайти декілька елементів, що відповідають інтересам користувача, у великому об'ємі (текстових) документів. В Інтернеті ця технологія була використана як у пошукових цілях, так і в цілях перегляду інформації. Вона застосовувалась для пристосування результатів Web-пошуку із використанням фільтрації і впорядкування та для вироблення рекомендацій щодо найбільш відповідних документів серед отриманого набору з використанням генерації посилань. Хоча механізми, що використовуються у системах АФІ, дуже відрізняються від механізмів адаптивного гіпермедіа, на рівні інтерфейсу користувача в контексті WWW системи АФІ найчастіше використовують техніку адаптивної навігації.

Існує два принципово різних типи механізмів АФІ, які можуть розглядатися, як дві різні технології АФІ — *фільтрація на основі вмісту* і *колективна фільтрація*. Перша спирається на вміст документа, тоді як остання абсолютно його ігнорує, намагаючись замість цього підібрати коло користувачів, які будуть зацікавлені в однакових документах. Сучасна технологія АФІ широко використовує технології ма-

шинного навчання, особливо це стосується фільтрації на основі вмісту. Маючи велику розповсюдженість в галузі інформаційних систем, АФІ проте не використовувалися в навчальному контексті у минулому. Об'єм навчального вмісту був порівняно невеликим, і потреба спрямовувати користувача до найбільш підходящого матеріалу з легкістю підтримувалася адаптивним плануванням і адаптивними гіпермедіа-технологіями. Однак Інтернет з його великою кількістю відкритих освітніх ресурсів зробив АФІ-технологію дуже привабливою для освітян.

**Методи інтелектуальних навчаючих систем** [14, 15] *Інтелектуальний аналіз рішень* має справу із студентськими розв'язками навчальних задач (які можуть змінюватись від простих запитань до комплексних програмних завдань). На відміну від неінтелектуальних контролюючих інструментів, які здатні вказати лише на вірність або хибність розв'язку, інтелектуальні аналізатори можуть сказати, що саме невірно або що розв'язано не повністю, і які пропущені чи невірні знання можуть відповідати за помилку. Інтелектуальні аналізатори здатні забезпечити студента потужною технікою зворотного зв'язку опрацювання помилок і оновленням моделі студента. Через низьку інтерактивність і здатність до використання інтерфейсів Web-форм ця технологія була реалізована в WWW одною з перших.

Метою *інтерактивної підтримки прийняття рішень* є забезпечення студента інтелектуальною допомогою на кожному етапі вирішення проблеми — від надання підказки до повного виконання наступного етапу замість студента. Технологія інтерактивної підтримки прийняття рішень не на стільки популярна у Web-системах, як в окремих інтелектуальних навчальних комплексах. Зумовлено це в основному складністю реалізації. Як було показано першими системами, чиста реалізація на стороні сервера не в змозі активно слідкувати за діями студента і може забезпечувати допомогу лише по запиті. Чиста реалізація на стороні клієнта має обмеження по складності. Необхідна функціональність і рівень складності для реалізації інтерактивної підтримки прийняття рішень потребує клієнт-серверної реалізації, але такі системи складніші в реалізації. Слід зазначити, що Web-технологія асинхронного обміну даними AJAX, а також концепція розвинених Інтернет-застосунків RIA представляють відповідну технічну платформу для реалізації алгоритмів інтерактивної підтримки прийняття рішень на основі WWW.

**Методи інтелектуального колективного навчання** [15]. *Інтелектуальне колективне навчання* — група технологій, розроблена на перехресті двох областей, що на початку були далеко одна від одної: *комп'ютерна підтримка колективного навчання та інтелектуальні навчаючі системи*. Сучасний напрямок роботи по використанню штучного інтелекту для підтримки колективного навчання призводить до збільшення рівня взаємодії цих двох областей. Ранні роботи в області інтелектуального колективного навчання виконувались у до-Інтернет контексті. Сьогодні ж Інтернет та дистанційна освіта забезпечили як платформу, так і зростаючий попит на технології такого типу. В Інтернет-освіті потреба в інструментах підтримки колективного навчання є критичною, тому що студенти рідко особисто зустрічаються один з одним. Інтелектуальні технології можуть корінним чином розширити можливості простих інструментів підтримки колективної роботи (таких як групи потокових дискусій та спільні дошки), що надаються різними системами керування курсами. На даний момент ми можемо зазначити як мінімум три окремі технології у групі інтелектуального колективного навчання: *адаптивне формування груп і партнерства, адаптивна підтримка співробітництва та віртуальні студенти*.

*Технології адаптивного формування груп і партнерства* намагаються використовувати знання про співпрацюючих членів групи (найчастіше ці знання представлені у моделях студента) для формування підходящої групи для різних типів колективних завдань. Це можна застосувати, наприклад, для задач по формуванню груп для спільного розв'язання задач та пошуку найбільш компетентного члена групи для відповіді на питання.

Технології для *адаптивної підтримки співробітництва* намагаються забезпечити інтерактивну підтримку колективного процесу так само, як системи інтерактивної підтримки прийняття рішень допомагають окремому студенту у розв'язанні проблеми. Використовуючи деякі знання про хороші і погані зразки співробітництва (які закладаються на етапі розробки системи або отримуються із журналів спілкування), системи підтримки співробітництва можуть тренувати або консультувати членів колективу. *Технологія віртуальних студентів* порівняно стара. Замість підтримуючого навчання або співробітництва з позиції старшого над студентами (викладача або консультанта) ця технологія намагається ввести різні типи рівноправних віртуаль-

них партнерів у навчальне середовище, наприклад навчаючих партнерів, учнів або навіть порушників порядку. У контексті Інтернет-освіти, коли студенти часто спілкуються через низько пропускані канали (електронна пошта, чат, форуми), віртуальний студент стає дуже привабливим уособленням для реалізації різних стратегій підтримки. Перспективною є інтеграція цього методу з напрямками *анімованих агентів* та *інтелектуальної підтримки співробітництва*.

*Інтелектуальний моніторинг класів* — технологія, дуже актуальна для дистанційної освіти. У контексті Інтернет-освіти «віддалений викладач» не може бачити вирази нерозуміння або загубленості на обличчях студентів. З таким браком зворотного зв'язку стає дуже важко визначити проблемних студентів, що потребують додаткової уваги, яскравих студентів, яким слід кинути виклик. Так само важким є і визначення частин навчального матеріалу, які є занадто легкими, занадто складними, або незрозумілими. Системи освіти на основі WWW можуть відслідковувати кожну дію студента, проте викладачу майже неможливо самостійно зробити необхідні висновки на основі великого об'єму даних, які збираються системою. Системи *інтелектуального моніторингу класу* намагаються використовувати штучний інтелект, щоб допомогти викладачу в даній ситуації. Цей напрямок роботи зосереджений на підтримці викладача та спирається на такі технології штучного інтелекту як інтелектуальний аналіз даних (Data Mining) і машинне навчання. Можливим є також інтеграція інтелектуального моніторингу класу із адаптивною підтримкою співробітництва з метою інформування викладача про хід колективної студентської роботи і про потребу його особистого втручання для підтримки процесу.

### **1.2.2. Об'єкти моделювання інтелектуальних інформаційно-навчальних Web-систем**

Автори узагальнюючої моделі адаптивної гіпермедіа-системи АНАМ (Adaptive Hypertext Application Model) [17], що ґрунтується на еталонній моделі гіпертексту Декстер [18, 19] пропонують наступну структуру адаптивних гіпермедіа-систем (рис. 1.2).

Автори АНАМ [17] підкреслюють важливість ряду елементів в адаптивних гіпермедіа-системах:

- модель предметної області описує, яким чином інформація системи структурується і поєднується;
- модель користувача описує те, яка інформація про користувача повинна зберігатися в системі, це включає подання цільових для користувача знань, а також і інформацію про вже відвідані ним сторінки;
- модель викладання, або модель адаптації, містить педагогічні правила, які визначають, яким чином модель предметної області і модель користувача поєднуються для забезпечення поточної адаптації;
- механізм адаптації безпосередньо виконує адаптацію через адаптування або динамічну генерацію контенту сторінок, а також налаштування адрес та типів посилань, щоб провадити кожного користувача індивідуально.

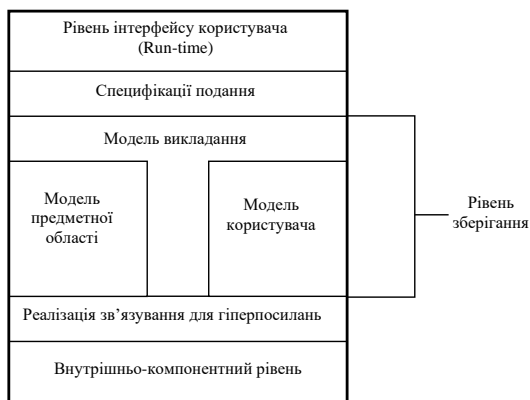


Рис. 1.2. Еталонна модель гіпермедіа-систем АНАМ

**Модель предметної області.** Основою моделі предметної області в АНАМ є поняття. Автори АНАМ [17] дуже чітко на концептуальному і технічному рівні виділяють і розмежовують *поняття* і *інформацію системи*. Поняття є семантичним матеріалом моделі предметної області. Тоді як фактична інформація, що подається користувачу представляє лише технічний рівень, який певним чином зв'язується із

рівнем понять. У [20] також робиться подібне розмежування, при цьому поняття представляють зовнішню по відношенню до контенту семантичну модель предметної області.

У АНАМ *атомарне* поняття відповідає фрагменту інформації. Таким чином це поняття репрезентується порцією інформації, що зберігається на внутрішньо-компонентному рівні. *Складеними* є поняття, що складаються із набору атомарних. Виділяють також складені поняття, що відповідають за певну сторінку — *поняття-сторінки*. *Абстрактні* складені поняття складаються із множини понять-сторінок або інших абстрактних понять. Врешті решт усі поняття структуруються за допомогою ієрархії і відношень. Предметна область таким чином моделюється за допомогою мережі понять, які в свою чергу пов'язані із відповідними фрагментами контенту.

Процес співставлення семантичних понять і контенту називають *індексацією*, тому що визначення набору понять для кожної сторінки нагадує індексацію сторінки за набором ключових слів. Подібна індексація, яку також можна назвати семантичною, як правило виконується вручну авторами курсів або експертами з предметної області.

Кожна сторінка пов'язується з одним або більше поняттями, які описують деякий з аспектів цієї сторінки. Семантична індексація сторінок може бути *однопонятійною*, коли одна сторінка стосується одного і тільки одного поняття зовнішньої моделі, і *багатопонятійною*, коли кожна сторінка може бути співвіднесена із багатьма поняттями. Тип семантичної індексації для організації гіперпростору великою мірою визначає функціональність адаптивних технологій в системі.

Організація гіперпростору за допомогою однопонятійної індексації породжує строгі вимоги до зовнішньої моделі, яка відповідає за семантику. Тут завжди обов'язковим є наявність зв'язків між поняттями (краще декілька типів зв'язків), які будуть використовуватись для організації гіперпосилань. Іншим обмеженням є те, що цей підхід важко застосувати для вже існуючої традиційної гіпермедіа-системи з метою її перетворення на адаптивну. Багатопонятійна індексація потужніша з точки зору застосування адаптивних технологій в гіперпросторі, натомість вона вимагає глибшої проробки зовнішніх семантичних моделей.

Ще однією важливою характеристикою є тип системи з точки зору відкритості її контенту: закриті або відкриті системи [21, 22].

У системах із закритим контентом його семантична індексація проводиться на етапі створення системи. У системах із контентом, що розширюється, контент індексується автором в момент додавання в систему. При цьому більшість адаптивних гіпермедіа-систем представляють закриті системи [21]. До класу відкритих систем можна віднести інформаційно-пошукові і інформаційно-фільтруючі системи. У системах такого роду контент індексується автоматично, але не на основі моделей з використанням семантичних понять, а на основі моделей орієнтованих на ключові слова.

Нове покоління адаптивних систем доступу до інформації роблять спроби об'єднати понятійні моделі із автоматичною обробкою документів. Багато з цих систем ґрунтуються на автоматичній категоризації документів, де кожен документ автоматично співвідноситься з одним або декількома поняттями існуючої моделі предметної області [23]. Використання подібних підходів є актуальним і для освітніх Web-систем.

Слід згадати про ще один специфічний компонент, який деякі системи містять в моделі предметної області — модель задач [24, 25]. Ця модель відбиває знання про завдання, які мають виконуватись тими чи іншими робітниками. Структура завдань інтегрується із моделлю предметної області і навчальними матеріалами. Такі системи застосовують для підтримки професійної діяльності. Цей напрямок є дуже актуальним в контексті безперервного навчання.

**Модель користувача.** Відмінність адаптивних гіпермедіа-систем від просто гіпермедіа-систем полягає у наявності у перших моделі користувача, на основі якої будується адаптація. Щоб побудувати і підтримувати актуальну модель користувача адаптивна система збирає дані із різних джерел, що включає неявне спостереження за діями користувача і явне опитування та введення ним даних. Модель користувача і адаптація є двома сторонами одного процесу. Кількість і якість інформації, яка представлена в моделі користувача, залежить від типу адаптаційного ефекту, який прагне надати система.

Основними характеристиками, які моделюються і використовуються адаптивними Web-системами є знання, інтереси, цілі, передумови, індивідуальні особливості і контекст роботи користувача. Кожна адаптивна система як правило використовує деяку підмножину даного набору.

Модель користувача залежить від способу моделювання контенту і предметної області в системі. Модель знань користувача може бути скалярною, що представляє рівень його знань в предметній області єдиним значенням по деякій шкалі — кількісним (наприклад, від 0 до 5) або якісним (наприклад, відмінно, добре, задовільно, незадовільно) [21]. Найбільш розповсюдженою є оверлейна модель знань учня. Вона представляє знання учня як підмножину моделі предметної області, яка в свою чергу відображає знання предмета на рівні експерта. Оверлейна модель зберігає для кожного фрагмента знань предметної області деяку оцінку, що відбиває рівень знань користувача. Існує також модель на основі помилок, яка представляє як коректні знання студента, так і помилкові.

Моделювання інтересів користувача — новий напрямок, характерний для Web-систем. Інтереси користувача набувають великого значення для адаптивних гіпермедіа-систем у зв'язку із збільшенням об'єму інформації і зростанням популярності таких типів інформаційно-орієнтованих систем як енциклопедії, гіпертекстові системи новин, електронні магазини, музейні гіді та інші системи, в яких доступ до інформації мотивується інтересами. Слід зазначити, що ці тенденції, а також популяризація конструктивізму в навчанні мають вплив і на освітні сервіси, і тому вимагають більшої уваги до моделі інтересів користувача в освітньому контексті. Характерним для інформаційно-пошукових і інформаційно-фільтруючих систем є побудова моделі інтересів на основі ключових слів. Натомість адаптивні гіпермедіа системи пристосували підхід на основі семантичних понять до моделювання інтересів. У даному випадку модель інтересів стає дуже схожою на оверлейну модель знань користувача. Перспективним є синтез підходів на основі ключових слів із підходом на основі понять для моделі інтересів студента.

Цілі і задачі представляють найближчу мету роботи користувача в адаптивній системі. Як правило в навчальних системах в цій моделі представляється навчальна ціль. Досягнення навчальної цілі забезпечується автоматичним плануванням і визначенням послідовності навчального курсу. Цілі учня можуть моделюватися за допомогою каталогу цілей. Цей підхід дещо схожий на оверлейну модель. Його основою є заздалегідь визначений каталог можливих цілей учня, які система повинна вміти розпізнавати.

Передумови користувача стосуються його попереднього досвіду поза межами ключової предметної області системи. Сюди слід віднести професію, посадові обов'язки, досвід роботи в пов'язаних областях і навіть специфічний погляд користувача на предметну область [24, 25]. Зазначимо, що подібні характеристики є важливими в контексті безперервного навчання, проте досі вони використовувались в небагатьох системах.

Модель індивідуальних особливостей подає характеристики, які представляють індивідуальність користувача. Сюди відносяться психологічні і особистісні особливості, когнітивні стилі, фактори і навчальні стилі.

Порівняно новим напрямком є моделювання контексту роботи користувача. Сюди слід віднести представлення програмно-апаратної платформи користувача, його географічного положення та емоційного стану [21].

**Моделі і механізми адаптації.** Принцип функціонування адаптивної навчальної системи схематично зображено на рис. 1.3 [29].

Адаптаційні можливості системи залежить від застосовуваних в ній моделі предметної області і моделі користувача. На етапі *прийняття рішень про адаптацію* обираються конкретні методи адаптації на основі результатів етапу *моделювання користувача* з метою покращити обрані аспекти взаємодії учня і системи. Рішення про адаптацію можуть виражатися в таких діях як показ довідкового вікна для допомоги користувачеві виконати завдання, переструктурування гіперпростору, щоб допомогти студенту орієнтуватися і пересуватися в ньому, надання додаткових пояснень по деякому навчальному поняттю тощо.

Логіка адаптаційних рішень часто подається за допомогою набору *правил адаптації* [17], які визначають який компонент адаптації потрібно обрати відповідно до результатів моделювання учня. В адаптивних гіпермедіа-системах ці правила відповідають за адаптивне подання контенту і адаптивну навігацію. Для реалізації механізмів адаптації використовуються підходи на основі семантичних понять предметної області і семантичної індексації контенту, ключових слів і автоматичної індексації контенту на базі інформаційного пошуку, а також соціальні механізми, такі як навігація на основі історії і колективна фільтрація [20].



Рис. 1.3. Механізм функціонування адаптивної навчальної системи

**Моделювання взаємодії учасників навчального процесу.** Моделі колективної взаємодії в навчанні служать для організації співпраці через Інтернет учасників навчального процесу. Сюди слід віднести такі традиційні засоби спілкування як електронне листування, форуми, блоги, а також вікі-системи.

Окрім спілкування, колективна взаємодія може також виражатися у соціальній навігації [20]. Соціальна навігація може застосовуватися у прямій і непрямій формі. Пряма форма передбачає безпосереднє спілкування і анування контенту, виражене у коментарях користувачів, які вони мають змогу залишити безпосередньо на сторінці.

Непряма соціальна навігація виражається у методах на основі історії і методах колективної фільтрації. Навігація на основі історії візуалізує узагальнені або індивідуальні дії користувачів щодо поточної сторінки. Так варіантами такого підходу є публікація кількості відвідувань сторінки, або часу, проведеного на ній іншими користувачами.

ми та ін. Подібна інформація допомагає зрозуміти, на скільки дана сторінка релевантна спільноті користувачів. На основі візуалізованих даних користувач приймає рішення про власну навігацію. Колективна фільтрація — техніка надання рекомендацій, заснованих на попередньо виражених думках або зацікавленості схожих користувачів. Колективна фільтрація часто реалізується за допомогою рейтингів або оцінювання, а також індикаторів зацікавленості.

У зв'язку з тим, що історія адаптивних і інтелектуальних освітніх систем має корені в до-Інтернет розробках, в них не приділяється достатньо широка увага моделюванню колективної роботи учасників навчального процесу. Проте цей аспект стає досить важливим у контексті сучасних освітніх Web-систем, враховуючи тенденції розвитку Інтернету, що отримали назву Web 2.0.

### **1.2.3. Карти понять як інструменти презентації контенту інформаційно-навчальних систем**

Інформаційно-навчальні системи продовжують відігравати значну роль в навчальних процесах різних форм. Такі системи затребувані в шкільній освіті, університетських програмах, корпоративному навчанні та в сфері професійного саморозвитку. Гіпермедіа-середовище, що отримало потужну технічну інфраструктуру завдяки WWW, зумовило дослідження та появу нових форм та засобів презентації інформаційно-навчального контенту. Різноманітні методи та засоби візуалізації навчальної інформації підвищують наочність та полегшують процес сприйняття нових знань. Серед таких засобів — широка палітра концептуальних карт, що набули значного поширення в багатьох галузях, суміжних з інформаційними технологіями та освітою. Концептуальна карта, або карта поняття має вигляд графа, вузлами якого є поняття предметної області, а ребра відповідають відношенням між цими поняттями. Такі карти перш за все подаються графічно на паперових чи цифрових носіях, а також представляються за допомогою того чи іншого формально-математичного апарату.

Далі подано огляд карт понять, опис передумов до їх створення, аналіз їх типів та цілей застосування в навчальному процесі та інформаційно-навчальних системах. Приводяться результати аналізу вимог

до інтерактивних карт понять в онтологічно-орієнтованих системах для підтримки безперервного навчання.

### Графові та мережеві подання та передумови появи карт понять

Фоном для появи карт понять різних типів в 1960–70-х рр. були галузі, дотичні до психології навчання, подання знань, когнітивної психології, лінгвістики, формальної логіки, машинної обробки природної мови тощо.

Ранні роботи з семантичних мереж спираються на напрацювання Н. Хомського [32] в галузі лінгвістичних структур та роботи багатьох інших дослідників психологічної та когнітивної лінгвістики [33]. Так, М. Куїлліан [33], засновуючись на дослідженнях моделювання людської пам'яті, запропонував модель семантичної мережі. Логічна структура на базі речень природної мови та міркування такої системи візуалізувалися у вигляді графа (рис. 1.4) на базі зв'язків асоціативності між поняттями. Робота дала поштовх до подальшої специфікації відношень та розвитку формального апарату семантичних мереж.

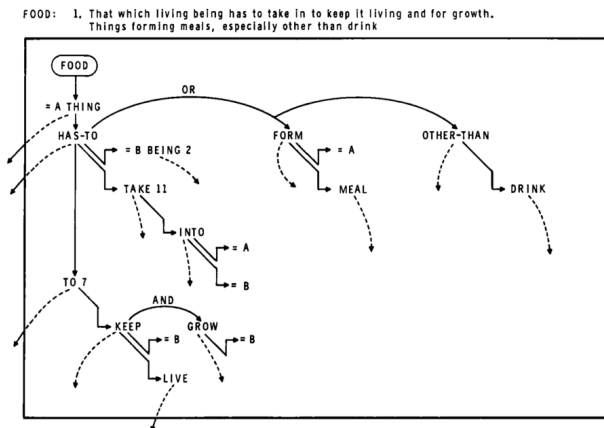


Рис. 1.4. Подання поняття «Їжа» в моделі семантичної мережі Куїлліана [33]

В галузі педагогічної психології D. Ausubel [34, 35] пропонує концепцію осмисленого навчання, що ґрунтується на гіпотезі про те,

що когнітивні структури організовані ієрархічно, де високоінклюзивні поняття містять менш інклюзивні підлегли поняття та дані. Це означає, що для успішного засвоєння нового навчального матеріалу він повинен бути інкорпорованим в наявні когнітивні структури учня таким чином, щоб підпорядкуватися та бути співвіднесеним з відповідними вже існуючими в структурі поняттями [35]. Таким чином, D. Ausubel наголошує на важливості структурування та зв'язування нової інформації із наявною в процесі навчання [36]. Реалізацію цих вимог пропонується здійснювати за допомогою розвинених органайзерів, які є будь-якою формою візуального, вербального чи текстового матеріалу, що подає структуру навчального контенту. Головною задачею таких органайзерів є наголошення на ключових поняттях та їх взаємних зв'язках та співвідношеннях з відомими поняттями [36].

Ці педагогічно-психологічні основи стали підвалиною для розробки карт понять Дездефом Новаком в Корнелльському університеті в 1972 р. [37-39]. Карти понять за Д. Новаком — графічні інструменти для організації та подання відношень між поняттями, що представляється лінією, яка з'єднує два поняття. Слова на лінії є фразами зв'язку, що визначають відношення між поняттями. Поняття та судження зазвичай організовуються ієрархічно від найбільш загальних та найбільш інклюзивних до найдрібніших [39], рис. 1.5. Такі карти виникли як засіб реалізувати ідеї D. Ausubel для презентації учням нових знань. Ключовим застосуванням карт понять у Д. Новака є діяльність учнів по створенню карт понять як вид навчальної діяльності. Такі карти допомагають учням структурувати власні судження та зв'язувати нову інформацію з вже відомою, забезпечуючи асиміляцію нових знань в персональну когнітивну структуру. Карти понять та діяльність з їх конструювання реалізують тут смислове навчання за D. Ausubel на противагу заучуванню. Слід підкреслити, що ефективні та зрозумілі карти понять за Д. Новаком будуються з урахуванням правильного фокусування на питанні, що розглядається [39]. Це означає, що кожна окрема карта не ставить за мету подати усі можливі зв'язки та залежні поняття, натомість відбувається презентація найбільш суттєвих суджень в даному навчальному контексті.

У 1976 р. Д. Ф. Сова (J. F. Sowa) представив формалізм концептуальних графів [40], який згодом детально описав у своїй книзі [41], яка стала значущим внеском в галузь подання знань. Концептуальні

графи є формальною нотацією, що служить посередником між людиною та комп'ютером. Графи описують смисл даних відповідно до користувачької точки зору, але також вони асоціюються з процедурами, що мають доступ до до даних відповідно до машинної формалізації [40]. Приклад концептуального графу подано на рис. 1.6 [42]. Формально концептуальний граф є кінцевим, зв'язним, двочастковим графом. Вузли графа представляють поняття або концептуальні відношення. Поняття позначаються прямокутниками, а відношення — еліпсами. Мітки дуг тут не використовуються [42].

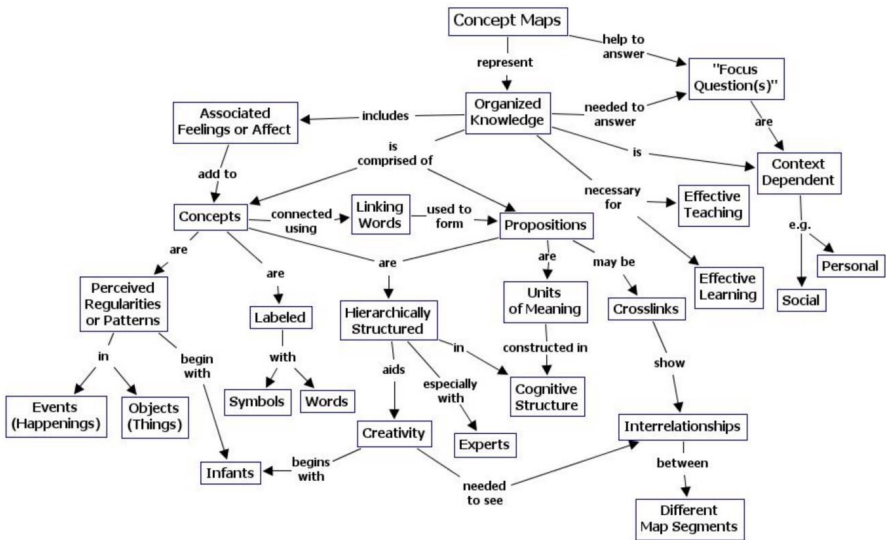


Рис. 1.5. Карта понять за Д. Новаком, що розкриває основні особливості концептуальних карт [39]

Як зазначається в [42], застосування графічного представлення знань, в тому числі на базі теорії концептуальних графів допомагає формалізувати міркування про стани, поведінку та відношення об'єктів. Таким чином, можна створювати та опрацьовувати декілька альтернативних гіпотез про складні об'єкти та неоднозначні ситуації, наприклад в галузі космонавтики [42]. Дослідники інформаційних систем

для NASA [42] підкреслюють, що подібна графічна репрезентація знань допомагає користувачеві в розумінні предметної області, спрощує маніпуляцію, редагування та ревізію знань та переведення їх в різні рівні складності для різних аудиторій слухачів.

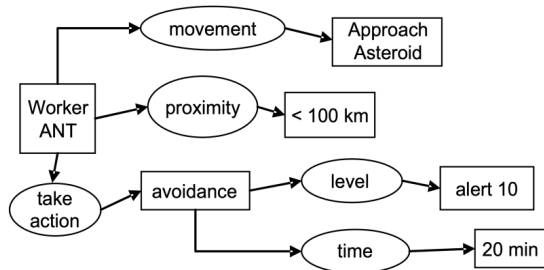


Рис. 1.6. Приклад концептуального графу в дослідженнях NASA [42]

У 1972 р. F. Dansereau з колегами запропонував стратегію карт типу «вузол-зв’язок» (node-link mapping) як продовження підходу до використання графічних діаграм для комунікації та використання мережевих моделей концептуалізації людської пам’яті [44]. Такі карти автори також називають карти знань або Texas Christian University Node-Link Mapping (TCU-NLM). Пропонується використання трьох типів карт: інформаційні карти, карти-керівництва та карти вільного стилю. Інформаційні карти (рис. 1.7) створюються експертом з метою презентації деякої теми учням або кінцевим користувачам. Карти-керівництва є частковими картами, що передбачають заповнення прогалів в процесі вирішення задачі або в процесі навчання. Карти вільного стилю конструюються учнем чи користувачем під час опрацювання вербального матеріалу для вираження отриманих знань [44]. Вузли служать для вираження понять та характеристик, зв’язки (ребра) мають напрямок та позначаються символами, яким відповідають типи відношень відповідно до легенди.

Карти TCU-NLM показали ефективність в підтримці навчального процесу, професійному консультуванні та бізнес-діяльності, зокрема в проведеному дискусійних нарад [44].

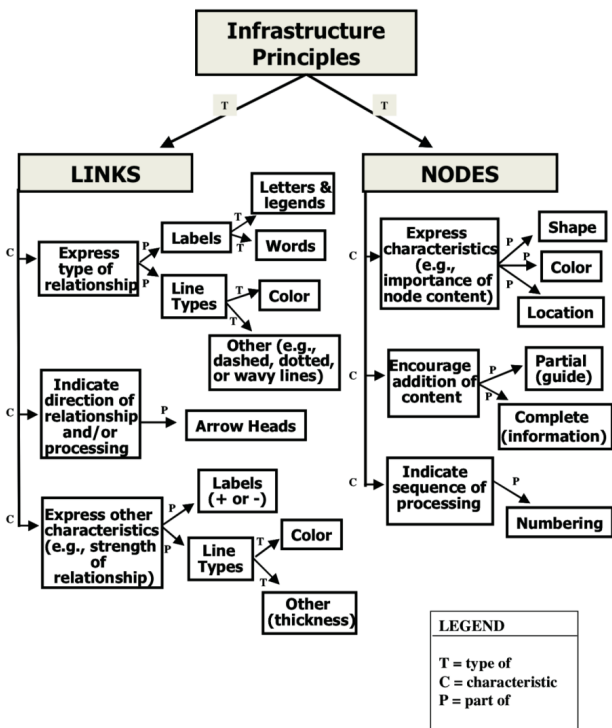


Рис. 1.7. Приклад node-link-карти, що подає формальні принципи створення таких карт [44]

У 1974 р. Т. Бузан у своїй книзі описав методіку інтелект-карт [45]. Він вказує, що природа інтелект-карт пов'язана з особливостями роботи розуму, і вони можуть використовуватись практично в будь-якій діяльності, де задіюється мислення, пам'ять, планування та креативність. Т. Бузан запропонував застосовувати інтелект-карти для підготовки промов, написання текстів, аналізу задач, для зустрічей та комунікації, а також для нотування [45].

Інтелект-карта є діаграмою, у центрі якої деяке поняття (рис. 1.8). За формою інтелект-карта є радіальним деревом, хоча окрім ієрархічних зв'язків тут також можуть застосовуватись додаткові ребра асоціацій між різними елементами структури. Завдяки радіальній формі

інтелект-карти виявилися досить зручними для подання інформаційних структур та набули значного поширення як засіб візуалізації ідей [46].

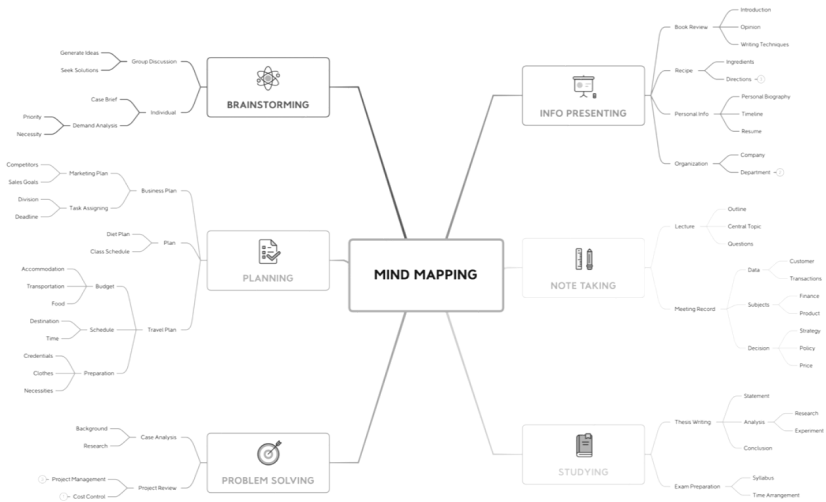


Рис. 1.8. Приклад інтелект-карти [47]

Інтенсивний розвиток мережових представлень та графових концептуальних візуалізацій зумовили великий дослідницький та практичний інтерес до застосування карт понять в навчально-довідкових цілях у відповідних інформаційних системах.

### **Застосування карт понять в інформаційно-навчальних системах**

**Конструювання карт понять користувачами.** Д. Новак наголошує на ефективності конструювання карт понять учнями як способу здійснювати осмислене навчання [38, 39]. Д. Новак пропонує використовувати методи навчання, які б заохочували учнів самостійно конструювати карти понять на базі лекцій та інших навчальних матеріалів [48]. Подібна діяльність спонукає учнів до структурування власних знань та більш глибокого осмислення нового матеріалу у співвідношенні з відомими даними на протигагу заучуванню. Інформаційні

системи, що дозволяють використовувати комп'ютерні інтерфейси для створення цифрових карт понять, вбачаються важливим інструментом для подальшого впровадження таких карт в навчальних системах [39].

**Оцінювання знань.** У [39, 48] вказується на успішні приклади застосування техніки конструювання карт понять учнями з метою оцінювання знань. Конструювання карт, таким чином, ефективно для ідентифікації як коректних так і невірних ідей учнів. Карти понять можуть бути так само ефективними, як і контрольні співбесіди, що вимагають значних витрат часу для ідентифікації знань студента до та після навчального курсу [39]. За допомогою самооцінювання та конструкторії карт понять студенти можуть ефективно визначати та усувати хибні уявлення.

**Навігація в навчальному середовищі.** Значна кількість досліджень направлена на застосування карт понять для покращення навігації в гіпермедіа-середовищі навчальних систем [39, 50-52]. S. Puntambekar приділяє значну увагу питанням нелінійної навігації в навчальних гіпермедіа-системах [50]. Перевагою гіпертекстових навчальних систем є можливість подачі контенту таким чином, щоб відобразити численні взаємозв'язки між поняттями [50]. Використання для цієї мети карт понять є зручним механізмом. Карти понять можуть бути ієрархічними, що унаочнює структуру навчальної області, та неієрархічними, що дозволяє передати більшу кількість зв'язків [50, 53]. У [51] пропонується застосовувати навігацію з використанням карт понять для самокерованого навчання та для навчання на базі спільнот. Тут застосовуються стандарт тематичних карт ISO [54] для мультишарової моделі карт навчальних ресурсів [51]. Зазначається, що застосування візуалізацій на базі тематичних карт, допомагало учням знаходити необхідні навчальні ресурси швидше, допомагало організовувати навчальні ресурси більш осмислено, а також сприяло більш ефективному відбору ресурсів всередині навчальних спільнот [51]. У [52] пропонується використання карт понять для навігації по енциклопедичним даним Wikipedia. Наголошується на інформаційному перевантаженні при навігації ресурсами енциклопедії лише штатними методами системи на базі гіперпосилань в статтях та категоріях. Натомість карти понять, що презентують предметну область, здатні полегшити цей процес [52].

**Презентація знань користувачам.** У [55, 39] пропонується використання карт понять для презентації контенту. Такі карти понять допомагають користувачу швидше визначити релевантність документів власній інформаційній потребі. Карти понять для презентації вмісту документів допомагають користувачу швидше зрозуміти ключові поняття та смислову структуру документа та стають певним індексним покажчиком, що допомагає в подальшому ознайомленні з документом [55]. Карта понять дозволяє подати інформацію в компактному та легкому для розуміння форматі, а також є ефективним засобом резюмування документів. Подібні карти-резюме документа в поєднанні із гіперпосиланнями можуть служити зручним інтерфейсом навігації до необхідних ділянок документа [55].

**Дослідницький пошук.** Техніка дослідницького пошуку в множині інформаційно-навчальних ресурсів передбачає таку комплексну інформаційно-пошукову діяльність, що включає аналіз багатьох джерел інформації та визначення релевантного напрямку подальшого дослідження. Подібна діяльність актуальна для безперервного навчання та саморозвитку експертів. Дослідницький пошук вимагає новітніх людино-машинних інтерфейсів для підвищення швидкості аналізу ресурсів користувачем та прийняття рішення про подальший рух інформаційними ресурсами. У [56, 57] пропонується використання карт понять для дослідницького пошуку. У [57] використовуються ієрархічні та неієрархічні граfi понять для презентації результатів пошуку. У [56] пропонується автоматизоване анування текстів у вигляді карт понять та їх використання в інтерфейсах системи дослідницького пошуку по колекції документів.

**Інтерактивні карти понять.** У попередніх роботах пропонується використання інтерактивних карт понять в навчальному середовищі [46, 58]. Тут ми пропонуємо інтерфейс системи, що реалізує карту понять у вигляді інтерактивного графу з функціями зміни масштабу, пошуку понять на граfi, навігації та опрацювання взаємодії користувача з візуалізованими об'єктами. Надається функція відображення сукупної текстово-медійної інформації про поняття-вершину в граfi, що ґрунтується на відображенні відповідних тез понять [46, 58] (рис. 1.9). У [58] застосовуються інтерактивні карти для презентації вмісту розділів та окремих статей у вигляді графів, що відображають структуру контенту та містять гіперпосилання на відповідні ділянки.

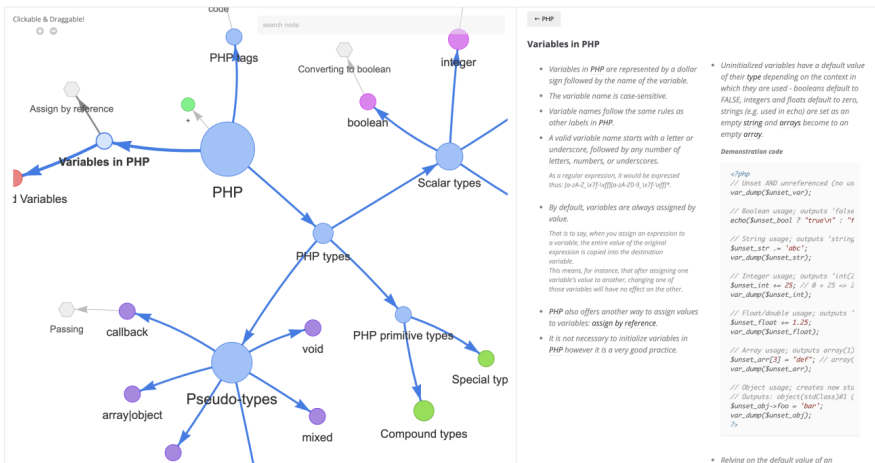


Рис. 1.9. Інтерактивна карта понять [46, 58]

У [59] пропонується застосовувати інтерактивність до карт понять в цифровому навчальному середовищі. Зокрема тут пропонується надавати природомовні пояснення для ребер-відношень між поняттями у відповідь на відповідні маніпуляції користувачів з картою понять. У [60] розглядається підхід до використання в навчальному процесі інтерактивних карт понять, які конструюють учні за допомогою мобільних пристроїв. Інтерфейс системи передбачає можливість зворотного зв'язку, коментування карт, додаткову інформацію до карт, що вказує на відповідні навчальні матеріали. Робота за картами на мобільних пристроях повинна передбачати відповідні інтерфейси користувача, що забезпечать зручне виконання інтерактивних функцій та перегляду карт з урахуванням особливостей та обмежень гаджетів. У [61] пропонується застосування інтерактивних карт понять для доступу до колекцій інформаційних ресурсів в цифрових бібліотеках з навчальною метою. Такі інтерфейси допомагають користувачам залишатись сфокусованими на науковому контенті, що відповідає їх інформаційно-пошуковій дослідницькій меті та менше відволікається на технічні аспекти пошуку [61].

**Комплексні рішення.** Д. Новак [39] висловлює ідею навчального середовища з комплексним застосуванням карт понять. Великий

науково-практичний інтерес зумовлює актуальність побудови навчальних систем з широким застосуванням графових інтерфейсів та карт понять для презентації навчальної інформації, навігації в навчальному середовищі, пошуку інформації в картах понять та зв'язних ресурсах, дослідницького огляду предметної області, міждисциплінарної інтеграції, конспектування, колективної взаємодії та представлення власних досліджень предметної області навчання. У роботах [46, 58] ми представляємо спробу розробки комплексного підходу до використання карт понять в онтологічно-орієнтованому інформаційно-навчальному порталі. Автоматизована побудова карт понять інтегрується з методами семантичної формалізації контенту, карти понять здійснюють підтримку навігації навчальними ресурсами та застосовують текстово-медійне анотування вершин на базі інтерактивного інтерфейсу [46, 58]. Задача автоматизації побудови карт понять для інтегрованих багатоаспектних рішень в навчальних системах залишається актуальною задачею.

### **Вимоги до сучасних інтерактивних карт понять в інформаційно-навчальних системах**

Грунтуючись на попередніх дослідженнях [62] та зважаючи на ефективність карт понять для вирішення різних освітніх задач, пропонується розвивати використання карт понять в онтологічно-орієнтованих інформаційно-навчальних системах, зосереджуючись на пошуку комплексних рішень, що дозволять оптимізувати трудові та обчислювальні витрати. На основі здійсненого огляду, формулюються наступні вимоги до інтерактивних карт понять в інформаційно-навчальних системах.

**Автоматизація побудови інтерактивних карт понять.** Приділяється багато уваги автоматизації побудови карт понять [56, 59]. Натомість спроби автоматичної побудови карт-резюме на основі тексту мають свої обмеження та потребують додаткового пошуку балансу автоматичної обробки та редагування експертом з метою досягнення найбільшої дидактичної адекватності. В попередній роботі [46] пропонується комплексне рішення з формалізації контенту, яке має багатофункціональне застосування для навчальної системи, у тому числі для автоматизованої побудови інтерактивних карт понять. Такий підхід вважається перспективним з точки зору балансу трудових витрат та дидактичної релевантності.

**Наявність широких навігаційних можливостей та зменшення когнітивного навантаження.** Аналіз, поданий вище, свідчить про великі можливості карт понять для реалізації концептуально-орієнтованої навігації освітніми ресурсами. Разом з тим концептуалізація великих об'ємів інформаційно-навчального контенту передбачає значні когнітивні навантаження при використанні відповідних графових візуалізацій. Актуальним тут є пошук ефективних механізмів контекстуалізованого відображення фрагментів концептуальних графів, що дозволить зменшити смислове перевантаження карт та за допомогою інтерактивних інтерфейсних засобів надасть можливість подальшої деталізації та заглиблення в предметну область шляхом відображення відповідних підграфів та гілок.

**Реалізація міжпредметних зв'язків.** У [62] ми зазначали важливість опрацювання та використання міжпредметних зв'язків в інформаційно-навчальних системах, що ставлять за мету підтримку безперервного навчання. Карти понять є наочним методом візуалізації зв'язків, у тому числі міждисциплінарних. Натомість викликом тут є відмінність термінологічних контекстів в навчальних ресурсах з різних предметних галузей та багатозначність термінів при їх міждисциплінарному застосуванні. Цю проблему відповідним чином мають адресувати карти понять, що застосовуються до багатопредметних інформаційно-навчальних сховищ.

**Природомовне та медійне анутовання елементів карти, що включає опис вершин та ребер.** У [39, 51] та інших роботах пропонується та описується функція інтерактивності карт, що передбачає навігаційний зв'язок між ділянкою графового відображення та медійно-текстовим контентом, що пояснює відповідне поняття чи структуру. Подібна функціональність значним чином розширює можливості презентації інформаційно-навчального контенту з використанням карт понять. Анотований опис ребер в [59] є дидактично значущим прийомом, що допоможе користувачам аналізувати поняття у співвідношенні одне з одним. Широке застосування інтерактивного контентного супроводження графової структури в нашій роботі [46, 58] продемонструвало свою практичну корисність та підтверджує актуальність розвитку таких функціональних можливостей в інтерактивних картах понять.

**Комплексне застосування графових інтерфейсів та карт понять в інтерактивних навчальних середовищах.** Ефективність ві-

дображення складних концептуальних структур та суджень у вигляді графових візуалізацій зумовило популярність та багатогранність застосування карт понять в освітній галузі та інформаційних системах. З іншого боку особливості та усталені форми гіпермедіа-контенту, а також професійна галузь, що досліджує зручність користувацького досвіду (UI/UX), разом формують виклик до пошуку ефективних форматів для широкого застосування інтерактивних карт понять в інформаційно-навчальних системах. Ведеться мова не лише про концептуальну презентацію ділянок контенту, а й більш широке застосування карт понять як інтерфейсних рішень для навігації інформаційно-навчальними ресурсами. Так, в [58] ми робимо спроби подавати альтернативні стандартному гіпертексту способи огляду структури навчального курсу та окремих сторінок у вигляді графів, вузли яких представляють розділи та частини контенту та є дієвими гіперпосиланнями на ці ділянки.

**Адаптація інтерфейсів до мобільних пристроїв.** Впевнена тенденція до переважного використання мобільних пристроїв порівняно з настільними комп'ютерами [63] зумовлює актуальність адаптації інтерфейсів інформаційно-навчальних систем до програмно-апаратних можливостей смартфонів. У [60] звертається увага на особливості організації інтерфейсу при конструюванні карти поняття з використанням мобільного пристрою. Застосування інтерактивних карт понять в межах мобільних систем є значним викликом з точки зору UI/UX і зумовлює пошук оптимальних рішень для забезпечення зручної людино-машинної взаємодії.

### **Висновки щодо застосування карт понять в інформаційно-навчальних системах**

Кarti понять спираються на значущі підвалини когнітивної і педагогічної психології, комп'ютерної лінгвістики та інженерії знань. Ефективність опису міркувань та концептуальних відношень у контексті їх сприйняття людиною зумовила широке застосування карт понять у навчанні: від конструювання карт учнями до презентації початкової інформації слухачам. Цифрові формати, технології гіпермедіа та значні можливості людино-машинної взаємодії в інформаційних системах стали ефективним підґрунтям для розробки і дослідження інтерактивних карт понять для їх широкого застосування в інформаційно-навчальних системах.

Карти понять використовуються тут як засіб осмисленого навчання при їх конструюванні учнями, застосовуються для оцінювання знань, а також як засоби навігації інформаційними ресурсами. Крім цього, карти понять в навчальних системах використовуються для презентації знань користувачам, служать як інтерфейси в процесі дослідницького пошуку та огляду предметних областей навчання. Інформаційні системи забезпечують збагачення карт понять засобами інтерактивності, що дозволяє диверсифікувати та розширити їх використання. Викликом тут є пошук комплексних рішень, що дозволять зменшити обчислювальні та трудові витрати на багатофункціональне застосування карт понять в інформаційно-навчальних системах.

На базі аналізу сформовано ключові вимоги до інтерактивних карт понять в сучасних інформаційно-навчальних системах, що включають автоматизацію побудови інтерактивних карт понять, наявність широких навігаційних можливостей разом із контролем когнітивного навантаження, реалізацію міжпредметних зв'язків, медійне анотування елементів карти, комплексне застосування графових інтерфейсів для різних частин системи та адаптацію до мобільних пристроїв. Поточна реалізація інтерактивних карт, що слідує окресленим вимогам представлена на ресурсі [58] та описано в роботі [46].

#### **1.2.4. Вимоги до сучасних інформаційно-навчальних Web-систем**

Огляд основних технологій адаптивних і інтелектуальних навчальних систем дозволяє зробити висновки щодо особливостей застосування таких технологій в контексті побудови інформаційно-навчальних Web-порталів. Одну з проблем багатьох систем можна виразити як принцип *«повного інтелектуального керівництва»* — тенденції повного контролю над навчальним процесом. Система, будучи педагогічно свідомою, намагається все зробити за користувача і має тенденцію займати позицію повної влади над навчальним процесом. Доцільнішим вбачається підхід за принципом *«інтелектуального партнерства»*, коли система, маючи педагогічну свідомість, спрямовує користувача у дусі радника і надає йому найширші можливості для *самостійної адаптації* свого навчання. Це дозволяє використати «для допомоги штучному інтелекту» системи природний інтелект користу-

вача, що, без сумніву, стане вагомим внеском в ефективність навчання і досить сильно демократизує освітній процес, що відповідає вимогам безперервного навчання.

Крім цього, зважаючи на аналіз особливостей безперервної освіти, слід зауважити, що розглянуті адаптивні і інтелектуальні навчальні системи не приділяють достатньо безпосередньої уваги деяким специфічним вимогам БН: відповідність архітектури системи явищу «інформаційного вибуху», професійна спрямованість навчання, міждисциплінарність знань.

Проблема *невідповідності архітектури явищу «інформаційного вибуху»* [50]. В той час, як адаптивні і інтелектуальні навчальні системи сконцентровані на проблемах всередині курсу, часто поза увагою залишається той факт, що існує потреба в інтенсивній підтримці великої кількості курсів, які потрібно постійно створювати у відповідь на розширення цільових для навчання знань. Ця вимога відображається на функціональність засобів створення і збереження навчальних ресурсів, та є передумовою для розробки засобів індивідуалізованого доступу користувачів до затребуваної навчальної інформації. Ця проблема також виражається як проблема систем із закритим типом контенту [22].

*Професійна спрямованість навчання* передбачає відповідність кадровим потребам підприємств, зв'язок навчання із посадовими обов'язками. Ця потреба описується як актуальність і релевантність навчання та орієнтація на негайне застосування отриманих знань. Більшість адаптивних і інтелектуальних систем навчання не розглядають такі сутності як посада, професія, компетенція і їх зв'язок із навчальними ресурсами. Не зважаючи на те, що велика кількість систем мають на меті передачу процедурних знань (так звані тренажери), цей клас систем не відповідає завданню систематизації інформаційних навчальних ресурсів у гнучкій відповідності до посадових або професійних обов'язків. Деякі системи класу підтримки виробничої діяльності застосовують модель задач для налаштування навчання [24, 25]. Web-системи побудови ІНП повинні розвинути і розповсюдити цей досвід для підтримки безперервного навчання.

Вимога *міждисциплінарності знань*, що мають бути засвоєні в процесі навчання пов'язана із професійною спрямованістю і відображає необхідність цілісного навчання для певної посадової або профе-

сійної позиції. Цим знову підкреслюється недостатність лише одного погляду всередину курсу, потрібен міждисциплінарний рівень. Тому в інформаційно-навчальних Web-системах, орієнтованих на безперервне навчання, слід передбачити наявність єдиної багатопредметної бази навчальних матеріалів, існування в ній міждисциплінарних зв'язків, а також засобів побудови індивідуального міждисциплінарного навчального середовища.

Таким чином ключовими освітніми вимогами до сучасних інформаційно-навчальних Web-систем побудови ІНП є наступні:

- багатопредметність і міждисциплінарність інформаційно-навчального Web-контенту;
- забезпечення моделей контенту засобами моделювання кадрових і виробничих задач та компетенцій;
- наявність методів автоматизованої побудови індивідуальних навчальних середовищ із функцією контролю і діагностики знань, а також багатоплановим застосуванням інтерактивних карт понять.

### **1.3. Синтез проблем керування знаннями і керування контентом**

Категорія знання відіграє ключову роль як у навчальному процесі, так і в інтелектуальних системах, тому задача подання, моделювання і керування знаннями в навчальній системі набуває особливої значущості. Проблеми моделювання знань в інтелектуальних системах широко розглядаються в роботах [26-28]. Разом із поширенням досягнень у галузі штучного інтелекту (ШІ), підсилюються намагання науковців використовувати вже розроблені технології цієї галузі спеціально для потреб освіти. Застосування досягнень ШІ у навчанні і викладанні сприяє розвитку окремого дослідницького напрямку із відповідними специфічними для цієї області проблемами. Створюються наукові співтовариства [65, 66], що займаються дослідженням освітніх процесів і застосуванням технологій ШІ у комп'ютерних системах навчання. Класично дослідження ШІ намагаються пояснити і зрозуміти людський розум, щоб змоделювати його роботу на комп'ютері для вирішення задач у певній предметній області, натомість штучний інтелект у навчанні людини робить ще більший виклик дослідникам,

тому що ставить перед інтелектуальною системою подвійну задачу — по-перше «розумітися» у предметній області і по-друге «розумітися» у тому, як навчати людину. Херберт А. Сімон зазначає: «Якщо ми зрозуміємо людський розум, ми почнемо розуміти, що ми можемо зробити із освітньою технологією» [67]. Таким чином проблема моделювання людських міркувань підсилюється ще складнішою проблемою навчання людини.

*Знання* є однією із ключових категорій у дослідженнях ШІ. Як результат галузь ШІ і когнітологія пропонують різні моделі для імітації і формалізації людських знань. У контексті освіти питання подання знань також набуває значущості, так як основною ланкою педагогічного процесу є передача знань і їх засвоєння учнями. На відміну від когнітології, керованої областю традиційних досліджень ШІ, подання знань в *освітній* системі має спиратися також на дидактику і інші педагогічні напрямки. Таким чином проблема створення моделі подання знань для педагогічних цілей набуває свого власного незалежного значення на стику галузей ШІ і Інтернет-освіти.

Як зазначається у [68], ШІ і когнітивна наука повинні займатися усією сукупністю процесів пов'язаних із навчанням, що повинно включати моделювання роботи учителів і суб'єктів навчання, пояснення вивчення і навчання як складової людської системи обробки інформації. Рамеш Джайн підкреслює значущість природної мови для процесу репрезентації знань: «Мова є мовою подання знань» [69]. Дійсно, не зважаючи на досягнення в області інженерії знань, очевидним залишається той факт, що людська мова володіє неперевершеною виразністю у поданні знань. Під час розробки інтелектуальної освітньої системи з'являється завдання об'єднання технологій подання знань у ШІ із технологіями, які зберігають природну силу неформалізованої людської мови. Зважаючи на це постає необхідність розмежувати завдання моделювання знань в ШІ і моделювання знань в контексті комп'ютерного навчання, щоб отримати підґрунтя для їх подальшого синтезу і взаємної інтеграції. Для цього розглянемо ключові технології подання і керування знаннями з галузі ШІ та інших галузей, які застосовуються в контексті навчання.

### **1.3.1. Технології подання і керування знаннями в навчальних системах**

Представимо основні технічні застосування інтелектуальних та інформаційних технологій для подання і керування знаннями в комп'ютерному навчанні, які набули поширення в дослідженнях і на практиці. Кожна з перелічених далі технологій має свої переваги та недоліки і застосовується в контексті різних задач, пов'язаних із навчанням.

**Експертні системи.** Разом із винаходом експертних систем, бази знань (БЗ) яких будувалися як продукційні системи на основі продукційних правил, робочої пам'яті та механізму логічного виведення, було започатковано багато досліджень по застосуванню таких систем для комп'ютерного навчання. Інтелектуальні навчаючі системи (Intelligent Tutoring Systems) будували свої бази знань на основі експертних систем, прикладом тут є система GUIDON [70], автор якої використав медичну експертну систему MYCIN як основу для комп'ютерного викладання в своїй системі [70]. Численні намагання, незважаючи на успіхи, виявили ряд принципових недоліків у застосуванні такого методу подання знань. Перш за все було виявлено, що експертні системи не в змозі відобразити усі знання експерта [71]. Експертні системи були побудовані для продуктивності, не для викладання або пояснення. В той час як експертні системи підтримують механізми виведення, формалізуючи задля цього необхідні правила, вони відкидають елементи знань, що не є необхідними для вирішення задач, такі як, наприклад первинні принципи, або базові поняття, що в свою чергу є дуже важливими в педагогічному контексті. З педагогічної точки зору здатність запам'ятати і застосувати певний набір процедурних правил є менш значущим порівняно із розумінням смислу і походження таких рішень. Загалом комп'ютерні репетитори на базі експертних систем мають тенденцію володіти відносно «тонкими» знаннями предметної області і тому, вони здатні передати розуміння навчальних тем студентам лише поверхнево.

**Інтерактивні середовища вивчення.** Інтерактивні середовища вивчення (ICB, англ. Interactive Learning Environments, ILS) та їх представники, мікросвіти (Microworlds), виникають разом із розвитком комп'ютерних технологій як альтернативний до інтелектуальних навчаючих систем підхід. Такі системи важко класифікувати та аналізу-

вати в контексті подання та моделювання знань у зв'язку з особливостями їх архітектури і функціональних можливостей, тим не менше вони грають важливу роль і заслуговують на огляд.

Тоді як інтелектуальні навчаючі системи мають тенденцію повністю контролювати навчальний процес, ІСВ реалізують спосіб навчання, головним ініціатором в якому є студент, який вчиться за допомогою методу дослідження. За допомогою спроектованих у ІСВ об'єктивних властивостей світу, студенти мають змогу вивчати його, досліджуючи ці властивості і відношення [71, 72].

Таким чином ІСВ намагаються представити студенту частину світу, яка лежить в полі його педагогічних інтересів, надавши йому відповідний інструментарій для зміни параметрів і спостереження. При цьому тут майже не використовується дидактичний вплив на навчання. Дослідницький процес, його інтенсивність, спрямування довіряється самому суб'єкту навчання — студенту.

ІСВ і мікросвіти є прибічниками зміни акцентів в технології навчання, що відбуваються під впливом нових технологій, застосованих для освіти. Основними освітніми принципами *конструктивізму* ІСВ є такі [71]: *конструювання*, а не інструктування — студенти ефективніше вчать конструюючи свої знання самостійно, а не під контролем інструкторів; *студентський контроль*, а не контроль наставницький — студент має переважне право контролювати своє навчання, наставник, або тьютор, виступає у ролі помічника; *індивідуалізація визначається студентом*, а не викладачем — тут наставник не має виключного суверенного права повністю контролювати те, як проходить індивідуалізація навчання для потреб студента, студент по меншій мірі бере часткову участь у цьому процесі; *багата реакція*, зворотній зв'язок системи генерується на основі взаємодії студента із середовищем вивчання, а не наставником — інформація і поведінка системи мають створюватись у більшій мірі у відповідь на вибори і дії студента, аніж як розповіді, що генеруються наставником.

Щодо моделювання і формалізації знань, то вони закладаються в реалізацію самої системи і відображаються в її поведінці і реакціях на взаємодію з користувачем, імітуючи предметну область. У даному випадку моделювання знань носить дещо ширше поняття, аніж мова чи формальна модель подання знань. Тут моделлю виступає вся система, від її програмного ядра до інтерфейсу і графіки.

ІСВ мають ряд недоліків. По-перше, це сам метод навчання через дослідження. Такий метод із його скромним дидактичним впливом має ризик не досягти цілей навчання. Навчання може бути неефективним, коли студент обере невірний шлях вивчення, так як ІСВ надають студентам великий простір для досліджень. Також ІСВ переживають труднощі у визначенні і оцінюванні результатів навчання. Крім усього іншого такі системи є дуже складними для програмної реалізації, а коли мова іде про Інтернет-освіту, їх застосування виявляється особливо ускладненим через саму архітектуру і обмеження мережі Інтернет.

**Семантичні мережі.** Семантичні мережі є однією із класичних універсальних моделей подання знань у ШІ. Цей підхід має багато застосувань у побудові систем навчання. Основною ідеєю семантичних мереж є так звана тріада: суб'єкт — відношення — об'єкт. За допомогою тріад формується семантична мережа, яка формалізує об'єкти реального світу і відношення між ними.

Особливого поштовху в освіті ця технологія набула разом із створенням концепції Semantic Web (SW) [73, 74], яка об'єднує стати новим еволюційним витком Всесвітньої Мережі Інтернет (WWW). Подання знань в SW ґрунтується на технології семантичних мереж.

Спеціально для підтримки досліджень Semantic Web для Інтернет-освіти створена наукова спільнота SW-El (Semantic Web for E-Learning) [75]. Вона займається питаннями створення онтологій для освіти та визначенням концепцій для освітніх Інтернет-систем у рамках досліджень SW.

На відміну від експертних систем, що мають змогу маніпулювати процедурними знаннями і правилами, семантичні мережі вміють «міркувати» навчальними поняттями і об'єктами, що дає ширші можливості для передачі і керування знаннями на рівні смислу та формування когнітивних моделей освітнього процесу і учня. Це, серед іншого, дає можливість застосовувати семантичні мережі для організації контролю знань студентів у навчальній системі [76, 77].

Одним з основних недоліків застосування семантичних мереж для подання знань з навчальної області є висока трудомісткість самого процесу створення адекватної мережі [78]. Технологія семантичних мереж вимагає для їх ефективного застосування подання повної картини області — так звана проблема «*всеосвіченості*» системи [71], — тобто необхідно виконати формалізацію усіх об'єктів і відношень між

ними, що часом може викликати серйозні труднощі та бути неоправданим з дидактичної точки зору.

**Гіпертекст.** Гіпертекст це — мережа текстів. Гіпертекстом називають будь-який текст, у якому виявляються які-небудь посилання на інші фрагменти. Показовим прикладом є Біблія, подана як гіпертекст із безліччю взаємних відсилань до різних глав і рядків документа, у зв'язку з тим, що багато подій, що відбуваються, описуються відразу групою авторів.

У літературознавстві гіпертекст — це така форма організації текстового матеріалу, при якій його одиниці представлені не в лінійній послідовності, а як система явно зазначених можливих переходів, зв'язків між ними. Дотримуючись цих зв'язків, можна читати матеріал у будь-якому порядку, формуючи різні лінійні тексти (визначення російського вченого, піонера в області розвитку вітчизняних гіпертекстових систем, М.М. Суботіна).

На початку 90-х років Тім Бернерс-Лі розробив протокол НТТР (Hypertext transfer protocol), що дозволив зв'язати між собою документи, розміщені на одному або на декількох комп'ютерах, підключених до мережі Інтернет. Ця гіпертекстова мережа документів відома як Всесвітня Мережа WWW. Сам Бернерс-Лі [79] описував Всесвітню Мережу як абстрактний простір інформації. WWW робить мережу корисною, оскільки люди насправді цікавляться інформацією і не хочуть нічого знати про проводи і комп'ютери. Подібний інформаційний простір на основі WWW надає широкі можливості для організації навчання і публікації навчальних ресурсів.

Теодор Нельсон, який запропонував сам термін «гіпертекст», неодноразово підкреслював, що гіпертекст у його розумінні не є ієрархічною структурою. З його погляду, знак рівності, що ставлять між поняттями «ієрархія» і «структура», являє собою популярний міф. Живі форми інформаційних структур не можуть бути вірно представлені ієрархією. Такі структури як паралелізм, перехресні зв'язки, взаємне проникнення і одночасна присутність одного елемента в декількох місцях не можуть бути передані ієрархією. Гіпертекст бачиться Нельсону як мультиагентне співтовариство, усередині якого існують складні неієрархічні відносини між агентами. Подібне бачення є адекватним також і для природи навчальних дисциплін і системи знань, яку ці дисципліни відображають.

Властивості гіпертексту і особливості Інтернету сприяли їх широкому застосуванню в освітньому контексті. Модель гіпертексту дозволяє успішно вирішувати задачі навігації і візуалізації контенту. Однак слабка структурованість і відсутність типізації даних поданих гіпертекстовою моделлю, суттєво обмежує можливості їх програмного опрацювання, а це, в свою чергу, негативно відображається на функціональних можливостях навчальних систем. Тому модель гіпертексту слід використовувати як засіб навігації і візуалізації навчальної інформації, сама ж навчальна інформація і знання повинні формалізуватися на основі додаткових семантичних моделей.

**Аналіз текстів та інформаційний пошук.** Абсолютно інший підхід являє собою ряд технологій, пов'язаних з аналізом інформації і інформаційним пошуком, що активно застосовуються в Інтернеті. В даному випадку знання безпосередньо не формалізуються, а зберігаються в текстовому вигляді. Натомість основний акцент робиться на механізмах видобування і пошуку необхідної (релевантної) навчальної інформації. Технології інтелектуального аналізу інформації, інформаційного пошуку та інформаційної фільтрації, будучи дуже популярними в області інформаційних систем, не використовувалися раніше у навчальному контексті. Об'єм навчального вмісту був порівняно невеликим, і потреба спрямовувати користувача до найбільш підходящого матеріалу з легкістю підтримувалася адаптивним плануванням курсу навчання і технологіями адаптивних гіпермедіа-систем. Однак потреба побудови великих інформаційних освітніх систем, що обслуговуватимуть широкий спектр навчальних дисциплін, та Інтернет з його великою кількістю неіндексованих відкритих освітніх ресурсів зробив ці технології дуже привабливими для розробників сучасних систем освіти. MLTutor [80] представляє один з перших цікавих прикладів застосування фільтрації інформації на основі вмісту у навчанні. Навчальний приклад сумісницької адаптивної фільтрації можна знайти у WebCOBALT [81, 82].

Серед прогресивних напрямків розвитку даних технологій *інтелектуальний лінгвістичний аналіз*, який дозволить ширше використовувати можливості природної мови для побудови пошукових запитів; а також застосування *адаптивності* у методах пошуку і фільтрації, що включає побудову моделей користувачів [83]. Майбутні сценарії пошуку і фільтрації повинні включати інструменти, здатні «розуміти»,

чого бажає користувач, щоб більш точно оцінювати релевантність документу його потребам, і щоб «слухати» та «навчатись» від користувача, коли він надає корисний зворотний зв'язок під час взаємодії.

Серед переваг підходу аналізу тексту і інформаційного пошуку відносна простота процесу додавання в систему нових знань — фактичне додавання текстових документів. У даному випадку персонал освітньої системи загалом не бере безпосередньої участі у детальній формалізації навчальної інформації на відміну від експертних систем і семантичних мереж. Такі системи не володіють типовим недоліком навчальних систем, заснованих на класичних моделях знань ШІ, який можна охарактеризувати як вимогу «*всеосвіченості*» системи в предметній області навчання. Така вимога часом суттєво ускладнює керування навчальними курсами, зменшуючи їх гнучкість і мобільність. У даному випадку аналіз текстів і інформаційний пошук у певних освітніх задачах може надавати ефективніші результати. Такі методи можна застосовувати для пошуку специфічної навчальної інформації, що відповідає навчальним цілям учня, а також для адаптивного подання навчального матеріалу і фільтрації елементів, які не відповідають навчальним потребам учня або групи учнів.

Недоліком застосування таких підходів є їх природна обмеженість, пов'язана із слабкою формалізацією і структуризацією навчальної інформації. Методи аналізу і пошуку інформації слід використовувати разом із іншими технологічними рішеннями по збереженню і керуванню знаннями в навчальній системі.

В табл. 1.3. представлено порівняння згаданих технологій подання і керування знаннями в навчальних системах.

**Узагальнення.** Освітня система нового покоління робить виклик традиційним формам і методам навчання. Відкривши для себе комп'ютерні технології, працюючи над проблемою штучного інтелекту філософськи і практично, людство намагається «перекласти» частину відповідальності за власну освіту на комп'ютерні системи. Проте складність і багатогранність людини як суб'єкту навчання не може в повній мірі втілитися як модель у комп'ютерній системі. Завдання тут полягає у тому, щоб хоча б частково підтримати і забезпечити освітній процес системами ШІ, що у певному наближенні «розуміються» на аспектах навчання людини. Одним із таких аспектів і є власне передача знань, передача оптимальної навчальної інформації, що розкриє

учневі навчальний предмет. Проста передача неформалізованих статичних електронних матеріалів не здатна забезпечити достатньо ефективний процес навчання. Комп'ютерна система має стати суб'єктом керування процесом передачі знань, радником для людини-педагога і людини-учня, помічником і виконавцем, залишивши позаду просту роль інформаційного посередника. Що для цього потрібно? По-перше, система має «розуміти» той предмет, який подається для вивчення. По-друге система повинна «розумітися» у дидактиці, тобто знати, яким чином цей предмет викласти учневі, враховуючи його індивідуальні характеристики.

Таблиця. 1.3.

**Порівняння технологій подання і керування знаннями в навчальних системах.**

| Технологія  | Особливості і переваги  | Недоліки  |
|---|---|---|
| Експертні системи та створені на їх основі інтелектуальні навчальні системи | Ефективні для розв'язку практичних задач. Підтримують механізми виведення, формалізуючи задля цього необхідні правила, тому підходять для навчання процедурним навичкам.  | Експертні системи не в змозі відобразити усі знання експерта. Відкидають елементи знань, що не є необхідними для вирішення задач, такі як, наприклад, первинні принципи, або базові поняття, що в свою чергу є дуже важливими в педагогічному контексті. Передають розуміння навчальних тем студентам лише поверхнево [71]. Мають тенденцію повністю контролювати навчальний процес.  |
| Інтерактивні середовища вивчення (ІСВ) і мікросвіти                         | За допомогою спроектованих у ІСВ об'єктивних властивостей світу, студенти мають змогу вивчати його, досліджуючи ці властивості і відношення [71, 72]. Втілюють переваги конструктивізму в педагогіці, забезпечуючи такий спосіб навчання, головним ініціатором в якому є студент, який вчиться за допомогою методу дослідження. | Тут майже не використовується дидактичний вплив на навчання. Такий метод із його скромним дидактичним впливом має ризик не досягти цілей навчання. ІСВ переживають труднощі у визначенні і оцінюванні результатів навчання. Такі системи є дуже складними для програмної реалізації, а коли мова іде про Інтернет-освіту, їх застосування виявляється особливо ускладненим через саму архітектуру і обмеження мережі Інтернет |

| Технологія                            | Особливості і переваги  | Недоліки  |
|---------------------------------------|---|---|
| Семантичні мережі                     | Формалізують об'єкти реального світу і відношення між ними.<br>Вміють «міркувати» навчальними поняттями і об'єктами, що дає ширші можливості для передачі і керування знаннями на рівні смислу та формування когнітивних моделей освітнього процесу і учня.   | Велика трудомісткість процесу створення адекватної семантичної мережі. Технологія семантичних мереж вимагає для їх ефективного застосування подання повної картини області — так звана проблема « <i>всеосвіченості</i> » системи [71] — тобто необхідно виконати формалізацію усіх об'єктів і відношень між ними, що часом може викликати серйозні труднощі, і крім цього часто призводить до формалізації знань, що в даному навчальному контексті не мають дидактичної важливості. |
| Гіпертекст                            | Дозволяє гнучко представляти навчальні матеріали з урахуванням таких особливостей як паралелізм, перехресні зв'язки, взаємне проникнення і одночасна присутність одного елемента в декількох місцях, що не може бути передано строгою ієрархією.<br>Дозволяє успішно вирішувати задачі навігації і візуалізації контенту. | Слабка структурованість і відсутність типізації даних поданих гіпертекстовою моделлю, суттєво обмежує можливості їх програмного опрацювання, а це, в свою чергу, негативно відображається на функціональних можливостях навчальної системи.<br>Тому модель гіпертексту слід використовувати як засіб навігації і візуалізації навчальної інформації, сама ж навчальна інформація і знання повинні формалізуватися на основі додаткових семантичних моделей.                           |
| Аналіз текстів та інформаційний пошук | Знання безпосередньо не формалізуються, а зберігаються в текстовому вигляді. Основний акцент робиться на механізмах видобування і пошуку необхідної (релевантної) навчальної інформації.  | Недоліком застосування таких підходів є їх природна обмеженість, пов'язана із слабкою формалізацією і структурізацією навчальної інформації. Тому методи аналізу і пошуку інформації слід використовувати разом із іншими технологічними рішеннями.   |

Проаналізуємо та класифікуємо у контексті подання знань в освітньому процесі різні загальнонаукові та прикладні технічні течії, що займаються питаннями мови та знання. Першим підходом до подання знань буде такий, що передбачає створення так званої філософської або семантичної мови, умовно назвемо його *когнітивно-семантичним* підходом. Такий підхід апелює власне до смислу, до його представлення в людському розумі, не бажаючи залежати від конкретної природної мови людини чи, тим більше, від дидактичних проблем пере-

дачі знань. Інший підхід більш мовно-орієнтований і пов'язаний з класичними дидактичними методами, що ґрунтуються на текстуальному представленні знань у навчанні, умовно назвемо його *мовно-дидактичним підходом* [84, 85]. Урахування цієї класифікації дає змогу розрізнити відмінність завдань моделювання знань в контексті класичної задачі штучного інтелекту і задачі моделювання знань для освіти, що дуже важливо під час побудови інтелектуальних систем навчання.

### **1.3.2. Аналіз і синтез підходів до подання знань в інформаційно-навчальних Web-системах**

**Когнітивно-семантичний підхід.** Цей підхід можна також охарактеризувати як *модель «Знати»* [84]. До особливостей підходу слід віднести такі: 1) служить для моделювання знань людини; 2) орієнтується на розв'язання задач (а не на навчання); 3) має на меті створення формальної мови, не залежної від природної мови, але придатної для комп'ютерної обробки. Класично дослідження в області штучного інтелекту прагнули створити таку мову подання знань, яка б не залежала від людської мови і була придатна для комп'ютерних маніпуляцій — так звану філософську мову, метамову, семантичну мову або семантичну модель знань. Створивши її, людині слід буде пройти процес передачі або формалізації своїх знань у цю внутрішню модель знань системи, після чого система буде здатна вирішувати конкретні завдання на основі отриманих знань. Зважаючи на досягнення і значні успіхи таких штучних мов для розв'язання деяких завдань, слід однак зазначити, що такий підхід виявляється дуже неефективним при зворотному процесі передачі знань від системи до людини — у процесі освіти людини. Причиною є нездатність системи «говорити» звичною для людини мовою подання знань — її природною мовою. Отже заपुरкою ефективності навчальної системи має стати її вміння доносити закладені знання за допомогою природної мови. Очевидним також є те, що формалізувати абсолютно все знання, до того ж дидактично представлене, без застосування «чистої» людської мови буде неможливо. З другого боку тут виникає так звана проблема «всеосвіченості», у результаті якої відбувається формалізація таких аспектів предметної області, які не мають дидактичної значимості, тим самим ускладнюючи як побудову БЗ, так і її застосування для навчання. Тож слід

шукати подальші шляхи інтелектуалізації навчальних систем у контексті освітніх вимог. До когнітивно-семантичного підходу можемо віднести наступні наукові напрямки: когнітологію, класичні підходи подання знань у штучному інтелекті, такі як семантичні мережі, фрейми, експертні системи, продукційні і логічні моделі тощо.

**Мовно-дидактичний підхід.** Такий підхід представляє *модель «Навчати»* [84]. До особливостей підходу слід віднести такі: 1) ґрунтується на природній мові, як основному засобі передачі знань; 2) бере до уваги такі галузі як дидактика, теорія тексту, герменевтика, лінгвістика, інформаційний пошук та аналіз текстів, поняття гіпертексту; 3) має на меті забезпечити такий процес передачі знань, який задовольнить освітні потреби учня. Мовно-дидактичний підхід має забезпечити процес подання знань, що ґрунтується на поточних освітніх потребах суб'єкта навчання — учня. В той час, як *когнітивно-семантичний підхід* намагається зробити точний знімок всієї предметної області, відобразивши її в усіх аспектах і залежностях, *мовно-дидактичний*, застосовуючи текст, прагне виявити, яку саме частину знань про навчальний предмет і яким саме чином слід подати користувачу так, щоб матеріал був найкраще засвоєним і найбільш ефективним з точки зору дидактичних цілей. Тут велике значення мають положення теорії тексту. З точки зору цієї теорії кожен текст обов'язково розрахований на сприйняття кимось. У тексті укладена мовнорозумова діяльність пишучого (мовця) суб'єкта, розрахована на відповідну діяльність читача (слухача), на його сприйняття. Важливе значення тут відіграють такі поняття, як комунікативність тексту, мовна компетенція. Для адекватної репрезентації тексту у комп'ютерній системі допоможуть уявлення про мікро- і макроструктуру, про одиниці тексту і його класифікацію. Важливий внесок у дидактичний підхід має зробити *герменевтика*. Так як ця наука займається тлумаченням тексту, її положення можна застосувати для тлумачення тексту у розумінні його формалізації в комп'ютерній системі. Такі поняття, як контекст, ключові слова в тексті, основна думка автора мають допомогти вірним чином формалізувати знання, що знаходяться в тексті для їх подальшого подання і застосування для перевірки знань учнів.

Важливим питанням, яким має оперувати дидактичний підхід є проблема лінійності — лінійності навчання, лінійності навчального тексту, що подається учневі. *Лінійна* структура розгортання тексту і

глибинна структура повідомлення неадекватні, і тому ця відповідність/невідповідність повинна бути регульованою [86]. Коли мова іде про індивідуалізоване навчання, регулятором тут має виступати стан підготовленості учня. На відміну від підручника, комп'ютерна система повинна забезпечити адекватне до знань студента подання навчального матеріалу. Тут лінійність класичного друкованого тексту має бути подолана. У цьому питанні має допомогти поняття гіпертексту.

**Проблема синтезу підходів.** Підсумовуючи, зазначимо, семантичне подання знання, яким воно є (тобто когнітивне), і дидактичне подання знань — це різні підходи і методики. Адаже це різне — *знати* і *навчати*. Модель «Знати» — це модель знань, що містяться у нашому розумі (когнітивні аспекти, аспекти класичного ШІ). Модель «Навчати» (передавати знання іншому) — це модель того, як слід подати знання, щоб вони були засвоєні (тобто стали вмістом у моделі «Знати») — це дидактика і, до певної міри, когнітологія лише у аспекті сприйняття знань. З другого боку дидактичне подання знань повинно витікати із подання семантичного, або когнітивного. Тобто, коли мова йде про інтелектуальну навчальну систему, тоді система по-перше повинна сприйняти знання і «засвоїти» їх, по-друге на основі бази знань система повинна вміти будувати дидактичні подання знань для різних груп учнів. Тобто слід сумістити семантику і дидактику, слід сумістити і пов'язати два різних підходи до організації знань [84, 85].

У цьому контексті звернемо увагу на сучасний розвиток гіпертекстової мережі Інтернет. На сьогодні, як відомо, її розробники зіткнулися із схожою проблемою, коли текстуальне подання перестало задовольняти потреби, і намітилася тенденція до об'єднання текстуальної частини із семантичною, завдяки додаванню в гіпертекст семантичних даних і створення онтології [73] предметної області, метою якої є репрезентація знань для їх комп'ютерної обробки. Проте, проблемою тут є незв'язаність і потенційна невідповідність семантики і тексту. Тобто немає природного зв'язку і відповідності між текстом, що виражає певні знання природною мовою, і смислом, який задає семантика. За їх адекватність відповідає розробник, а це породжує загрозу невідповідності тексту і семантичних даних.

Таким чином є потреба у глибшій з лінгвістичної, мовної точки зору моделі подання знань, яка б могла об'єднати міць комп'ютерних розрахунків (тобто комп'ютерних міркувань) і в той же час не відки-

нула б виразності і універсальності неформалізованої природної мови для передачі знань. Така модель повинна об'єднати надбання досліджень інженерії знань у штучному інтелекті із дидактикою, теорією тексту, герменевтикою та іншими науками, застосовуючи і розвиваючи переваги гіпертексту. Тут необхідно знайти баланс між формалізованими знаннями і знаннями, поданими як є, в тексті. Такий синтез технологій (рис. 1.10) з метою розробки семантичної моделі навчального контенту зможе стати передумовою для технічної реалізації інтелектуальної системи, яка стане партнером у педагогічному процесі і допоможе людині навчати людину ефективніше, примножуючи педагогічну діяльність [84].



Рис. 1.10. Синтез технологій, необхідний для розробки семантичної моделі інформаційно-навчального контенту

**Керування контентом як метод керування знаннями в інформаційно-навчальній Web-системі.** Завданням опрацювання знань у штучному інтелекті є передача знань від експерта до системи, яка неявні знання експерта формалізує завдяки моделі знань, перетворюючи їх у явні, тобто формалізовані, знання, які тепер стають доступними для комп'ютерного маніпулювання. Як правило, така передача знань відбувається по ланцюгу: експерт з предметної області — інженер по знанням — інтелектуальна система. Від експерта до інженера

передача відбувається *мовою комунікації*, тоді як інженер закладає знання в систему на *мові мислення*. Завданням інженера по знанням є розуміння мови комунікації експерта, що виражає його неявні знання, і переведення її на мову мислення системи, яка подає формалізовані знання.

Як слідує із огляду вище, певне поширення отримали системи, в яких робиться спроба, безпосередньо використовувати модель знань ШІ для організації освітніх процесів шляхом перенесення знань від БЗ до людини-учня. Аналізуючи застосування таких систем, можна зробити висновки про явну або неявну гіпотезу, яка має бути прийнята розробниками подібних систем: так як не існує можливості несвідомої передачі знань із комп'ютерної системи в інтелект людини-учня, обрана модель є *мовою комунікації* для учня.

На основі цієї гіпотези і її нескладного аналізу можна зробити висновки.

1. У випадку застосування моделей ШІ подана гіпотеза в загальному випадку хибна, так як моделі ШІ створюються, щоб подолати проблему комунікаційної мови людини і перейти до мови мислення.

2. Таким чином тут застосовується мова мислення для передачі знань, а такий підхід ігнорує здобутки і напрацювання дидактики, як науки, яка наголошує на тому, що існують спеціальні умови, способи навчання і методи передачі знань, за яких відбувається ефективно засвоєння знань учнем.

3. Застосування моделей ШІ у якості комунікації з учнем у загальному випадку є неефективним у зв'язку з невідповідністю області застосування моделі. Хоча проблема передачі знань у зворотному напрямку від системи до людини розглядається в експертних системах, а також як проблема вербалізації в нейронних мережах, подібні підходи є неефективними у загальному випадку навчання і можуть підійти лише для деяких специфічних навчальних цілей і видів навчальної діяльності, наприклад, таких як інформаційно-пошукова діяльність, діяльність з вивчення логічних кроків роботи експертної системи з базою знань, або діяльність з розробки інформаційних моделей навчального матеріалу [87]. Загалом же задача передачі знань в зворотному напрямку з метою підтримки навчального процесу не характерна для моделей подання знань в класичній постановці задачі ШІ.

Висновками аналізу будуть наступні.

1. Освітні системи вимагають такого підходу до проблеми моделювання знань, який свідомо врахує необхідність комунікації з учнем на мові, зрозумілій для нього, за допомогою застосування принципів і завдань дидактики

2. У зв'язку з тим, що універсальною мовою передачі знань для людини є природна мова, моделювання знань для освіти має спиратись на використання природної мови і активно використовувати текст, як спосіб передачі знань

3. Щоб реалізувати педагогічний принцип, який передбачає, що перш за все вчитель повинен володіти знаннями (не тільки на папері чи в конспекті), і вже потім передавати ці знання учням, слід збагатити навчальні системи, які виступають тут у ролі вчителя, семантичними моделями знань на основі ШІ. Натомість такі моделі повинні будуватися в контексті дидактичних задач, не перегромаджуючись нецільовою семантикою з одного боку і реалізуючи семантику, яка повинна підтримати задачі навчання з другого. Такий підхід повинен вирішити проблему «всеосвіченості», характерну для стандартних моделей ШІ, в результаті якої відбувається формалізація таких аспектів предметної області, які не мають дидактичної значимості, тим самим ускладнюючи як побудову БЗ, так і її застосування для навчання.

Моделювання знань, поданих в інформаційно-навчальному контенті, має відбуватись шляхом побудови семантичної моделі предметної області або онтології, структура якої орієнтується на специфічні задачі інформаційно-навчальних Web-систем. База знань системи повинна містити контент, тобто інформаційне наповнення, яке виражає знання мовою комунікації людини, і його онтологічно-орієнтовану формалізацію, а також володіти дидактичними функціями, які керують на основі онтології процесом постачання контенту користувачу.

Таким чином навчальна система повинна містити контент, тобто інформаційне наповнення, яке виражає знання мовою комунікації людини, і його *семантичну формалізацію* у вигляді онтології предметної області, а також володіти *дидактичними функціями*, які керують на основі семантики контенту процесом *постачання контенту* учневі (рис. 1.11).

Отже завдання моделювання знань в інформаційно-навчальній Web-системі зводиться до побудови онтологічно-орієнтованої моделі навчального контенту, що включає зазначені вище компоненти: 1) ін-

формаційне наповнення; 2) онтологію предметної області; 3) дидактичну функцію.

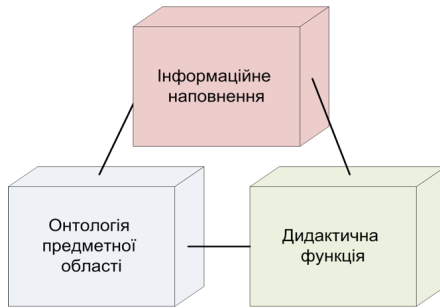


Рис. 1.11. Загальна модель навчального контенту

#### **1.4. Концептуальна архітектура системи керування інформаційно-навчальним Web-контентом**

В результаті здійсненого аналізу сформовано концептуальну схему системи керування контентом ІНП (рис. 1.12). Ключовими задачами в процесі створення такої системи є побудова моделі бази даних та знань, поданих в контенті, розробка структурно-алгоритмічних основ підсистеми побудови індивідуального навчального середовища та автоматизації тестування знань. Контент і його онтологічно-орієнтована формалізація зберігаються в БЗ і БД системи, для керування якими служать відповідні програмні засоби. Користувач отримує індивідуалізований доступ до ресурсів ІНП за допомогою підсистем організації освітнього запиту, побудови індивідуального навчального середовища, підсистеми керування навчанням і засобів доставки контенту.

На основі аналізу сучасних освітніх вимог до програмних систем керування інформаційно-навчальним Web-контентом і огляду методів інтелектуальних навчальних систем, а також з урахуванням концептуальних засад подання знань в інформаційно-навчальних Web-системах, ставиться задача розробити комплекс моделей і методів та реалізувати на їх основі програмні засоби онтологічно-орієнтованої системи керування Web-контентом інформаційно-навчальних порталів. Система повинна забезпечувати індивідуалізований доступ користувачів до затребуваних міждисциплінарних ресурсів ІНП, реалі-

зовуючи запропоновану концептуальну схему системи (рис. 1.12), що передбачає наступне:

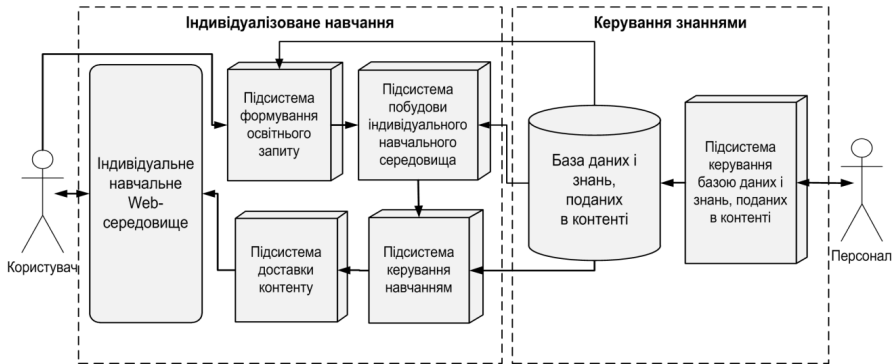


Рис. 1.12. Концептуальна схема програмної системи керування контентом ІНП

1) інформаційна структура програмного комплексу повинна забезпечити зберігання великої кількості багатопредметних навчальних ресурсів, підтримку міждисциплінарних зв'язків всередині інформаційно-навчального Web-контенту, семантичне моделювання предметних областей;

2) система повинна містити спеціалізовані програмні модулі керування і побудови онтології предметної області Web-контенту, яка повинна стати підґрунтям інтелектуального керування інформаційно-навчальними ресурсами Web-порталу;

3) програмна система повинна містити інструментальні засоби моделювання професійних компетенцій з метою подальшої індивідуалізації на цій основі навчального процесу і реалізації відповідності навчання професійним і кадровим потребам;

4) система повинна містити програмні засоби, що на основі онтології предметної області забезпечують генерацію індивідуального навчального Web-середовища і реалізують функції автоматизованого контролю знань, засоби автоматизації побудови тестових завдань та інструментарій багатоцільового застосування інтерактивних карт понять.

## **2. Структурно-алгоритмічні основи системи керування інформаційно-навчальним Web-контентом**

### **2.1. Дворівневий підхід до побудови програмної системи керування контентом інформаційно-навчального порталу**

Питання побудови ефективних систем керування професійною інформацією та підтримки безперервного навчання набуває особливої значущості в умовах екстенсивного розвитку науки і технологій. Дедалі більшого значення набуває корпоративне навчання, що організовується на підприємствах з метою навчання і професійного розвитку працівників. Найвищим капіталом організації є співробітники, а їх особистий розвиток і інтелект — найвищою технологією. У свою чергу у контексті навчання велика увага приділяється також технологіям керування знаннями (КЗ) організації [88, 89]. Знання організації — це різноманітна інформація, необхідна для підтримки основних бізнес-процесів організації на високому рівні, а також для адекватного реагування на різноманітні впливи [90]. Керування знаннями фокусується на тому, як організація визначає, створює, здобуває, розподіляє і застосовує знання.

Як корпоративне навчання, так і керування знаннями мають справу із обміном знаннями і створенням співтовариств, в яких розповсюджуються знання. Дистанційне навчання в контексті безперервної освіти і керування знаннями беруть свій початок від однакових задач: навчання, покращена здатність виконувати робочі завдання, здатність приймати ефективні рішення та позитивно впливати на навколишнє співтовариство. Пошуки шляхів синтезу обох процесів набувають значущості і мають потенціал оптимізувати процеси, пов'язані із знаннями, інтегруючи задачі керування знаннями і навчання.

Не зважаючи на спільні риси, дистанційне навчання у рамках підходів на базі класичних систем дистанційного навчання (СДН) і керування знаннями мають характерні відмінності. Узагальнюючи, слід вказати основні різниці у використанні і ставленні до знань у цих областях. Керування знаннями носить динамічний характер, подає актуальні у часі знання, проте часом ці знання не достатньо добре струк-

туровані і не підходять для безпосереднього використання у навчальних курсах. Натомість дистанційне навчання фокусується на поданні опрацьованих і добре структурованих знань за допомогою навчальних планів, які часто носять статичний характер. Недоліком тут є те, що такі знання з часом втрачають свіжість і актуальність, характерну для задач керування знаннями. Тому архітектура класичних систем дистанційного навчання погано задовольняє вимоги до процесів керування знаннями. Такі провідні системи дистанційного навчання як WebCT і Blackboard створені у більшій мірі для підтримки класної діяльності, аніж для незалежних досліджень або самонавчання в контексті КЗ [88].

Експерти з керування знаннями, зазначаючи неефективність стандартних рішень систем дистанційного навчання для КЗ [88, 89, 91], рекомендують активно збагачувати ці системи виконанням ряду задач. Аналізуючи ці рекомендації, можна зазначити наступні додаткові вимоги до функціональності СДН у контексті КЗ:

- 1) робити експертів організації більш «видимими» один для одного, підтримуючи експертні співтовариства для обміну знаннями і досвідом;
- 2) застосовувати моделі компетенцій і профілів спеціалістів для удосконалення навчальних процесів та співробітництва для навчання;
- 3) єднати навчальні матеріали з реальними і актуальними сховищами знань;
- 4) підтримувати експертні співтовариства у створенні якісних навчальних об'єктів.

У свою чергу слід виділити наступні проблеми, характерні для застосування підходів керування знаннями для організації навчання:

- 1) структурування знань системи КЗ для забезпечення подальшої можливості використання цих знань у навчальних цілях в рамках навчальних програм;
- 2) генерація навчальних курсів і індивідуальних навчальних середовищ на основі ресурсів системи КЗ.

Доцільним для реалізації синтезу керування знаннями і безперервного навчання є застосування концепції, у якій керування знаннями відіграє роль сховища, або репозитарію, а процес навчання являє собою процес використання цього репозитарію.

Основною сутністю, матеріалом, яким маніпулюють СДН і системи КЗ є *контент*. Під контентом (від англ. content) прийнято розу-

міти будь-яке змістовне наповнення інформаційного ресурсу — тексти, графіка, мультимедіа. На Web-сайтах для кінцевого користувача контент організовується у вигляді сторінок засобами гіпертекстової розмітки. Інтенсивний розвиток Інтернету призвів до появи багатьох програмних систем, які автоматизують керування інформацією Web-сайтів і застосовують різноманітні методи організації і навігації Web-контентом, такі як каталогізація і рубрикація контенту, технології міток (тегів), організація меню, розділів і підрозділів сайту. Такі системи керування контентом, або CMS (content management systems) широко представлені на ринку. Навчальний Web-контент — це контент освітніх сайтів, порталів дистанційного навчання та інших Інтернет-систем, який використовується для передачі знань користувачам. У зв'язку із специфічними дидактичними завданнями СДН подання освітнього контенту не може бути в повноті задоволене звичайними CMS-системами. У зв'язку з цим набули поширення спеціальні класи систем, які служать для керування навчальним контентом і організації навчання: CMS — courseware management systems, системи керування курсами, LMS — learning management systems, системи керування навчанням, LCMS — learning content management systems, системи керування навчальним контентом, а також СДН — системи дистанційного навчання (термін СДН характерний для вітчизняних систем).

Класичні системи дистанційного навчання, такі як Blackboard, Learning Space, WebCT, Moodle та ін., не здатні забезпечити адаптивність процесу навчання, яка є однією з ключових вимог безперервної освіти [62]. У свою чергу в роботах, що стосуються інтелектуальних і адаптивних навчальних систем пропонуються розвинені моделі контенту і предметної області [93-95], проте тут не приділяється достатньої уваги процесу керування корпоративними знаннями в контексті безперервного і професійно-орієнтованого навчання [62], проблемам генерації індивідуальних навчальних курсів, а також питанням останніх тенденцій у сфері керування контентом Web-сайтів [96].

Модель освітнього процесу за вимогами безперервного навчання на базі керування знаннями повинна містити етап побудови і адаптивної підтримки релевантного навчального курсу [62], який можна розглядати як індивідуальне навчальне Web-середовище. Відповідна загальна функціональна модель Web-системи, що служить для побудови інформаційно-навчального порталу показана на рис. 2.1.

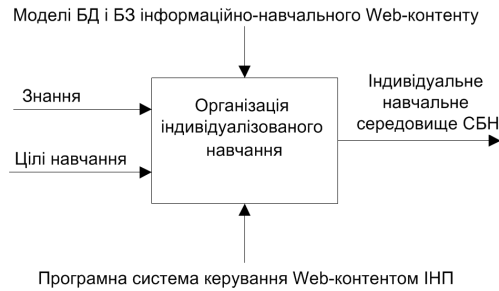


Рис. 2.1. Загальна функціональна модель системи у нотатції IDEF0

Тут на вхід поступають по-перше знання з предметної області і навчальні матеріали, що закладаються в систему персоналом, по-друге — індивідуальні навчальні цілі користувача. За допомогою внутрішніх моделей інформаційна система формує індивідуальне навчальне середовище. Підтримку індивідуалізації і адаптивності навчального процесу слід реалізовувати на основі інтелектуалізації контенту, яка має забезпечуватися на етапі його створення [92]. У свою чергу інтелектуальний контент має стати центральною сутністю для керування знаннями в контексті синтезу СДН і КЗ. Створена база формалізованого навчального контенту на етапі керування знаннями може використовуватись як Web-портал знань організації, на якому в структурованій формі представлено організаційні інформаційні ресурси. З другого боку така база завдяки застосуванню методів генерації індивідуального навчального середовища служить як підґрунтя для побудови релевантних навчальних курсів, що відповідають індивідуальним навчальним цілям учня, тим самим забезпечуючи індивідуалізований доступ користувачів до затребуваної інформації ІНП. Відповідна загальна функціональна модель такої системи, яка синтезує КЗ і БН, показана на рис. 2.2. Ця модель модифікує попередню (див. рис. 2.1). Зміни пов'язані з уточненням орієнтації системи на керування контентом і доповненням моделі на виході «Web-порталом знань», який являє безпосередній результат процесу КЗ.

У результаті декомпозиції поданої моделі з урахуванням розмежування процесів керування знаннями і індивідуалізованого навчання отримуємо функціональну модель, зображену на рис. 2.3.

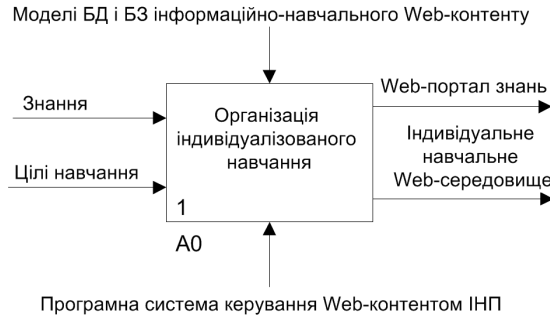


Рис. 2.2. Функціональна модель Web-системи у нотатції IDEF0, що передбачає роботу системи і як порталу знань організації, і як індивідуального навчального середовища

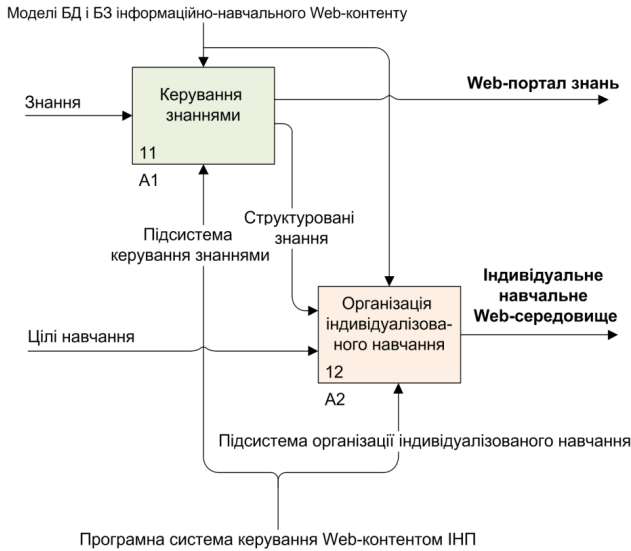


Рис. 2.3. Функціональна модель Web-системи у нотатції IDEF0, що передбачає роботу системи і як порталу знань організації, і як індивідуального навчального середовища

Для реалізації системи на основі поданої моделі пропонується комплекс моделей і методів як основа програмних засобів керування

навчальним Web-контентом [84, 97, 98]. Даний комплекс моделей містить такі компоненти як комплексна модель контенту, модель професійних компетенцій, модель контролю і діагностики знань, модель освітнього запиту і модель підсистеми генерації індивідуального навчального середовища. Завдяки цьому забезпечується функціонування інформаційно-навчальної Web-системи за концепцією, в якій керування знаннями відіграє роль підготовки репозитарію або *порталу знань*, а організація навчання відбувається на основі методів використання цього репозитарію у якості *генератора індивідуального навчального середовища* (ІНС) [99]. Таким чином реалізація такого підходу до побудови ІНП досягається шляхом розмежування роботи системи на два рівні: 1) рівень керування знаннями; 2) рівень організації індивідуального навчання. Керування знаннями має на меті формування дидактично-орієнтованої бази знань предметної області, по якій відбувається навчання. Організація індивідуального навчання відбувається на основі використання формалізованих знань, які отримуються на першому рівні роботи з системою, для побудови індивідуального навчального середовища. Здійснивши подальшу декомпозицію поданої вище моделі (див. рис. 2.2), представимо деталізовану функціональну модель системи (рис. 2.4).

Рівень *керування знаннями* передбачає виконання двох ключових функцій: формалізацію компетенцій і формалізацію контенту. Це відбувається на основі моделі компетенцій і комплексної моделі навчального Web-контенту відповідно. Таким чином формалізуються знання з предметної області за допомогою навчального контенту і його семантичної складової або онтології. Інформація ж про застосування цих знань в рамках виконання тих чи інших професійних задач або посадових інструкцій формалізується відповідно за допомогою моделі професійних компетенцій (МПК).

Рівень *організації індивідуалізованого навчання* містить послідовність двох ключових функцій: організацію освітнього запиту (ОЗ) і генерацію індивідуального навчального середовища (ІНС). На вхід процесу організації ОЗ надходять індивідуальні цілі навчання учня, що виражаються головним чином у наборі цільових компетенцій. На основі МПК підсистема організації освітнього запиту здійснює його формалізацію, після чого він надходить на вхід процесу генерації ІНС. Генератор ІНС, маніпулюючи за допомогою відповідної моделі струк-

турованими знаннями і освітнім запитом видає на виході сукупність індивідуалізованого Web-контенту, який разом із набором функцій підтримки навчання являє собою індивідуальне навчальне середовище.

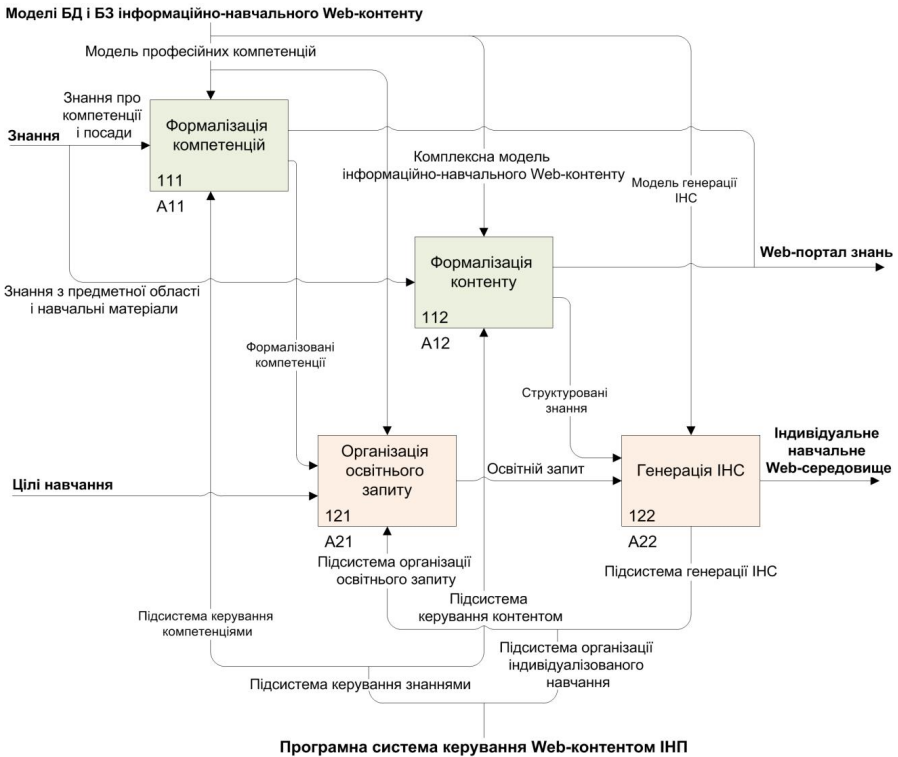


Рис. 2.4. Запропонована функціональна модель системи у нотації IDEF0

Ми розглянули функціональні моделі системи. Подамо структурний погляд на описану програмну систему. Концептуальна схема програмної системи керування Web-контентом ІНП подана вище на рис. 1.6. Діаграма компонентів у нотації UML, що описує комплекс моделей системи із розмежуванням функцій на два рівні — рівень КЗ і рівень організації індивідуального навчання, — представлена на рис. 2.5.

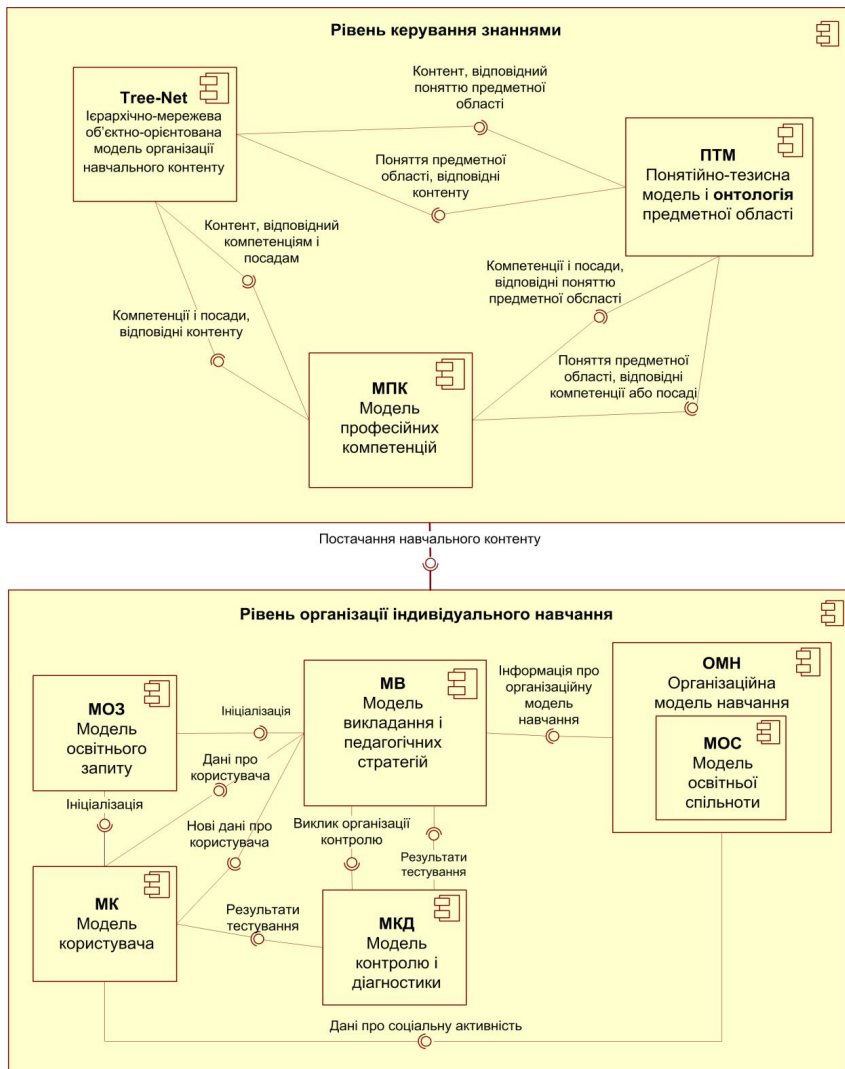


Рис. 2.5. Комплекс моделей системи керування контентом ІНП.  
 Діаграма компонентів у нотатції UML

Першим кроком до використання системи є підготовка дидактичних матеріалів. Далі ці матеріали формалізуються і передаються в

комплексну базу навчального контенту (рівень керування знаннями), яка представляється у відповідних моделях: понятійно-тезисній моделі (ПТМ) і ієрархічно-мережевій моделі об'єктно-орієнтованій (Tree-Net) навчального Web-контенту. Крім того, експертами готується система професійних компетенцій (МПК), і встановлюються зв'язки відповідності між компетенціями і елементами бази навчального контенту. Користувач взаємодіє з освітньою системою, і за допомогою системи професійних компетенцій формується запит на ініціалізацію освітнього процесу (МОЗ). Особливу роль відіграють моделі рівня організації індивідуального навчання, які маніпулюють закладеними в систему дидактично-орієнтованими знаннями предметної області і описом професій для формування індивідуального навчального середовища.

Навчальний процес відбувається за допомогою індивідуального навчального середовища на основі гіпертексту і гіпермедіа, що автоматично будується у процесі взаємодії користувача з системою (МВ). У процесі навчання і проходження студентом контролю знань (МКД) система акумулює знання про користувача (МК) і адаптується до його потреб за допомогою усіх складових бази знань (МВ). Організаційні і адміністративні аспекти, а також форма навчання налаштовуються у відповідній підсистемі (ОМН). Передбачається, що соціальна складова навчального процесу підтримується за допомогою організації освітньої Інтернет-спільноти на основі єдиної системи взаємодії учасників навчального процесу (МОС). Відповідно до загальної моделі контенту, поданої раніше (див. рис. 1.5), моделі будуть розподілені наступним чином: за *інформаційне наповнення* відповідає Tree-Net, а точніше така її складова, як ієрархія контенту; за семантику предметної області відповідають Tree-Net (ієрархія груп), ПТМ, онтологія Про на базі ПТМ і МПК; за дидактичну функцію — МОЗ, МК, МВ, МКД, ОМН. Робота з інформаційним наповненням і семантикою предметної області відповідає процесу *керування знаннями*. Дидактична функція системи реалізується на рівні *організації індивідуального навчання*.

## **2.2. Керування знаннями в інформаційно-навчальному порталі**

На рівні керування знаннями вирішуються такі задачі як структурування освітнього контенту, формалізація зв'язків і співвідношень між ділянками навчальних матеріалів, формалізація змісту навчаль-

них текстів, семантичне моделювання предметної області і побудова онтології для дидактичних цілей, а також моделювання компетенцій, професій та посадових інструкцій [62]. Ці завдання вирішуються на основі ієрархічно-мережевої об'єктно-орієнтованої моделі контенту Tree-Net, понятійно-тезисної моделі формалізації дидактичного тексту (ПТМ), методу автоматизованої побудови онтології ПрО і моделі професійних компетенцій (МПК). Далі подається опис зазначених моделей.

### **2.2.1. Ієрархічно-мережева об'єктно-орієнтована модель структури навчального Web-контенту**

Розроблена модель Web-контенту, що отримала назву Tree-Net, відповідає за структуру усієї сукупності інформаційно-навчальних матеріалів ІНП [100, 101] і є підґрунтям для інформаційної структури БД і БЗ програмної системи. Тут формалізується семантико-дидактична структура, зв'язки і співвідношення дидактичних матеріалів. Модель служить для керування знаннями на двох рівнях: 1) всередині певного тематичного ресурсу; 2) загальною сукупністю усіх інформаційно-навчальних ресурсів системи. Модель служить як безпосередня база для генерації і подання контенту навчального гіпермедіа-середовища. Задачі, які вирішуються на базі Tree-Net:

- ієрархічне і багаторівневе подання великих обсягів контенту по різним предметним областям;
- підтримка міжпредметних і різноманітних внутрішньо-предметних зв'язків [62];
- наявність широких можливостей по тематичному і асоціативному групуванню та сортуванню контенту;
- підтримка еволюційного розвитку інформаційно-навчального порталу, як необхідна складова в умовах явища «інформаційного вибуху»; доступність функціональності навіть при умові неповного опису [62];
- повторне використання контенту і організація нових навчальних курсів на основі існуючої інформації;
- підтримка процесу керування знаннями в контексті процесу безпервної освіти;
- реалізація широких можливостей керування і навігації Web-контентом в контексті сучасних підходів організації Інтернет-ресурсів

- сів, таких як каталогізація і рубрикація контенту, технології міток (тегів), організація меню, розділів і підрозділів сайту [96];
- інтеграція із іншими компонентами розроблюваної системи, серед яких понятійно-тезисна модель, як понятійна складова моделювання контенту, а також модель контролю і діагностики знань, модель студента, модель професійних компетенцій і модель освітнього запиту [96].

Tree-Net — ієрархічно-мережева об'єктно-орієнтована модель даних, яка є основою для формалізації і структурування інформації ІНП. Tree-Net являє собою сукупність двох ієрархічних структур — дерева елементів контенту і дерева тематичних груп. Між елементами контенту можуть встановлюватись бінарні зв'язки, що дозволяє окрім ієрархії пов'язати контент у мережу на основі асоціативності. *Дерево контенту* вказує на фізичне розташування контенту, це основна навігаційна модель контенту сайту. Роль *дерева тематичних груп* — подати ієрархію предметних областей. Елементи контенту можуть бути віднесені до однієї чи більше тематичних груп. Таким чином Tree-Net забезпечує як загальне структурування Web-контенту ІНП, так і подання його семантики завдяки моделюванню предметних областей. Схематично модель контенту Tree-Net зображено на рис. 2.6.

### Ієрархічна структура контенту

Опишемо ієрархічну складову структури контенту Tree-Net моделі.

Елементарним елементом контенту є *подання*, позначається —  $vi$ . Подання відповідає одній Web-сторінці сайту. Множина усіх елементів контенту:

$$V = \{v_i\}, \text{ де } i=1..n_v.$$

Ієрархічна структура контенту визначається тим, що кожен елемент може мати дочірні елементи, які в свою чергу також можуть мати дочірні елементи і так далі. Позначається відображенням:

$$Ch : V \rightarrow 2^V.$$

Таким чином множина безпосередніх дочірніх елементів для даного елемента контенту  $a$  позначається:

$Ch(a), a \in V.$

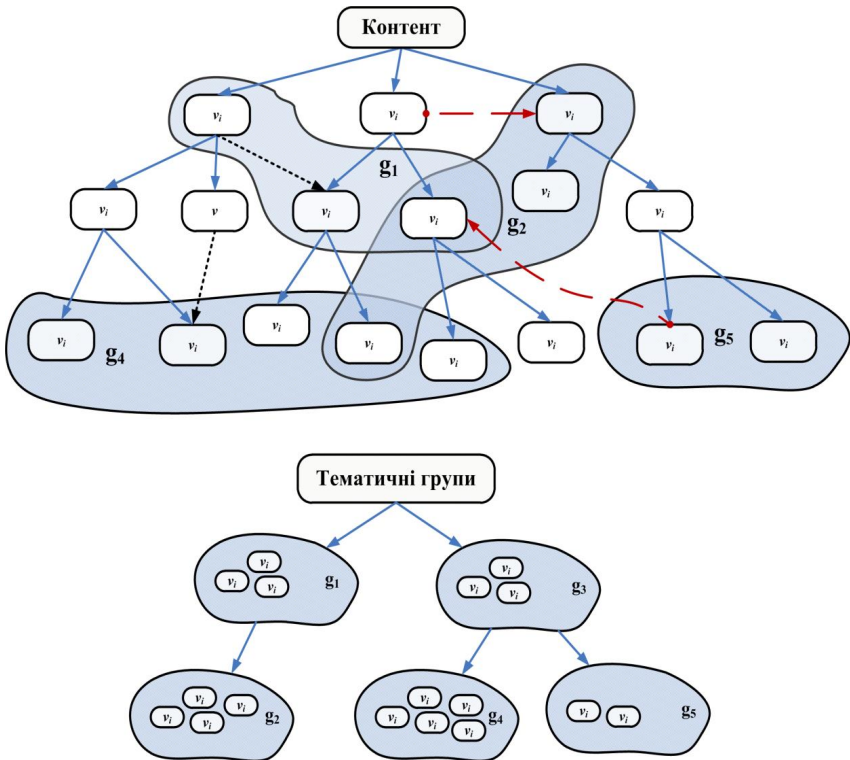


Рис. 2.6. Схематичне зображення Tree-Net моделі: дерево контенту і дерево тематичних груп

Відповідно до ієрархічної структури кожен елемент має один батьківський елемент, що задається відображенням:

$$F : V \rightarrow V.$$

При цьому у вершині ієрархії знаходиться абстрактний елемент  $v = default$ . Таким чином  $F(v)$  позначає батьківський елемент для елемента контенту  $v$ .

Множина усіх елементів-нащадків даного елемента  $e \in V$  являє собою послідовне об'єднання множин дочірніх елементів вглиб по ієрархічній структурі. Для визначення елементів-нащадків застосовуватимемо оператор:

$$Desc(e), e \in V.$$

Типи семантичних ролей елементів контенту описуються множиною:

$$VTypes = \{item, list, block\}.$$

Тут *item* означає звичайний елемент контенту, *list* — список, *block* — семантичний блок. Елемент-список передбачає, що основним контентом цього елемента є перелік анотованих посилань на його дочірні елементи. Елемент типу блок відповідає вершині семантичного блоку контенту, про що іде мова далі. Семантичні ролі елементів контенту задаються відношенням:

$$VType: V \rightarrow VTypes.$$

### **Семантичний блок контенту**

Семантичні блоки контенту є одним із засобів групування елементів контенту з метою моделювання різноманітних предметних областей. *Семантичний блок* — це множина елементів контенту, які мають логічну і структурну єдність, вони мають єдине джерело походження, наприклад одне авторство, і подають одну тему. Сюди можна віднести готові статичні курси, контент яких завантажено до системи. Фізично семантичний блок контенту є деякою гілкою у дереві контенту. Для створення нового семантичного блоку елемент, який стане його вершиною, спеціальним чином позначається як «блок», тоді усі його нащадки будуть віднесені до даного блоку. У такий спосіб створюється семантичний блок на основі деякої гілки у загальному дереві контенту. Приклад семантичних блоків зображено на рис. 2.7.

Множина елементів семантичного блоку визначається оператором  $Desc(v)$ , де  $v$  — вершина блоку у дереві контенту,  $VType(v) = block$ .

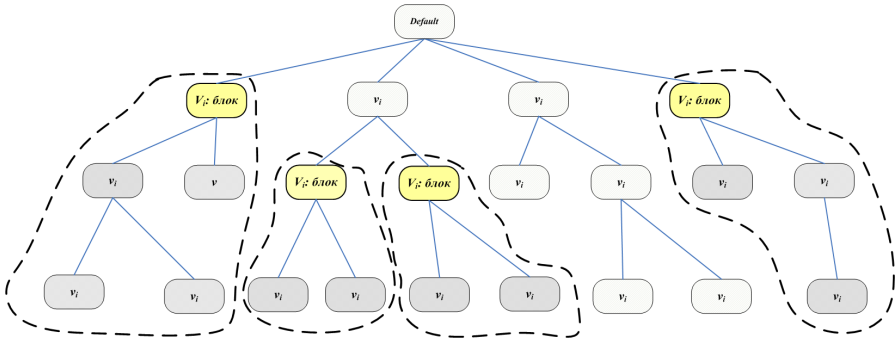


Рис. 2.7. Приклад семантичних блоків. Елементи, позначені як блок, стають частиною нового семантичного блоку разом із усіма їх нащадками

### Бінарні мережів зв'язки

Мережева структура контенту полягає у тому, що кожен елемент, окрім зв'язків ієрархії, може мати додаткові зв'язки із іншими елементами. Семантична роль таких мережевих зв'язків — відношення асоціативності. Таким чином, кожен елемент має сукупність пов'язаних із ним елементів. Така мережева структура задається відношенням:

$$N \subseteq V \times V.$$

Дане відношення задається квадратною ( $n_V \times n_V$ ) матрицею  $Nw = \|nw_{ij}\|$ , рядки і стовпці якої відповідають елементам контенту. Елемент матриці  $nw_{ij}$  числове вираження зв'язку елемента  $v_i$  з елементом  $v_j$ . Якщо  $nw_{ij}=0$  вважаємо що зв'язок між  $v_i$  з  $v_j$  відсутній, а  $(v_i, v_j) \notin N$ .

|       | $v_1$     | $v_2$     | $v_j$     | ... |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----|
| $v_1$ | -         | $nw_{12}$ | $nw_{1j}$ |     |
| $v_2$ | $nw_{21}$ | -         | $nw_{2j}$ |     |
| $v_i$ | $nw_{i1}$ | $nw_{i2}$ | -         |     |
| ...   |           |           |           |     |

Вважаємо, що елемент  $v$  може мати *прямі*, *обернені* і *взаємні* зв'язки з іншими елементами. При цьому взаємний зв'язок може бути

*симетричним*. Прямий зв'язок елемента  $v_k$  з елементом  $v_l$  існує якщо  $(v_k, v_l) \in N$ . Обернений зв'язок елемента  $v_k$  з елементом  $v_l$  існує якщо  $(v_l, v_k) \in N$ . Взаємний зв'язок елемента  $v_k$  з елементом  $v_l$  існує якщо  $(v_k, v_l) \in N \& (v_l, v_k) \in N$ . Взаємний зв'язок елемента  $v_k$  з елементом  $v_l$  є симетричним, якщо елементи матриці  $\|nw_{ij}\|$   $nw_{ki}$  і  $nw_{lk}$  рівні.

Різні групи елементів, з якими даний елемент  $v_k$  пов'язаний будемо позначати наступним чином:

- прямим зв'язком —  $Nfromv(v_k) = \{v_i: (v_k, v_i) \in N\}$ ,
- оберненим зв'язком —  $Ntov(v_k) = \{v_i: (v_i, v_k) \in N\}$ ,
- взаємним зв'язком —  $Ncomv(v_k) = \{v_i: (v_i, v_k) \in N \& (v_k, v_i) \in N\}$ ,
- симетричним зв'язком —  $Nsymv(v_k) = \{v_i: (v_i, v_k) \in N \& (v_k, v_i) \in N \& nw_{ik} = nw_{ki}\}$ ,
- усі пов'язані елементи —  $Nv(v_k) = Nfromv(v_k) \cup Ntov(v_k)$ .

### **Псевдоніми і повторне використання контенту**

Тенденції примноження інформації і знань ускладнюють однозначну каталогізацію інформаційних об'єктів. Одним з ефективних методів гнучкого управління контентом і побудови ефективної навігаційної схеми Web-сайту є технологія псевдонімів у запропонованій моделі контенту. Основним завданням цього методу є забезпечення повторного використання вже існуючого контенту для нових специфічних цілей. Відбувається це завдяки можливості розташувати вже існуючий в системі елемент контенту в іншому місті ієрархії. Подібне завдання виникає, наприклад, у випадках, коли цілий розділ або окрема сторінка певного навчального курсу розкриває деяку тему або питання у контексті іншого навчального курсу. Тут включення готової ділянки навчального контенту до нового курсу дасть змогу спростити і прискорити процес його формування. Щоб запобігти ситуацій, коли навчальна ділянка, позбавлена свого контексту, втрачає дидактичну ефективність, дану функцію слід застосовувати для таких елементів контенту, які у рамках предмету, що в них розглядається, володіють логічною завершеністю. З точки зору теорії графів відношення псевдонімів перетворюють дерево контенту на ациклічний орієнтований граф.

Сутність застосування технології псевдонімів полягає у встановленні відношень між двома елементами контенту, один з яких стає *джерелом* деяких своїх властивостей, а інший — їх *одержувачем*. Відношення псевдонімів описується наступним відображенням:

$$A: V \rightarrow V.$$

Таким чином кажемо, що елемент  $v_k$  є *псевдонімом* елемента  $v_l$  у тому разі, коли  $(v_k, v_l) \in A$ , при цьому  $v_k$  відіграє роль одержувача, а  $v_l$  — джерела.

Відношення «псевдонім» розділяється на такі *типи*: посилання, статична копія, динамічна копія, статична вибірка, динамічна вибірка. Тип відношення керує тим, які саме властивості елемента-джерела отримує елемент-одержувач. Сукупність типів являє собою множину:

$$ATypes = \{aLink, aCopy, aSelect, aDCopy, aDSelect\}.$$

Типізація відношення псевдонімів задається відображенням:

$$AType: A \rightarrow ATypes.$$

Розкриємо роль кожного з типів. *Відношення «посилання»*:  $AType(A_i) = aLink$  — елемент-одержувач приймає адресу (URL) елемента-джерела, тому фактично є посиланням на нього. Це відношення дає можливість забезпечити навігацію до вже існуючого елемента контенту через інше місце в ієрархії. Таким чином елемент-одержувач стає посиланням на джерело, тобто відсилає до іншого місця у ієрархії контенту.

*Статична копія*:  $AType(A_i) = aCopy$  — усі атрибути копіюються в момент створення, після чого якісний зв'язок із джерелом не потрібен. Від елемента-джерела використовується лише інформація про *бінарні* і *групові зв'язки*. Зміна атрибутів статичної копії відбувається безпосереднім чином і не має зв'язку із елементом-джерелом.

*Статична вибірка*:  $AType(A_i) = aSelect$  — Копіюється елемент як статична копія і його нащадки: для елемента копії створюються *нащадки* — *статичні копії* усіх нащадків елемента-джерела.

*Динамічна копія*:  $AType(A_i) = aDCopy$  — служить як постійно актуальна копія деякого елемента без його нащадків. Атрибути такого елемента безпосередньо видобуваються із елемента-джерела в кожен момент звернення. Допускається часткова зміна атрибутів динамічної копії із можливістю використання поновлювальних значень атрибутів джерела.

*Динамічна вибірка:  $A\text{Type}(A_i)=aD\text{Select}$*  — служить як постійна копія деякої гілки. Така вибірка є постійно актуальною копією елемента-джерела і всіх його нащадків, усі ієрархічні зміни гілки-джерела мають вплив на вибірку. Передбачається можливість зміни атрибутів і налаштування елементів і структури динамічної вибірки. Для зміни атрибутів в нащадках слід повторити/змінити ієрархію, створюючи елементи, починаючи від вершини динамічної вибірки, і внести необхідні значення атрибутів. При цьому створені елементи, нащадки динамічної копії, можуть самі бути динамічними або статичними копіями. У такий спосіб виконується гнучке налаштування вибірки.

### **Тематичні групи контенту і мережеві зв'язки на основі груп**

Тематичні групи служать для організації різноманітних міжпредметних і внутрішньооб'єктних зв'язків між елементами контенту. Тематичні групи використовуються для моделювання предметних областей, каталогізації, групування і вибірки асоціативного контенту. Організація тематичних груп відбувається у ієрархічній структурі. Це дозволяє вибудовувати таксономію предметних областей. Кожен елемент контенту може брати участь у довільній кількості тематичних груп. На основі тематичних груп визначаються зв'язки асоціативності між елементами контенту.

Множина  $G$  вказує на тематичні або асоціативні групи, в яких можуть брати участь елементи контенту.

$G = \{g_1, \dots, g_{n_G}\}$ , де  $n_G$  — кількість тематичних груп контенту.

Організація тематичних груп відбувається у ієрархічній структурі. Ієрархія груп визначається відображенням, яке ставить у відповідність кожній групі  $g_i$  множину її дочірніх елементів:

$$ChG: G \rightarrow 2^G.$$

Зауважимо, що кожна тематична група може мати лише одну батьківську групу. Відображення  $FG$  задає батьківство тематичних груп:

$$FG: G \rightarrow G.$$

Аналогічно, множина усіх груп-нащадків даної групи  $g \in G$  являє собою послідовне об'єднання множин дочірніх елементів вглиб по ієрархічній структурі. Для визначення груп-нащадків застосовуватимемо оператор  $DescG(g)$ ,  $g \in G$ .  $DescGG(A)$  — множина нащадків множини груп  $A \subseteq G$ . Визначається як послідовне об'єднання  $DescG(g_i)$ :

$$DescGG(A) = \cup (DescG(g_i)), \text{ де } g_i \in A, A \subseteq G.$$

*Генеалогічна лінія* групи  $g$  — це множина усіх її пращурів, визначається оператором  $AncG(g)$ ,  $g \in G$ . Генеалогічна лінія множини груп  $A \subseteq G$  позначається  $AncGG(A)$  і визначається як послідовне об'єднання  $AncG(g_i)$ :

$$AncGG(A) = \cup (AncG(g_i)), \text{ де } g_i \in A, A \subseteq G.$$

### **Елементи контенту і їх зв'язок з тематичними групами**

Тематичній групі відповідає набір елементів контенту, які входять до цієї групи, що задається відображенням:

$$VG: G \rightarrow 2^V.$$

Матриця  $GVW = //gvw_{ij}//$  задає це відношення, разом з тим зберігаючи міру відповідності або релевантності даного елемента групі. Так рядки матриці  $//gvw_{ij}//$  відповідають елементам контенту  $v_1, v_2, \dots, v_{nV}$ , а стовпці — групам  $g_1, g_2, \dots, g_{nG}$ . Таким чином для кожного елемента  $v_i$  (і-й рядок) задається множина груп  $\{g_j\}$  (стовпці), в яких даний елемент бере участь, при цьому ненульові елементи матриці  $gvw_{ij}$  вказують на міру відповідності елемента групі.

Завдяки семантичним ролям елементів контенту, заданим за допомогою  $VType$ , множина контенту, що стосується даної групи може бути автоматично розширена. До переліку елементів групи автоматично додаються дочірні елементи елемента-списку, а також усі нащадки елемента-блоку. Таким чином оператор визначення тематичних груп, до яких належить даний елемент контенту матиме наступний вигляд:

$$GV(v) = \{g: v \in VG(g) \vee (v \in Desc(v') \wedge v' \in VG(g) \wedge VType(v') = block) \vee (v \in Ch(v') \wedge v' \in VG(g) \wedge VType(v') = list)\}.$$

Введемо оператор, за допомогою якого будемо визначати множину елементів контенту, кожен з яких бере участь хоча б в одній групі із заданої множини груп. Тобто елементи контенту, що належать множині груп  $A \subseteq G$ , визначаються оператором:

$$VGG(A) = \{v: GV(v) \cap A \neq \emptyset\}.$$

Множину елементів контенту, які беруть участь у групі  $g$  або в деякій із її нащадків будемо називати *контентом гілки*  $g$ :

$$VGbr(g) = \{v: g \in GV(v) \text{ або } GV(v) \cap DescG(g) \neq \emptyset\}.$$

Множину елементів контенту, які беруть участь хоча б в одній групі із множини  $A \subseteq G$  або в деякій із її нащадків будемо називати *контентом множини гілок*  $A \subseteq G$ :

$$VGGbr(A) = \{v: v \in VGbr(g_i), \text{ де } g_i \in A \cup DescGG(A)\}.$$

### **Тематично-асоціативні елементи контенту**

На основі тематичних груп ми можемо визначати зв'язки асоціативності між елементами контенту. Виділяємо різні області асоціативності для елемента контенту: *найближче коло* тематично-асоціативного контенту елемента; *помірне*, або заглиблююче, коло тематично-асоціативного контенту; *широке*, тобто узагальнююче, коло тематично-асоціативного контенту.

*Найближче коло тематично-асоціативного контенту елемента*  $a$ ,  $a \in V$  — множина елементів контенту, які безпосередньо беруть участь у тих самих тематичних групах, що і даний елемент  $a$ ,  $a \in V$ . Служить для визначення сукупності найбільш близького за змістом контенту тієї ж тематики. Визначається оператором:

$$V_{narrowG}(a) = \{v: GV(v) \cap GV(a) \neq \emptyset\}.$$

*Помірне (заглиблююче) коло тематично-асоціативного контенту* елементу  $a$ ,  $a \in V$  — множина елементів контенту, які беруть участь в тих же групах, що й  $a$ , або в групах, що відповідно є *нащадками*. Служить для визначення набору контенту тієї ж тематики, у тому числі по темам вужчого специфічного характеру. Визначається оператором:

$$V_{mediumG}(a) = V_{narrowG}(a) \cup \{v: v \in VGGbr(G_a), \text{ де } G_a = GV(a)\}.$$

*Широке коло (узагальнююче) тематично-асоціативного контенту* елементу  $a$ ,  $a \in V$  — це множина елементів контенту, які беруть участь у тих же групах, що й  $a$ , а також таких елементів, які беруть участь у групах, які є послідовно *праццями* по лінії кожної групи з множини груп елементу  $a$ . Служить для визначення контенту тієї ж тематики і тематики більш загальної. Визначається оператором:

$$V_{wideG}(a) = V_{narrowG}(a) \cup \{v: v \in VGG(AncGG(G_a)), \text{ де } G_a = GV(a)\}.$$

*Повне коло тематично-асоціативного контенту* елементу  $a$ ,  $a \in V$  — це контент помірного тематично-асоціативного кола, об'єднаний із контентом широкого кола елементу  $a$ . Служить для визначення повного набору асоціативного контенту тієї ж тематики, а також споріднених тематик як більш загального, так і більш специфічного характеру.

$$V_{totalG}(a) = V_{mediumG}(a) \cup \{v: v \in VGG(AncGG(G_a)), \text{ де } G_a = GV(a)\}.$$

Величину яка вказуватиме на міру асоціативності двох елементів контенту  $vk$  і  $vl$  називатимемо асоціативною відстанню і позначатимемо *Diskl. Асоціативна відстань* (або тематично-асоціативна відстань) *Disij* служить для впорядкування, або сортування асоціативних елементів. Розрахунок цієї величини, окрім структури груп, має також врахувати бінарні зв'язки між елементами. Асоціативна відстань допоможе вибирати із усієї сукупності тематично-асоціативного контенту групи найближчих асоціативних елементів із заданою кількістю елементів в групі.

## **Передумови побудови індивідуального навчального середовища на основі пошуку асоціативного контенту**

Основою для підготовки індивідуального навчального середовища є визначення інтересів користувача і подальший відбір необхідного контенту. Розгалужена структура моделі контенту Tree-Net дає можливість гнучко управляти інформацією і створювати стратегії персонального подання контенту користувачу в залежності від його потреб.

Тут актуальним виявляється задача пошуку асоціативного контенту до деякої сторінки у випадку, коли інформація цієї сторінки цікавить користувача. Знаходження асоціативних елементів контенту даної Web-сторінки відбувається на основі джерел асоціативності. Нижче наведено джерела асоціативного контенту сторінки по порядку їх значимості:

1. Бінарні зв'язки між елементами контенту.
2. Елементи-члени тієї ж групи, до якої належить даний елемент.
3. Елементи того ж семантичного блоку контенту.
4. Елементи із дочірніх груп.
5. Елементи із батьківських груп.
6. Ієрархічні зв'язки у дереві контенту: дочірні елементи, батьківський елемент.

Набір елементів контенту, отриманий в результаті пошуку асоціативних сторінок можна подати структуровано за допомогою оператора *Roots*.

Робота оператора *Roots* полягає у пошуку на множині  $V' \subseteq V$  новоутворених незалежних коренів на основі відношень  $Ch$  і  $F$ , які описують ієрархію контенту. Потужність  $|Roots|$  вказуватиме на кількість утворених дерев на виборці  $V'$ . Приклад роботи оператора *Roots* зображено на рис. 2.8.

Новоутворені піддерева можуть розцінюватись як основа для індивідуальних навчальних курсів та за допомогою відношень псевдонімів — посилань, копій і вибірок, — можуть подаватись окремо у якості індивідуального гіпермедіа-середовища.

### **Висновки підрозділу**

Запропонована ієрархічно-мережева об'єктно-орієнтована модель структури навчального Web-контенту (Tree-Net) дозволяє комплексно підійти до вирішення завдань навчання і керування знаннями в межах ІНП. Tree-Net підтримує еволюційність у створенні Web-пор-

талу — дає можливість розробляти і накопичувати інформаційно-навчальний матеріал поступово, при цьому функції системи будуть доступні на кожному етапі. Таким чином вирішується проблема «всеосвіченості», характерна для випадків застосування жорстких моделей подання знань.

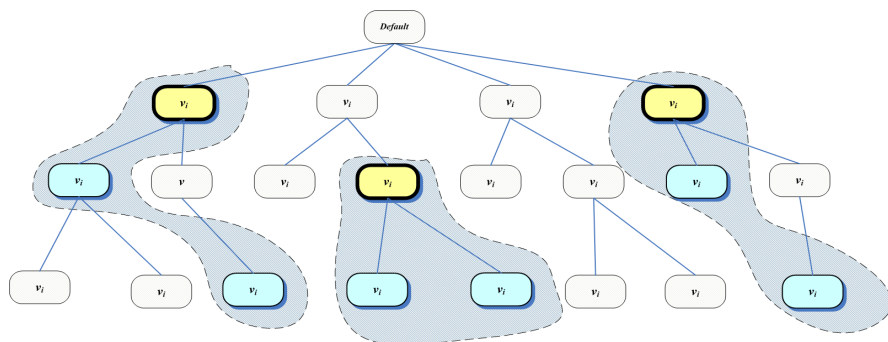


Рис. 2.8. Вибірка елементів і визначення вершин оператором Roots

Технологія вибірок і псевдонімів дозволяє повторно використовувати ділянки навчальних матеріалів для нових курсів і навчальних процесів. Tree-Net забезпечує гнучке конструювання нових навчальних курсів і програм на основі вже існуючого в системі контенту.

Семантична складова і дерево тематичних груп дає можливість вибудовувати ієрархію предметних областей. Використання цих даних дає можливість виконувати вибірку, фільтрацію, категоризацію і упорядкування навчального матеріалу на основі семантики вмісту. Все це сприяє використанню Tree-Net для побудови Web-системи керування знаннями.

Модель Web-контенту Tree-Net забезпечує зручні засоби навігації по освітньому контенту на базі WWW. Ієрархічні, бінарні і групові зв'язки між елементами контенту відповідним чином відображаються на елементах навігації. Таким чином користувач отримує широкі можливості для орієнтації і пошуку необхідної йому навчальної інформації і пояснень. Так, на основі груп реалізовано інтеграцію таких сучасних технологій побудови Інтернет-проектів як мітки і каталогізація

контенту разом із семантичними технологіями моделювання предметної області, що надає розширені навігаційні можливості користувачам Web-ресурсу на базі Tree-Net.

Різноманітні зв'язки елементів контенту міжпредметного і внутрішньопредметного характеру на базі запропонованої моделі дають можливість гнучко управляти освітнім контентом і моделювати специфічні області знань, визначаючи релевантну множину контенту, що відповідає інтересам користувача. Модель Tree-Net є основою для розробки методів генерації динамічних навчальних курсів для підтримки індивідуалізованого навчання в межах ІНП.

Ієрархічно-мережева об'єктно-орієнтована модель Tree-Net є складовою комплексної моделі системи керування інформаційно-навчальним Web-контентом, і разом із іншими компонентами формує методи індивідуалізованого доступу і засоби генерації персональних навчальних середовищ [97, 98, 100].

### **2.2.2. Формалізація понятійної складової Web-контенту і засоби побудови онтології предметної області**

Понятійно-тезисна модель (ПТМ) розроблена для формалізації дидактичного тексту і мультимедіа, що є вмістом інформаційно-навчальної програмної системи [99, 102–104]. ПТМ служить як засіб моделювання смислу контенту ІНП і відповідає за предметну формалізацію навчальних матеріалів. Навчальний текст формалізується шляхом виділення семантико-дидактичних елементів. Формалізація відбувається всередині навчального фрагменту з урахуванням загальної структури інформаційно-навчального Web-ресурсу. ПТМ є підґрунтям методу автоматизованої побудови онтології предметної області на основі стенфордської моделі нечіткого виведення. Модель використовується також для автоматизації побудови засобів контролю знань, що в свою чергу використовуються для адаптації навчального процесу. ПТМ надає засоби опису понятійної складової контенту і забезпечує основу для програмного інструментарію редагування і використання бази даних та знань ІНП.

Понятійно-тезисна модель (ПТМ) формалізації дидактичного тексту розроблялася на стику різних наукових галузей, серед яких інженерія знань як напрямок штучного інтелекту, педагогіка, а саме її

розділ — дидактика, що розкриває правила викладання, інтерпретація (герменевтика, екзегетика), що вивчає правила тлумачення текстів [105, 106], лінгвістика і її розділ семантика, що вивчають закономірності природної мови і проблеми, пов'язані зі змістом, значенням, і інтерпретацією лексичних одиниць. Інструментом реалізації ПТМ служать програмні технології розробки Web-систем.

В освітньому процесі можна виділити три складові: передача навчальної інформації, соціальна складова, що включає спілкування між учасниками освітнього процесу, практичні заняття. Найперша місія дистанційного навчання — спрощення і оптимізація передачі навчальної інформації від носія знань до студента. В традиційних формах навчання вихідною формою передачі інформації є вербальний спосіб (викладач читає лекцію). Натомість в дистанційному, віддаленому від викладача, навчанні основною формою передачі навчальної інформації стає текст, а точніше гіпертекст і мультимедіа вміст. Тобто основним транспортним засобом, або ж «протоколом» передачі знань є текст, в якому міститься навчальна інформація. Це і є головною підваленою понятійно-тезисної моделі. ПТМ має текстуальний характер, саме навчальний матеріал тут є основним джерелом знань. Понятійно-тезисна модель втілює принципи синтезу підходів до подання знань в навчальних системах — когнітивно-семантичного і мовно-дидактичного, — про необхідність чого йшлося в попередньому розділі.

Наріжним каменем структури моделі є така сутність як поняття, предмет обговорення, деякий об'єкт з предметної області, про який в навчальному матеріалі є знання. Для представлення знань про поняття в моделі існують структурні елементи — відомості про об'єкт (тези про поняття). З кожним поняттям в моделі пов'язується множина відомостей про нього.

**Поняття** вказує на деякий обговорюваний об'єкт з області знань, предмет, який представляється для вивчення студенту. Наприклад в курсі «Алгоритмічні мови програмування» можна виділити такі поняття: «процедура», «цикл», «програма», «змінна», «життєвий цикл програми» тощо. Для курсу «Програмування в середовищі Delphi» можна було б виділити такі поняття: «об'єкт», «подія», «клас», «форма», «компонент TEdit» та інше. На буквальному рівні поняття — це одне або кілька слів, які виражають предмет розгляду деякого фраг-

менту навчального матеріалу. Множина понять у системі позначається наступним чином:

$$C = \{c_1, \dots, c_{n1}\}.$$

**Теза** — це деяка відомість або твердження про поняття. Якщо поняття вказують на предмет курсів, то тези являють собою описово-сміслові наповнення бази знань, яке розкриває характер і властивості наявних понять. Тези, таким чином, зберігають в БЗ знання про поняття. Наведемо приклади: теза про поняття «процедура» — «дозволяє розбити програму на підпрограми»; теза про поняття «клас» — «може мати в своїй структурі не тільки поля-властивості, а й методи, тобто функції і процедури». Від повноти наборів тез понять, залежить наповненість бази знань, а отже і спроможність навчальної системи будувати ефективні засоби контролю знань, а також виявляти семантичні зв'язки між поняттями ПрО. На буквальному рівні теза являє собою одне або декілька речень, в яких мова іде безпосередньо про відповідне поняття, проте саме поняття тут словарно не фігурує. Теза отримується через опрацювання дидактично важливого речення в навчальному тексті шляхом вилучення того члену речення, який є поняттям в термінології ПТМ. Як правило у ролі поняття виступає підмет. При необхідності новоутворене неповне речення, яке приймає тут форму тези про поняття, може бути відредаговане на етапі його додавання в БЗ. Множина тез у системі позначається наступним чином:

$$T = \{t_1, \dots, t_{n2}\}.$$

Поняття і тези у сукупності будемо називати ПТ-елементами. Кожна теза стосується одного поняття. Цей зв'язок задається відношенням:

$$CT: T \rightarrow C.$$

У свою чергу кожне поняття може мати довільну кількість тез, що описується відношенням:

$$TC: C \rightarrow 2^T.$$

Як зазначалося вище, центральним носієм знань вважається навчальний матеріал. Тому виділення конкретних семантичних одиниць тісно пов'язане із процесом маніпулювання навчальним матеріалом. При підготовці методичних матеріалів дистанційного курсу весь матеріал в решті решт прийнято ділити на дрібні фрагменти, які також називають кадрами. Таким чином на кожному кроці видачі навчальної інформації студент отримує невеличкий фрагмент, що сприяє кращому зосередженню і сприйняттю поданого матеріалу. Поняття кадру або сторінки є дуже важливим в ПТМ. З його допомогою забезпечується зв'язок семантичних елементів ПТМ з навчальним матеріалом. ПТМ допускає різні реалізації структури навчального контенту, що дозволяє інтегрувати ПТМ із вже існуючими системами дистанційного навчання. Натомість ПТМ разом із іншими моделями є однією з складових запропонованої системи керування контентом ІНП [84, 97, 98], яка передбачає структурування навчального матеріалу за допомогою спеціальної моделі контенту Tree-Net [100], описаної раніше. Отже множина фрагментів або сторінок навчального контенту подається множиною:

$$V = \{v_1, \dots, v_{n3}\}.$$

Семантичні елементи ПТМ виділяється безпосередньо із тексту навчального фрагменту. Сам процес формування понятійно-тезисної бази фактично є осмисленим читанням навчального тексту разом із нескладними маніпуляціями щодо нього. Так, досліджуючи навчальний матеріал, експерт виділяє безпосередньо із тексту і додає в БЗ важливі навчальні поняття та їх тези. У результаті кожен фрагмент  $v_i$  може стати джерелом довільної кількості тез  $t_j$ , що задається відображенням:

$$TV: V \rightarrow 2^T.$$

Кожна  $t_j$ , у свою чергу, стосується одного навчального фрагменту  $v_i$ :

$$VT: T \rightarrow V.$$

Так як тези стосуються лише одного навчального фрагменту, з якого вони були добуті, тоді як поняття можуть стосуватись багатьох навчальних ділянок, зв'язок між поняттями і навчальним матеріалом забезпечується опосередковано через тези: поняття — теза — навчальний матеріал. Поняття, які стосуються даної навчальної ділянки, визначаються оператором:

$$CV(v) = \{c: TV(v) \cap TC(c) \neq \emptyset\}.$$

Відповідно навчальний матеріал, якого стосується дане поняття, визначається оператором:

$$VC(c) = \{v: TV(v) \cap TC(c) \neq \emptyset\}.$$

Схематичне зображення ділянки ПТМ у співвідношенні з навчальним матеріалом показано на рис. 2.9.

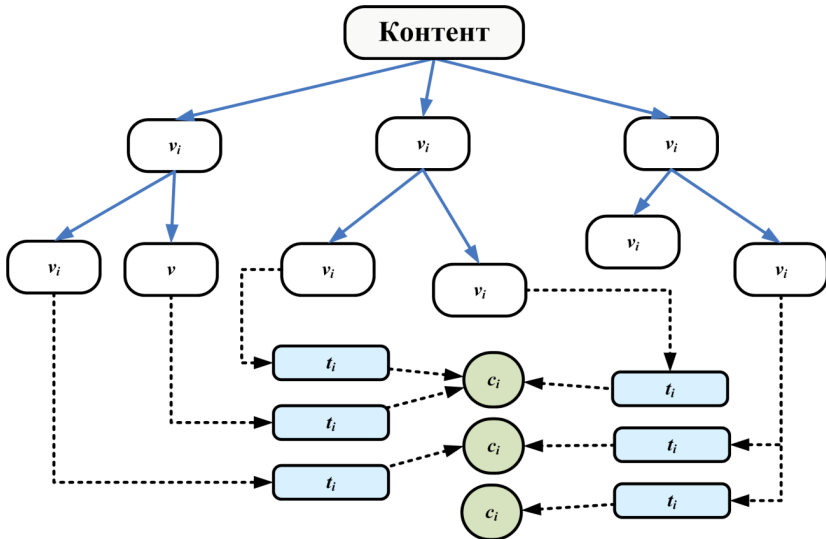


Рис. 2.9. Ділянка ПТМ у співвідношенні з навчальним матеріалом

## Класифікація тез і понять

Поняття і тези можуть бути віднесені до певних класів. Ця класифікація служить для збереження в БЗ інформації про смисловий або лексичний характер того чи іншого поняття чи тези. Класи понять і тез використовуються в алгоритмах побудови тестових завдань. Набір класів тез описується множиною:

$$TClasses = \{tDefinition, tDestination, tEssence, tSyntax, tGeneral, tList, tListItem, tImage, tSynonym, tAbbrev, tAbbrevDecode, tCode, tAttaching, tReverseEssence, tReverseGeneral\}$$

ПТМ передбачає можливість розширення множини *TClasses* користувацькими класами тез, що дозволяє розширювати модель і налаштовувати її для різних предметних областей. Дано опис базових класів *TClasses* в табл.2.1.

Таблиця 2.1

### Базові класи тез ПТМ

| Клас тези           | Опис   |
|---------------------|--|
| <i>tDefinition</i>  | Позначає тезу-визначення.  |
| <i>tDestination</i> | Позначає тезу-призначення. Теза-призначення містить інформацію про призначення або роль того чи іншого поняття.  |
| <i>tEssence</i>     | Описує так звану тезу-сутність, що служить для передачі деякої принципової характеристики поняття.   |
| <i>tSyntax</i>      | Позначає тезу-синтаксис, характерну для предметної області програмування. Теза-синтаксис містить синтаксис деякої конструкції або команди мови програмування.          |
| <i>tGeneral</i>     | Позначає загальну тезу, що подає відомість загального характеру про деяке поняття. Цей клас слід застосовувати у випадку, коли тезу не можна віднести до інших класів. |
| <i>tList</i>        | Позначає тезу-список, що служить для виділення із тексту деякого списку об'єктів або компонент, які подають вміст або склад відповідного поняття.                      |
| <i>tListItem</i>    | Позначає тезу, що разом із іншими тезами цього ж класу є елементами списку, заголовок якого міститься у відповідному понятті.  |

| Клас тези              | Опис   |
|------------------------|--|
| <i>tImage</i>          | Позначає тезу, яка зберігає зображення (шлях до файлу), заголовком якого міститься у відповідному понятті.   |
| <i>tSynonym</i>        | Позначає тезу, яка зберігає синонім відповідного поняття.  |
| <i>tAbbrev</i>         | Позначає тезу, яка містить абрєвіатуру відповідного поняття.   |
| <i>tAbbrevDecode</i>   | У випадку, коли поняття є абрєвіатурою, така теза позначає розшифровку цієї абрєвіатури.   |
| <i>tCode</i>           | Позначає тезу, яка подає програмний код.   |
| <i>tAttaching</i>      | Позначає службову тезу-прикріплення, яка вказує на те, що про відповідне поняття йде мова у фрагменті тексту.  |
| <i>tReverseEssence</i> | Така теза позначає, що поняття, до якого вона стосується є фоновим в контексті даного твердження, а основний дидактичний акцент належить поняттям, які вкладені в тезу. Сама теза передає деяку принципову відомість про вкладені поняття. |
| <i>tReverseGeneral</i> | Аналогічно до попереднього класу, теза цього класу стосується фонового поняття. Сама теза передає деяку загальну відомість про вкладені поняття.   |

Віднесення тези до певного класу відбувається завдяки відображенню:

$$TClass = T \rightarrow TClasses .$$

Поняття також як і тези класифікуються з метою віднесення їх до певної смислової групи. Множина класів понять:

$$CClasses = \{cGeneral, cActor, cObject, cProcess, cTech, cList, cCode\}.$$

Базовий набір класів містить такі класи:

- *cGeneral* — для позначення поняття загального типу;
- *cActor* — позначає дійову особу: людину або інституцію;
- *cObject* — позначає деякий об'єкт;
- *cProcess* — позначає деякий процес;
- *cTech* — позначає технологію;
- *cList* — позначає поняття, яке є заголовком списку, що поелементно розкривається за допомогою тез;

- *cCode* — для позначення поняття, яке подає текстовий заголовок програмного коду.

ПТМ передбачає можливість додавання класів для налаштування подання різних предметних областей. Поняття класифікуються за допомогою відображення:

$$CClass = C \rightarrow CClasses.$$

Таким чином ієрархічно-мережева модель контенту дозволяє структурувати знання ІНП завдяки ієрархічному розташуванню елементів, які подають знання у формі гіпермедіа-вмісту і формують так звані блоки знань, які об'єднуючись формують подання деякої області знань у системі. У той же час ПТМ надає погляд на контент зсередини, подаючи семантику всередині елементів контенту завдяки формалізації текстового вмісту за допомогою понять і тез. При цьому понятійно-тезисна база будується безпосередньо на основі навчального тексту, а не із зовнішніх джерел знань, що вирішує як саму проблему пошуку зовнішніх експертних знань, так і забезпечує природну відповідність семантичних даних навчальному контенту, а це виявляється критично важливим в умовах автоматичної побудови якісних і валідних [107] тестових завдань.

#### **Аспекти як засіб формалізації значущих особливостей понять**

Типовою для вираження думки та подачі інформації для пояснення та навчання є ситуація, коли інформація про поняття декомпонується, розгалужуючись відповідно до напрямків, що подають опис певних граней поняття [46]. Вказана декомпозиція не обов'язково відповідає такому базовому зв'язку для онтологічного моделювання як *part-of* чи іншим класичним відношенням. Наприклад, для поняття *Laravel middleware* в курсі про *Web-фреймворк Laravel* можна виділити такі підпункти: *Definig middleware*, *Registering middleware*, *Middleware parameters*.

У цьому прикладі з галузі програмної інженерії розкриваються різні аспекти роботи з відповідною сутністю. В онтологічному моделюванні класичного типу, коли предметна область формалізується для вирішення задач комп'ютером [84], подібна ситуація може бути представлена шляхом моделювання класу сутностей та його атрибутів з подальшим створенням відповідних екземплярів. Натомість, як

зазначалося [84, 104], такий шлях не задовольняє вимогам сучасних систем навчання, що орієнтуються на інтенсивне оновлення навчальної інформації, адже вимагає значних трудових витрат та акцентує зусилля на моделюванні другорядних з точки зору навчання особливостей предметної області. Для вирішення вказаного завдання в межах ПТМ пропонується ввести спеціальний тип понять, які будемо називати *аспект поняття*:

$$\begin{aligned} Aspects &= \{c \in C : isAspect(c) = true\}, \\ \text{де } is\_aspect &= \{true, false\}, \\ isAspect : C &\rightarrow is\_aspect. \end{aligned}$$

Аспектом буде виступати таке поняття, яке не має самостійного значення та служить для опису деякої особливості головного поняття:

$$AspectOf : Aspects \rightarrow C,$$

В нашому прикладі аспектами будуть поняття, що декомпонують головне поняття «Laravel middleware». У свою чергу аспекти можуть мати тези, що забезпечить природомовний опис відповідних граней поняття.

#### **Відношення «частина-ціле», «підтип типу» та «екземпляр типу»**

Для реалізації таких класичних відношень як «частина-ціле» та «підтип типу», «екземпляр типу» вводяться відповідні відношення:

$$\begin{aligned} PartOf : C &\rightarrow C, \\ IsA : C &\rightarrow C, \\ InstanceOf : C &\rightarrow C. \end{aligned}$$

Реалізація даних відношень в ПТМ відбувається на базі спеціальних тез-відношень, які є підмножиною усіх тез в системі:

$$Trel \subset T.$$

Тези-відношення посилаються на поняття, з яким у поняття-власника тези встановлюється відношення:

$$RelCT : Trel \rightarrow C.$$

При цьому тип відношення вказується через клас тези:

$$TRelClasses \subset TClasses, \\ TRelClasses = \{tRelPartOf, tRelIsA, tRelInstanceOf\}.$$

Отже оператори, що визначають у разі наявності поняття, з якими встановлено відповідні відношення мають вигляд:

$$PartOf(c') = \left\{ c : c \in C \wedge \exists t' : \left( \begin{array}{l} t' \in TC(c') \wedge \\ TClass(t') = tRelPartOf \wedge \\ RelCT(t') = c \end{array} \right) \right\},$$

$$IsA(c') = \left\{ c : c \in C \wedge \exists t' : \left( \begin{array}{l} t' \in TC(c') \wedge \\ TClass(t') = tRelIsA \wedge \\ RelCT(t') = c \end{array} \right) \right\},$$

$$InstanceOf(c') = \left\{ c : c \in C \wedge \exists t' : \left( \begin{array}{l} t' \in TC(c') \wedge \\ TClass(t') = tRelInstanceOf \wedge \\ RelCT(t') = c \end{array} \right) \right\}.$$

Наявність класичних для семантичних мереж відношень в ПТМ зближує її з першими, натомість, як вказувалося раніше, використання семантичних мереж з метою моделювання знань для презентації учневі має ряд недоліків [84]. Тому в межах формалізації навчального контенту на базі ПТМ рекомендується використовувати відношення з урахуванням поточної дидактичної необхідності. Серед основних рекомендацій тут, зазначимо наступні: 1) намагатись вказувати відношення кожного з понять до деякого батьківського чи головного одним з трьох відношень: part-of, is-a, instance-of; 2) не намагатись здійснювати занадто детальну формалізацію зв'язків між поняттями навчального контенту, залишаючи дану функцію природою фрагментам контенту, збереженням у тезах. Суть даних рекомендацій полягає в слідуванні принципу найменш необхідної та найбільш дидактично

доцільної формалізації, що забезпечує помірну трудоємність, природовну виразність та наочність графових візуалізацій в навчальній системі [46].

### **Автоматизована побудова онтології предметної області на основі стенфордської моделі нечіткого виведення**

Задача побудови семантичної моделі предметної області контенту відіграє ключову роль у процесі створення інтелектуальної інформаційно-навчальної системи. Таку модель називають онтологією. У моделі ПрО навчальної системи дидактичне відношення між поняттями, що вказує на те, що певне поняття дидактично передує іншому, є одним з ключових семантичних зв'язків [108–113]. Наявність таких відношень дає можливість застосовувати різноманітні технології індивідуалізації навчання, такі як адаптивна навігація, адаптація контенту [62] тощо. Натомість, застосування подібних відношень за допомогою ручної роботи експерта [108] в системах з відкритим типом контенту [22, 114] ускладнюється через значну трудомісткість. Зазначимо, що під системами з відкритим типом контенту прийнято розуміти такі системи, контент яких невідомий на етапі проектування і програмної реалізації системи, і передбачається, що він буде додаватись і розширюватись на етапі використання системи [114]. Сюди слід віднести як розподілені WWW-ресурси, так і навчальні системи з розвиненими можливостями щодо адміністрування контенту і створення великих сховищ навчальних матеріалів [22]. Застосування онтології для керування контентом розглянуто в роботах [115, 116], проте тут не достатньо уваги приділено особливостям моделювання знань для навчальних систем і проблемі дидактичного впорядкування елементів контенту. Крім того в згаданих роботах пропонується підхід ручного формування онтології загального характеру, що, як було вказано раніше, призводить до великих трудових витрат та до проблеми «всеосвіченості» [71], характерної для класичних моделей III і семантичних мереж зокрема.

У праці [110] пропонується метод автоматичного визначення понять-передумов та цільових понять в прикладах програмних кодів по мові програмування С. Визначення дидактичної черговості тут ґрунтується на черговості лекцій і їх зв'язку з програмними прикладами. Як зазначають автори запропонований принцип може бути застосований для інших предметних областей на основі застосування

технологій інформаційного пошуку, і хоча ця ідея вбачається перспективною, конкретні приклади поки що не були представлені.

Автором пропонується підхід автоматичного визначення відношень дидактичного слідування між поняттями шляхом семантико-синтаксичного аналізу елементів ПТМ [117, 118]. Перевагою підходу є його придатність до різних предметних областей, що було перевірено на навчальних матеріалах у галузях технічних, математичних, економічних та педагогічних наук [119]. Іншою перевагою є незалежність від черговості лекцій, що дозволяє застосовувати технологію для дидактичної формалізації словників та довідників, вихідні матеріали яких впорядковуються не дидактично, а по алфавіту. Це також вірно і для збірок статей, що у свою чергу має велике значення для підтримки навчання у нових областях, якісні навчальні курси по яким досі перебувають на стадії формування. Крім того ПТМ розрахована на роботу з контентом відкритого типу, а тому разом з моделлю контенту Tree-Net [100, 101] представляє розв'язання проблеми семантичної формалізації контенту, який додається до системи на етапі її експлуатації.

Структура ПТМ дозволяє автоматично визначити відношення дидактичного слідування між поняттями шляхом семантико-синтаксичного аналізу семантичних елементів. ПТ-елементи є результатом формалізації дидактичного тексту, виконаної експертом. Таким чином поняття і тези є дидактичним вираженням знань з предметної області у формі фрагментів навчального тексту. Синтаксичний аналіз цього тексту з урахуванням семантики, закладеної в класифікації ПТ-елементів, дає можливість автоматично визначити дидактичні співвідношення між поняттями, зменшивши трудові витрати експерта-педагога при створенні БЗ. Ідея полягає у виявленні понять, які синтаксично входять у інші поняття, або у їхні тези. На основі таких даних можна робити висновок про дидактичне слідування одного поняття за іншим. У табл. 2.2 наведемо деякі приклади ПТ-елементів, які ілюструють подібну ситуацію.

Таким чином, у випадку, коли у тезі поняття «1» зустрічається поняття «2», то з деякою мірою впевненості можна стверджувати, що для успішного засвоєння поняття «1», потрібно спочатку засвоїти поняття «2». Ще з більшою мірою впевненості можна стверджувати, що поняття «2» дидактично передуює поняттю «1», якщо поняття «1» містить поняття «2» у своїй назві.

Таблиця 2.2

## Фрагмент понятійно-тезисної бази

| Предметна область   | Поняття                         | Теза  |
|---|---------------------------------|---|
| ADO в Delphi  | ADO                             | Інтерфейс високого рівня для роботи с OLE DB, орієнтований на використання в прикладних програмах   |
|   |                                 | Більш широко інтерпретує поняття дані, порівняно з BDE  |
|   |                                 | Постачається у складі MDAC  |
|   | OLE DB                          | Представляє інтерфейс системного рівня і призначена для використання, в першу чергу, системними програмістами.  |
|   | Microsoft                       | У середині дев'яностих приступила до заміни технології ODBC технологією OLE DB  |
|   | MDAC                            | Компоненти доступу до даних Microsoft<br>Представляє технології Microsoft доступу до баз даних и містить в собі ADO, OLE DB, ODBC і RDS   |
|   | <b>Базовий об'єкт ADO Field</b> | Зберігає усю необхідну інформацію про одне поле набору даних  |
| Е-урядування  | Відкритий ключ                  | Параметр криптографічного алгоритму перевірки електронного цифрового підпису, доступний суб'єктам відносин у сфері використання електронного цифрового підпису  |
|   | Електронний цифровий підпис     | Вид електронного підпису, отриманого за результатом криптографічного перетворення набору електронних даних, який додається до цього набору або логічно з ним поєднується і дає змогу підтвердити його цілісність та ідентифікувати підписувача. |
|   |                                 | Призначений для забезпечення діяльності фізичних та юридичних осіб, яка здійснюється з використанням електронних документів.  |
|   | Підписувач                      | Може застосовувати електронний цифровий підпис лише після отримання органом влади від акредитованого центру сертифікації ключів посиленого сертифіката його відкритого ключа.   |
| На один і той самий момент часу може мати і використовувати лише один особистий ключ, якому відповідає відкритий ключ з чинним посиленим сертифікатом, отриманим органом влади. |                                 |   |

Натомість можливі випадки, коли теза поняття «1», у якій знайдено поняття «2», має такий характер, що з дидактичної точки зору

буде лише підкреслювати той факт, що із поняття «1» витікає поняття «2», а не навпаки. Такі випадки характерні тоді, коли в деякому навчальному фрагменті тексту ключовим предметом обговорення виступає саме поняття «2», а поняття «1» з'являється в контексті як другорядне. Тут автором навчального тексту передбачається, що поняття «1» повинно бути відоме учневі, і тому воно може виступати в даному тексті як фонове.

Враховуючи сказане вище, а також той факт, що до одного поняття стосується у загальному випадку більше однієї тези, і цілком можлива ситуація, коли поняття проникають в тези одне одного, слід зазначити, що задача автоматичного визначення на основі ПТМ дидактичної черговості понять носить неоднозначний характер. У зв'язку з цим для розв'язку задачі пропонується застосувати стенфордську модель нечіткого виведення [120, 121].

Стенфордська теорія нечіткого виведення, ґрунтуючись на ряді спостережень, вводить прості припущення щодо міри достовірності та пропонує правила об'єднання свідочств при формуванні висновків. Реалізується це основі фактору впевненості ( $CF$  — certainty factor), що ставиться у відповідність висновкам і правилам [120].

Під час досліджень було адаптовано стенфордську модель спеціально для застосування апарату нечіткої логіки для розв'язання проблеми визначення дидактичної черговості структурних елементів міжпредметного Web-контенту:

1. Приймаємо, що область значень фактору впевненості лежить у межах  $[0..1]$ , тобто  $CF \geq 0$ ;

2. Враховуються лише свідочтва на користь істинності гіпотези слідування, інші свідочтва враховуються для протилежної гіпотези, після чого у якості істинної приймається гіпотеза з більшим  $CF$ , наприклад для понять  $A$  та  $B$  існують свідчення на користь протилежних гіпотез слідування (рис. 2.10):

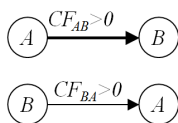


Рис. 2.10. Свідчення на користь протилежних гіпотез слідування

тоді результуючий фактор впевненості більш достовірної гіпотези слідування перераховується, а фактор впевненості менш достовірної гіпотези приймається за 0:

$$\begin{cases} CF_{AB} > 0 \\ CF_{BA} > 0 \\ CF_{AB} > CF_{BA} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} CF_{AB} = \frac{CF_{AB} - CF_{BA}}{1 - CF_{BA}} \\ CF_{BA} = 0 \end{cases}$$

Базовими правилами для визначення дидактичного слідування понять будуть наступні:

- *Правило №1.* Якщо поняття «1» фігурує в назві поняття «2», то поняття «1» є дидактичною передумовою поняття «2» з високим ступенем достовірності.
- *Правило №2.* Якщо поняття «1» фігурує в тезі поняття «2», то поняття «1» є дидактичною передумовою поняття «2» з деякою достовірністю.
- *Правило №3.* Також для деяких випадків діятиме зворотнє правило: якщо поняття «1» фігурує в тезі поняття «2», то поняття «2» є дидактичною передумовою поняття «1» з деякою достовірністю.

Подамо похідні множини і відношення, які одержуються в результаті синтаксичного аналізу тез  $T$  і понять  $C$ . Зв'язок між тезами і поняттями, які були знайдені в цих тезах завдяки синтаксичному аналізу, задається відношенням:

$$CinT : T \rightarrow 2^C$$

Зв'язок між базовими і похідними поняттями передбачає, що назва базового поняття фігурує у назві похідного поняття. Цей зв'язок задається відношенням:

$$CinC : C \rightarrow 2^C$$

Фактор впевненості для класу тези вказує на міру достовірності того, що поняття, знайдене в тезі такого класу буде дидактичною передумовою для поняття, якому дана теза належить. Множина класів тез відображається на значення фактору впевненості:

$$TClassCF : TClass \rightarrow X, \text{ де } X = [-1..1].$$

При цьому, якщо  $TClassCF(tClassi) < 0$ , тоді вважатимемо, що тези даного класу свідчать про те що знайдені в них поняття не передують, а дидактично слідує за поняттям, якому належить теза, із фактором впевненості  $|TClassCF(tClassi)|$  (див. базове правило №3 вище). Такі класи тез називатимемо *реверсними*.

Щоб далі описувати правила, будемо застосовувати предикат, що служить для подання твердження про те, що деяке поняття  $ck$  є дидактичною передумовою деякого поняття  $cl$ :

$$concept\_before(c_k, c_l)$$

Таким чином базове правило №1, виражене у символній формі, матиме наступний вигляд:

$$c_k \in CinC(c_l) \rightarrow concept\_before(c_k, c_l) \langle Cfcinc \rangle, \text{ де фактор} \\ \text{впевненості } Cfcinc = 0,99.$$

Базове правило №2, виражене у символній формі, матиме вигляд:

$$t \in TC(c_l) \wedge c_k \in CinT(t) \wedge TClassCF(TClass(t)) > 0 \rightarrow \\ concept\_before(c_k, c_l) \langle TClassCF(TClass(t)) \rangle$$

Тут  $TClassCF(TClass(t))$  подає значення фактору впевненості у залежності від класу тези. Базове правило №3, виражене у символній формі, має вигляд:

$$t \in TC(c_l) \wedge c_k \in CinT(t) \wedge TClassCF(TClass(t)) < 0 \rightarrow \\ concept\_before(c_l, c_k) \langle -TClassCF(TClass(t)) \rangle$$

У табл.2.3 подається набір базових класів тез ПТМ і відповідних їм факторів упевненості, які обрані евристично з урахуванням семантико-дидактичних особливостей тез відповідних класів. Передбачається можливість редагування цих величин на етапі використання системи.

Таблиця 2.3

## Базові класи тез ПТМ і відповідні їм фактори впевненості

| Клас тези<br>$tClass \in TClasses$ | Пояснення                             | Фактор впевненості<br>$TClassCF(tClass)$ |
|------------------------------------|---------------------------------------|--|
| $tDefinition$                      | Визначення                            | 0,95                                     |
| $tDestination$                     | Призначення                           | 0,8                                      |
| $tEssence$                         | Сутність                              | 0,65                                     |
| $tSyntax$                          | Синтаксис                             | 0,8                                      |
| $tGeneral$                         | Загальна відомість                    | 0,2                                      |
| $tList$                            | Список                                | 0,5                                      |
| $tListItem$                        | Елемент списку                        | 0,5                                      |
| $tImage$                           | Зображення                            | 0  |
| $tSynonym$                         | Синонім                               | 0,95                                     |
| $tAbbrev$                          | Абревіатура                           | 0  |
| $tAbbrevDecode$                    | Розшифровка абревіатури               | 0,95                                     |
| $tCode$                            | Програмний код                        | 0,6                                      |
| $tAttaching$                       | Прикріплення                          | 0  |
| $tReverseEssence$                  | Сутність вкладеного поняття           | -0,5                                     |
| $tReverseGeneral$                  | Загальна відомість вкладеного поняття | -0,2                                     |

Після того, як здійснено синтаксичний аналіз ПТ-елементів і побудовано множини  $CinC$  і  $CinT$ , тобто побудовано базу фактів, необхідно підрахувати сукупний фактор впевненості для гіпотез про дидактичні відношення між парами понять на основі правил, які приводять до однакового результату з урахуванням і усуненням можливих протиріч.

Визначимо множину понять, які, ймовірно, є поняттями-передумовами даного поняття. Цю множину понять називатимемо *вхідними поняттями-кандидатами* даного поняття  $a \in C$ :

$$\begin{aligned}
 TryCtoC(a) = \{ c \in C : & (c \in CinC(a)) \vee \\
 & (c \in CinT(t) \wedge t \in TC(a) \wedge TClassCF(TClass(t)) > 0) \vee \\
 & (t \in TC(c) \wedge a \in CinT(t) \wedge TClassCF(TClass(t)) < 0) \}
 \end{aligned}$$

Після отримання вхідних понять-кандидатів наступним кроком буде підрахунок фактору впевненості гіпотези про те, що окреме вхідне поняття-кандидат  $c \in TryCtoC(a)$  є дидактичною передумовою даного поняття  $a$ . По-перше знаходимо сукупність факторів впевненості тих продукцій, результатом яких буде твердження  $before\_concept(c,a)$ , яке вказує на дидактичну послідовність понять  $c$  і  $a$ :

$$CFs(c,a) = \{x : (x = CF_{cinc} \wedge c \in CinC(a)) \vee \\ (x = TClassCF(t) \wedge t \in TC(a) \wedge c \in CinT(t) \wedge TClassCF(TClass(t)) > 0) \vee \\ (x = -TClassCF(t) \wedge t \in TC(c) \wedge a \in CinT(t) \wedge TClassCF(TClass(t)) < 0)\}$$

Далі для отримання сукупного фактору впевненості для  $before\_concept(c,a)$  необхідно об'єднати одержані значення  $CFs(c,a)$ , для чого застосуємо послідовне попарне об'єднання за принципом, поданим в [120]:

$$CF = CF + CF_i - CF \cdot CF_i, \text{ де } CF_i \in CFs(c,a), i=2..n.$$

Таким чином ми отримуємо фактор впевненості для твердження  $before\_concept(c,a)$ , що вказує на те, що поняття  $c$  є дидактичною передумовою поняття  $a$  з фактором впевненості  $CF(before\_concept(c,a))$ . На основі цих даних будується матриця дидактичних зв'язків між поняттями  $CF\_CtoC = //cf\_CtoCij//$ , що задає відповідне відношення  $CtoC$ :

$$CtoC : C \times C.$$

Стовпці і рядки матриці  $CF\_CtoC$  відповідають поняттям, а значення елементів — значенню фактору впевненості того, що поняття  $ci$  (рядок) є передумовою поняття  $cj$  (стовпчик) і дорівнює  $CF(before\_concept(ci,cj))$ . Для позначення збереженого в матриці  $CF\_CtoC$  фактору впевненості  $CF(before\_concept(ci,cj))$  будемо застосовувати оператор  $CF\_CtoC(ci,cj)$ , результатом якого буде значення  $cf\_CtoCij$ .

Після підрахунку  $CF(before\_concept(c,a))$  для кожного з вхідних понять-кандидатів  $c \in TryCtoC(a)$ , необхідно підрахувати  $CF$  відношень між поняттям  $a$  і його ймовірними вихідними поняттями-кандидатами:

$$\begin{aligned} \text{TryCfromC}(a) = \{c \in C : (a \in \text{CinC}(c)) \vee \\ (a \in \text{CinT}(t) \wedge t \in \text{TC}(c) \wedge \text{TClassCF}(\text{TClass}(t)) > 0) \vee \\ (t \in \text{TC}(a) \wedge c \in \text{CinT}(t) \wedge \text{TClassCF}(\text{TClass}(t)) < 0)\} \end{aligned}$$

Аналогічно знаходиться  $CF(\text{before\_concept}(a,c))$  для усіх  $c \in \text{TryCfromC}(a)$ . Відповідним чином доповнюється матриця  $CF\_CtoC$ . Під час цих обрахунків з'являється можливість виявлення протиріч, коли відбуватиметься одночасне виконання  $CF_{CtoC}(a,c) > 0$  і  $CF_{CtoC}(c,a) > 0$ . У такому випадку, адаптуючи формулу з [120], обчислюємо нове значення фактору впевненості:

$$CF = \frac{\max(CF_{CtoC}(a,c), CF_{CtoC}(c,a)) - \min(CF_{CtoC}(a,c), CF_{CtoC}(c,a))}{1 - \min(CF_{CtoC}(a,c), CF_{CtoC}(c,a))}$$

При чому, щоб усунути протиріччя, менше із значень  $CF_{CtoC}(a,c)$ ,  $CF_{CtoC}(c,a)$  приймається рівним 0, тоді як замість більшого з них підставляється нове значення  $CF$ . Алгоритм побудови онтології предметної області, який передбачає визначення усіх відношень слідування для деякого вхідного поняття, зображено на рис. 2.11.

Таким чином після аналізу усієї сукупності понять і відношень між ними отримується онтологія предметної області контенту, яка ґрунтується на відношенні дидактичного слідування. Формально онтологія представлена у вигляді ациклічного орієнтованого зваженого графа, вершини якого відповідають поняттям ПрО, ребра — відношенням дидактичного слідування, а ваги — факторам впевненості відношень. Граф онтології задається множиною понять  $S$ , відношенням  $CtoC$  і відповідною матрицею  $CF\_CtoC$ . Створена таким чином онтологія є підґрунтям для методів автоматичної побудови індивідуального навчального середовища.

Підхід семантико-дидактичного аналізу ПТ-елементів із застосуванням нечітких правил дозволяє автоматично визначати дидактично пов'язані поняття і використовувати ці дані для побудови дидактичних понятійних карт, надаючи додаткову інформацію як експерту, що відповідає за ПТ-формалізацію, так і користувачу для підвищення наочності. Подібні дидактичні зв'язки між поняттями і понятійні карти дозволяють експерту перевірити цілісність і несуперечність ПТ-бази

та онтології, а також при необхідності внести корегування, або доповнення.

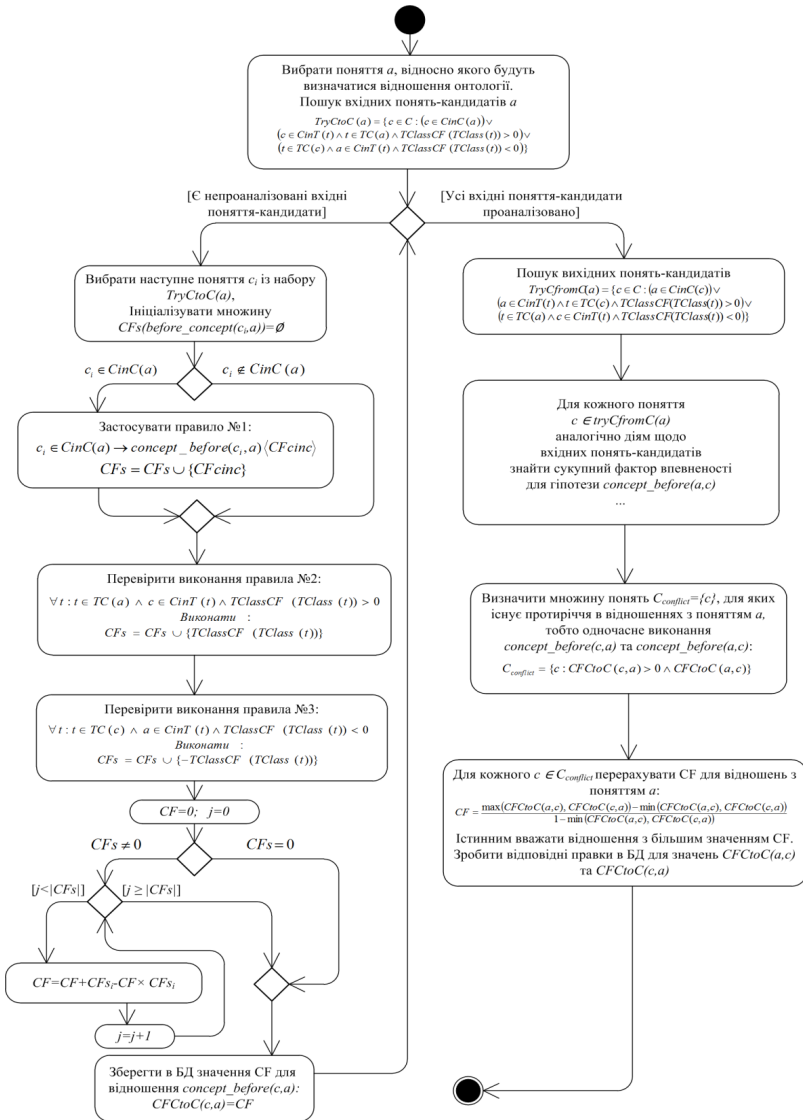


Рис. 2.11. Алгоритм застосування нечітких правил на основі Стенфордської моделі для побудови онтології предметної області контенту

## Побудова дидактико-семантичних карт понять і їх використання для перевірки несуперечності бази знань

Дидактичні зв'язки, визначені на етапі семантико-дидактичного аналізу ПТ-елементів дозволяють візуалізувати відношення між поняттями шляхом побудови дидактико-семантичних карт понять. *Дидактико-семантична карта поняття* — це орієнтований ациклічний граф, у якості вершин якого виступають поняття, а кожна з дуг вказує на те, що поняття-початок дуги є дидактичною передумовою поняття-кінця дуги. При цьому так званим центром графу є поняття, для якого будується карта (рис. 2.12). Карта послідовно показує усі зв'язки, починаючи від центрального поняття з дидактично передуючими поняттями (ліва частина графу) і усі зв'язки, починаючи від центрального поняття, з дидактично наступними поняттями (права частина графу).

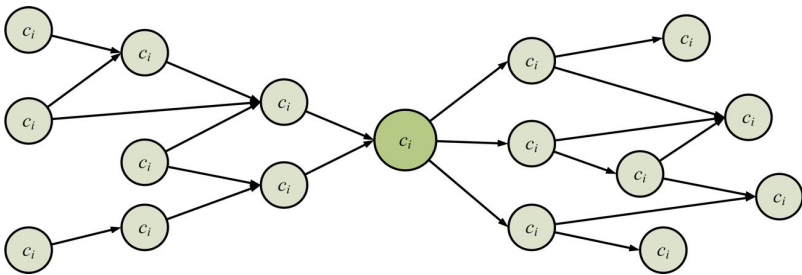


Рис. 2.12. Приклад графу дидактико-семантичної карти поняття

Крім того такий граф є зваженим, так що у якості ваги дуги виступає значення відповідного фактору впевненості  $CFC_{toC}(c_1, c_2)$ , де  $c_1, c_2$  — відповідно початок і кінець дуги.

Якщо під час побудови мапи виявлено цикл, тобто граф виявляється циклічним, це вказує на суперечливість ПТ-бази, що є сигналом для експерта про необхідність корегування ПТ-елементів. Подібна ситуація візуалізується спеціальним чином, так що експерту показується шлях, на якому виникає цикл. Після цього поняття цього шляху мають бути проаналізовані для внесення необхідних правок. Редагування, як правило, передбачатиме зміну класів для деяких з тез на реверсні класи. Після внесення правок карта поняття перевіряється повторно.

Подамо алгоритм візуалізації дидактико-семантичної карти поняття. Для цього введемо оператор визначення попередніх понять:

$$BeforeC(a) = \{c \in C : CFCtoC(c, a) > 0\}$$

Аналогічно визначаються дидактично наступні поняття:

$$AfterC(a) = \{c \in C : CFCtoC(a, c) > 0\}$$

Подамо алгоритм побудови і візуалізації карти поняття  $a \in C$  (рис. 2.13):

1. Візуалізація центрального поняття  $a$ . Призначити чергове поняття:  $x = a$ . Ініціалізація глобальних змінних:  $MapBefore = \{a\}$ .  $MapAfter = \{a\}$ .

2. Отримати попередні поняття чергового поняття:  $BeforeCur = BeforeC(x)$ .

3. Для кожного з отриманих понять  $ci \in BeforeCur$  виконати процедуру візуалізації попереднього поняття (рис. 2.14):

3.1. Візуалізація  $ci \in BeforeCur$ .

3.2. Якщо  $ci \notin MapBefore$ :

3.2.1.  $MapBefore = MapBefore \cup \{ci\}$

3.2.2. Рекурсивно виконати пп. 2–3, для  $x = ci$ .

3.3. Інакше вивести поняття  $ci$  з позначкою про те, що його попередні поняття вже виведено. Якщо ж  $ci = a$ , вивести біля поняття  $ci$  позначку про наявність циклу.

4. Призначити чергове поняття:  $x = a$ .

5. Отримати наступні поняття чергового поняття:  $AfterCur = AfterC(x)$ .

6. Для кожного  $ci \in AfterCur$  виконати процедуру візуалізації наступного поняття (рис. 2.15):

6.1. Візуалізація  $ci \in AfterCur$ .

6.2. Якщо  $ci \notin MapBefore \wedge ci \notin MapAfter$ :

6.2.1.  $MapAfter = MapAfter \cup \{ci\}$

6.2.2. Рекурсивно виконати пп. 5–6, для  $x = ci$ .

6.3. Інакше вивести поняття  $ci$  з позначкою про те, що його наступні поняття вже виведено. Якщо ж  $ci \in MapBefore$ , вивести біля поняття  $ci$  позначку про наявність циклу.

7. Кінець.

UML-діаграми діяльності, що ілюструють поданий алгоритм зображені на рис. 2.13, 2.14 і 2.15.

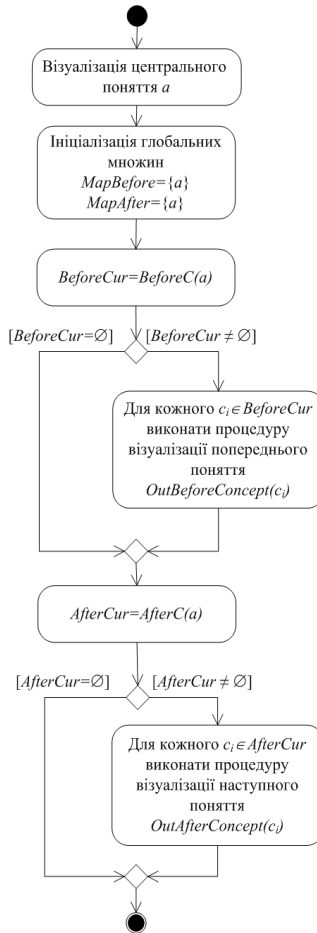


Рис. 2.13. Алгоритм побудови і візуалізації дидактико-семантичної мапи поняття. Діаграма діяльності у нотатції UML

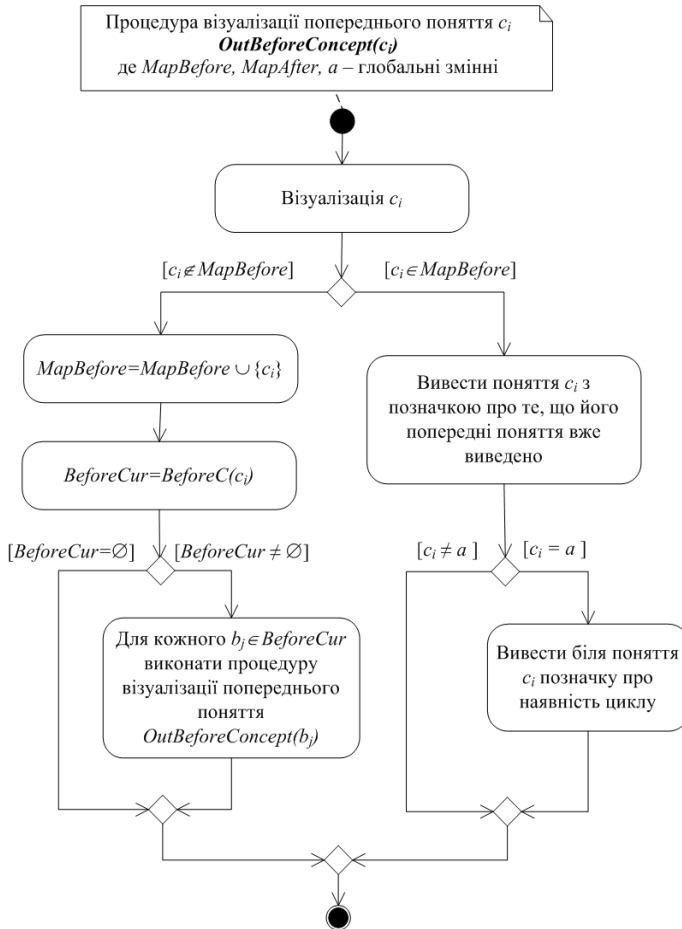


Рис. 2.14. Алгоритм процедури рекурсивної візуалізації попередніх понять.  
Діаграма діяльності у нотатції UML

Приклад семантико-дидактичної карти для поняття «Internet», сформованої засобами гіпертекстової розмітки, зображено на рис. 2.16 [119]. Числові підписи відповідають значенню фактору впевненості  $CF$ .

Дидактико-семантичні карти понять служать для візуалізації дидактичних відношень між поняттями, виявлених із застосуванням нечітких правил на основі семантико-синтаксичного аналізу ПТ-елементів. Інструмент дидактико-семантичних карт підвищує наочність ро-

боти з понятійно-тезисною базою, допомагаючи виявляти протиріччя і слідкувати за результатами семантико-синтаксичного аналізу ПТ-елементів. Крім цього цей інструмент збагачує дидактичні функції початкової системи, надаючи додаткову візуальну інформацію користувачам, яка сприяє засвоєнню співвідношень між поняттями і надає додаткові навігаційні можливості учням для вивчення зв'язаних понять. Це особливо корисно на етапі знайомства з навчальним курсом і сприяє прискореному засвоєнню базових понять.

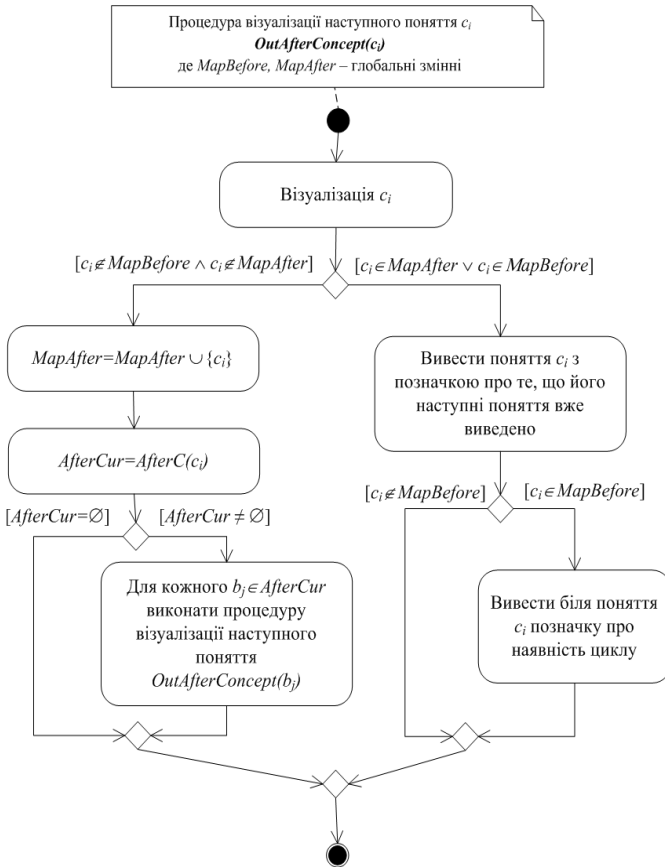


Рис. 2.15. Алгоритм процедури рекурсивної візуалізації наступних понять. Діаграма діяльності у нотатції UML

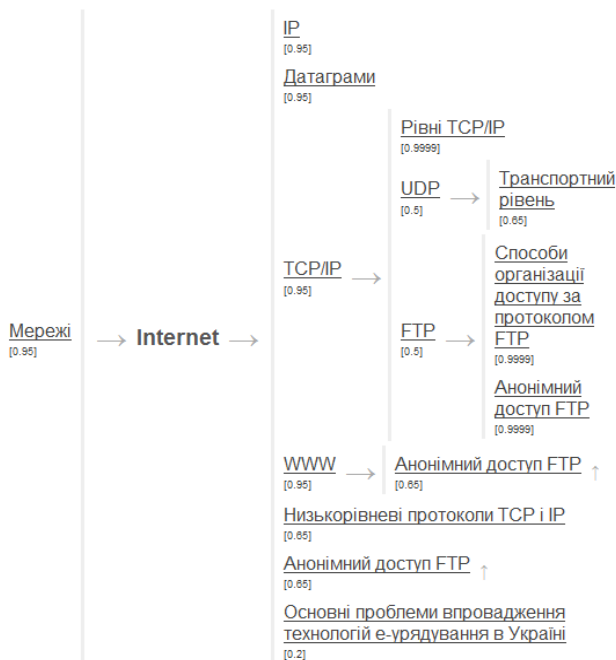


Рис. 2.16. Приклад дидактико-семантичної мапи для поняття «Internet»

### Використання Wikipedia для автоматизованої побудови дидактичної онтології

Wikipedia є найбільшою онлайн-енциклопедією в світі та фактично є джерелом для самонавчання користувачів в різних предметних галузях. Великий обсяг, багатопредметність та спільна робота великої кількості експертів спонукає до застосування автоматизованих методів аналізу контенту Wikipedia для моделювання предметних областей на її основі. Подібні моделі можуть бути додатковою ланкою комплексних моделей навчальних областей та контенту в онтологічно-орієнтованих навчальних системах. В спільних дослідженнях з Супрягою І. А., Левченко Я. А. та Ковальовим Е. А. [121–123] були апробовані та розвинені методи побудови дидактичної онтології на базі Wikipedia з використанням нечіткої логіки Б'юкенена по аналогії з методом аналізу елементів ПТМ.

Стаття Wikipedia подає інформацію, що стосується одного конкретного поняття, назва якого винесена в заголовок статті. Статті пов'язані між собою через гіперпосилання. Крім того, статті відносяться до тематичних категорій, що утворюють структуру, яку можна описати у вигляді ациклічного орієнтованого графа. Таким чином, Wikipedia фактично представляє мережу понять, яка може бути використана для побудови дидактичної онтології для навчальних систем.

Стаavimo задачу дидактичного впорядкування статей та понять Wikipedia на основі її аналізу із використанням правил нечіткого виведення на базі фактору впевненості [120]. На вхід поступає цільова стаття, здійснюється пошук пов'язаних статей та аналіз дидактичної черговості. На виході отримуємо фрагмент дидактичної онтології у вигляді зваженого ациклічного орієнтованого графа, вершинами якого є поняття, а ребрами — відношення дидактичного слідування. Вага ребра відповідає фактору впевненості для даного відношення.

**Попередні позначення.** Множина статей енциклопедії:  $C = c$ . Позначимо цільову статтю як  $c_0$ .  $Linked(c_0)$  — множина таких статей, що існує шлях гіперпосилань зі статті  $c_0$  в статтю  $c \in Linked(c_0)$ .  $Related(c_0)$  — множина таких статей, що  $c_0$  та  $c \in Related(c_0)$  мають спільні тематичні категорії.  $DirectLinked(c_0)$  — множина таких статей, що  $c_0$  містить гіперпосилання на  $c \in DirectLinked(c_0)$ . Тоді результуюча множина статей, які беруться до розгляду як пов'язані із  $c_0$ , може бути визначена як:

$$Result(c_0) = (Linked(c_0) \cap Related(c_0)) \cup DirectLinked(c_0).$$

Логіка визначення дидактичного порядку ґрунтується на правилах, кожному з яких відповідає певний фактор впевненості  $CF$ .

**Факти для логічного виведення про дидактичне слідування.** Першою частиною етапу формування зв'язків є пошук фактів, кожен з яких свідчить на користь наявності дидактичного відношення між деякими двома статтями. Виявлення фактів відбувається шляхом синтаксичного аналізу статей енциклопедії. Результуючу множину фактів можна представити у вигляді графу (рис. 2.17), вершинами якого є статті онлайн-енциклопедії, а ребрами — факти.

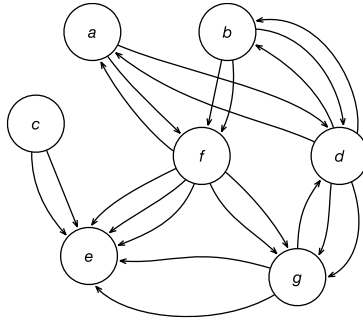


Рис. 2.17. Ілюстрація графу знайдених фактів

Будемо зберігати довжину основного тексту статей, та позначатимемо відповідно:

$$Length(c_i).$$

Статті, посилання на які знайдено у вступі до даної статті, задаються через відображення:

$$IntroLinks: C \rightarrow 2^C.$$

Таким чином, якщо у вступі статті  $c_i$  існує посилання на статтю  $c_k$ , то  $c_k \in IntroLinks(c_i)$ . Статті, посилання на які знайдено у основному тексті даної статті, задаються через відображення:

$$MainContentLinks: C \rightarrow 2^C.$$

Якщо в основному тексті статті  $c_i$  існує посилання на статтю  $c_k$ , то  $c_k \in MainContentLinks(c_i)$ . При цьому зберігатимемо додаткові параметри текстового входження посилання статті в основний текст:

$Pos(c_i, c_k)$  — позиція назви статті  $c_k$  в основному тексті статті  $c_i$ .

Статті, чий назви знайдено у назві даної статті, задаються через відображення:

$$TitleInclusions: C \rightarrow 2^C.$$

Якщо назва статті  $c_i$  містить у собі назву статті  $c_k$ , то  $c_k \in \text{TitleInclusions}(c_i)$ . Статті, чії назви знайдено у основному тексті даної статті, задаються через відображення:

$$\text{TtlContInclusions}: C \rightarrow 2^C.$$

Якщо в основному тексті статті  $c_i$  міститься назва статті  $c_k$ , то  $c_k \in \text{TtlContInclusions}(c_i)$ . При цьому зберігатимемо додаткові параметри текстового входження назви статті в основний текст:

$\text{PosTtl}(c_i, c_k)$  — позиція назви статті  $c_k$  в основному тексті статті  $c_i$ .

**Правила логічного виведення про дидактичне слідування.** Кожному факту поставлено у відповідність логічне правило з результируючим фактором впевненості. Представимо правила, на основі яких здійснюється логічний висновок про наявність дидактичного відношення:

1. Якщо у вступі статті  $c_2$  знайдено посилання на статтю  $c_1$ , це свідчить, що стаття  $c_1$  дидактично передує статті  $c_2$ :

$$c_1 \in \text{IntroLinks}(c_2) \rightarrow \text{conceptBefore}(c_1, c_2) (CF = CF_{\text{intro}}),$$

$CF_{\text{intro}} = \text{const}, 0 < CF_{\text{intro}} \leq 1$  — значення, що конфігурується. За замовченням — 0,4.

2. Якщо в основному тексті статті  $c_2$  знайдено посилання на статтю  $c_1$ , це буде свідчити на користь того, що стаття  $c_1$  дидактично передує статті  $c_2$  з фактором впевненості, що залежить від віддаленості позиції посилання від початку основного тексту статті:

$$c_1 \in \text{MainContentLinks}(c_2) \rightarrow \text{conceptBefore}(c_1, c_2) (CF = CF_{\text{mcl}} * \left(1 - \frac{p}{l}\right)),$$

де  $CF_{\text{mcl}} = \text{const}, 0 < CF_{\text{mcl}} \leq 1$  — значення, що конфігурується; за замовченням — 0,2;  $p = \text{Pos}(c_2, c_1)$  — позиція посилання на статтю  $c_1$  в основному тексті статті  $c_2$ ;  $l = \text{Length}(c_2)$  — довжина основного тексту статті  $c_2$ .

3. Якщо назва статті  $c_2$  містить у собі назву статті  $c_1$ , то це означає, що стаття  $c_1$  дидактично передує статті  $c_2$ :

$$c_1 \in TitleInclusions(c_2) \rightarrow conceptBefore(c_1, c_2) \langle CF = CF_{ti} \rangle,$$

де  $CF_{ti} = const$ ,  $0 < CF_{ti} \leq 1$  — значення, що конфігурується. За замовченням — 0,9.

4. Якщо основний текст статті  $c_2$  містить у собі назву статті  $c_1$ , то це означає, що стаття  $c_1$  дидактично передує статті  $c_2$  з фактором впевненості, що залежить від віддаленості позиції назви від початку основного тексту статті:

$$c_1 \in TtlContInclusions(c_2) \rightarrow conceptBefore(c_1, c_2) \langle CF = CF_{tci} * \left(1 - \frac{p}{l}\right) \rangle,$$

$CF_{tci} = const$ ,  $0 < CF_{tci} \leq 1$  — значення, що конфігурується. За замовченням — 0,1;  $p = PosTtl(c_2, c_1)$  — позиція назви статті  $c_1$  в основному тексті статті  $c_2$ ;  $l = Length(c_2)$  — довжина основного тексту статті  $c_2$ .

**Рекомендації для досліджень.** Вбачається за доцільне також проаналізувати нові типи фактів, що можуть впливати на міркування щодо дидактичної черговості статей енциклопедії та відповідних понять:

- дати створення статей; та стаття, яка створена раніше, ймовірно дидактично передує більш пізній статті;
- назва або посилання на іншу статтю в першому реченні вступу;
- назва або посилання на іншу статтю в першому абзаці вступу;
- інформація підрозділу “Дивіться також”; вірогідно, статті, на які посилається цей розділ, будуть дидактично слідувати за поточною статтею;
- інформація частин статті, які у термінології вікі називають «інфобокси»; висновок щодо того, як саме слід використовувати «інфобокси», не є однозначним та очевидним, натомість ця інформація може стати джерелом одразу декількох нових типів фактів.

Загалом, етап побудови фактів є найбільш важливим для якості результатів роботи методу. Тому кількість типів фактів та коректність відповідних правил мають ключове значення.

**Граф дидактичних зв'язків та результуюча послідовність понять.** На фінальному етапі зібрані факти для кожної пари статей об'єднуються у дидактичне відношення з відповідним фактором впевненості, що представляється зваженим ребром в графі дидактичної

онтології. Сукупний фактор впевненості такого відношення розраховується шляхом об'єднання факторів впевненості результатів правил відповідно до усіх фактів, що свідчать на користь цього відношення [117]. Два фактори впевненості об'єднуються відповідно до метрики [120]:

$$CF = CF_1 + CF_2 - CF_1 * CF_2.$$

Формула послідовно застосовується для необхідної кількості  $CF$  для формування підсумкового значення фактору впевненості. Якщо отримується ненульовий фактор впевненості для двох протилежних гіпотез, така ситуація вважається конфліктною та потребує вирішення на користь однієї з гіпотез. Нульовий фактор вказує на відсутність зв'язку. Кінцевим результатом є зважений орієнтований граф, вершини якого відповідають статтям, а ребра — дидактичним відношенням (рис. 2.18).

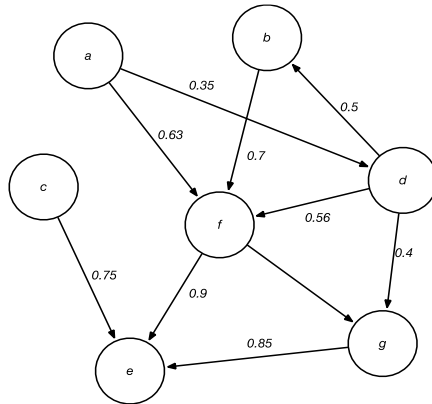


Рис. 2.18. Приклад графу дидактичних зв'язків

У випадку наявності циклів у створеному графі, їх слід усунути, для чого рекомендується застосувати алгоритм Бергера-Шора [124]. Якщо онтологія застосовується для організації траєкторії вивчення матеріалів Wikipedia, отриманий граф слід перетворити у лінійну послідовність статей шляхом топологічного сортування. Таким чином, буде отримано рекомендований шлях вивчення цільового поняття.

**Усунення конфліктних ситуацій.** При перевірці протилежних гіпотез під час визначення дидактичного відношення між двома статтями можлива ситуація, коли одночасно існують свідчення на користь обох гіпотез. Формально така ситуація виражається у наявності двох протилежних ребер між двома вершинами графа дидактичних зв'язків (рис. 2.19).

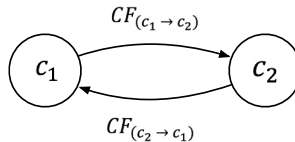


Рис. 2.19. Ілюстрація конфлікту відношень

Отже для статей  $c_1$  та  $c_2$  маємо наступну ситуацію:

- $conceptBefore(c_1, c_2)(CF_{(c_1 \rightarrow c_2)})$ ;
- $conceptBefore(c_2, c_1)(CF_{(c_2 \rightarrow c_1)})$ .

У такому випадку вірним вважається відношення з більшим фактором впевненості. У якості фактору впевненості більш достовірного відношення обираємо більший:

$$CF = MAX(CF_{(c_1 \rightarrow c_2)}, CF_{(c_2 \rightarrow c_1)}).$$

Саме такий варіант розв'язання конфліктів виявився найбільш адекватним під час пілотних досліджень з аналізу статей Wikipedia.

Таким чином, здійснено аналіз особливостей структури статей Wikipedia та перехресних посилань щодо визначення дидактичних відношень між поняттями онлайн-енциклопедії. На основі аналізу запропоновано набір правил нечіткого виведення для визначення дидактичного порядку статей. Результат у вигляді графу дидактичної онтології на базі відношень дидактичного порядку дозволяє будувати адекватні послідовності вивчення понять цільової предметної області, що спрощує процес самонавчання [122]. Отриманий таким чином граф дидактичних відношень може бути застосований в межах автоматизованої навчальної системи, для якої Wikipedia залучається у якості додаткового інформаційно-навчального ресурсу.

### 2.2.3. Модель професійних компетенцій (МПК)

Безперервна освіта, або освіта впродовж усього життя, змінює освітню парадигму, залишаючи базові і ємні освітні програми у полі традиційної діяльності вищих закладів освіти, і роблячи акцент на індивідуальних стислих і націлених на безпосередній практичний результат навчальних програмах. Найпрогресивнішою платформою для реалізації подібних освітніх тенденцій залишається Інтернет-простір, освітні інформаційні Web-системи і корпоративні системи навчання.

У сучасних економічних і суспільних умовах безперервна освіта супроводжує фахівця впродовж усього його робочого періоду життя. Екстенсивний розвиток технологій вимагає значних внесків як в інтелектуальний потенціал кожного фахівця окремо, так і в сукупний інтелектуальний потенціал персоналу організації. Представники керівництва компаній, хоча й бажають того, проте вже свідомо не очікують повного оснащення своїх майбутніх співробітників усім спектром необхідних знань і умінь, необхідних для виконання відповідних посадових інструкцій, на базі лише вищих навчальних закладів. Одна з причин цього — достатньо висока інертність державних освітніх програм відносно прискорених змін і оновлень в технологічних і організаційних процесах, а також в матеріально-технічній базі галузей, що бурхливо розвиваються.

Ще одна сторона безперервної освіти — освіта дорослих. Цей сектор ринку освітніх послуг відчуває значний дефіцит якісних освітніх програм, які б відповіли на значний попит. Попит цей виражається в готовності сучасної людини, фахівця розвиватися і вдосконалювати свої професійні якості, або ж змінювати і пристосовувати фаховий потенціал, отримуючи додаткову освіту зручним і ефективним способом. Люди готові вчитися у зручний час, у зручному для них темпі і у зручний спосіб, тобто дистанційно, не відриваючись від звичайних життєвих обов'язків і принципово не змінюючи налагоджений стиль життя.

Окреслені освітні виклики часто змушені вирішувати самі співробітники через обмін досвідом безпосередньо в процесі роботи. Частково ці виклики покриваються короткостроковими, проте не завжди якісними приватними навчальними курсами. Іншим, більш традиційним способом надання додаткових освітніх програм дорослим, є курси підвищення кваліфікації, які проте доступні, як правило, лише

для державних підприємств. Ще одним джерелом для самонавчання, завдяки доступності інформації, є платні і безоплатні інформаційні ресурси — перш за все Інтернет, а також друковані видання, навчальні посібники тощо. У даному випадку позитивна, з одного боку, доступність інформації, з іншого боку, постає як негативне явище інформаційного вибуху, що ускладнює якісний доступ до необхідної навчальної інформації. Намагаючись відповісти на проблему інформаційного перенасичення, розробники сучасних інтелектуальних систем навчання намагаються забезпечити свої комплекси ефективною інфраструктурою для керування великою кількістю навчальної інформації через гнучкі моделі освітнього контенту [22, 95, 100]. Таким чином персоналу і користувачам системи надаються зручні механізми відбору і структурування цільової навчальної інформації. Натомість, недоліком таких систем залишається брак уваги до такої характерної складової безперервної освіти, як практична спрямованість навчання [62], тобто безпосередня орієнтація навчання на практичне застосування знань під час професійної діяльності. Така вимога може бути реалізована за рахунок моделювання професійних компетенцій спеціаліста і їх зв'язку з навчальними матеріалами.

Таким чином сьогодні існує перспектива забезпечити вирішення вказаних освітніх проблем шляхом застосування моделювання компетенцій в інтелектуальних системах дистанційного навчання, що потребує зміни акцентів і переходу від керівної ролі контенту до керування навчанням на основі компетенцій. Подібні питання вже широко обговорюються в дослідницьких колах [125]. Так, забезпечивши інфраструктуру інтелектуальних систем навчання, які вже володіють широкими можливостями по керуванню контентом, також і моделями професійних компетенцій, ми отримуємо кращу можливість відповісти на освітні потреби користувача, адаптуючи навчальний процес до його професійних потреб, що дасть змогу досягти точнішого налаштування індивідуального навчального процесу.

Запропонована модель професійних компетенцій (МПК) [126] подає знання про спеціальності, професії і посади. Моделювання компетенцій є одним із основних методів забезпечення релевантності безперервного навчання [7]. Як пропонується у [7], кожна навчальна діяльність повинна безпосередньо пов'язуватись із професійними очікуваннями або вимогами. Для цього використовуються посадові ін-

струкції і ключові посадові завдання. Цим завданням має бути поставлений у відповідність навчальний контент.

У МПК моделюються і описуються конкретні професійні компетенції (знання, навички, уміння), з сукупності яких формується загальний опис тієї чи іншої спеціальності (професії). Модель орієнтується на конкретні професії і посади, на які є попит на ринку праці.

У роботі [127] аналізуються професії, будуються так звані професіограми, робиться психологічний аналіз професії. У роботі [128] робиться аналіз професійної компоненти у підготовці фахівців у ВНЗ, аналізуються нормативні документи, що описують професії, і їх зв'язок із освітніми стандартами. Ідеї і методи генерації комплексного навчального курсу на основі стартових знань і навичок студента та вимог до бажаної посади розглядаються в [129]. Натомість в цій роботі не пропонується формальна модель і відповідні програмні засоби, що реалізують структуру компетенцій і їх зв'язок з контентом.

Запропонована здобувачем модель професійних компетенцій служить для моделювання цілей навчання і формування освітнього запиту до системи і призначена для подальшого використання для генерації індивідуального навчального Web-середовища у відповідь на освітній запит користувача. МПК грає ключову роль для організації роботи дистанційної освітньої системи за парадигмою безперервного навчання.

Зважаючи на специфіку і особливості опису компетенцій, посад і профілів спеціальностей було обрано ієрархічну структуру як базу для подання моделі професійних компетенцій. Так, сукупний опис компетенцій в навчальній системі є набором піддерев, корінь кожного з яких вказує на компетенцію високого рівня, що ґрунтується на компетенціях нижчого рівня, які в свою чергу так само мають підлегли компетенції і т.д. Для подолання негнучкості, характерної для строгої ієрархічної структури, застосовується спеціальне відношення, яке дозволяє одну базову компетенцію використати як підлеглу для більше ніж однієї компетенції вищого рівня, представляючи тим самим структуру компетенцій у формі ациклічного орієнтованого графу. Моделювання профілю спеціаліста або посади відбувається шляхом окреслення кола ключових компетенцій високого рівня, необхідних для виконання посадових обов'язків і завдань. Подібна структура у поєднанні з відношеннями відповідності між компетенціями і навчальним

контентом дає змогу застосовувати методи побудови індивідуального навчального.

Подамо опис моделі професійних компетенцій. Множина компетенцій, описаних у системі:

$$S = \{s_i\}, i = 1..n_s.$$

Ієрархія компетенцій:

$$ChS: S \rightarrow 2^S.$$

Батьківські зв'язки:

$$FS: S \rightarrow S.$$

Множина усіх елементів-нащадків компетенції  $s \in S$ , або *декомпозиція компетенції* є послідовним об'єднанням множин дочірніх компетенцій  $ChS(s)$  вглиб по ієрархічній структурі. Для визначення компетенцій-нащадків застосовуватимемо оператор:

$$DescS(s), s \in S.$$

Для забезпечення адекватності моделі професійних компетенцій вводиться відношення псевдонімів, аналогічне для моделі контенту Tree-Net [100]. У зв'язку з тим, що часто компетенції високого рівня спираються на однакові компетенції нижчих рівнів, як було зазначено вище, не має можливості коректно моделювати компетенції лише на основі жорсткої ієрархії, що не допускає розташування однакових компетенцій у різних місцях структури. Тому, застосовуючи відношення псевдонімів, надається можливість організувати модель компетенцій таким чином, щоб одна компетенція могла стати підґрунтям не лише для єдиної батьківської, а й для інших компетенцій вищого рівня. Псевдоніми компетенцій задаються відношенням:

$$AS: S \rightarrow S.$$

Тут множина компетенцій відображається на саму себе, показуючи, які з компетенцій є псевдонімами інших. Таким чином  $s=AS(s')$  подає компетенцію-джерело  $s$  для її псевдоніма  $s'$ . Слід зауважити, що усі операції, що описуються далі передбачають автоматичну підстановку для елементів-псевдонімів і їх заміну відповідним елементом-джерелом.

Відповідним чином кожної компетенції стосується набір контенту, що описується відображенням:

$$VS: S \rightarrow 2^V.$$

Зважаючи на семантичні ролі і зв'язки елементів контенту, базовий набір контенту компетенції, заданий у відношенні  $VS$  може бути розширений.

Вплив на обсяг контенту, який відповідає компетенції, мають семантичні ролі елементів контенту — семантичний блок і список [100]. Так у випадку, коли контент компетенції містить семантичний блок, усі елементи цього блоку, тобто уся гілка контенту, також відносяться до контенту компетенції на основі семантики. Якщо елемент-список входить до контенту компетенції, тоді усі підлеглі елементи цього списку також відносяться до компетенції. Таким чином повний набір контенту компетенції описується оператором:

$$VatS(s) = \{v: v \in VS(s) \vee (v \in Desc(v') \wedge v' \in VS(s) \wedge VType(v') = block) \vee (v \in Ch(v') \wedge v' \in VS(s) \wedge VType(v') = list)\}.$$

Відповідно зв'язок контенту і компетенцій задається відображеннями:

$$SV: V \rightarrow 2^S.$$

За допомогою компетенцій можна будувати *профіль спеціаліста*. Для цього окреслюється коло компетенцій, які відповідають даному профілю. Множина спеціалістів, які моделюються в системі:

$$Exp = \{exp_i\}.$$

Тут  $exp_i$  позначає профіль спеціаліста на основі компетенцій. Зв'язок між профілем спеціаліста і його компетенціями задається відображенням:

$$SExp: Exp \rightarrow 2^S.$$

Користувач навчальної системи отримує можливість, окрім використання існуючих в системі профілів спеціаліста, застосовувати також і власні налаштування свого цільового профілю, що дозволяє індивідуалізувати навчальний процес. Таким чином користувач має змогу обирати бажаний профіль, створювати новий і змінювати перелік цільових компетенцій профілю.

Таким чином сукупність моделей рівня керування знаннями зображено на рис. 2.20.

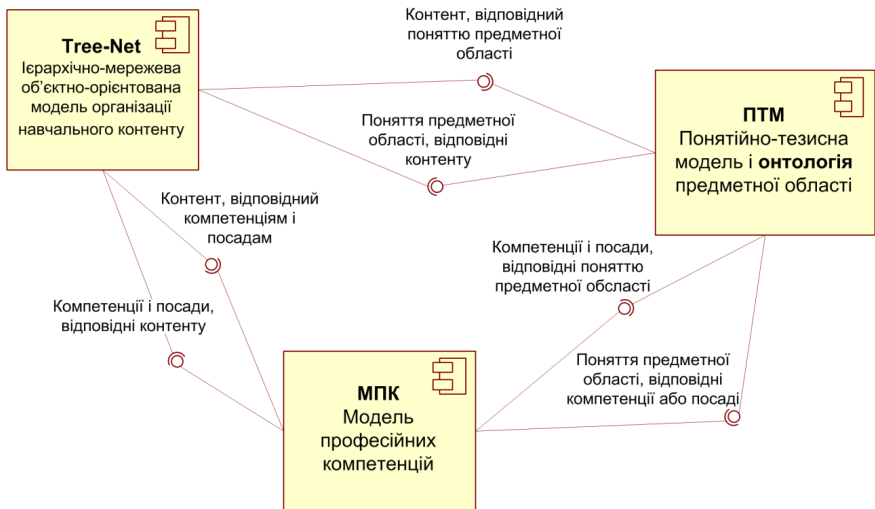


Рис. 2.20. Сукупність моделей рівня керування знаннями. Діаграма компонентів у нотатції UML

## **2.3. Організація індивідуального навчання в інформаційно-навчальному порталі**

На рівні організації індивідуалізованого навчання в системі вирішуються такі задачі як організація освітнього запиту для ініціалізації персонального освітнього Web-простору, побудова індивідуального навчального середовища, автоматизований контроль і діагностика знань, побудова інтерактивного довідника з предметної області і семантичного конспекту курсу на основі онтології. На цьому рівні моделюються інформаційні структури для опису освітніх цілей, реалізації індивідуалізації навчання, подаються методи організації навчального процесу. Ці задачі вирішуються на основі таких моделей як модель освітнього запиту (МОЗ), модель користувача (МК), модель контролю і діагностики знань та стану навчання (МКД), модель викладання і педагогічних стратегій (МВ).

### **2.3.1. Модель контролю і діагностики знань та стану навчання**

Модель контролю і діагностики знань та стану навчання (МКД) подає технології генерації і автоматизованого аналізу тестів. Модель реалізується на основі моделі Tree-Net і ПТМ. При цьому будівельним матеріалом тестових завдань є семантичні сутності ПТМ. Модель контенту Tree-Net використовується для зв'язку між завданнями тестів і конкретною порцією навчального контенту. МКД служить також для перевірки досягнення цілей навчання, поданих за допомогою моделі професійних компетенцій (МПК). Запропонована технологія побудови тестів на основі понятійно-тезисної моделі розглянута в роботах [99, 102–104].

#### **Методи генерації тестових завдань**

Однією з ключових складових дистанційної освіти є контроль і діагностика знань, реалізація яких в умовах відсутності безпосереднього контакту між учасниками навчального процесу викликають певні технічні і організаційні труднощі. Однією з найбільш розповсюджених дистанційних форм перевірки знань є комп'ютерне тестування. Науковці і спеціалісти в області електронної освіти і інформаційних технологій зробили значний внесок в розробку різних методів реалізації тестування. У роботі П. Брусиловського [130] подано де-

тальний огляд життєвого циклу тестових завдань в освітній Web-системі, що включає такі стадії як підготовка, подання і оцінювання. Як правило стадія підготовки тестових завдань залишається слабо автоматизованою і вимагає безпосередньої роботи викладача.

У той час, як багато досліджень в області комп'ютерного контролю знань зосереджені на питаннях валідності і надійності тестів, питання формування самого банку завдань в більшості випадків залишається виключно прерогативою викладача, що працює без використання інтелектуальних засобів автоматизації даного процесу. Дійсно намагання автоматизувати формування тестових завдань наштовхуються на область штучного інтелекту і на проблеми формалізації знань та їх подальшого використання в генерації тестів.

Традиційний підхід до створення засобів тестування фактично являє собою комп'ютеризацію ручного тестування. Суть такого підходу полягає у використанні інформаційно-комунікаційних технологій замість паперової роботи, що дає додаткові можливості щодо управління формуванням тестів з банку створених завдань та автоматичної перевірки результатів. Одночасно і перевагою, і недоліком даного підходу є ручне, неавтоматичне створення завдань. Завдання, професійно розроблені експертом, мають високу якість і зрозумілість. У випадку конкретних статичних тестів мають місце широкі можливості для зосередження на питаннях валідності і надійності. Однак суттєвим недоліком підходу є висока трудомісткість самого процесу по формуванню тестових завдань. Ця проблема підсилюється задачею захисту від недобросовісного проходження тесту, що передбачає наявність великого банку завдань і динамічну композицію на його основі індивідуального тесту для попередження «списування». Крім того викладач, що створює тестові завдання несе педагогічну відповідальність за адекватність вмісту контролю навчальному контенту. Тому це вимагає від розробника тестів не тільки експертних знань з предметної області, але й знання і глибокого аналізу безпосереднього навчального матеріалу, який подається студентам дистанційної форми навчання як основне джерело для оволодіння знаннями.

З метою інтенсифікації і спрощення процесів підготовки дистанційних навчальних курсів з тестовими блоками науковцями були запропоновані різні підходи до автоматизації створення тестових завдань [131].

**Параметризовані тести.** Одним з перспективних і порівняно нескладних в реалізації є підхід параметризованих тестів [131–136]. Суть підходу полягає у поданні різним студентам шаблонного завдання, яке відрізнятиметься певними параметрами, які генеруються автоматично. Відповідь вводиться з клавіатури. Таким чином кожен студент отримує індивідуальне завдання, а система по певній формулі чи алгоритму, підставляючи параметри отримує вірну відповідь для подальшої перевірки відповіді, введеної студентом [131].

Метод параметризованих задач дозволяє генерувати завдання відкритого типу. Тестований при цьому, як правило, повинен ввести деяке число, яке і буде результатом рішення поданого завдання.

У методі параметризованих задач використовується принцип фасетності, що дозволяє створювати, в одному завданні, відразу кілька варіантів. Кожному учневі програма видає тільки один елемент з фасета [131].

Параметризоване питання є шаблоном питання, який створює автор. У момент видачі, шаблон доповнюється параметром, значення якого генерується в заздалегідь визначених межах. Під шаблоном зазвичай розуміють заготовку тексту, в якому деякі елементи можна змінювати відповідно до заданого алгоритму. Суть методу полягає в тому, що маючи шаблон завдання і змінюючи параметри на вході, ми отримуємо нові варіанти завдання на виході [131].

Перевага цього методу полягає в тому, що для малої кількості шаблонів можна згенерувати достатньо велику кількість завдань. До недоліків даного методу слід віднести трудомісткість формування набору шаблонів завдань. Також недоліком підходу є його вузька предметна спрямованість. Так параметризовані тести добре підходять для організації контролю практичних навичок в точних науках, а також програмуванні [135], проте застосування методу для перевірки теоретичних знань, а також контролю в гуманітарних науках вимагає значної роботи над шаблонами тестових завдань.

**Генерація питань на основі алгоритмів** — окремий випадок параметризованих завдань [131]. В основі питання учневі подається деякий програмний код, який реалізує певний алгоритм. Учень повинен визначити значення деякого параметра алгоритму, тим самим демонструючи своє розуміння мови програмування.

**Генерація тестових завдань на основі семантичних мереж.** Певного поширення у дослідженнях автоматизації контролю знань

отримав підхід застосування семантичних мереж для автоматизації побудови тестів [76, 77, 137]. Наріжним каменем семантичних мереж є так звані тріади [73, 76, 137]: сутність 1 — відношення — сутність 2. Наприклад є такі сутності «процедура» і «програма». В такому випадку між ними можна встановити відношення типу «є частиною». Тоді отримуємо: сутність «процедура» «є частиною» сутності «програма». Завдання тесту будується шляхом опущення однієї з ланок тріади і постановкою запитання про відсутню ланку. Перевагою даного підходу є здатність системи міркувати знаннями з предметної області. Недолік полягає у великих витратах при складанні завершеної цілісної семантичної мережі, яка б коректно відображала дану предметну область, що вивчається. Ще одним недоліком підходу є лінгвістична незрозумілість і, часом, недоцільність завдань, що генеруються. Так, на основі семантичної мережі часто ставляться запитання про такі особливості об'єктів предметної області, що не мають у даному навчальному контексті педагогічної цінності. Подібні недоліки виникають із-за проблеми, характерної для класичних моделей знань штучного інтелекту, яку можна назвати проблемою всеосвіченості. Так вимогою семантичних мереж є повна формалізація предметної області, тоді як вивчення матеріалу відбувається в певному контексті, тому при генерації завдань у тест часто попадають запитання, відповідь на які не свідчить про досягнення або недоліки у навчанні студента. Вимога всеосвіченості, або всеосяжної формалізації потребує великих зусиль для побудови адекватної моделі, яка при цьому часто не забезпечує належної педагогічної доцільності в процесі її використання для освітніх цілей і тестування.

Ці та інші проблеми властиві для випадків, коли робиться змога застосувати класичні моделі штучного інтелекту (ШІ) для освітніх завдань. Не зважаючи на те, що як в моделях ШІ, так і в навчальних системах об'єктом моделювання є знання, все ж принциповою різницею тут є те, що у першому випадку метою моделювання є надання системі здатності «знати» певну предметну область, щоб вирішувати деякі прикладні задачі, натомість у другому випадку метою моделювання є надання системі здатності «навчати» людину знанням певної предметної області [85]. Така принципова різниця в постановці задач вимагає розробки спеціальних моделей формалізації знань для освіти і організації на їх основі автоматизованого тестування. Основним

засобом передачі навчальної інформації студенту в дистанційному навчанні є текст, саме в ньому в зрозумілій для навчання формі подані знання. Зважаючи на це, вважається за доцільне покласти в основу моделі саме освітній текст, зосередившись на методах його формалізації з метою автоматизації побудови тестових завдань. Зазначені принципи були покладені в основу при розробці понятійно-тезисної моделі і методів автоматизованої побудови тестових завдань.

**Генерація тестових завдань на основі великих мовних моделей.** ChatGPT та інші системи аналізу та опрацювання природної мови [138, 139] є ефективними інструментами, що можуть застосовуватись для генерації тестових завдань. Перевагою підходу є те, що великі мовні моделі дозволяють безпосередньо спиратися на конкретний навчальний текст. Використання генеративного штучного інтелекту у поєднанні з декомпозицією тексту на базі ПТМ вбачаються перспективним напрямком досліджень.

#### **Можливості застосування ПТМ для генерації тестових завдань**

Понятійно-тезисна модель формалізації дидактичного тексту служить підґрунтям для генерації тестових завдань. Далі приводяться загальні можливості і напрямки використання ПТМ для генерації тестових завдань різних типів. Зазначимо найпоширеніші типи завдань, що можуть застосовуватись при контролі знань шляхом тестування та мають перспективне значення для розробленої семантичної моделі.

1. Найпростішим типом є питання, що передбачає відповідь типу «Істина/Хиба».

2. Найпоширенішим видом завдань у тестах є завдання множинного вибору: «один з декількох» та «декілька з декількох».

3. Більш складним є завдання із вільною формою відповіді: відповідь на питання студент має ввести власноруч.

4. Ще один варіант — завдання співставлення. Студенту подається два набори деяких елементів, і він має співставити кожен варіант одного набору з відповідним на його думку варіантом з другого набору елементів.

5. Окремо виділимо ще один досить специфічний тип завдань — завдання по визначенню пріоритетності. Суть завдання полягає в тому, щоб розставити певні елементи в правильному порядку або порядку їх пріоритетності.

Зосередимося на шляхах і алгоритмах побудови вище зазначених типів завдань на основі ПТМ.

**1. Питання *першого типу***, що вимагають відповіді типу «Істина / Хиба», будуються наступним чином: із ПТ-бази видобувається відповідна пара поняття-теза, і студенту ставиться питання, чи вірне дане твердження:

*Чи відповідає дане твердження поняттю <поняття>?*

*<теза>*

*Так Ні*

Алгоритм подальшої перевірки відповіді є очевидним — якщо видобута теза дійсно стосується даного поняття, вірною відповіддю буде «Так» («Істина»).

**2. Тести *другого типу*** «питання — варіанти відповідей» реалізувати відносно не складно. Є декілька шляхів побудови таких завдань: (1) в основі питання лежить поняття, в основі варіантів відповідей — тези; (2) в основі питання лежить теза, в основі варіантів відповідей — поняття; деякі інші варіації.

Розкриємо вказані шляхи.

1) В основі питання лежить поняття, в основі варіантів відповідей — тези. Найзагальнішим тут буде завдання такого виду:

*Вкажіть твердження, що стосується даного поняття <ім'я поняття>*

*<перелік тверджень>*

У залежності від класу поняття та тези питання може звучати інакше, наприклад:

*«Для чого призначене поняття...», якщо тези, що слугують варіантами відповідей, належать до класу «призначення»;*

*«Чим є поняття...», якщо тези класу «визначення»;*

2) В основі питання лежить теза, в основі варіантів відповідей — поняття. Тобто в цьому методі в основі питання лежить відомість про поняття. Студент повинен з набору понять обрати те, про яке йде мова в цій відомості. Так само, як і в попередньому способі завдання може мати як загальний характер:

*Вкажіть поняття, про яке йде мова в твердженні*

*<Твердження>*

*<Перелік понять>*,

так і конкретний, в залежності від класу поняття і тези: *«Вкажіть поняття, яке визначене нижче...», якщо теза типу «визначення»;*

«Яке поняття має таке призначення...», якщо теза має тип «призначення».

3) На основі ПТ-бази можна побудувати й інші варіанти завдань типу «питання — варіанти відповідей».

Одним з можливих напрямків тут є завдання по визначенню найважливіших елементів навчального матеріалу. Принцип такий: перед студентом ставиться завдання визначити, наприклад, найважливіше поняття в даній лекції із переліку понять. Найважливіше поняття системою визначається на основі кількості тез цього поняття на даній ділянці матеріалу з урахуванням вагів важливості.

Ще один напрямок — використання можливостей наслідування та відношень між поняттями. Завдання будуються за принципом «поняття — набір понять». В якості питання ставиться лексична форма відношення між поняттями та власне поняття, наприклад: «Вкажіть *батьківське* поняття...». В якості варіантів відповідей — набір понять, серед яких є поняття, що задовольняє умові завдання.

3. Розглянемо тестові завдання *третього типу*: питання — текстова відповідь вводиться студентом. З організаційно-методологічної точки зору цей тип дещо подібний до першого, але по рівню навчально-методичної складності він важчий для студента.

Для цього виду тесту підходять завдання, в яких у якості відповіді виступає поняття. Найзагальніший вид завдання буде побудований таким чином: вказується деяка теза, і студенту пропонується ввести поняття, до якого стосується дана теза. Наприклад:

Загальний варіант:

<Теза>

Про яке поняття йде мова? ;

На основі визначення:

<Теза-визначення>

Що це за поняття?

На основі призначення:

<Теза-призначення>

Призначення якого поняття наведено вище?

Тощо.

Окрім цього, можливо використовувати відомості щодо наслідування та відношення між поняттями. Так на базі наслідування можна побудувати завдання типу:

*Вкажіть батьківське поняття до поняття <Назва поняття>.*

Характерною особливістю з точки зору реалізації є вимога додаткової підсистеми для порівняння текстової відповіді з еталоном (з вірною відповіддю) та оцінки її вірності. Цей алгоритм повинен передбачати можливі орфографічні помилки у тексті, які до певної міри не повинні впливати на вірність відповідей (якщо тільки це не навчання з дисциплін лінгвістичного циклу). Якщо мова йде про відповіді, що складаються з багатьох слів, тоді потрібні відповідні алгоритми обробки. Наступним витком розвитку системи перевірки текстової відповіді може стати створення лінгвістичної підсистеми, що зможе застосовувати такі знання як синонімічні ряди, різного роду словоформи, відмінювання, часи для дієслів тощо.

**4. Четвертий варіант** — завдання співставлення. Студенту подається два набори деяких елементів, і він має співставити кожен варіант одного набору з відповідним на його думку варіантом іншого набору елементів.

Очевидним шляхом реалізації такого типу завдань є такий: перший набір елементів це поняття, інший — тези до цих понять. Між двома наборами повинен існувати взаємно однозначний зв'язок — кожному поняттю відповідає лише одна теза з набору тез. Студент за допомогою відповідних засобів інтерфейсу здійснює співставлення елементів.

Важливою складовою такого завдання є методика оцінки відповіді студента. Найпростіший шлях — це оцінка типу «залік» («незалік»), без диференціювання. Проте для даного типу завдань очевидно є потреба в градації оцінки, адже можливий випадок, коли студент співставить частину пар вірно, а частину — ні. В такому підході найпростішим є шлях оцінки на основі кількості вірних відповідей, тоді відсотком правильності відповіді буде відсоток кількості правильних співставлень. Більш гнучкий підхід — використання вагів, коли для кожної пари формується своя вагова оцінка, тобто доля в загальній оцінці, що при перевірці враховується в загальній оцінці. Вагова оцінка пар будується на базі ступеня важливості елементів (як поняття так і тези), що вказувалися на етапі формування бази знань.

**5. П'ятий** досить специфічний тип завдань — завдання по визначенню пріоритетності. Суть завдання полягає в тому, щоб розставити певні елементи в правильному порядку, порядку їх пріоритет-

ності, або в тому щоб, певним чином, виділити елементи, що мають більшу вагу.

По структурі таке завдання часом аналогічне завданням описаним вище. Відмінністю є навчально-методичний зміст, закладений у ньому. Питання будуються на основі вторинних знань, отриманих з понятійно-тезисної бази за допомогою використання відомостей про ступінь важливості ПТ-елементів. Кожен ПТ-елемент має свій рівень важливості, який може бути вказаний на етапі формування БЗ. Різні поняття курсу мають різний рівень важливості у структурі знань курсу. Отже розуміння деяких понять є абсолютно необхідним для засвоєння курсу, інші ж грають допоміжну, таку, що розширює кругозір, роль. Те саме стосується тверджень про поняття.

Таким чином завдання цього типу містить аналітичний характер і вимагає від студента ґрунтовного розуміння предмету. Приблизні запитання (завдання) можуть мати такий вигляд:

*«Розставте в порядку важливості поняття курсу...»;*

*«Яке поняття важливіше в цьому розділі...»;*

*«Вкажіть ключові поняття теми»;*

*«Вкажіть твердження, що виражає головну властивість поняття...»;*

Ефективність завдань залежить від адекватності закладених оцінок важливості навчальних елементів моделі.

### **Структура тесту і тестового завдання**

**Тест і його структура.** В основі генерації тестів в ПТМ лежить інформація про поняття, тези, навчальний матеріал і їх взаємозв'язок. Множина тестів:

$$Test = \{test_i\}.$$

Вхідним параметром тесту є контрольна область навчального контенту, тобто набір фрагментів навчального матеріалу, по яким відбуватиметься тестування. Контрольна область контенту задається відображенням множини тестів на множину навчальних фрагментів:

$$Vtrg: Test \rightarrow 2^V.$$

Перш, ніж розпочнеться побудова тестових завдань, здійснюється визначення так званої ресурсної області контенту, що служитиме додатковим джерелом ПТ-елементів, що можуть використовуватися як альтернативні відповіді для тестових завдань. Ресурсна область контенту задається відображенням:

$$Vres: Test \rightarrow 2V.$$

У простішому випадку ресурсна область контенту  $Vres(test)$  збігається з контрольною областю  $Vtrg(test)$ . Проте, зважаючи на те, що будівельним матеріалом тестових завдань є ПТ-елементи, можливі випадки, коли семантичних одиниць ПТМ буде недостатньо для побудови необхідної кількості завдань тесту, крім того використання ПТ-елементів з інших джерел може покращити якість тестових завдань. У таких випадках ресурсна область контенту  $Vres(test)$  визначається на основі пошуку навчальних фрагментів, матеріал яких стосується тієї ж предметної області, що й контрольний матеріал  $Vtrg(test)$ . Подібні алгоритми залежать від структури і можливостей моделі навчального контенту. Визначення предметної області в ієрархічно-мережевій моделі освітнього контенту Tree-Net, з якою інтегрується ПТМ, розглянуто вище.

**Тестове завдання.** ПТМ дозволяє генерувати завдання тесту на основі інформації про поняття, тези і їх зв'язок з навчальним матеріалом. Подамо опис технології автоматизованого створення тестових завдань. Множина тестових завдань позначається наступним чином:

$$Task = \{task_i\}.$$

Зв'язок тестів із завданнями задається відображенням:

$$TestTasks: Test \rightarrow 2^{Task}.$$

У свою чергу кожне завдання пов'язується з контрольною ПТ-парою, тобто таким поняттям і його тезою, які ляжуть в основу цього тестового завдання. Зв'язок завдання з контрольною ПТ-парою задається відображенням:

$TaskCT: Task \rightarrow CT.$

Існує набір шаблонів для тестових завдань  $TTempI=\{TTempI_i\}$ , які крім того можуть розширюватись користувачем, що дає змогу доповнювати різні предметні області новими типами тестових завдань. Шаблони, які застосовуються для тестових завдань задаються відображенням:

$TaskTempI: Task \rightarrow TTempI.$

Кожне завдання пов'язується з набором семантичних елементів, які використовуються як варіанти альтернативних відповідей. У залежності від шаблону у якості альтернативних відповідей можуть виступати або тези, або поняття. Зв'язок між завданнями і альтернативними варіантами задається відображенням:

$TaskAltems: Task \rightarrow 2C \cup 2T.$

**Шаблон тестового завдання.** Шаблони мають на меті описати спосіб побудови тестових завдань на основі ПТ-елементів. Можливість додавати нові шаблони дає змогу удосконалювати систему не тільки на етапі проектування, але й на етапі її використання для налаштування алгоритмів генерації тестів для різних предметних областей. Подамо структурні зв'язки і особливості використання шаблонів для побудови тестів на основі ПТМ.

Шаблони завдань поділяються на два типи: 1) в основі запитання лежить поняття, а в основі варіантів відповідей — тези; 2) в основі запитання лежить теза, а в основі варіантів відповідей — поняття. Таким чином типізація запитального ПТ-елемента задається відображенням:

$TQEntity: TTempI \rightarrow CTEntity$ , де  $CTEntity=\{Concept, Thesis\}.$

Для задання шаблонного тексту, який відповідає за запитання тестового завдання задається відображення шаблонів на відповідні елементи-зразки запитань:

$TQStr: TTempI \rightarrow QStr$ , де  $QStr=\{qStr_i\}$  — множина текстових шаблонів запитань.

Місце у тексті  $qStr_i$ , куди має бути вставлений текст запитального ПТ-елемента позначається спеціальним чином, а саме символами «###». Для позначення класів ПТ-елементів, які можуть бути застосовані для тестового завдання кожного з шаблонів служить відображення:

$$TQClasses: TTempl \rightarrow 2^{CClasses} \cup 2^{TClasses}.$$

Як альтернатива  $TQClasses$ , може бути застосоване зазначення класів, які заборонено використовувати в завданні, що означатиме дозвіл на використання усіх інших класів ПТ-елементів. Для цього служить наступне відношення:

$$TQNotClasses: TTempl \rightarrow 2^{CClasses} \cup 2^{TClasses}.$$

Для аналогічного зазначення класів для ПТ-елементів, що служать як варіанти відповідей використовуються відображення  $TAClasses$  і  $TANotClasses$ :

$$\begin{aligned} TAClasses: TTempl &\rightarrow 2^{CClasses} \cup 2^{TClasses}, \\ TANotClasses: TTempl &\rightarrow 2^{CClasses} \cup 2^{TClasses}. \end{aligned}$$

### Генерація тестового завдання

Подамо послідовність побудови і візуалізації тестового завдання  $taskk$  тесту на основі ПТ-елементів, їх зв'язку з навчальними матеріалами і шаблонів тестових завдань. Позначимо як  $test_k$  тест, в рамках якого будується завдання:

$$task_k \in TestTasks(test_k).$$

1. Вибір контрольної ПТ-пари. Випадковим чином обирається контрольна ПТ-пара з контрольної області навчального контенту  $TaskCT(task_k) = (t_k, c_k)$ :

$$TaskCT(task_k) = (t_k, c_k): (t_k, c_k) \in CT \wedge \forall T(t_k) \in Vtrg(test_k).$$

2. Пошук допустимих шаблонів завдань. На основі класів контрольного поняття  $c_k$  і тези  $t_k$  знаходиться множина усіх можливих варіантів шаблонів  $TT$ . По-перше, знаходяться усі можливі шаблони для випадку, коли в основі тестового запитання стоїть поняття,  $TQEntity(tt)=Concept$ . Позначимо цю множину шаблонів завдань  $TT'$ ,  $TT' \subseteq TTemp$ :

$$TT' = \{ tt: TQEntity(tt)=Concept \wedge (CClass(c_k) \in TQClasses(tt) \vee TQClasses(tt)=0) \wedge CClass(c_k) \notin TQNotClasses(tt) \wedge (TClass(t_k) \in TAClasses(tt) \vee TAClasses(tt)=0) \wedge TClass(t_k) \notin TANotClasses(tt) \} .$$

Аналогічно знаходяться усі можливі шаблони для випадку, коли в основі тестового запитання стоїть теза,  $TQEntity(tt)=Thesis$ . Цю множину шаблонів завдань позначимо  $TT''$ ,  $TT'' \subseteq TTemp$ :

$$TT'' = \{ tt: TQEntity(tt)=Thesis \wedge (TClass(t_k) \in TQClasses(tt) \vee TQClasses(tt)=0) \wedge TCass(t_k) \notin TQNotClasses(tt) \wedge (CClass(c_k) \in TAClasses(tt) \vee TAClasses(tt)=0) \wedge CClass(c_k) \notin TANotClasses(tt) \} .$$

Таким чином сукупна множина усіх можливих шаблонів завдань для завдання з контрольною ПТ-парою  $TaskCT(task_k)$  поєднає обидва випадки:

$$TT = TT' \cup TT'' .$$

3. Вибір шаблону завдання. З множини шаблонів  $TT$  випадковим чином вибирається один шаблон  $tt_k$ , що й слугуватиме шаблоном завдання:  $TaskTempl(task_k)=tt_k$  для генерації і візуалізації тестового завдання  $task_k$ .

4. Пошук альтернативних варіантів відповідей. У відповідності до обраного шаблону здійснюється пошук ПТ-елементів, що можуть слугувати як альтернативні варіанти відповіді. У випадку, коли  $TQEntity(tt_k)=Concept$ , можливі альтернативні варіанти відповіді обираються із множини тез, клас яких відповідає параметрам шаблону  $tt_k=TaskTempl(task_k)$ :

$$TaskAltems' = \{ t: t \neq t_k \wedge CT(t) \neq c_k \wedge ( TClass(t) \in TAClasses(tt_k) \wedge TAClasses(tt_k) \neq 0) \vee (t \in T \wedge TAClasses(tt_k) = 0) ) \wedge TClass(t) \notin TANotClasses(tt_k) \wedge VT(t) \in Vres(test_k) \} .$$

У випадку, коли  $TQEntity(tt_k) = Thesis$ , можливі альтернативні варіанти відповіді обираються із множини понять, клас яких задовольняє вимогам шаблону  $tt_k = TaskTempl(task_k)$ :

$$TaskAltems' = \{ c: c \neq c_k \wedge CT(t) \neq c_k \wedge ( CClass(c) \in TAClasses(tt_k) \wedge TAClasses(tt_k) \neq 0) \vee (c \in C \wedge TAClasses(tt_k) = 0) ) \wedge CClass(c) \notin TANotClasses(tt_k) \wedge VC(c) \cap Vres(test_k) \neq 0 \} .$$

Із отриманої множини випадковим чином вибирається підмножина  $TaskAltems(task_k)$ , потужність якої залежить від кількості варіантів відповідей, що повинні увійти в завдання.

5. Візуалізація тестового завдання. Коли усі семантичні дані готові, здійснюється відображення тестового завдання користувачу.

Запитання будується на основі текстового шаблону  $TQStr(task_k)$ . У передбачене шаблоном місце вставляється текст запитального елемента контрольної ПТ-пари  $TaskCT(task_k) = (c_k, t_k)$ . У випадку, коли в основі запитання стоїть поняття, тобто  $TQEntity(tt_k) = Concept$ , у запитанні фігуруватиме текст поняття  $c_k$ , у іншому випадку — текст тези  $t_k$ .

Список варіантів відповідей формується з набору неправильних відповідей  $TaskAltems(task_k)$  і правильної відповіді, яка отримується з контрольної ПТ-пари. Список варіантів відповідей сортується випадковим чином і разом із запитанням подається користувачу у якості тестового завдання. Алгоритм генерації тестового завдання показано на рис. 2.21.

Після отримання відповіді студента на сформоване завдання відбувається аналіз правильності шляхом порівняння відповіді з істинним варіантом. У випадку невірної відповіді дані про контрольні поняття  $c_k$ , тезу  $t_k$  і ділянку навчального матеріалу  $VT(t_k)$  використовуються для інформування студента про пробіли у вивченні відповідного навчального матеріалу і навчального поняття, а також для корекції подальшого сценарію навчання. Таким чином після проходження тесту з набору автоматично сформованих тестових завдань системою

накопичуються інформація про здобутки студента і його пробіли у навчанні. Виявлені пробіли можуть стати сигналом для детальнішої перевірки знань по відповідній ділянці навчального матеріалу або ж ступеня засвоєння відповідного навчального поняття.

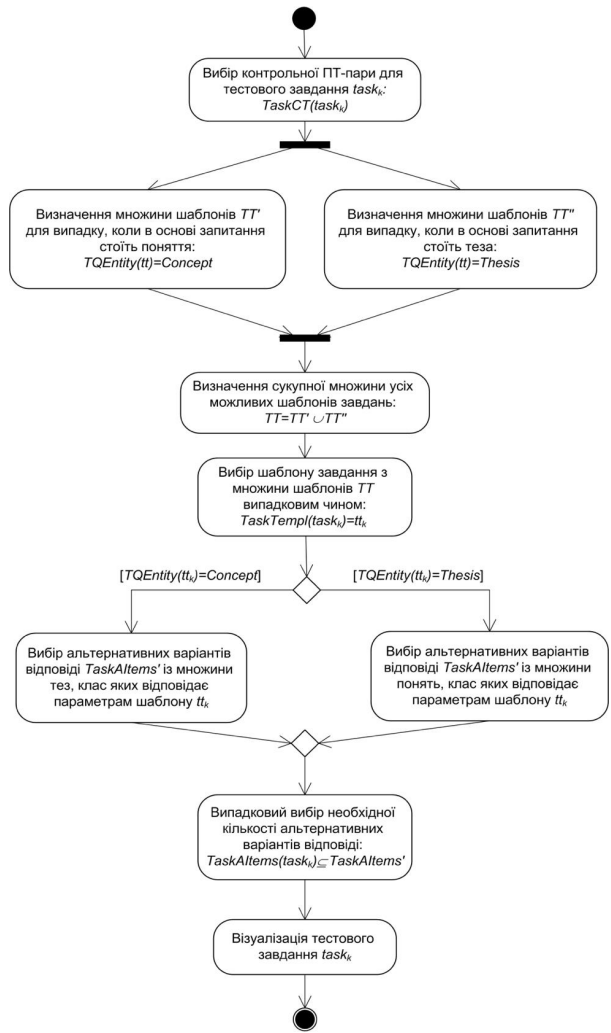


Рис. 2.21. Алгоритм генерації тестового завдання. Діаграма діяльності у нотації UML

## Порівняння ПТМ з іншими підходами побудови тестових завдань

Описані підходи до побудови тестових завдань були реалізовані і апробовані у відкритому навчальному процесі на порталі дистанційного навчання [119]. Практика використання ПТМ дає змогу зробити порівняльний аналіз технології ПТМ з традиційною технологією ручної побудови тестів та технологією автоматизованої побудови тестових завдань на основі семантичних мереж. Порівняльний аналіз наводиться в табл. 2.4.

Таблиця 2.4

### Порівняльний аналіз технологій побудови тестових завдань

| Критерій |   | Технології тестування   |   |   |
|----------|---|---|---|---|
|          |   | Традиційний підхід  | Семантичні мережі   | Понятійно-тезисна модель  |
| 1        | 2   | 3   | 4   | 5   |
| 1        | <b>Принцип роботи</b>   | Комп'ютерна реалізація традиційного тестування.<br>На основі педагогічної технології. | На основі бази знань семантичної мережі.<br>Центральною структурною ідеєю для формування тестових запитань є триада: «поняття»-«відношення»-«поняття».<br>Технологія в межах традиційної (непедагогічної) постановки задачі для ШІ. | На основі понятійно-тезисної бази.<br>Центральною структурною ідеєю для формування тестових завдань є зв'язок «навчальний матеріал»-«тези»-«поняття».<br>Модель носить педагогічний характер з елементами застосування інженерії знань. |
| 2        | <b>Спосіб формування бази знань або банку завдань</b>           | Ручним способом.<br>Фактичне створення запитань і варіантів відповідей викладачем.    | Формування бази знань експертом з предметної області.<br>Визначення понять і зв'язків між ними.   | Формування бази знань шляхом виділення із тексту навчального матеріалу семантичних одиниць за нескладною схемою.  |
| 3        | <b>Трудові і часові витрати, необхідні для підготовки тесту</b> | Високі. Прямо пропорційні кількості необхідних запитань. Важко оптимізуються.         | Необхідні великі витрати на формування бази знань.<br>Проте формування тестів відбувається автоматично  | Порівняно невеликі витрати. Генерація тестів відбувається автоматично.  |

Закінчення табл. 2.4

| 1 | 2   | 3   | 4   | 5   |
|---|---|---|---|---|
| 5 | <b>Якість тестових завдань і їх лексична зрозумілість</b>   | Висока, так як їх формування здійснюється безпосередньо людиною.  | Завдання часто важкі для сприйняття людиною. Це пов'язано з тим, що семантичні мережі створювались для «пояснення» знань комп'ютеру, а тому погано підходять для спілкування з людиною.   | Хоча якість і уступає завданням створеним вручну, проте вона достатньо висока, так як запитання будуються на основі фрагментів навчального тексту, створеного людиною.  |
| 6 | <b>Ступінь автоматизації генерації завдань тесту</b>  | Фактично відсутня. Використовуються готові завдання.  | Повна автоматизація на основі створеної семантичної мережі.   | Повна автоматизація на основі семантичних даних ПТМ і їх зв'язків з навчальним матеріалом.  |
| 7 | <b>Відповідність тесту навчальним матеріалам, поданим для вивчення студентам, у тому числі за умов переструктурування курсу</b> | Відповідність тесту навчальному матеріалу закладається на етапі створення тестових завдань і залежить від конкретної системи. У випадках потреби проводили тестування по деяким конкретним ділянкам навчального курсу або його реструктуруванні, з'являється необхідність збагачення тестових завдань метаданими про навчальну ділянку. | У зв'язку з тим, що для створення семантичної мережі застосовуються знання про предметну область взагалі, зв'язок з конкретними навчальними матеріалами має бути встановлений окремо. При цьому ускладнюється контроль відповідності тестового завдання конкретній ділянці навчального матеріалу. | Зв'язок навчального матеріалу і семантичних даних закладено в самій моделі, і він задається природним чином під час формування бази знань. Це дає змогу при переструктуруванні навчального матеріалу коректно генерувати відповідні тестові завдання. |
| 8 | <b>Можливість вироблення рекомендацій для управління подальшим процесом навчання</b>  | У залежності від ступеня інтеграції з навчальним матеріалом і наявності у тестових завданнях метаданих про навчальну ділянку.   | Рекомендації можуть звертати увагу студента на конкретні поняття, які були слабко засвоєні їм під час вивчення.   | Завдяки глибокій інтеграції з навчальним матеріалом є можливість точно визначати, які ділянки навчального матеріалу потребують повторення, а також звернути увагу студента на конкретні навчальні поняття.  |

## Побудова тестових завдань різних типів з диференціацією за рівнем складності

Сучасні засоби навчання широко спираються на використання інтернет-простору, стимулюючи подальший розвиток компонентів дистанційних навчальних систем. Однією з ключових складових дистанційного навчання є моніторинг та перевірка знань. Дистанційне навчання дозволяє навчатись або перевіряти знання віддалено, що може бути дуже корисним у випадках неможливості очної присутності. Найпоширенішим способом перевірки знань в навчальних системах є тестування. Сучасний темп оновлення професійних галузей зумовлює значущість задачі автоматизованої побудови тестів та тестових завдань, що пришвидшить підготовку навчальних курсів та середовищ з сучасних напрямків навчання [140]. Був запропонований метод автоматизованої побудови тестових завдань на основі моделі формалізації дидактичного тексту ПТМ [103, 104], розглянутий вище. Питання диференціації складності тестів, а також формалізація побудови тестових завдань різних типів в ПТМ потребує розширення та доопрацювання. Представимо модифікований формальний апарат для генерації тестових завдань різних типів для формування тестів різної складності на базі ПТМ.

Будемо використовувати шаблони, які опишемо множиною:

$$T\text{Templ} = \{tt_1, tt_2, \dots, tt_n\}.$$

У запропонованій вище реалізації тестування на базі ПТМ шаблони керували формуванням завдань множинного вибору відповідно до двох способів: 1) в основі питання — теза, в основі варіантів відповідей — поняття; 2) в основі питання — поняття, варіанти відповідей є тезами [104]. Шаблони [104] описують сутність запитального елементу (поняття чи теза), допустимі класи для запитального елементу та елементів-відповідей. Усі тестові завдання належать до такого типу, що передбачає вибір однієї правильної відповіді із поданих варіантів. Пропонується диверсифікувати використання подібної структури шаблону для генерації різних типів тестових завдань.

Множину завдань позначимо наступним чином:  $Task = \{Task_i\}$ , а множину їх типів:  $T\text{Type} = \{CO, CS, WA, MI, GF, RW\}$ . Дамо опис для кожного типу завдання:

- *CO* — завдання множинного вибору з вимогою вибору однієї вірної відповіді;
- *CS* — завдання множинного вибору з вимогою вибору декількох вірних відповідей;
- *WA* — завдання відкритого типу, в якому потрібно вписати поняття-відповідь на тезу-визначення, що зазначена в питанні;
- *MI* — завдання на зіставлення наборів відповідних ПТ-елементів;
- *GF* — завдання відкритого типу, де необхідно заповнити прогалину в твердженні;
- *RW* — завдання множинного вибору з вимогою вказати некооректні варіанти відповідей.

Типи завдань, доступні для генерації на базі даного шаблону, опишемо наступним зв'язком:

$$TTempTypes: TTemp \rightarrow 2^{TType}.$$

Таким чином, атрибути шаблону *tti*:

- *TQEntity(tti)* — тип ПТ-елемента, який лежить в основі питання;
- *TQStr(tti)* — шаблонний текст, який відповідає запитанню тестового завдання;
- *TQClasses(tti)* — допустимі класи ПТ-елементу, що лежить в основі питання;
- *TQNotClasses(tti)* — недопустимі класи ПТ-елементу, що лежить в основі питання;
- *TAClasses(tti)* — допустимі класи ПТ-елементу, що лежить в основі відповіді;
- *TANotClasses(tti)* — класи ПТ-елементу, що лежить в основі відповіді, який не можна використовувати для шаблону;
- *TTempTypes(tti)* — нове поле в структурі шаблону, в якому вказується множина типів завдань, які можуть бути згенеровані на базі даного шаблону.

В кожному шаблоні в полі *TQStr* також зберігається маркер для заповнення ПТ-елементом. Якщо такого маркера нема, то ПТ-елемент вставляється в кінець рядка *TQStr(tti)*. Зазначимо, що для завдань  $\{MI, GF, RW\}$  рядок запитання не буде містити ПТ-елемент.

### **Генерація тесту з диференціацією за рівнем складності.**

Рівень складності тестів поділимо на низький, середній та складний, позначимо їх множиною:

$$Complexity = \{Low, Middle, Hard\}.$$

Такий поділ дозволить розподілити завдання за рівнем складності, а потім провести диференційоване тестування. Типи завдань, які генеруються, в залежності від складності тесту описуються наступним чином:

$$TypesByComplexity(cl) = \begin{cases} \{CO, CS, WA\}, cl = Low \\ \{CO, CS, WA, MI\}, cl = Middle \\ \{CO, CS, WA, MI, GF, RW\}, cl = Hard. \end{cases}$$

Для забезпечення валідності тестових завдань, було виявлено, що аспекти понять можна використовувати, тільки коли вони або їх тези виступають запитальним ПТ-елементом. В першому випадку тези, що відносяться до інших аспектів-відповідей або відносяться до головного поняття аспекту-питання, не мають бути дистракторами. В другому, поняття-дистрактори не мають бути аспектами, а також не мають бути головним поняттям аспекту, до якого ця теза-запитання відноситься.

Модифікований алгоритм побудови тестового завдання містить наступні етапи [140]:

**1. Вибір контрольної області контенту.** Обрана сукупність елементів контенту з множини контенту  $V$  формують контрольну область даного тесту  $test$ :

$$SuffControlA \subseteq V.$$

Тут же здійснюється перевірка достатності даних для побудови тесту:

$$(|\{t: t \in T \wedge VT(t) \in SuffControlA\}| \geq rta) \rightarrow contentValid(SuffControlA),$$

де  $rta$ —мінімальна необхідна кількість тез для забезпечення генерації тестових завдань, встановлюється евристично.

**2. Вибір складності тесту:**

$$cl_{test} \in Complexity.$$

3. Генерація необхідної кількості тестових завдань відповідно до складності тесту. З множини допустимих типів завдань для даного рівня складності, формуємо необхідну кількість тестових завдань в циклі.

**Генерація тестового завдання.**

3.1. Вибір одного з допустимих типів тестових завдань  $tType$ :

$$tType \in TypesByComplexity(cl_{test}).$$

3.2. Вибір шаблону, що підходить для генерації завдання з типом  $tType$ . Шукаємо шаблон  $tt_i$ , що задовольняє умові:

$$tType \in TTemplTypes(tt_i).$$

3.3. Пошук допустимих ПТ-елементів для даного шаблону  $tt_i$ , що знаходяться в контрольній області  $SuffControlA$ . Множину понять та тез області  $SuffControlA$  будемо визначати так:

$$\begin{aligned} SCControlA &= \{c: VC(c) \cap SuffControlA \neq \emptyset\}, \\ STControlA &= \{t: VT(t) \in SuffControlA\}. \end{aligned}$$

Для множини завдань всіх типів, крім  $MI$ , оператор вибору допустимих запитальних ПТ-елементів для даного шаблону  $tt_i$  виглядає так:

$$STQEntities(tt_i) = \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} t : t \in T \wedge t \in STControlA \wedge \\ \left( \begin{array}{l} TClass(t) \in TQClasses(tt_i) \\ \vee TQClasses(tt_i) = 0 \end{array} \right) \wedge, TQEntity(tt_i) = Thesis \\ TClass(t) \notin TQNotClasses(tt_i) \end{array} \right\} \\ \left\{ \begin{array}{l} c : c \in C \wedge t \in SCControlA \wedge \\ \left( \begin{array}{l} CClass(t) \in TQClasses(tt_i) \\ \vee TQClasses(tt_i) = 0 \end{array} \right) \wedge, TQEntity(tt_i) = Concept \\ CClass(c) \notin TQNotClasses(tt_i) \end{array} \right\} \end{cases}$$

Якщо множина  $STQEntities(tti)$  непушта, з множини  $STQEntities(tti)$  обираємо випадковий елемент, позначимо його  $STQEntity$ .

Для типу завдання на зіставлення  $MI TQEntity(tti)$  може бути лише поняттям, і в межах одного завдання необхідно отримати набір різних понять, для яких далі буде обрано відповідний набір тез для співставлення аналогічно наступним крокам алгоритму.

Якщо множина  $STQEntities(tti)$  виявилась порожньою, то  $tti$  шаблон виявився недопустимим або в навчальному фрагменті, що відноситься до множини  $SuffControlA$ , ПТ-елементи не підійшли під умови відбору. У такому випадку здійснюється перехід до п.3.2. Якщо не вдалося знайти жодного шаблону для завдання  $tType$ , здійснюється перехід до п.3.1. для вибору іншого типу завдання.

**3.4. Пошук правильних варіантів відповідей.** ПТ-сутність для варіантів відповідей умовно позначимо як  $Entity$ :

$$Entity = \left( ent: ent \in (CTEntity \setminus TQEntity(tti)) \right).$$

Множина відповідних ПТ-елементів:

$$E = \begin{cases} C, Entity = Concept \\ T, Entity = Thesis \end{cases}$$

Умовно позначимо відповідні множини класів ПТ-елементів як  $EClass$ .

Правильність варіантів забезпечується їх відношенням до запитального ПТ-елемента. Предикат  $corresponds(e,a)$  формалізує твердження про те, що аргумент-теза дійсно відноситься до аргументу-поняття:

$$\left( \begin{array}{l} (e \in C \wedge a \in T \wedge CT(a) = e) \vee \\ (e \in T \wedge a \in C \wedge CT(e) = a) \end{array} \right) \rightarrow corresponds(e, a).$$

Оператор вибору множини можливих вірних варіантів відповідей для всіх типів завдань, крім  $tType=GF$ :

$$RTAEntities(tt_i) = \left\{ \begin{array}{l} e: e \in E \wedge \text{corresponds}(e, STQEntity) \wedge \\ \left( EClass(e) \in TAClasses(tt_i) \vee \right. \\ \quad \left. TAClasses(tt_i) = \emptyset \right) \wedge \\ EClass(e) \notin TANotClasses(tt_i) \end{array} \right\}.$$

Для типу завдання на заповнення прогалини в твердженні, де  $tType = GF, TQEntity(tt_i) = Concept$ , узагальнений оператор пошуку допустимих тез-тверджень:

$$RTAEntities(tt_i) = \{e: e \in E \wedge \text{corresponds}(e, STQEntity) \wedge Entity = Thesis \wedge \text{isSubstring}(STQEntity, e) \wedge (EClass(e) \in TAClasses(tt_i) \vee TAClasses(tt_i) = \emptyset) \wedge EClass(e) \notin TANotClasses(tt_i)\}.$$

**3.5. Пошук дистракторів.** Дистрактори шукаються для типів завдань  $CO, CS, RW$ . Тези, які відносяться до аспектів понять не використовуватимемо у якості дистракторів. Не використовуватимемо як дистрактори також поняття-аспекти. Оператор пошуку дистракторів для тестового завдання, де  $STQEntity$  не є аспектом і не є тезою аспекта, має вигляд:

$$WTAEntities(tt_i) = \{e: e \in E \wedge \neg \text{corresponds}(e, STQEntity) \wedge (\text{corresponds}(e, C(c_i)) \wedge C(c_i) \notin Aspects) \wedge (EClass(e) \in TAClasses(tt_i) \vee TAClasses(tt_i) = \emptyset) \wedge EClass(e) \notin TANotClasses(tt_i)\}.$$

Для випадку, коли  $STQEntity$  є аспектом, додається ще одна умова: тези, що відносяться до головних понять цього аспекту не повинні попадати в тестове завдання. Позначимо головні поняття аспекту  $STQEntity$  як  $MCofSTQEntity$ , тоді оператор пошуку дистракторів виглядає так:

$$WTAEntities(tt_i) = \{e: e \in E \neg \text{corresponds}(e, STQEntity) \wedge (\text{corresponds}(C(c_i), e) \wedge C(c_i) \notin Aspects \wedge C(c_i) \notin MCofSTQEntity) \wedge (EClass(e) \in TAClasses(tt_i) \vee TAClasses(tt_i) = \emptyset) \wedge EClass(e) \notin TANotClasses(tt_i)\}.$$

Для випадку, коли  $SQTEntity$  є тезою, що відноситься до аспекту поняття, позначимо головні поняття цього аспекту як  $MCofRTAEntities(tt_i)$ , і оператор пошуку дистракторів матиме вигляд:

$$WTAEntities(tt_i) = \{e: e \in E \neg \text{corresponds}(SQTEntity, e) \wedge (\text{corresponds}(T(t_i), e) \wedge e \notin \text{Aspects} \wedge e \notin MCofRTAEntities(tt_i)) \wedge (EClass(e) \in TAClasses(tt_i) \vee TAClasses(tt_i) = \emptyset \wedge EClass(e) \notin TANotClasses(tt_i))\}.$$

Використовуючи оператор пошуку дистракторів, визначаємо множину доступних дистракторів та обираємо випадковим чином необхідну кількість для даного завдання. Із знаходженням дистракторів тестове завдання вважаємо побудованим. Перехід до побудови наступного тестового завдання (п.3). Якщо необхідна кількість завдань тесту побудована, побудову тесту завершено. Алгоритм побудови тестового завдання у нотатції UML діаграма діяльності (рис. 3.8)

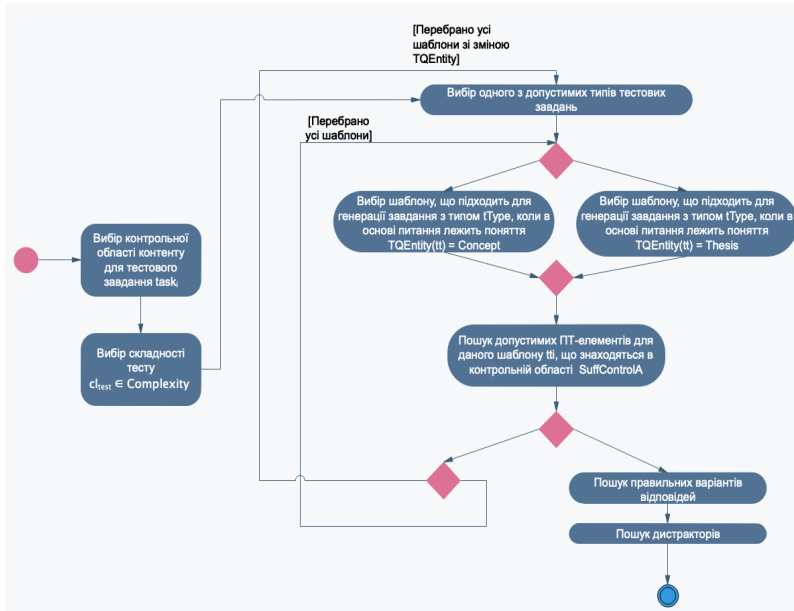


Рис. 3.8. Алгоритм побудови тестового завдання

Приклади завдань які генеруються зображені на рис. 3.9 — 3.14.

№ 2/11

**Choose one**

What statement is the most applicable to the concept **Background Image - Repeat Horizontally or Vertically** ?

By default, the background-image property repeats an image both horizontally and vertically.

Specifies the background color of an element.

The CSS background properties are used to define the background effects for elements.

```
//the background color of a page is set like this
body {
  background-color: lightblue;
}
```

It does not matter if one of the property values is missing, as long as the other ones are in this order.

CHECK

Рис. 3.9. Приклад завдання на вибір однієї правильної відповіді

№ 6/11

**Choose several**

What statement is applicable to the concept **Ways to Insert CSS** ?

There are three ways of inserting a style sheet: external style sheet, internal style sheet, inline style

When a browser reads a style sheet, it will format the HTML document according to the information in the style sheet

To use inline styles, add the style attribute to the relevant element

The style attribute can contain any CSS property.

With an external style sheet, you can change the look of an entire website by changing just one file!

NEXT

Рис. 3.10. Приклад завдання на вибір декількох правильних відповідей

№ 6/11

**Write answer**

Are element names surrounded by angle brackets --- ...

Answer

**CHECK**

Рис. 3.11. Приклад завдання відкритого типу

№ 9/11

**Fill gaps**

Fill in the missing word

Compared to display: block, the major difference is that  does not  
add a line-break after the element, so the element can sit next to other elements.

**CHECK**

Рис. 3.12. Приклад завдання на заповнення прогалини в твердженні

№ 11/11

**Remove wrong answers**

Remove extra items which are not essence of concept

SVG is used to define graphics for the Web

SVG is a W3C recommendation

Is a container for SVG graphics.

SVG is XML based, which means that every element is available within the SVG DOM. You can attach JavaScript event handlers for an element.

SVG is a language for describing 2D graphics in XML.

---

CHECK

Рис. 3.13. Приклад завдання вибору неправильних відповідей

№ 8/11

**Match items**

Combine Items

**Your answers**

How To Add Icons

Font Style

[attribute!="value"] Selector

The simplest way to add an icon to your HTML page, is with an icon library, such as Font Awesome.

This property has three values: normal (the text is shown normally), italic (the text is shown in italics), oblique (the text is "leaning", oblique is very similar to italic, but less supported)

The value has to be a whole word, either alone, like class="top", or followed by a hyphen( - ), like class="top-text"

---

CHECK

Рис. 3.14. Приклад завдання на співставлення наборів

Поданий алгоритм було реалізовано та апробовано під час організації тестування знань студентів. Тестування відбувалося для 29 студентів другого курсу по дисциплінам з інженерії програмного забезпечення. Теми, винесені на тестування в більшості стосувалися предметів, пройдених даною групою на попередньому році навчання, деякі теми стосувалися поточного семестру. Результати тестування оцінювалися у відсотковому відношенні вірних та хибних відповідей. При проходженні тесту, що базується на моделі складності *Low*, результати тестування в переважній більшості відповідали оцінці 90%. На рівні *Middle* — 75%, в той час як на *Hard* — 65%. На рівні тесту *Low* рідко зустрічались важкі завдання, в основному вони потребували навичок запам'ятовування та орієнтування в контрольній області. Рівень *Middle* завдяки завданню на співставлення *MI* вимагав більш глибокого розуміння предметної області. Тут зустрічались поняття з різних навчальних фрагментів контрольної множини контенту. Рівень *Hard* завдяки завданням *GF* та, особливо, *RW* вимагав здатності аналізувати та вимагав володіння повною картиною контрольної області. Користувачу було необхідно зрозуміти принцип, за яким потрібно прибрати зайві варіанти відповідей, проаналізувати твердження та володіти аналітичною здатністю в даній предметній області. Слід зазначити, що студенти, що показали вищий рівень семестрового навчання, загалом мали вищий відсоток в тестуванні рівня *Hard*. Отже, можна казати про успіх диференційованого тестування на базі запропонованої моделі та актуальність його подальшого дослідження і розвитку.

Таким чином, здійснено модифікацію методу автоматизованої побудови тестів на базі понятійно-тезисної моделі, що забезпечило диференціацію контролю за рівнем складності із застосуванням перевірки досягнення когнітивних цілей. Введено нові типи завдань, модифіковано структуру шаблонів тестових завдань та подано формальну модель генерації тесту з урахуванням рівня складності. Здійснено програмну реалізацію запропонованого формального апарату та проведено пілотне тестування, що підтвердило адекватність та перспективність здійснених модифікацій. Серед напрямків подальших досліджень — детальна формалізація розв'язання задачі достатності даних для генерації тесту, підвищення якості тестових завдань різних типів та побудова нових шаблонів завдань.

## Модифікації та аналоги понятійно-тезисної моделі для генерації тестових завдань

Метод автоматизованої побудови тестових завдань на базі ПТМ отримав критичний аналіз та отримав подальший розвиток в модифікаціях та аналогах даного підходу, здійснюваних різними дослідниками.

**Модифікація понятійно-тезисної моделі за допомогою ключових слів.** В роботі [141] пропонується модифікувати ПТМ шляхом додавання до структурних елементів ще додаткового компонента — ключових слів. Ключові слова — це слова або словосполучення, які використовуються для вираження деякого контекстного аспекту змісту тези [141]. Фактично такі ключові слова є структурним елементом мовної конструкції тези, тобто деякою її частиною. Під час семантичної формалізації тексту викладач виділяє поняття, додає до них тези і виділяє ключові слова. Самі ключові слова можуть тут дублювати інші поняття. До сутностей ПТМ додається множина ключових слів [141]:

$$K = \{k_1, \dots, k_{n4}\}.$$

Отже кожна теза  $t_j$  має довільну кількість ключових фраз  $k_p$ . Це задається відображенням [141]:

$$TK: K \rightarrow T.$$

Структура модифікованої ПТМ отримує вигляд, зображений на рис. 2.22.

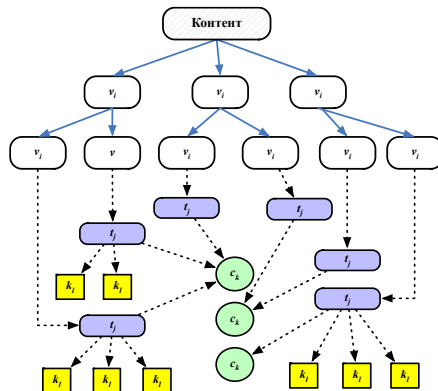


Рис. 2.22. Структура модифікованої ПТМ з ключовими словами

Таким чином, на основі відношень поняття-тези-ключові слова пропонується формувати додаткові типи тестових завдань. Тут при відображенні тези учневі відповідні ключові слова замінюються випадковими списками. Такий список містить певний набір різних ключових слів, серед яких є коректний варіант. Користувачу пропонується обрати коректні варіанти ключових слів для даної тези. Приклад завдання подано на рис. 2.23.

У твердженнях, що стосуються поняття **Посилання** пропущені ключові слова, заповніть їх:

може розглядатися як  який є ще одним ім'ям або псевдонімом

підвищують ефективність , особливо при передачі даних при ви

є видозмінена форма

...

Вибір в меню: Виберіть зі списку, Виберіть зі списку, програма, показник, зміна, функція

Рис. 2.23. Приклад тестового завдання з використанням ключових слів [141]

В [141] також пропонується заповнення опущених ключових слів у відкритій формі — через ручне введення відповіді в тестовому завданні.

У представленому прикладі усі тези стосуються зазначеного в питанні поняття. Вбачається доцільним також комбінувати подібне завдання на заповнення ключових слів із характерним для ПТМ завданням на відповідність ПТ-елементів. У такому випадку складність завдання підвищується, а контрольна діяльність передбачатиме значну аналітичну роботу учня.

Підхід з модифікацією ПТМ шляхом включення ключових слів є перспективним з точки зору розширення варіантів тестових завдань. У той же час слід зазначити, що ПТМ передбачає автоматичний синтаксичний аналіз тексту тез на предмет входження в нього інших понять [118], що фактично заміняє запроповану в роботі [141] ручну працю.

**Формування тестових завдань на основі модифікації понятійно-тезисної моделі з системою семантичних класів.** У роботах [142, 143] подано систему семантичних класів для формалізації предметної об-

ласті і подальшої генерації тестових завдань. Даний метод продовжує характерне для ПТМ моделювання предметної області шляхом формалізації навчального тексту через декомпозицію його структури і тверджень, виражених у реченнях.

У [142, 143] для повного опису характеристик предметної області пропонується сформувані такі когнітивні абстрактні класи: означення, проблеми, методи, ефективність методів, приклади реалізації методів. Система семантичних класів зображена на рис. 2.24 [142].

ПТМ у загальному випадку декомонує речення на два елементи — поняття та тезу, де поняття у більшості виражене підметом, а теза — представляє частину речення без підмета. Натомість у методі на базі семантичних класів [142, 143] фактично пропонується здійснювати детальну декомпозицію складнопідрядних речень. Тут, окрім поняття-підмета (*NmC* — назва поняття), головна предикативна частина речення без підмета формалізується як «базова компонента» (*BC*), підрядні предикативні частини формалізуються як «уточнюючі компоненти» (*SC*), засоби зв'язку такі як сполучники підрядності, сполучні слова, співвідносні та вказівні слова формалізуються за допомогою «зв'язку» (*CNJ*) і «типу зв'язку» (*TCNJ*). Таким чином формалізація означення передбачає набір елементів-компонент речення, об'єднаних в деревоподібну структуру (*IEi,j* — ідентифікатор, *Prn\_IEi,j* — ідентифікатор батьківського елемента) [142]:

$$Dfi = \{[IEi,j, CSi,j, CNJi,j, TCNJi,j, Prn\_IEi,j]\}.$$

Аналогічним чином детально формалізуються зазначені типи фрагментів навчального контенту, тобто означення, проблеми, методи, ефективність методів та приклади реалізації методів. Кожен із таких формалізованих компонентів представляється у вигляді елементів, структурованих у вигляді дерева.

Суть методу побудови тестових завдань полягає в тому, що деяке твердження розбивається на основну та альтернативну частини, які можуть містити одну або кілька компонент [142]. Альтернативна частина тестового твердження поповнюється аналогічними по лінгвістичному змісту синтаксично узгодженими частинами інших тверджень. Синтаксичне узгодження забезпечується, коли зв'язки компонент тверджень однорідні за типами і числами. На основі бази

тверджень може бути сформований набір тестових завдань із заданими параметрами у вигляді динамічної структури [142]. Приклад тестового завдання зображено на рис. 2.25.

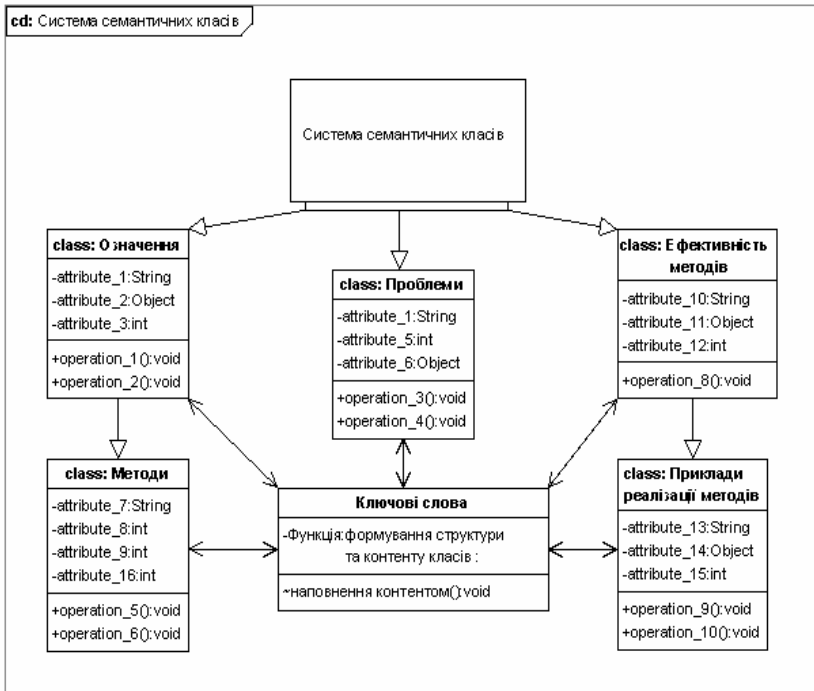


Рис. 2.24. Система семантичних класів [142]

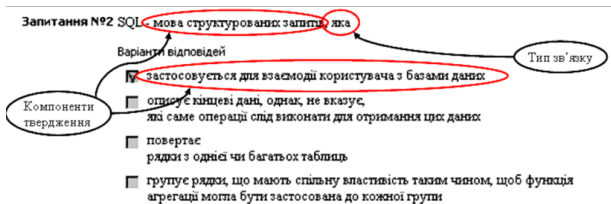


Рис. 2.25. Приклад тестового завдання на основі системи семантичних класів [143]

Подібна детальна формалізація навчального контенту [142, 143] дозволяє вирішувати проблему мовної неузгодженості, характерної для деяких тестових завдань, що генеруються на основі ПТМ. Детальна синтаксична та семантична формалізація дидактичного тексту, здійснена в [142, 143] є значним внеском в область навчальних систем та задачу автоматизації тестування. У той же час, даний підхід передбачає значні трудові витрати на дуже детальну ручну формалізацію компонент і характеристик навчального тексту, що значно ускладнює процес підготовки засобів контролю знань та ставить високі вимоги до експертів, що здійснюють формалізацію. Представлений метод значним чином ускладнює попередню формалізацію дидактичного тексту у порівнянні з ПТМ та вимагає значної кількості однорідних мовних конструкцій в навчальному тексті [140].

### **Усунення мовної неузгодженості в тестових завданнях, згенерованих на основі понятійно-тезисної моделі**

У спільній роботі з Танченком С. С. [131] ми пропонуємо модифікацію ПТМ з метою забезпечення мовної узгодженості в тестових завданнях.

Розглянемо проблему мовної неузгодженості тестів [131], згенерованих на основі ПТМ. Проблема полягає у невідповідності роду або числа понять та тез, що беруть участь у конструюванні тестового завдання. Це суттєво знижує якість завдання, а також ефективність перевірки засвоєння матеріалу.

**Мовні неузгодженості.** Нижче наведені приклади згенерованих завдань із мовними неузгодженостями:

1. У чому полягає сутність поняття *session.name*?

- a) являють собою розширення протоколу HTTP;
- b) повертає ім'я поточної сесії;
- c) є інформаційною моделлю предметної області;
- d) являє собою рядок з 32 символів.

2. До якого поняття наступне твердження підходить найбільше?

*Найбільш очевидно проявляє себе в систематичному переповненні каналів грошового обігу масою надлишкових грошей, що веде до їх знецінення:*

- a) конкретно-економічні відносини;
- b) пропонування;
- c) *інфляція*
- d) засіб обігу.

3. У чому полягає сутність поняття: *Internet*?

а) це система, що безперервно розвивається людьми, які використовують її послуги;

б) ідентифікує та встановлює наявність передбачуваних партнерів для зв'язку;

с) *дозволяла* будь-якому з комп'ютерів зв'язуватись з будь-яким іншим;

д) представлений протоколом TCP і UDP;

е) можна розділити на мережі з комутацією потоків і мережі з комутацією каналів.

*4. Яка особливість поняття: каналний рівень?*

а) нижче цього рівня тільки апаратний рівень;

б) *охопила* більше ніж 100 країн, *об'єднала* більше 40 тис. окремих мереж;

с) його політика припускала, що нова мережа буде орієнтована на різноманітних користувачів;

д) у 1986 році *зв'язувала* менше 6000 тис. комп'ютерів.

е) використовує процес експертної оцінки документів.

**Узагальнений мовний класифікатор в ПТМ.** Генерація тестів з використанням ПТМ відбувається на основі понятійно-тезисної бази, структурними одиницями якої є: «поняття» та «тези»:  $C = \{c_1, \dots, c_{n1}\}$ . Тези — це відомості про поняття. Зазвичай теза — це одне або декілька речень, в яких мова йде про поняття, але словесно поняття не фігурує в ній:  $T = t_1, \dots, t_{n2}$ . Зв'язок між поняттями та тезами:  $CT: T \rightarrow C$ ,  $TC: C \rightarrow 2^T$ ;  $CT: T \rightarrow C$ ,  $TC: C \rightarrow 2^T$ . ПТ-елементи виділяються із тексту навчального фрагменту, що відноситься до певного елемента контенту  $V$ . Зв'язок між предметами та тезами  $TV$ . Поняття предмету визначаються як  $CV(v)$ .

Шляхом подолання проблеми мовної неузгодженості є введення додаткової характеристики в опис структурних одиниць ПТМ, яку назвемо «узагальнений мовний класифікатор» (УМК). Множина УМК для поняття:

$$MC: \{mc_1, \dots, mc_{n3}\},$$

де  $mc_1$  — «чоловічий рід»;  $mc_2$  — «жіночий рід»;  $mc_3$  — «середній рід»;  $mc_4$  — «множина» [131]. Для кожного поняття та тези додається свій УМК. Особливістю є те, що теза може лексично відповідати поняттям, які мають відмінне значення УМК, ніж сама теза.

Зв'язок між поняттям і УМК:

$$MCC: C \rightarrow MC.$$

Позначимо множину УМК для тез:

$$MT = MC \cup mt',$$

де  $mt' = (mc_1, mc_2, mc_3)$  і означає «довільну однуину» [131]. Зв'язок між тезою і УМК:

$$MTT: T \rightarrow MT.$$

На рис. 2.26 зображено тестове завдання для поняття «константа» — жіночого роду, проте в якості дистракторів виступають тези, що відповідають поняттям як жіночого так і чоловічого родів, наприклад теза поняття «клас».

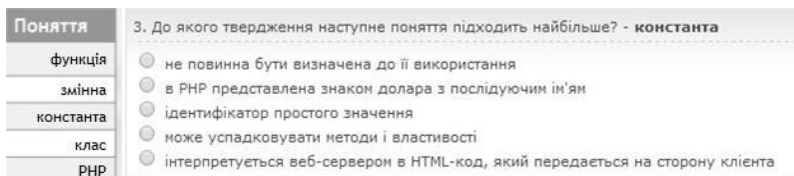


Рис. 2.26. Згенероване тестове завдання з використанням УМК [131]

### Алгоритм побудови тестового завдання на базі ПТМ з УМК.

Представимо алгоритм побудови тестового завдання  $task_k$  на основі ПТ-елементів, що містить наступні кроки [131]:

1) пошук контрольного поняття  $c_k$  на основі якого буде згенероване тестове завдання:

а) вибір випадкового поняття  $c'_k$  з контексту контрольної ділянки контенту  $Vtrg_k$ :

$$c'_k: [c'_k \in C \wedge VC(c'_k) \subseteq Vtrg_k];$$

б) пошук множини альтернативних варіантів відповідей (тез)  $T'_k$ , що не відносяться до поняття  $c'_k$ :

$$T'_k = t | (t, c'_k) \notin CT \wedge [MTT(t) = MCC(c'_k) \vee MCC(c'_k) \in MTT(t)];$$

с) перевірка, чи задовольняє обране поняття вимозі  $|T'_k| \geq 4$ , тобто контрольним поняттям може бути тільки поняття, ще має 4 або більше альтернативних варіантів відповідей. Якщо умова виконується, прийняти  $c_k = c'_k$ , інакше повернутись до п. 1.а;

2) вибір контрольної тези:  $t_k: t_k \in T_k$ , де  $T_k$  — множина тез, що відносяться до поняття  $c_k$  та відповідають контрольній ділянці контенту:

$$T_k = \{t | (t, c_k) \in CT \wedge VT(t) \in Vtrg_k\}.$$

3) візуалізація тестового завдання.

В результаті тестове завдання складається із:  $Tasks(task_k) = \langle c_k, t_k, T'_k \rangle$ , де:  $c_k$  — контрольне поняття;  $t_k$  — контрольна теза;  $T'_k$  — альтернативні варіанти відповідей.

На рис. 2.27 показано алгоритм побудови тестового завдання.

### 2.3.2. Модель освітнього запиту

Модель освітнього запиту (МОЗ) — сукупність структур та методів для реалізації запиту на освітні послуги до системи [126]. Запит будується на основі моделі Tree-Net, ПТМ та МПК і може містити інформацію про цільові навчальні матеріали, терміни і поняття, професійні компетенції, посаду чи спеціальність.

МОЗ призначена для ініціалізації індивідуального навчального процесу і організації індивідуалізованого доступу до міждисциплінарних ресурсів ІНП. Після надходження освітнього запиту, сформованого користувачем, відбувається налаштування нового освітнього процесу, фіксуються цілі навчання, створюється попередня модель користувача, окреслюється необхідний об'єм навчального контенту та готується попередній контроль. МОЗ служить у якості вхідних параметрів для механізму налаштування індивідуального навчального середовища.

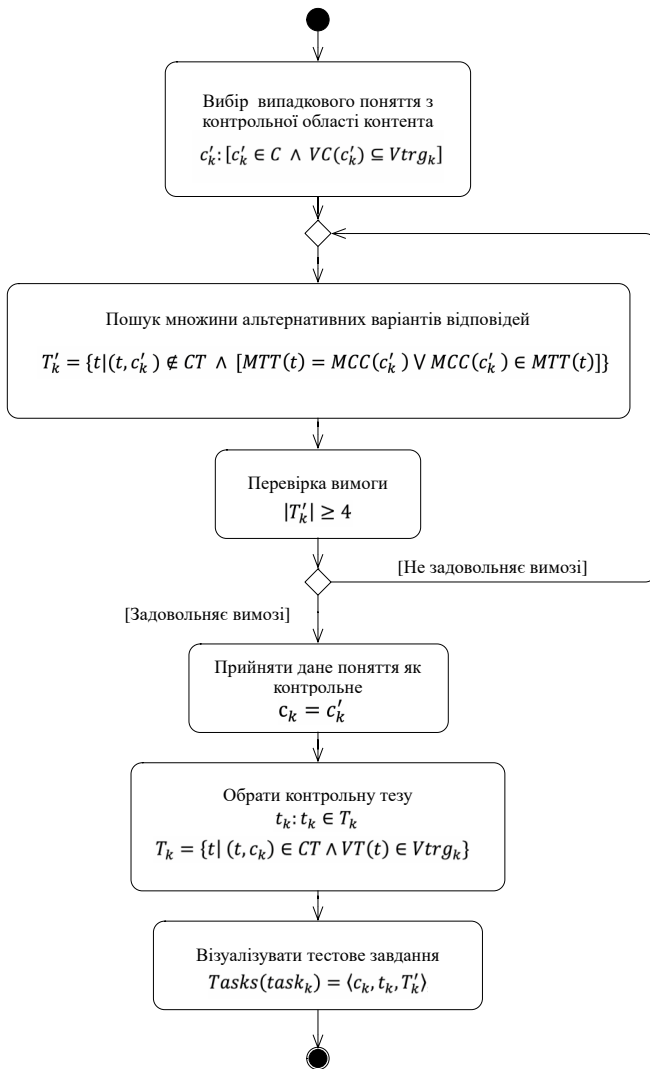


Рис. 2.27. Алгоритм побудови тестового завдання на базі ПТМ з УМК

Безперервне навчання передбачає гнучкість освітнього процесу і індивідуалізацію навчальних цілей на основі особистих професійних потреб учня. У зв'язку з цим освітній запит  $E_q$  на ініціалізацію нав-

чання може задаватися різними шляхами за допомогою зазначення таких елементів:

1) цільові компетенції або профіль спеціаліста:  $EqS \subseteq S$  або  $EqExp \subseteq Exp$ ;

2) цільові навчальні поняття:  $EqC \subseteq C$ ;

3) цільовий контент або навчальний курс:  $EqV \subseteq V$ ;

4) цільова тематична група або предметна область:  $EqG \subseteq G$ .

Таким чином повний опис освітнього запиту матиме вигляд:

$$Eq = \{EqS, EqExp, EqC, EqV, EqG\}.$$

Деякі елементи цього набору можуть бути пустими у випадку, коли відповідний елемент запиту не використовується. Результатом роботи освітнього запиту є ініціалізація моделі цілей користувача. Реалізація запиту відбувається на основі користувацького Web-інтерфейсу.

### 2.3.3. Модель користувача

Модель користувача (МК) описує цілі, рівень знань і навичок студента. Також модель зберігає власні уподобання користувача щодо налаштування індивідуального навчального середовища. МК структурно будується на основі Tree-Net, ПТМ, МПК і МОЗ. Множина учнів у системі:

$$L = \{li\}, \text{ де } i = 1..n_L.$$

Цільовий профіль спеціаліста задається відображенням:  $LExpAims: L \rightarrow 2^{Exp}$ . Цільові компетенції учня:  $LSAims: L \rightarrow 2^S$ . Цільовий контент учня:  $LVAims: L \rightarrow 2^V$ . Цільові поняття учня:  $LCAims: L \rightarrow 2^C$ . Цільові предметні області учня:  $LGAims: L \rightarrow 2^G$ . Таким чином цілі користувача задаються множиною:

$$LAims = \{LExpAims, LSAims, LVAims, LCAims, LGAims\}.$$

Модель знань користувача будується за принципами оверлейної моделі. Засвоєний матеріал задається відношенням:  $LV \subseteq L \times V$ , яке задається матрицею  $LVw = //lvw_{ij}//$ , де  $lvw_{ij}$  — числове вираження рівня

засвоєння  $i$ -м учнем  $j$ -ої ділянки контенту. Аналогічно засвоєнні поняття і компетенції задаються відношеннями  $LC \subseteq L \times C$  та  $LS \subseteq L \times S$ , які описуються відповідними матрицями  $LCw = \|\|lcw_{ij}\|$  та  $LSw = \|\|lsw_{ij}\|$ . Загальна модель досягнень або знань учнів має вигляд:

$$LKnow = \{LV, LC, LS\}.$$

Таким чином комплексна модель учня об'єднує інформацію про цілі учня і його навчальні здобутки:

$$LModel = \{LAims, LKnow\}.$$

#### **2.3.4. Моделі, методи і алгоритми підсистеми автоматизованої побудови індивідуального навчального середовища**

Модель викладання (МВ) охоплює та інкапсулює методи і алгоритми, які служать як основа підсистеми автоматизованої побудови індивідуального навчального середовища (ІНС). Сюди відносяться методи і алгоритми обробки освітнього запиту, автоматизованої побудови інтерактивного довідника з предметної області навчання та семантичного конспекту на основі онтології, метод вибору і впорядкування контенту індивідуального навчального середовища на основі нечіткого виведення на базі стенфордської моделі.

#### **Обробка освітнього запиту і ініціалізація індивідуального навчання**

У залежності від цілей користувача і типу його освітнього запиту навчальний процес та ІНС можуть приймати різні за цільовим призначенням і обсягом форми. Ці форми навчання розкриваються далі.

**Здобуття спеціальності.** У випадку, коли у якості запиту виступає *профіль спеціаліста*, тобто використовується елемент запиту  $EqExp$ , навчальний процес передбачає вивчення матеріалів, що стосуються фахової діяльності і компетенцій цього спеціаліста. Такий навчальний процес, як правило, включає вивчення великого об'єму навчального контенту, а також відповідний контроль і самоперевірку знань. Таким чином ініціюється модель учня  $l_i$  через зазначення цілей навчання:  $LExpAims(l_i) = EqExp$ . На основі  $LExpAims(l_i)$  визначаються інші компоненти моделі цілей:  $LSAims$ ,  $LVAims$ ,  $LCAims$  та  $LGAims$ .

**Здобуття компетенції або адаптованої спеціальності.** У якості освітнього запиту користувач може задати компетенцію, або набір компетенцій, через використання елементу запиту  $EqS$ , тим самим сформувавши власний цільовий профіль спеціаліста. Навчання у цьому випадку відбувається аналогічно навчанню по здобуттю спеціальності, проте цілі навчання мають більш індивідуальний характер, а обсяг навчання за рахунок такої індивідуалізації може бути зменшеним. Таким чином ініціюється модель учня  $li$  через зазначення цілей навчання наступним чином:  $LSAims(li)=EqS$ . На основі  $LSAims(li)$  визначаються інші компоненти моделі цілей:  $LExpAims$ ,  $LVAims$  та  $LCAims$ . У даному випадку  $LExpAims(li)$  містить адаптований, або створений користувачем профіль спеціаліста.

**Вивчення індивідуального навчального курсу.** У випадку, коли користувач безпосередньо обирає цільовий контент для вивчення, освітній запит подається через компоненту  $EqV$ . Навчальний процес має чітко окреслений навчальний матеріал вже на вході, тому цілі учня задаються відразу через множину цільового контенту:  $LVAims(li) = EqV$ . По цільовому контенту можуть бути визначені також інші компоненти в моделі цілей:  $LSAims$ ,  $LExpAims$ ,  $LCAims$  та  $LGAims$ .

**Дослідження предметної області.** Ще одним варіантом освітнього запиту на формування індивідуального навчального середовища може бути запит на вивчення деякої предметної області, що відповідає тематичній групі контенту в ієрархічно-мережевій моделі  $TreeNet$ . У цьому випадку освітній запит подається компонентою  $EqG$ . Подібний навчальний процес є характерним для безперервної освіти, коли спеціаліст заглиблюється у власну предметну область, або знайомиться з іншою областю знань для перекваліфікації. Тут навчальний процес має не такий жорсткий характер, як в інших випадках, проте також забезпечується функціями контролю та самоконтролю знань з відповідної предметної області. Модель цілей учня ініціюється через задання предметної області:  $LGAims(li)=EqG$ . Інші складові моделі цілей учня визначаються на основі  $LGAims(li)$ .

**Вивчення окремого поняття.** В умовах гострої необхідності інформаційної підтримки професійної діяльності безперервне навчання часом набуває форми інформаційного пошуку і використання довідкових даних. Таким чином актуальним також виявляється освітній запит на пояснення професійного терміну чи поняття. Такий запит зада-

ється компонентою  $EqC$ . Навчальний процес в даному випадку носить короткостроковий характер, система використовується у якості довідника. Цілі навчання задаються через ключові поняття:  $LCAims(l_i) = EqC$ . Інші компоненти моделі цілей визначаються на основі цільових понять  $LCAims(l_i)$ .

### Індивідуальне навчальне середовище

Ключовим завданням навчальної системи в контексті безперервного навчання є підготовка індивідуального навчального середовища, що здатне надати індивідуалізований доступ до ресурсів ІНП та підтримати індивідуальний навчальний процес, який відповідає цілям і потребам користувача [126]. Базовий набір компонентів індивідуального навчального середовища (рис. 2.28), що генерується на основі комплексу запропонованих моделей містить індивідуальний набір компетенцій  $iS \subseteq S$ , індивідуальну область контенту  $iV \subseteq V$ , індивідуальний набір предметних областей  $iG \subseteq G$  і індивідуальний термінологічний довідник, представлений у вигляді набору понять  $iC \subseteq C$ :

$$iE = \langle iS, iV, iG, iC \rangle.$$

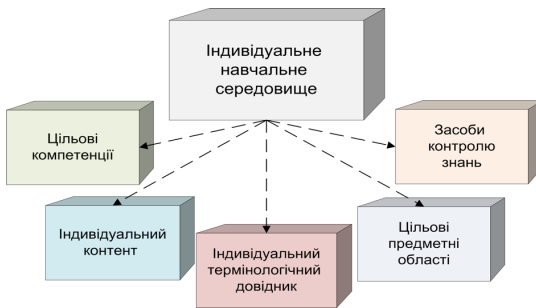


Рис. 2.28. Базовий набір компонентів ІНС

Крім цього ІНС забезпечується інструментарієм для автоматизованої діагностики і контролю знань. Індивідуальний набір компетенцій  $iS$  забезпечує професійну і практичну орієнтацію навчання, представляючи учневі у наглядній формі практичні цілі навчання. Індивідуальна область контенту  $iV$  є ключовим елементом ІНС, і фактично

є індивідуальним навчальним курсом або набором курсів. Індивідуальний набір предметних областей *iG* допомагає учневі зорієнтуватися і зрозуміти місце цільової навчальної інформації в структурі знань, а також надає додаткові можливості для самостійного розширеного знайомства з предметною областю навчання. Індивідуальний термінологічний довідник *iC* відіграє роль тезауруса і довідника курсу, надаючи швидкий доступ до визначень і опису ключових понять курсу, а також їх зв'язку з навчальним контентом. Засоби контролю знань забезпечують ІНС невід'ємною компонентою навчального процесу по перевірці і діагностиці навчальних досягнень.

### **Побудова семантичного конспекту і понятійного довідника курсу**

Семантичний конспект (СК) — це дидактично орієнтований довідник курсу, в якому тезисно подано основні відомості про ключові поняття курсу, а самі поняття представлено в порядку, що відповідає семантико-дидактичним вимогам. Ідея семантичного конспекту, який розробляється викладачем, запропонована в роботах Г. А. Атанова [144-146]. Семантичний конспект за Г. А. Атановим — це повний набір семантичних фактів або висловів, що розташовані у порядку вивчення матеріалу. Таким чином СК — це повний набір лаконічно поданих думок з предметної області. Ідея семантичного конспекту була адаптована і розвинена автором для застосування у межах ПТМ і онтології ПроО. На основі ПТМ процес побудови СК було автоматизовано, що значно скорочує трудові витрати. У якості висловів з предметної області застосовуються поняття і їх тези. СК на основі ПТМ синтезує опорний конспект, термінологічний довідник і інтерактивний тезаурус курсу.

Порядок СК передбачає, що дане навчальне поняття подається лише після того, як подано усі поняття, які дидактично йому передують. Крім того, семантичний конспект, запропонований в даній роботі, містить список *ключових* понять курсу, який отримав назву «*семантичне ядро*». Семантичне ядро знаходиться автоматично на основі аналізу дидактико-семантичної зв'язаності кожного поняття з іншими. До семантичного ядра входить поняття, яке є *семантичним центром* курсу. Таке поняття найсильніше зв'язане з іншими поняттями курсу. Для семантичного конспекту семантичний центр відіграє роль осі, відносно якої будується весь конспект.

Конспект будується для певного навчального курсу, тобто для деякого *цільового контенту*  $V_s \subseteq V$ . Множина  $V_s$  може також бути задана неявно через позначення деякого кореня піддерева контенту  $v \in V$ , і таким чином визначення  $V_s$  тут відбувається за допомогою оператора моделі контенту Tree-Net:

$$V_s = Desc(v) .$$

Наступним кроком буде пошук *цільових понять*  $C_s$ , тобто усіх понять цільового контенту  $V_s$ , які мають змістовні тези на цій множині контенту. Під змістовними розуміються тези, які не належать до класу «прикріплення» (*tAttaching*). Нагадаємо, що тези класу *tAttaching* не несуть змістовної інформації, а лише вказують на те, що в даному елементі контенту іде мова про відповідне поняття. Визначення цільових понять відбувається за допомогою оператора:

$$C_s = Cs(V_s) = \{c : c \in C \wedge \exists t (CT(t) = c \wedge tClass(t) \neq tAttaching \wedge VT(t) \in V_s)\} .$$

Далі визначається *міра зв'язаності* кожного з цільових понять з іншими поняттями з множини  $C_s$ . Під мірою зв'язаності будемо розуміти кількість зв'язків цього поняття з іншими в онтології предметної області. Таким чином величина зв'язаності поняття  $a$  відповідає потужності множини понять, пов'язаних з даним поняттям  $a$ :

$$rel(a, C_s) = |\{c \in C_s : CFCtoC(a, c) > 0 \vee CFCtoC(c, a) > 0\}| .$$

Поняття, що мають зв'язки називатимемо *зв'язаними*:

$$rel(c, C_s) > 0 \rightarrow c - \text{зв'язане поняття в області } C_s .$$

Поняття, що не мають жодних зв'язків називатимемо *незв'язаними*:

$$rel(c, C_s) = 0 \rightarrow c - \text{незв'язане поняття в області } C_s .$$

Знаючи міру зв'язаності, можна визначити семантичний центр. Як правило це поняття, що володіє найбільшою зв'язаністю. Проте,

щоб запобігти помилковому позначенню деякого фонового поняття у якості центру, слід передбачити додаткові перевірки. Адже можлива ситуація, коли деяке поняття є дуже зв'язаним але не є основним предметом курсу з точки зору дидактики. Такі поняття, як правило, не мають тез-визначень, тез-сутностей, тез-призначень (*tDefinition*, *tDestination*, *tEssence*) та інших *змістовних* та семантично важливих тез у множині цільового контенту. Як правило, фонові поняття представлені тезами-прикріпленнями та тезами загального характеру (*tAttaching*, *tGeneral*), або реверсними тезами (*tReverseGeneral*, *tReverseEssence*). Такі класи віднесемо до множини фонових класів *TClasses<sub>B</sub>*:

$$TClasses_B = \{tAttaching, tGeneral\} \cup \{tClass \in TClasses : TClassCF(tClass) \leq 0\}$$

Таким чином починаючи з понять з найбільшим *rel*, здійснюється послідовна перевірка понять на їх цільовий, тобто нефоновий характер. Перше нефонове поняття з найбільшою зв'язаністю буде семантичним центром. Перевірка поняття на нефоновий характер полягає у наявності у поняття змістовних тез. Таким чином, якщо множина змістовних тез непушта, поняття розглядається як нефонове, тобто цільове в даному контексті.

Правило, яке описує визначення нефонового поняття в контексті *V<sub>s</sub>*:

$$c \in C_s \wedge rel(c, C_s) > 0 \wedge \exists t(t \in TC(c) \wedge TClass(t) \notin TClasses_B \wedge \forall T(t) \in V_s) \rightarrow c - \text{Нефонове поняття в контексті } V_s, \\ \text{де } C_s = Cs(V_s).$$

Множина нефонових понять в контексті цільового контенту *V<sub>s</sub>*:

$$Csubj(V_s) = \{c : C_s = Cs(V_s) \wedge c \in C_s \wedge rel(c, C_s) > 0 \wedge \exists t(t \in TC(c) \wedge TClass(t) \notin TClasses_B \wedge \forall T(t) \in V_s)\}$$

Нефонове поняття з найвищим значенням *rel* є семантичним центром в контексті *V<sub>s</sub>*, і позначається *ccentre* :

$$rel(a, Cs(V_s)) = \max_{c_i \in Csubj(V_s)} (rel(c_i)) \rightarrow c_{centre} = a - \text{семантичний центр } V_s.$$

Семантичне ядро  $C_{core} \subset C_s$ , як набір ключових понять, визначається на основі семантичного центру  $c_{centre}$ . При цьому в процесі емпіричних досліджень у межах навчального порталу [119] встановлено, що для забезпечення дидактичної доцільності загальний розмір семантичного ядра не повинен перевищувати 20% загальної кількості цільових понять:  $|C_{core}| \leq 0,2 \cdot |C_s|$ . Крім цього мінімальне значення зв'язаності поняття ядра складає 10% від зв'язаності семантичного центру, але не повинно бути меншим за 3:  $\forall c \in C_{core} : rel(c) \geq \max(0,1 \cdot rel(c_{centre}, C_s), 3)$ . Таким чином до семантичного ядра послідовно заносяться поняття, починаючи з більших значень  $rel$  до менших, за умови, що вказані вигоди задовольняються.

Після того, як підготовлено  $V_s, C_s$ , семантичне ядро та семантичний центр, починається безпосередня побудова послідовності понять. Сутність алгоритму полягає у наступному: перед включенням до послідовності поточного поняття, воно перевіряється на наявність передуючих понять, якщо такі є, то спочатку відбувається включення до послідовності кожного з цих понять; потім включається поточне поняття, а після цього в чергу додаються поняття, що слідують за ним. Такий процес застосовується для кожного поняття під час його включення до послідовності. Подамо докладний алгоритм процесу побудови семантичного конспекту для курсу із набором контенту  $V_s$ .

1. Визначення цільових понять курсу  $C_s = C_s(V_s)$ .
2. Визначення нефонових понять контенту  $C_{nb} = C_{subj}(V_s)$ .
3. Розрахунок  $rel(a, C_s)$  для кожного з цільових понять  $a \in C_s$ .
4. Знаходження семантичного центру  $c_{centre}$  і семантичного ядра  $C_{core}$  курсу.

5. Встановлення у якості поточного поняття  $c_{cur}$  семантичного центру  $c_{centre}$ . Додавання першого елемента  $c_{cur}$  до впорядкованої множини понять СК:  $Sequence = \{c_{cur}\}$ . Ініціалізація допоміжних множин:  $BeforeCentreC_s = \emptyset, AfterCentreC_s = \emptyset$ .

6. Процедура  $BeforeCentre$  відносно поточного поняття  $c_{cur}$  —  $BeforeCentre(c_{cur})$ :

- 1)  $BeforeCentreC_s = BeforeCentreC_s \cup \{c_{cur}\}$ ;
- 2) отримання множини попередніх для  $c_{cur}$  понять  $C_{Before} \subseteq C_s$ :  $C_{Before} = \{c : c \in BeforeC(c_{cur}) \wedge c \in C_s\}$ . При цьому поняття множини  $C_{Before}$

впорядковані у порядку спадання по значенню  $CF(\text{concept\_before}(c, c_{cur}))$ , де  $c \in CBefore$ ;

3) послідовний перебір понять  $c \in CBefore$ , під час якого для кожного поняття  $c$  здійснюється перевірка чи не містить множина *Sequence* це поняття. Якщо не містить, то додати поняття  $c$  в *Sequence* перед елементом  $ccur$  і запустити *BeforeCentre* відносно даного поняття  $c$  —  $BeforeCentre(c)$ ;

4) отримання множини понять  $CAfter = \{c : c \in AfterC(c_{cur}) \wedge c \in C_s\}$ ,  $CAfter \subseteq C_s$ , що слідують безпосередньо після поточного  $ccur$  і впорядковані по значенню  $CF(\text{concept\_before}(c_{cur}, c))$  у порядку спадання, де  $c \in CAfter$ ;

5) послідовний перебір понять  $c \in CAfter$ , під час якого для кожного поняття  $c$  здійснюється перевірка чи не містить множина *Sequence* це поняття. Якщо не містить, то додати поняття  $c$  в кінець допоміжного набору *AfterCentreCs*.

7. Встановлення у якості поточного поняття  $ccur$  семантичного центру  $ccentre$ . Ініціалізація допоміжної мультимножини [147]  $acBeforeQueue = \emptyset$ . Процедура *AfterCentre* відносно поточного поняття  $ccur$  —  $AfterCentre(ccur)$ :

1) отримання множини понять  $CAfter = \{c : c \in AfterC(c_{cur}) \wedge c \in C_s\}$ ,  $CAfter \subseteq C_s$ , що слідують безпосередньо після поточного  $ccur$  і впорядковані по значенню  $CF(\text{concept\_before}(c_{cur}, c))$  у порядку спадання, де  $c \in CAfter$ ;

2) Перевірити чи існують в послідовності *Sequence* поняття-наслідки даного  $ccur$  :  $c \in CAfter \wedge c \in Sequence$  :

а) якщо такі є, знайти таке поняття-наслідок  $c' \in CAfter \wedge c' \in Sequence$ , що зустрічається в *Sequence* якомога раніше, тобто має якомога менший порядковий номер в *Sequence*. Вставити  $ccur$ , в *Sequence* перед знайденим елементом  $c'$ ;

б) інакше додати  $ccur$ , в кінець *Sequence*;

3) якщо  $c_{cur} \neq c_{centre} \wedge c_{cur} \notin BeforeCentreCs$  :

а) отримання множини попередніх для  $ccur$  понять  $CBefore = \{c : c \in BeforeC(c_{cur}) \wedge c \in C_s\}$ ,  $CBefore \subseteq C_s$ , впорядкованої в порядку спадання по значенню  $CF(\text{concept\_before}(c, c_{cur}))$ , де  $c \in CBefore$ ;

б)  $acBeforeQueue = acBeforeQueue + CBefore$  (операція виконується відповідно до правил арифметичного додавання мультимножин [147]);

с) послідовний перебір понять  $c \in CBefore$ , під час якого для кожного поняття  $c$  здійснюється перевірка на його присутність в *Sequence* — якщо  $c \notin Sequence$ :

- якщо  $k_{acBeforeQueue}(c) \leq 1$  (тут  $k_{acBeforeQueue}(c)$  — кількість екземплярів елемента  $c$  в мультимножині  $acBeforeQueue$  [147]), вставити поняття  $c$  в *Sequence* перед елементом  $ccur$ ;
- запустити *AfterCentre* відносно даного поняття  $c$  — *AfterCentre(c)*;

4) послідовний перебір понять  $c \in CAfter$ , під час якого для кожного поняття  $c$  здійснюється перевірка: якщо  $c \notin Sequence \wedge c \notin acBeforeQueue$ , то додати поняття  $c$  в кінець *Sequence* і запустити *AfterCentre* відносно даного поняття  $c$  — *AfterCentre(c)*.

8. Перевірити, чи всі поняття з допоміжного набору *AfterCentreCs* знаходяться в *Sequence*: для всіх понять, що задовольняють умові  $c \in AfterCentreCs \wedge c \notin Sequence$  запустити процедуру *AfterCentre* відносно  $c$ .

9. Перевірити чи відповідає розмір послідовності кількості цільових зв'язаних понять. Якщо ні, по черзі запустити процедуру *AfterCentre* для зв'язаних понять, що досі не в послідовності.

10. Додати до послідовності незв'язані поняття. Кінець.

Згенерований таким чином СК стає ефективним дидактичним засобом, а наявність гіпертекстових посилань всередині кожного з описів понять на інші терміни значно підвищує зручність такого інструменту. Приклад гіпертекстового семантичного конспекту, автоматично побудованого завдяки поданому алгоритму, показано на рис. 2.29 [119].

### **Удосконалення алгоритму упорядкування понять семантичного конспекту**

У спільному дослідженні з Копиловою В. Ю. [148] ми поставили задачу оптимізації впорядкування графу дидактичної онтології для побудови шляху між поняттями предметної області, що є основою семантичного конспекту. Побудова шляху вдосконалювалася за допомогою модифікації алгоритмів топологічного сортування.

Топологічне впорядкування орієнтованого графа — це лінійне впорядкування його вершин таким чином, що для кожного направленного ребра  $(u, v)$  вершина  $u$  передє вершині  $v$  у результуючій послідовності [148]. Топологічне сортування можливо лише у випадку, коли граф немає орієнтованих циклів, тобто застосовується лише для орієнтованих ациклічних графів. Алгоритми топологічного сортування не є оптимальними для обраної предметної області, тому що не

враховують особливості графу дидактичної онтології [148]. Алгоритм топологічного сортування з виділенням семантичного ядра, представлений вище, враховує дидактичні особливості онтографу, але потребує багато ресурсів.

**2. Основні етапи веб-розробки** ↑

**Основні етапи веб-розробки:**

- проектування *сайту* або веб-додатку;
- створення макетів сторінок;
- наповнення;
- обслуговування працюючого *сайту* або його програмної основи.

**3. Веб-сайт** [Центральне поняття розділу] ↑

**Веб-сайт** — Набір веб-сторінок

Розкритка *сайту* Тут має важливе значення не тільки власне реєстрація *сайту*, але й *оптимізація* його змісту під пошукової системи

**4. Контент-менеджер** ↑

**Контент-менеджер** — Редактор *сайту*.

**5. Модуль подання** ↑

**Модуль подання** — Генерує веб-сторінку із змістом при запиті на нього, на основі інформації з бази даних.

**6. CMS** [Ключове поняття розділу] ↑

**CMS** — Content management system

**CMS** — Система управління вмістом або система управління контентом

**CMS** — Програмне забезпечення для організації веб-сайтів чи інших інформаційних ресурсів в Інтернеті чи окремих комп'ютерних мережах

---

**CMS** — Працює на основі зв'язки  
Контент-менеджер → Модуль редагування → База даних → Модуль подання (ядро) → Відвідувач

---

Веб-сторінка Центральна сутність **CMS**

Рис. 2.29 Приклад семантичного конспекту

**Оптимізація алгоритму семантичного ядра.** Алгоритм пошуку семантичного ядра було вирішено оптимізувати за допомогою додавання топологічного сортування пошуком вглиб [148]:

1. Знайдемо семантичний центр графу дидактичної онтології, а саме вершину, суміжну з найбільшою кількістю вершин. Позначимо результуючу вершину як семантичний центр. До результуючої множини додамо семантичний центр.

2. Знайдемо множину понять-вершин графу, які передують семантичному центру. Знайдений підграф відсортуємо методом топологічного сортування пошуком вглиб та відповідно до ваги ребер. Пошук вглиб починаємо з вершин з більшою вагою ребра, що йде до семантичного центра. Додамо до результуючої множини відсортований підграф.

3. Знайдемо множину понять-вершин графу, що розташовані після семантичного центра. На отриманому підграфі виділимо семантичний центр підграфу та рекурсивно виконаємо пункти 2–3.

4. Перевірити, чи відповідає розмір послідовності кількості цільових зв'язаних понять. Якщо ні, по черзі запустити пункти 1–3 для зв'язаних понять, що досі не в послідовності.

5. Додати до послідовності незв'язані поняття.

Алгоритм виділення семантичного ядра було оптимізовано за допомогою лінійного упорядкування підграфів алгоритмом топологічного сортування через пошук вглиб, тим самим кількість ресурсів та час роботи алгоритму були зменшені [148].

### **Генерація індивідуального навчального середовища на здобуття спеціальності**

Індивідуальне навчальне середовище будується на основі відомостей про профіль спеціаліста. Слід зауважити, що профіль спеціаліста містить перелік компетенцій вищого рівня, тобто таких, що є коренями деяких виділених піддерев у загальному дереві компетенцій. Це означає, що перелічені у профілі компетенції можуть мати підлегли компетенції, що визначається за допомогою оператора декомпозиції компетенції *DescS*. Отже повний набір компетенцій, що стосуються даного профілю називатимемо *декомпозицією профілю спеціаліста* і визначатимемо наступним чином:

$$SDExp(exp) = \{s \in S : s \in SExp(exp) \vee s \in DescS(a), \text{ де } a \in SExp(exp)\}.$$

Усю сукупність контенту декомпонованого профілю спеціаліста називатимемо *профільною областю контенту* даного спеціаліста. Вона визначається на основі повного набору контенту кожної з компетенцій, для чого застосовується оператор:

$$VSDExp(exp) = \{v: v \in VatS(s), \text{ де } s \in SDExp(exp)\}.$$

Після отримання сукупності контенту  $V' = VSDExp(exp)$ ,  $V' \subseteq V$  декомпозиції профілю  $exp \in Exp$  для його ієрархічного структурування застосовуються базові відношення ієрархічності між елементами контенту  $F$  і  $Ch$ . В результаті отримуємо деяку сукупність піддерев контенту, які можуть розглядатися у якості *набору індивідуальних навчальних курсів і модулів*. Оператор  $Roots(V')$  вкаже на корені новоутворених піддерев.

На основі профільної області контенту визначаються предметні області, в яких працює спеціаліст:

$$GExp = \{g: g \in GV(v), \text{ де } v \in VSDExp(exp)\}.$$

Крім цього на основі зв'язків з понятійно-тезисними семантичними даними генерується *профільний довідник* спеціаліста, що містить перелік ключових термінів, їх визначень і контенту, в якому вони розкриваються. Набір термінів визначається оператором:

$$CExp = \{c: c \in CV(v), \text{ де } v \in VSDExp(exp)\}.$$

На основі профільної області контенту і понятійно-тезисної моделі індивідуальне навчальне середовище спеціаліста забезпечується інструментарієм для автоматизованої діагностики і контролю знань [102–104]. Таким чином базовий набір компонентів індивідуального навчального середовища, що генерується на основі знань про компетенції спеціаліста, містить декомпозицією профілю спеціаліста, профільну область контенту, предметні області спеціаліста і профільний довідник:

$$iEExp(exp) = \{SDExp(exp), VSDExp(exp), GExp(exp), CExp(exp)\}.$$

Таким чином генерація ІНС для учня  $li$  на основі цільового профілю, поданого у освітньому запиті  $E_q$  і збереженого в цілях учня  $LExpAims(li)$  описується наступним чином:

$$iE(li) = iEExp(exp) = \{SDExp(exp), VSDExp(exp), GExp(exp), CExp(exp)\}, \\ \text{де } exp \in LExpAims(li).$$

### **Генерація індивідуального навчального середовища на здобуття компетенції або адаптованої спеціальності**

Аналогічно до попереднього пункту генерація ІНС відбувається завдяки використанню операцій маніпулювання компетенціями і профілем спеціаліста МПК. На основі обраних через освітній запит користувачем  $li$  компетенцій  $LSAims(li)$  формується новий індивідуальний профіль спеціаліста  $exp$ :  $SExp(exp) = LSAims(li)$ . Таким чином генерація ІНС для користувача  $li$  на основі індивідуального цільового профілю, сформованого у відповідь на освітній запит, описується наступним чином:

$$iE(li) = iEExp(exp) = \{SDExp(exp), VSDExp(exp), GExp(exp), CExp(exp)\},$$

де  $exp$  — новий індивідуальний профіль спеціаліста, сформований на основі цільових компетенцій  $LSAims(li)$ .

### **Генерація індивідуального навчального середовища для вивчення індивідуального навчального курсу**

Через освітній запит модель користувача була ініційована через зазначення цільового контенту  $LVAims(li)$ , який відіграє роль індивідуального навчального курсу. Подамо роль і зміст кожної з компонент ІНС  $iE = \{iS, iV, iG, iC\}$  у контексті цього типу навчального процесу.

Перш за все, індивідуальна область контенту  $iV = LVAims(li)$  відповідає цільовому контенту користувача  $li$ . Компетенції, які стосуються даного набору контенту, визначаються через операцію:  $iS = \{s: v \in VatS(s), \text{де } v \in LVAims(li)\}$ .

Індивідуальний набір предметних областей визначається через зв'язок між індивідуальною областю контенту і тематичними групами:  $iG = \{g: g \in GV(v), \text{де } v \in LVAims(li)\}$ .

Індивідуальний набір понять, які фігурують у цільовій області контенту, служать у якості довідника і тезауруса індивідуального курсу:  $iC = \{c: c \in CV(v), \text{де } v \in LVAims(li)\}$ .

## Генерація індивідуального навчального середовища для дослідження предметної області

Дослідження предметної області ініціюється зазначенням в освітньому запиті набору цільових тематичних груп контенту, що описуються у моделі цілей користувача  $LG\text{Aims}(li)$ . У такому випадку індивідуальна область контенту користувача  $li$  визначається через оператори моделі Tree-Net:  $iV = VGG(LG\text{Aims}(li))$ . Визначення інших компонентів ІНС відбувається на основі  $iV$  аналогічно попередньому пункту.

## Генерація індивідуального навчального середовища для вивчення окремого поняття

Поняття для вивчення задається через освітній запит і зберігається в моделі цілей користувача  $c' \in LC\text{Aims}(li)$ . Даний навчальний процес відрізняється від інших і має короткостроковий характер, а метою ІНС тут є надання вичерпної інформації про запитуване поняття.

Перш за все, користувач отримує визначення і ключові відомості про поняття  $c'$  завдяки тезам-визначенням і тезам-сутностям ПТМ:

$$T' = \{t : t \in TC(c') \wedge (TClass(t) = t\text{Definition} \vee TClass(t) = t\text{Essence})\} .$$

Областю контенту є навчальна інформація, в якій фігурує цільове поняття  $c'$ :  $iV = VC(c')$ . При цьому першим у списку множини контенту  $iV$  подається контент, що містить визначення поняття  $c'$ :

$$V' = \{v : \exists t(t \in TV(v) \wedge t \in TC(c') \wedge TClass(t) = t\text{Definition})\} .$$

Визначення інших компонентів ІНС відбувається на основі  $iV$  аналогічно попереднім пунктам.

У кожному із навчальних процесів після отримання індивідуального набору контенту  $iV$  аналізується ієрархія відібраних елементів контенту. По-перше контент впорядковується в основну деревоподібну структуру, що задана у відображенні  $F$  моделі Tree-Net. У результаті отримуємо сукупність піддерев повного дерева контенту системи. Далі шукаються вершини новоутворених піддерев за допомогою спеціального оператора  $Roots$ :  $Roots(V\text{select})$ . Кожен із елементів цього набору є вершиною дерева. Кожна з цих вершин представлятиме дерево новоутвореного курсу, а кількість вершин  $|Roots(V\text{select})|$  вкаже на кількість індивідуальних навчальних курсів, які були створені.

## Метод впорядкування Web-контенту індивідуального навчального середовища

Після роботи підсистеми освітнього запиту в програмну систему надходить інформація про цільовий інформаційно-навчальний контент користувача. Цей контент має міждисциплінарний характер і може мати походження із різних суміжних предметних областей. У зв'язку з цим виникає задача упорядкування індивідуального міждисциплінарного контенту з урахуванням дидактико-семантичних співвідношень між його ділянками. Розв'язання цієї задачі спирається на онтологію предметної області, що забезпечує формалізацію понятійної складової контенту [117, 118].

Задача дидактичного упорядкування отриманих блоків контенту вирішується на основі відношень між поняттями онтології із застосуванням апарату стенфордської моделі нечіткого виведення (рис. 2.30).

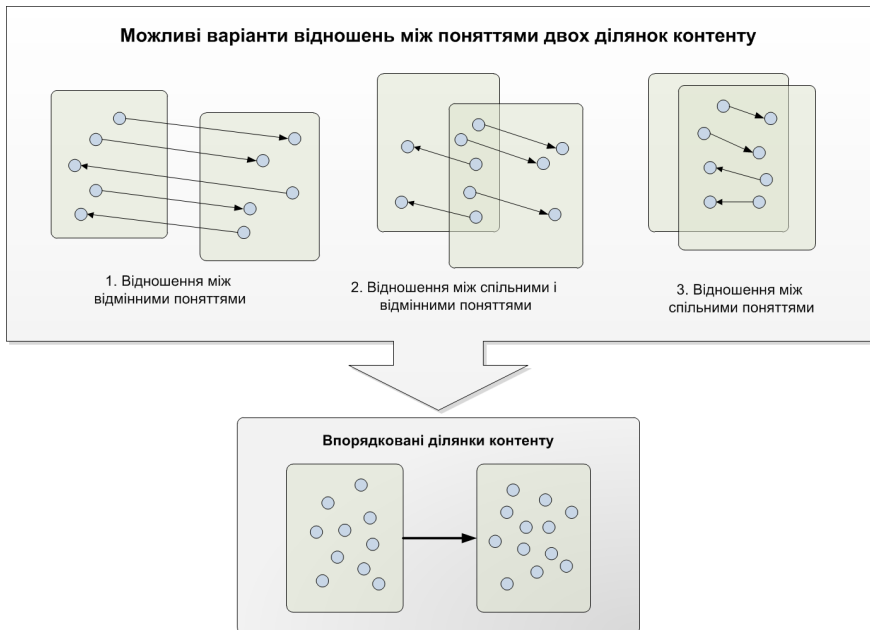


Рис. 2.30. Схематичне зображення задачі дидактичного упорядкування контенту

Етапи запропонованого методу впорядкування індивідуального контенту:

1. Побудова транзитивних зв'язків між поняттями і формування транзитивного замикання графу онтології, що ґрунтується на правилі:

$$\begin{aligned} & \text{concept\_before}(c_k, c_l) \langle CF_{kl} \rangle \wedge \text{concept\_before}(c_l, c_m) \langle CF_{lm} \rangle \rightarrow \\ & \text{concept\_before}(c_k, c_m) \langle CF_{kl} \times CF_{lm} \rangle \end{aligned}$$

Задача вирішується на основі алгоритму Флойда-Варшала, де у якості вагів ребер розраховуються фактори впевненості відповідно до поданого вище правила транзитивності. Побудова транзитивного замикання графа для великої онтології на основі понятійно-тезисної моделі (ПТМ) є ресурсомістким завданням, але вже на етапі безпосереднього впорядкування контенту це дозволяє суттєво зменшити час та навантаження на сервери системи.

2. Пошук *цільових* і *фонових* понять кожної з ділянок контенту  $V$ , керуючись правилами:

$$\begin{aligned} & \exists t (CT(t) = c \wedge tClass(t) \neq tAttaching \wedge VT(t) \in V) \rightarrow \\ & \rightarrow \text{concept\_essential}(c, V) \\ & \forall t (CT(t) = c \wedge VT(t) \in V \wedge tClass(t) = tAttaching) \rightarrow \\ & \rightarrow \text{concept\_pre}(c, V) \end{aligned}$$

Необхідність даних засобів логічного виведення полягає у тому, що однієї інформації про розглядувані поняття в тій чи іншій ділянці контенту не достатньо для того, щоб зробити висновок про послідовність блоків контенту. Адже в одному курсі деякі поняття можуть розглядатися як предмет вивчення, в іншому ж вони можуть бути присутні у якості понять, на які курс спирається для того, що визначити нові, цільові в даному контексті, поняття. Правило для предикату *concept\_essential* описує міркування, у відповідності до якого поняття вважається цільовим тоді, коли в даній ділянці контенту воно має смислові тези (тези, які несуть інформацію про поняття, адже тези класу *tAttaching* служать лише для задачі індексації контенту). Правило для

*concept\_pre* стверджує, що поняття є фоновим або нецільовим в даному контексті, якщо усі його тези тут лише описують синтаксичну присутність цього поняття в навчальному тексті і не несуть нової інформації (клас тез — *tAttaching*). Зауважимо, що дещо детальніші правила визначення фонових і цільових понять подано вище, коли розглядалися алгоритми побудови семантичного конспекту. Семантики ж використаних тут правил достатньо для розв'язання розглядуваної в даному випадку задачі впорядкування контенту.

3. Попарний аналіз відношення слідування між ділянками, на основі правил:

$$\begin{aligned} & \text{concept\_essential}(c_k, V_k) \wedge \text{concept\_pre}(c_k, V_l) \rightarrow \\ & \quad \rightarrow \text{content\_before}(V_k, V_l) \langle CF_{es} \rangle \quad ; \\ & \text{concept\_essential}(c_k, V_k) \wedge c_l \in CVV(V_l) \wedge \\ & \text{concept\_before}(c_k, c_l) \rightarrow \text{content\_before}(V_k, V_l) \langle CF_g \rangle , \\ & \text{де } CVV(V) = \{c : VC(c) \cap V \neq \emptyset\} . \end{aligned}$$

Перше правило стверджує, що наявність поняття, яке в ділянці контенту  $V_k$  є цільовим, а в ділянці контенту  $V_l$  — фоновим, свідчить на користь гіпотези про те, що ділянку  $V_k$  слід розташувати раніше ділянці  $V_l$  в індивідуальному навчальному середовищі користувача.

Друге правило визначає, що ситуація, коли цільове поняття в контексті ділянки  $V_k$  зустрічається в ділянці  $V_l$ , є фактом, що свідчить на користь гіпотези про те, що ділянку  $V_k$  слід розташувати раніше ділянці  $V_l$  в індивідуальному навчальному середовищі користувача.

На даному етапі для кожної пари блоків контенту відшукуються усі факти, в області яких діють описані правила. Для кожної з гіпотез слідування розраховується сукупний фактор упевненості  $CF$ . В решті решт істинною вважається гіпотеза з більшим значенням  $CF$ .

4. Упорядкування ділянок контенту за допомогою алгоритму топологічного сортування ациклічного орграфа.

Алгоритм упорядкування індивідуального контенту в міждисциплінарному Web-середовищі користувача представлено на рис. 2.31 у вигляді діаграми діяльності в нотації UML.

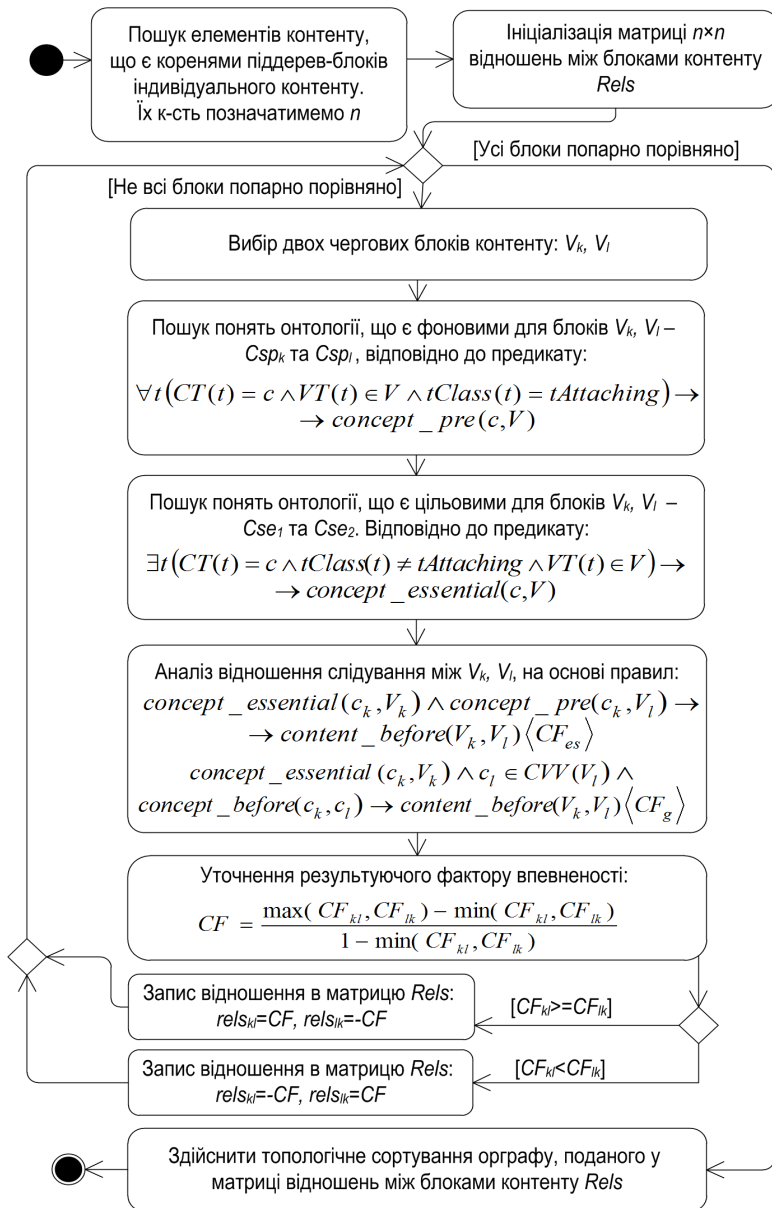


Рис. 2.31. Алгоритм упорядкування Web-контенту індивідуального навчального середовища

Таким чином за допомогою розробленого алгоритму, що спи­рається на онтологію предметної області і стенфордську модель не­чіткого виведення, розв’язано задачу автоматичного упорядкування міждисциплінарного Web-контенту в межах багатопредметної інфор­маційно-навчальної програмної системи.

### **2.3.5. Інтерактивні карти понять в індивідуальному навчаль­ному середовищі**

Стрімкий розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, поширення застосування Інтернету у різноманітних галузях професій­ної діяльності зробило інформаційно-навчальні Web-ресурси одним з ключових джерел освітньої інформації для професіоналів, початків­ців, студентів та експертів [46]. Постійна доступність величезних схо­вищ інформації професійного та загальноосвітнього спрямування, безперервна поява нових навчальних ресурсів призводять до глибин­них змін у освітніх процесах та методах отримання та вдосконалення знань та умінь. Постійний розвиток та інновації у галузі програмної інженерії, еволюція засобів взаємодії користувача з інформаційними системами зумовлюють запит на вдосконалення та розвиток інфор­маційно-навчальних систем, застосування в них сучасних засобів ана­лізу, обробки та візуалізації навчальної інформації, зручних методів навігації та пошуку навчальних ресурсів.

Інформаційно-навчальні портали повинні будуватись шляхом формування онтологічно-орієнтованої моделі навчального контенту, що передбачає формалізацію інформаційного наповнення, онтологічне моделювання предметної області та дидактичну функцію, яка забез­печує подання та візуалізацію затребуваної навчальної інформації [149].

У роботі [150] досліджується вплив візуалізації на ефективність навчання в галузі комп’ютерних наук. Наголошується на значущості інструментів візуалізації та підвищенні зацікавленості користувачів, коли задіюється візуалізація. Набув поширення спосіб візуалізації професійно-навчальної інформації у вигляді карт понять різних типів [37–56]. У попередніх дослідженнях [118] було запропоновано буду­вати дидактичну онтологію на основі понятійно-тезисної моделі (ПТМ), а також представлено спосіб візуалізації онтології у вигляді семантико-дидактичних карт.

Таким чином, набуває актуальності задача застосування графових візуалізацій навчальної інформації у вигляді карт понять та виникає потреба в їх ефективній реалізації та інтеграції з іншими функціями онтологічно-орієнтованих інформаційно-навчальних систем [46]. Виникає потреба в розгляді та аналізі застосовуваних карт понять із подальшим дослідженням засобів їх автоматизованої побудови з метою розширення функціональних можливостей інформаційно-навчальних Web-середовищ.

Подамо аналіз актуальності графових візуалізацій предметних областей та представимо метод автоматизованої побудови інтерактивних карт понять в онтологічно-орієнтованих Web-системах. Завданням є забезпечення зручного відображення графів для користувачів навчальної Web-системи із застосуванням формалізації контенту на базі понятійно-тезисної моделі [46]. Крім цього, необхідно проаналізувати види карт понять, що можуть бути побудовані на базі ПТМ, і з урахуванням виявлених недоліків здійснити модифікацію алгоритмів побудови понятійних карт.

### **Графові візуалізації предметних областей в інформаційно-навчальних Web-системах**

У роботі [50] описано проект CoMPASS, де пропонується використання карт понять (рис. 2.32) в навчальних Web-середовищах для покращення навігації та засвоєння знань. Встановлено, що застосування інтерактивного графового подання структури понять та відношень між ними позитивно впливають на ефективність навчання користувачів системи.

У статті [151] пропонується використання карт понять в навчальних середовищах для вивчення математики для навігації та кращого засвоєння матеріалу (рис. 2.33). У роботі [152] наголошується на тому, що карти понять повинні бути однією із високотехнологічних функцій в сучасних електронних підручниках, що функціонують на основі моделювання знань про предметну область навчання. В роботі [153] пропонується застосовувати візуалізацію структури тем та навчальних понять. Інструмент допомагає в навігації навчальними матеріалами та разом із візуалізацією навчальних досягнень допомагає обирати індивідуальну траєкторію навчання. У [154] наголошується на позитивному впливі графової візуалізації предметних областей електронних підручників на ефективність навчання та пропонується ак-

тивне використання інтерактивних карт понять для реалізації дослідницького навчання в межах навчальних середовищ.

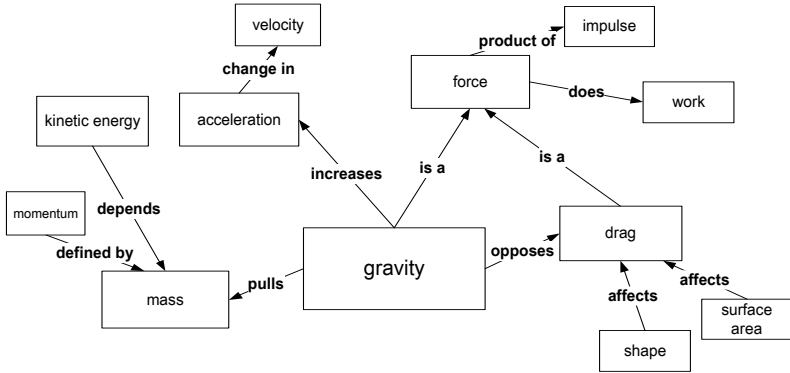


Рис. 2.32. Приклад карти понять у проекті CoMPASS [50]

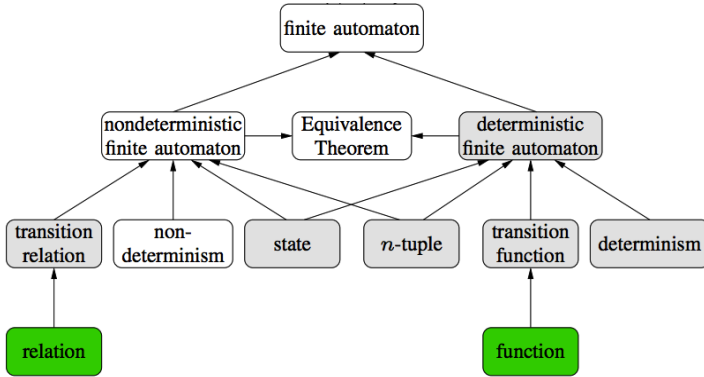


Рис. 2.33. Карта понять для навігації в системі, що пропонується в роботі [151]

У роботі [155] пропонується інструмент TM4L для побудови та використання тематичних карт в онтологічно-орієнтованих системах дистанційного навчання. Програмний засіб ґрунтується на ідеї, що

понятійно-орієнтований доступ до навчальних матеріалів є зручним способом спрямування учня до затребуваних знань [155]. Пропонується структурувати та класифікувати навчальний контент онтологічно-орієнтованих навчальних систем. Дана класифікація передбачає встановлення зв'язків між навчальними об'єктами та релевантними їм поняттями шляхом індексації сховища контенту з використанням структури онтології. Таким чином, забезпечується форма навчальної діяльності у вигляді понятійно-орієнтованого перегляду навчального контенту. Переглядаючи понятійну карту, користувач знайомиться та занурюється в предметну область [155].

Заслуговує уваги засіб подання інформації, що отримав назву мапа думок або інтелект-карта (mind map) [45]. Інтелект-карта є діаграмою, у центрі якої деяке поняття (рис. 2.34). За формою інтелект-карта є радіальним деревом, хоча окрім ієрархічних зв'язків тут також можуть застосовуватись додаткові ребра асоціацій між різними елементами структури. Завдяки радіальній формі інтелект-карти виявилися досить зручними для подання інформаційних структур та набули значного поширення як засіб візуалізації ідей. Застосування такого способу для візуалізації структури предметних областей та понять вбачається доцільним [156].

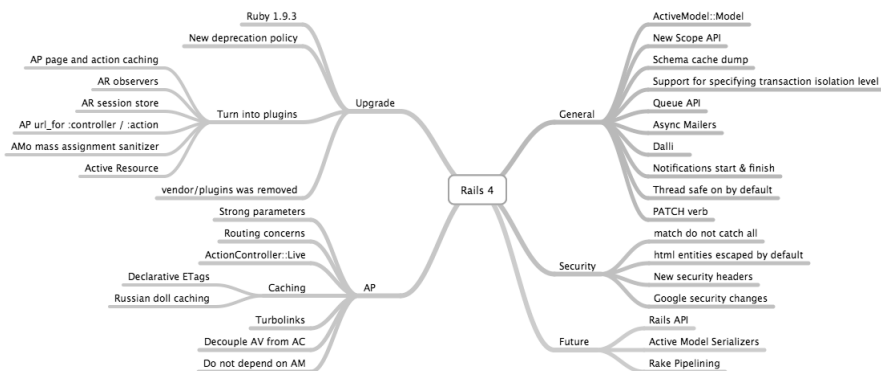


Рис. 2.34. Приклад інтелект-карти [157]

Побудова інтерактивних карт понять, що пропонуються в роботах [50, 150–156] ґрунтується на онтологічному моделюванні предметної області, здійснюваної експертом в ручному режимі, а це передбачає значні трудові та часові витрати. У той же час підхід до моделювання предметної області на базі семантичних мереж та технологій Semantic Web для систем навчання має ряд труднощів [84]. Зокрема даний підхід вимагає подання повної детальної картини області — так звана проблема «всеосвіченості» навчальної системи [71], коли необхідно виконати формалізацію усіх об'єктів і відношень між ними, що часом може викликати серйозні труднощі, і крім цього часто призводить до формалізації знань, що в даному навчальному контексті не мають дидактичної важливості [46].

У роботі [56] розроблено методи автоматичної побудови карт понять для анотування наборів документів на базі синтаксичного аналізу тексту. Розглянуті можливості та обмеження застосування для даної задачі нейронних мереж та машинного навчання. Карти, що отримуються на основі запропонованих методів, можуть бути застосовані для дослідницького пошуку та навігації по набору документів завдяки наочній анотації. Натомість, презентація предметної області навчання в інформаційно-навчальних системах, зокрема технічного спрямування та таких, що містять значну кількість навчальних фрагментів програмного коду, потребує карт понять, які міститимуть більш точні дидактичні акценти, що не завжди може бути забезпечено методами синтаксичного аналізу тексту.

Раніше було запропоновано [118] будувати дидактичну онтологію на основі понятійно-тезисної моделі (ПТМ), а також представлено спосіб візуалізації онтології у вигляді семантико-дидактичних карт. Така карта — це орієнтований ациклічний граф, у якості вершин якого виступають поняття, а кожна з дуг вказує на те, що поняття-початок дуги дидактично передує поняттю-кінцю дуги. При цьому так званим центром графу є поняття, для якого будується карта. Карта послідовно показує всі зв'язки, починаючи від центрального поняття з дидактично передуючими поняттями (ліва частина графа) і всі зв'язки, починаючи від центрального поняття, з дидактично наступними поняттями (права частина графа) [46]. Підхід до формалізації професійно-навчальної інформації на базі ПТМ має ряд переваг у випадку застосування для навчальних систем, що зумовлено орієнтацією на викорис-

тання неформалізованих ділянок природомовної інформації у поєднанні з семантичною формалізацією ключових концептів. Це добре підходить для дидактичних задач навчальних Web-систем. Разом з тим ПТМ надає можливості автоматизованої побудови карт понять. Запропонований спосіб візуалізації потребує додаткових досліджень та апробації на великих об'ємах формалізованого контенту.

Таким чином, набуває актуальності задача автоматизованої побудови інтерактивних карт понять в інформаційно-навчальних Web-системах та їх інтеграція з іншими функціями онтологічно-орієнтованих інформаційно-навчальних Web-систем. Створювані інтерактивні карти повинні унаочнювати навчальну інформацію шляхом візуального акцентування на ключових поняттях та відношеннях, а також забезпечувати інтерактивні способи взаємодії користувача з картою понять для спрощення та пришвидшення сприйняття нової навчальної інформації.

Елементи ПТМ є результатом формалізації дидактичного тексту, виконаної експертом за допомогою інтерактивного Web-інтерфейсу. ПТМ служить для розв'язання цілого ряду завдань в інформаційно-навчальних системах, серед яких автоматизація контролю знань [46], автоматизація побудови термінологічного довідника курсу, автоматизована побудова дидактичної онтології, автоматизована побудова індивідуального навчального середовища та ін. Подальше розширення області застосування ПТМ для вирішення задач побудови інтерактивних карт понять в інформаційно-навчальних системах є ефективним з точки зору оптимального використання трудових ресурсів колективу, що обслуговує навчальну систему.

Дидактична онтологія на основі ПТМ на базі відношення дидактичного слідування, описана вище, формально представляється ациклічним орієтованим графом. Запропонований метод формалізації контенту та онтологічного моделювання предметної області інформаційно-навчальних ресурсів було реалізовано на порталах [58, 158] (табл. 2.5).

### **Інтерактивні карти понять на базі відношень дидактичної черговості**

Ациклічний орієтований граф дидактичної онтології та ПТ-елементи можна застосовувати для візуалізації предметної області контенту у вигляді інтерактивних карт. На основі здійсненої формалізації

у межах проекту [124] проведено дослідження різних форм візуалізації інтерактивних карт понять. Значний об'єм формалізованої інформації став підґрунтям для експериментів на реальних даних, що дало можливість перевірити доречність, зручність та наочність різних способів побудови та різних топологій карт понять.

Таблиця 2.5

### Кількісні характеристики результатів формалізації

| Сутність                              | Кількість екземплярів на порталі [124] | Кількість екземплярів на порталі [125] |
|---------------------------------------|--|--|
| <i>Результат роботи експерта</i>      |  |  |
| Інформаційні сторінки                 | 1189                                   | 998                                    |
| Тематичні групи                       | 70                                     | 11                                     |
| Поняття                               | 474                                    | 1539                                   |
| Тези                                  | 2595                                   | 3251                                   |
| <i>Результат автоматичної обробки</i> |  |  |
| Входження понять в текст сторінок     | 3832                                   | 4351                                   |
| Відношення $CinC$                     | 320                                    | 536                                    |
| Відношення $CinT$                     | 1264                                   | 1229                                   |
| Дидактичні відношення $CtoC$          | 617                                    | 1307                                   |

#### Однорівнева карта поняття на базі дидактичної черговості.

Найпростішою формою інтерактивної карти, що будується на базі дидактичної онтології, є така карта поняття, що формально є деревом, яке складається з кореня (центрального поняття) та одного рівня дочірніх елементів. Топологічно карта складається з двох частин — ліва містить елементи, що дидактично передують центральному поняттю, права містить елементи, що слідує за центральним поняттям з точки зору черговості вивчення [46].

Подібну карту нескладно реалізувати в програмному інтерфейсі засобами гіпертекстової розмітки. Така карта візуалізує пов'язані поняття та підказує користувачу можливі напрямки подальшого ознайомлення з навчальними поняттями.

**Дворівнева карта поняття на базі дидактичної черговості.** Дворівнева карта поняття задіює по два рівня відношень дидактичної онтології відносно центрального поняття. Таким чином виділяються два рівні понять, що передують центральному поняттю  $a$  :

- 1) попередні поняття першого рівня  $BeforeC(a)$ ;
- 2) попередні поняття другого рівня  $BeforeBeforeC(a)$ .

$$BeforeBeforeC(a) = \{c \in C : AfterC(c) \cap BeforeC(a) \neq \emptyset\}.$$

Відповідним чином виділяються поняття, що дидактично сліду-ють центральному поняттю  $a$  :

- 1) наступні поняття першого рівня  $AfterC(a)$ ;
- 2) наступні поняття другого рівня  $AfterAfterC(a)$ .

$$AfterAfterC(a) = \{c \in C : BeforeC(c) \cap AfterC(a) \neq \emptyset\}.$$

Перевага дворівневої карти понять полягає у ширшому висвітленні структури предметної області, пов'язаної з обраним поняттям. Інтерактивність карти забезпечує навігаційні можливості швидкого переходу на те чи інше поняття, що зацікавило користувача. Графове подання засобами мультимедіа, що добре відображаються на різних пристроях в Web-оглядачі, забезпечує досягнення цілей, характерних для інформаційно-навчальних Web-порталів. Приклад дворівневої карти представлено на рис. 2.35.

На рис. 2.36 представлено варіант дворівневої карти, що в силу своєї топології представляє таку візуалізацію структури предметної області навчання, що ускладнить її сприйняття користувачем, адже граф містить значну кількість ребер, що перетинаються та ускладнюють перегляд. Наявність подібних дворівневих карт на базі дидактичної черговості ставить вимогу додаткового аналізу та адаптивної візуалізації графів понять, де менш значимі дидактичні деталі будуть приховані з метою підвищення наочності. Залишається не в повній мірі досягнутою вимога наочності.

### **Кarti понять на основі відношень декомпозиції**

Експерименти щодо побудови великих карт на базі дидактичної черговості показують недостатню наочність таких візуалізацій, що вимагає інтеграції даного методу з іншими. Пропонується пошук та-

ких засобів візуалізації, що подаватимуть структуру поняття, здійснюватимуть його декомпозицію. Даний підхід має на меті сконцентрувати увагу користувача на обраній темі, подавши її структурні елементи, тим самим надавши можливість швидкого ознайомлення з цільовою інформацією. Даний підхід характерний для інтелект-карт, широке застосування яких на практиці підтверджує доцільність даного способу візуалізації [46].

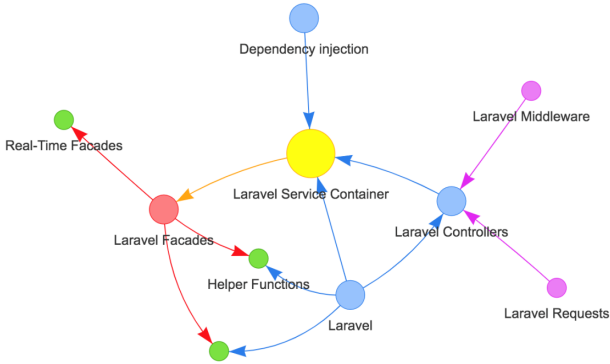


Рис. 2.35. Приклад дворівневої інтерактивної карти поняття на базі дидактичної черговості

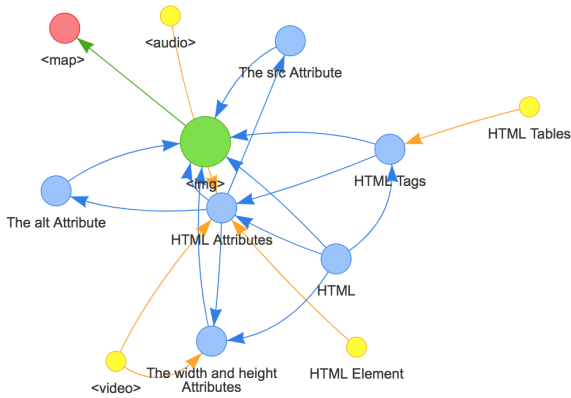


Рис. 2.36. Приклад дворівневої карти поняття з ускладненою структурою

**Карти декомпозиції поняття за допомогою списку тез.** Було апробовано візуалізацію понять на базі структурних відношень, що передають декомпозицію поняття через список тез. Такі відношення ґрунтуються на тезах деякого поняття-списку:  $c_k$ , де  $CClass(c_k) = cList$ . Самі тези класифікуються тут як елементи списку:

$$\{t : t \in TC(c_k) \wedge TClass(t) = tListItem\}$$

Таким чином, додаткові вершини карти будуть подавати тези (рис. 2.37). Отримуємо більш наочну карту, що повідомляє користувачу про структуру обраного поняття.

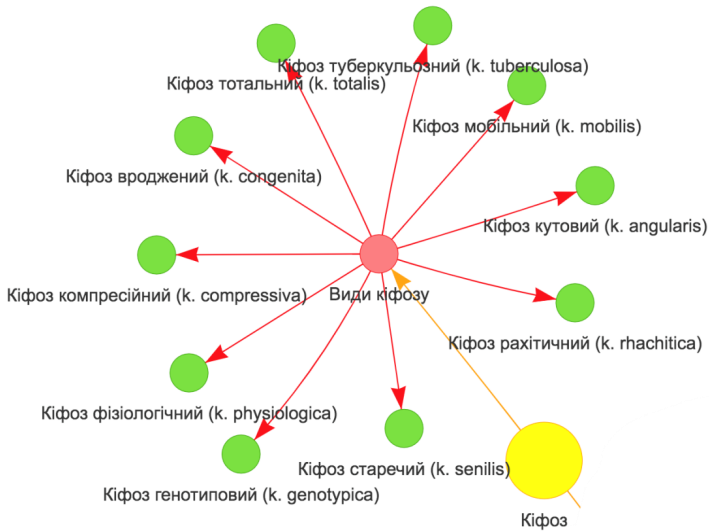


Рис. 2.37. Приклад карти поняття на базі списків

### **Карти на основі аспектів понять.**

Використання аспектів, які було представлено під час опису ПТМ, дає змогу будувати наочні графи, що декомпонують цільове поняття в стилі інтелект-карт (рис. 2.38).

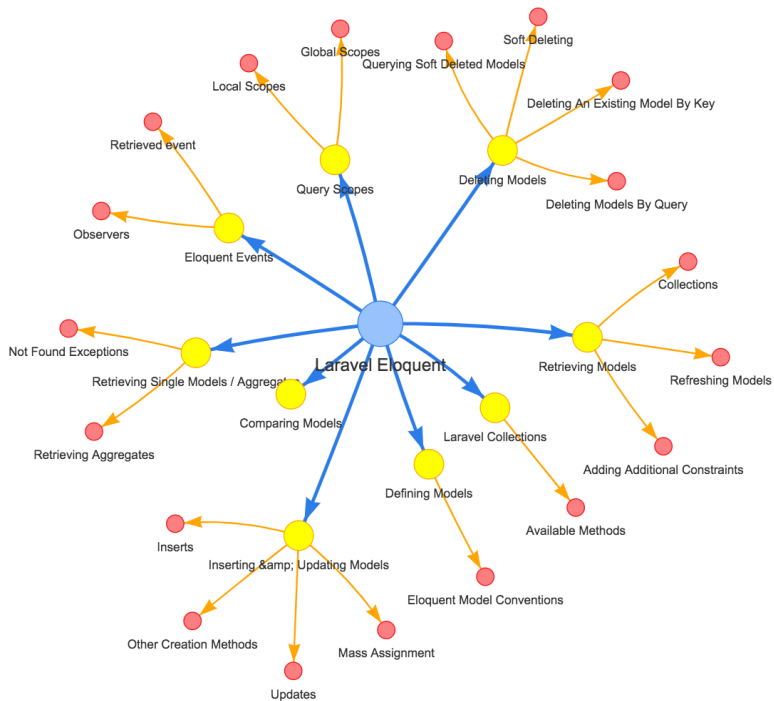


Рис. 2.38. Приклад карти поняття з використанням аспектів

**Карти декомпозиції поняття на основі назви.** Важливим джерелом інформації про декомпозицію є синтаксичне входження назви базового поняття в назву похідного, що описується відношенням *CinC*. Прикладом таких понять є поняття “Laravel” та “Laravel Routing”. Таке відношення можна подати у вигляді дидактичної декомпозиції поняття, зобразивши на графі відповідними вершинами та ребрами.

**Використання в картах понять відношень part-of, is-a та instance-of.** Відношення «частина-ціле», «екземпляр типу» та «підтип типу» є джерелом научних ієрархічних карт понять, що добре презентують структуру предметної області та вбачаються дидактично доречним методом візуалізації предметної області.

Були досліджені та апробовані візуалізації декомпозиції навчальних понять на базі таких джерел: 1) відношень дидактичного слі-

дування *CtoC*; 2) списків тез  $TClass(t) = tListItem$ ; 3) аспектів *Aspects*; 4) декомпозиції по назві *CinC*; 5) відношень *PartOf*; 6) відношень *IsA*; 7) відношень *InstanceOf*.

Пропонується алгоритм побудови карти деякої ділянки навчального контенту, що об'єднує набір понять, забезпечуючи їх декомпозицію та візуалізацію відношень (рис. 2.39). На рис. 2.40. подано приклад комплексної карти ділянки контенту, реалізованої на базі запропонованого алгоритму на порталі [58].

### **Алгоритмічні основи програмного забезпечення для побудови інтерактивних карт понять**

Інтерфейс системи реалізує карту понять у вигляді інтерактивного графу з функціями зміни масштабу, пошуку понять на графі, навігації та опрацювання взаємодії користувача з візуалізованими об'єктами (рис. 2.40). Надається функція відображення сукупної текстово-медійної інформації про поняття-вершину в графі, що ґрунтується на відображенні відповідних тез понять.

Підсистема побудови понятійних карт інтегрується з програмним забезпеченням онтологічно-орієнтованої системи керування контентом інформаційно-навчальних порталів [149]. Підсистема включає серверні модулі роботи з дидактичною онтологією на базі ПТМ та клієнтські компоненти для формування даних про вершини та ребра графу та інтерфейсні компоненти реагування на взаємодію з користувачем. У якості основи для графової візуалізації використовується бібліотека *Vis.js*.

Система була апробована в навчальному процесі та отримала позитивний відгук від користувачів як зручний засіб візуалізації нової інформації для вивчення.

Розглянуто задачу інтерактивної візуалізації карт понять в онтологічно-орієнтованих порталах з використанням формалізації предметної області на базі ПТМ. Запропоновано метод побудови дидактичної декомпозиції понять ділянки контенту у вигляді графу з використанням вибіркової візуалізації ребер, що представляють відношення між поняттями ПТМ. Представлений метод забезпечує наочність подання інформаційно-навчального контенту у вигляді карти, реалізує інтерактивне відображення природомовної інформації про обране поняття та пошук понять у графі з навігацією до цільового поняття. Представлено алгоритм побудови вихідного графу понять для інте-

рактивної карти обраної ділянки контенту. Реалізовано програмну систему, що надає інтерфейс формалізації професійно-навчального контенту на базі ПТМ, забезпечує зберігання та відображення навчальних матеріалів та реалізує запропонований метод побудови інтерактивних карт понять [58].

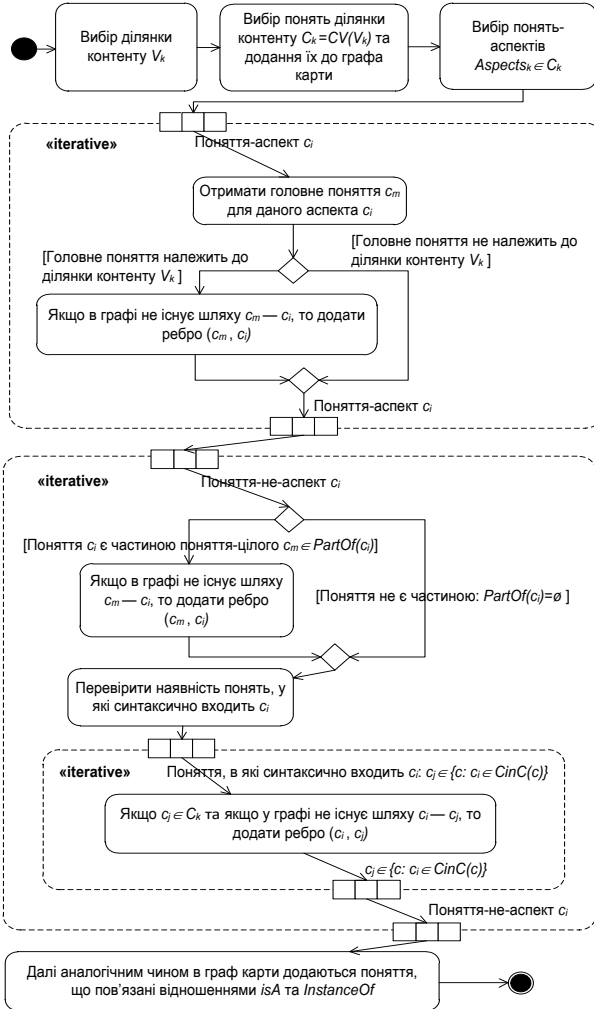


Рис. 2.39. Алгоритм побудови графу карти деякої ділянки контенту. Діаграма діяльності в нотатції UML



часова організація, розклад, особистий склад учасників конкретного навчального процесу, фінансові питання, функціонування електронного деканату, тощо. До ОМН як підмодель слід віднести і модель освітньої спільноти (МОС). МОС служить для організації взаємодії через Інтернет учасників навчального процесу. Сюди слід віднести такі традиційні засоби спілкування як електронне листування, форуми, блоги, а також wiki-системи. Метою МОС є опис єдиної моделі різнотипної взаємодії під час навчання і її інтеграція із іншими моделями. Передбачається, що у залежності від організації чи установи, в якій запроваджується підтримка безперервного навчання на основі описаних у даній роботі моделей, ОМН може розроблюватись і інтегруватись з іншими компонентами у відповідності до специфічних вимог даної організації.

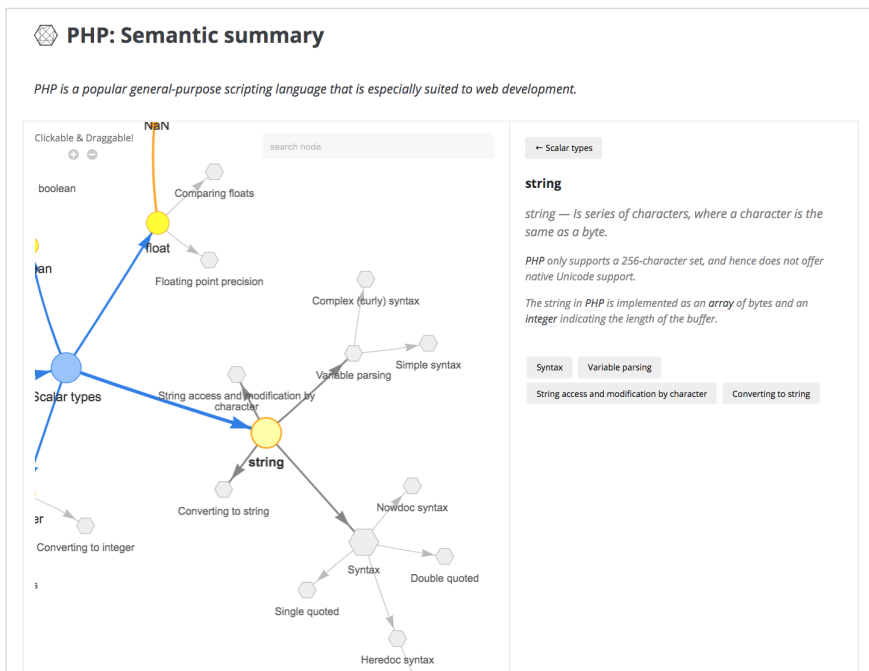


Рис. 2.41. Приклад інтерактивного інтерфейсу роботи з картою ділянки навчального контенту

Запропонований комплекс моделей і методів дозволяє системно підійти до побудови онтологічно-орієнтованої Web-системи керування інформаційно-навчальним контентом [97]. Моделі рівня керування знаннями дозволяють розглядати сукупність навчальних матеріалів по всім дисциплінам як єдине ціле, використовувати міждисциплінарні зв'язки і застосовувати єдині методи керування навчальним контентом на рівні його завантаження і використання під час індивідуалізованого доступу і навчання користувачів.

Практика застосування ієрархічно-мережевої об'єктно-орієнтованої моделі Tree-Net у розробці FreshKnowledge [167] на сайті дистанційного навчання [119], а також у багатьох інших інформаційних проектах (див. [168]) демонструє ефективність підтримки контенту на основі запропонованої моделі. Модель контенту, реалізована в системі, дає можливість перейти від фізичного керування контентом до керування на рівні семантики, що в свою чергу значно оптимізує часові витрати на підтримку Web-ресурсів і робить сам ресурс більш інтелектуальним, а його контент — легко доступним.

Понятійно-тезисна модель (ПТМ) і її застосування для формалізації змісту Web-контенту та автоматизації контролю знань демонструється програмним продуктом EduManager (див. [168]) та програмною системою тестування на інформаційно-навчальному Web-порталі [119]. Робота програм демонструє переваги понятійно-тезисного (ПТ) підходу у порівнянні з іншими технологіями генерації тестів. Серед ключових переваг слід зазначити простоту процесу формування БЗ, достатньо високу лінгвістичну зрозумілість тестових завдань, природній зв'язок тестових завдань із навчальним матеріалом, що надає підґрунтя для технологій індивідуалізації навчання. Порівнюючи ПТ-підхід із ручним формуванням тестів, слід відзначити, що ПТ-підхід вимагає менших зусиль на підготовку БЗ програмного комплексу, аніж потрібно зусиль на ручну підготовку тестів.

Ключовою перевагою запропонованого методу побудови онтології предметної області є зменшення трудових витрат на встановлення дидактичних відношень між поняттями за рахунок автоматизації цього процесу. Інша перевага полягає у придатності методу до застосування в різних предметних областях, що було перевірено на навчальних матеріалах у галузях технічних, математичних, економічних та педагогічних наук [119]. До переваг слід також віднести незалеж-

ність від даних про черговість лекцій, що дає можливість застосовувати дану технологію для дидактичної формалізації словників та довідників, матеріали яких впорядковуються не дидактично, а за алфавітом. Ця перевага є актуальною також у випадку формалізації набору статей з певної тематики, а це, в свою чергу, має велике значення для підтримки навчання в нових галузях, якісні навчальні курси яких досі перебувають на стадії формування.

Методи автоматизованої побудови індивідуального навчального середовища на основі онтології і стенфордської моделі нечіткого виведення в межах інформаційно-навчальної програмної системи забезпечують індивідуалізацію навчального процесу, задовольняючи ключові вимоги до сучасних інформаційно-навчальних Web-порталів.

### **3. Актуальні аспекти програмної реалізації систем керування інформаційно-навчальним Web-контентом**

Керування контентом — галузь, з якою користувачі всесвітньої мережі WWW зустрічаються щодня. Системи керування контентом (*англ.* content management systems, CMS) стали базовим і невід’ємним програмним забезпеченням інформаційних Web-ресурсів. Проблема інтелектуалізації та автоматизації процесів керування Web-контентом не втрачає своєї актуальності, незважаючи на безліч промислових CMS-систем [159]. Пропонуються інформаційно-логічні та архітектурні засади універсальних систем керування Web-контентом.

На базі комплексу моделей і методів, поданих в попередньому розділі, створено програмну систему керування Web-контентом, яка є засобом побудови інформаційно-навчальних Web-порталів з функцією індивідуалізованого доступу користувачів до затребуваної інформації. Систему реалізовано засобами серверної мови сценаріїв PHP з використанням у якості системи керування базою даних MySQL, а також з використанням таких клієнтських технологій як HTML, CSS, JavaScript.

#### **3.1. Інформаційно-логічні та архітектурні засади універсальних систем керування web-контентом**

Детальний огляд та класифікація CMS-систем здійснені в роботі українських авторів [160]. Тут широко висвітлено сукупність технічних аспектів з акцентом на функціональні можливості систем керування контентом. Спроба узагальнити структуру CMS-системи подані в роботі [161]. Дана структура покриває сукупність низькорівневих технічних задач CMS. Натомість керування Web-контентом в широкому сенсі фактично передбачає керування знаннями в Web-середовищі, що вимагає застосування методів інформаційного аналізу, моделювання і формалізації знань та інформації [84, 96, 100, 162, 163].

*Універсальні CMS-системи* — це такі системи керування контентом, які дозволяють подавати в Web-середовищі довільні інформаційні структури предметних областей, надаючи зручні механізми конструювання, публікації та навігації по інформаційним сутностям предметної області Web-ресурса [159]. Такі задачі зумовлюють потребу в особливій увазі до проблем побудови інформаційних моделей контенту CMS.

Питанням інформаційної моделі CMS та перспективам семантичного моделювання контенту присвячена робота О. В. Олецького, зокрема [164]. В роботі наголошується, що CMS-системи є документоорієнтованими, пропонується формалізувати відношення документів системи та понять предметної області, а також ввести структуру навігаційних посилань у вигляді графа. У даному графі окрім динамічних відношень, пов'язаних з моделлю предметної області, пропонується використовувати ієрархічні відношення між елементами контенту. Натомість, у роботі не подано конкретних шляхів реалізації програмної системи та прикладів дослідної апробації запропонованих ідей. У подальших роботах розвинуто формальний теоретико-множинний апарат для запропонованого підходу. З іншого боку значна кількість робіт з галузі побудови навчальних Web-систем також детально розглядають питання формалізації контенту у поєднанні з моделюванням предметної області [93, 94]. Узагальнюючи, можна підсумувати, що склався підхід до моделювання контенту інтелектуальних Web-систем, що передбачає семантичну структуру концептів предметної області, структуру елементів контенту та зв'язки між концептами та контентом. Актуальними є роботи, що разом з концептуальними пропозиціями акцентують увагу на працюючих проектних рішеннях та практичних апробаціях інноваційних методів керування контентом в універсальних CMS.

Вище було подано модель контенту та перспективи керування знаннями в межах керування контентом в Web-середовищі. Представимо узагальнення інформаційно-логічних та архітектурних вимог до універсальних CMS-систем та їх програмної реалізації.

Результатом досліджень, проектування та програмної реалізації CMS став перелік інженерно-технічних та модельних рішень, що повинні бути покладені в основу системи керування контентом універсального типу (рис. 3.1).

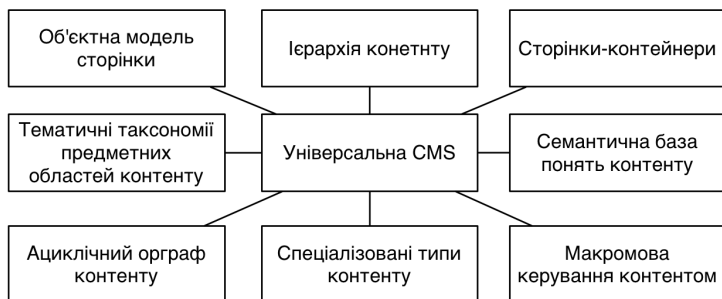


Рис. 3.1. Архітектурні та модельні компоненти CMS універсального типу

### Об'єктна модель сторінки

Ключовою інформаційною сутністю систем керування контентом є сторінка або елемент контенту. Об'єкт сторінки інкапсулює в собі усю логіку роботи із сторінкою, надаючи інтерфейс іншим програмним компонентам CMS для отримання доступу до інформації даного елемента контенту. На рівні БД CMS-системи існує спеціальна таблиця, що представляє дану сутність, характеризуючи її певним набором полів. Основними полями об'єкта сторінки є заголовок, контент, анотація та ін. Так в розповсюджених CMS сторінка також моделюється і подається певним чином: в Drupal загальний елемент контенту позначається терміном Node (вузол), у Wordpress — Post (допис), в Joomla — матеріал.

Спираючись на об'єкт сторінки, відбувається процес публікації (рис. 3.2).

### Ієрархія контенту

Ієрархія — це розташування частин або елементів цілого в певному порядку від вищого до нижчого. Ієрархія — найзручніший і природно зрозумілий спосіб структурування речей, це ж справедливо і для елементів контенту. Незважаючи на те, що ієрархічне структурування в Web викликає труднощі у випадках великої кількості інформації, тим не менше ієрархія, як базова структура, для організації контенту є зручним і практично доцільним способом структурування інформації Web-ресурсу.

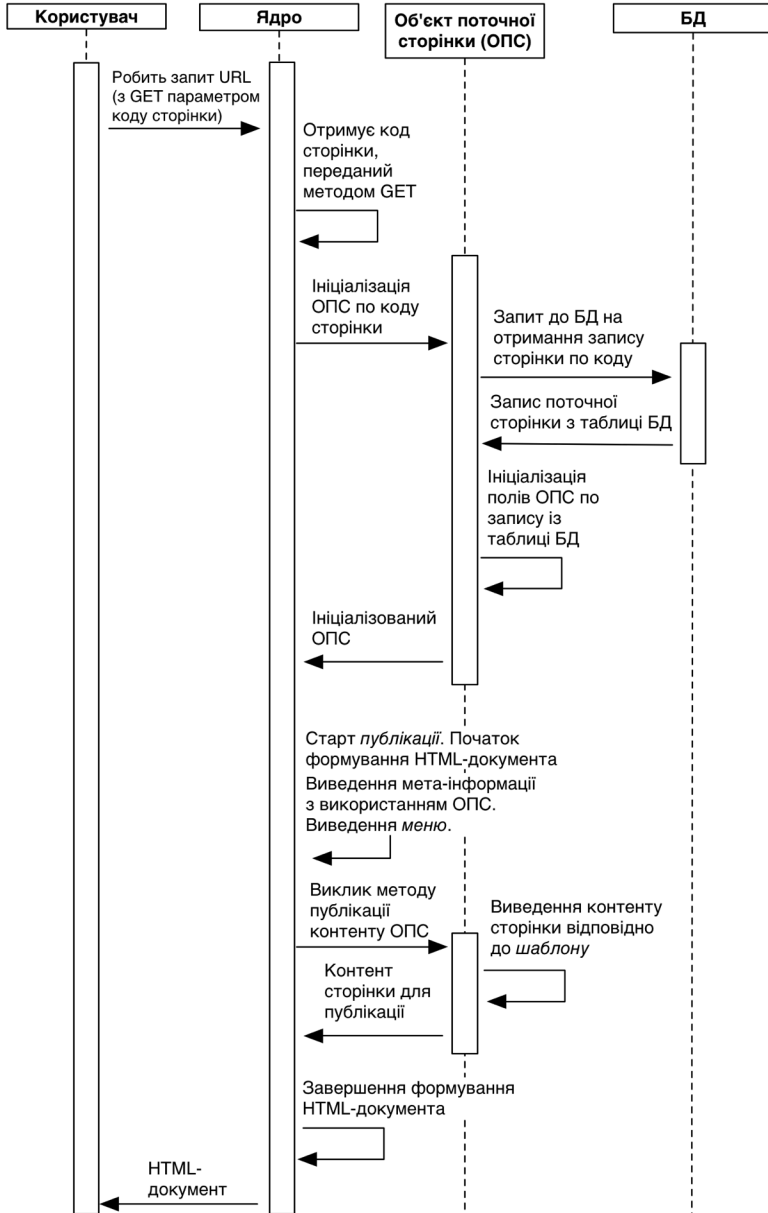


Рис. 3.2. Діаграма послідовності CMS

## Сторінки-контейнери

Сторінки-контейнери — сторінки, головним призначенням яких є подання списку анотованих посилань на дочірні сторінки. Власний контент таких сторінок, як правило, не має великого об'єму і є короткою анотацією до розділу або набору статей. Сторінки-контейнери займають друге місце після простих інформаційних сторінок по частоті застосування в Web-ресурсах. Наявність сторінок-контейнерів як стандартної функціональності системи є необхідною передумовою для універсальності CMS-системи. За допомогою сторінок-контейнерів моделюються найрізноманітніші розділи Web-ресурсу — добірки статей, розділи новин, категорії товарів та будь-які інші набори інформаційних об'єктів предметної області Web-ресурсу.

### Ациклічний орієнтований граф контенту

Тенденція примноження інформації ускладнює структурування інформаційних елементів у строгій деревоподібній формі. Крім цього строга ієрархія часто не задовольняє навігаційним вимогам Web-ресурсу. Потреба одночасної присутності одного і того ж елемента контенту в різних розділах сайту — досить розповсюджене і актуальне завдання. Прикладом цього може служити новина, яка по своєму змісту одночасно задовольняє різним розділам новин, товар, що підходить до різних категорій, деяка службова інформаційна сторінка сайту, яку доцільно розмістити в різних частинах сайту.

Подібні об'єктивні неоднозначності вимагають від системи функціональної можливості розташування сторінки сайту в різних місцях ієрархії. Доцільною структурою для такого завдання є ациклічний орієнтований граф. Ациклічний орграф є узагальненням дерева. Для оптимізації інформаційно-логічної структури CMS-системи ациклічний орграф доцільно реалізовувати на базі відношень псевдонімів [100] (рис. 3.3).

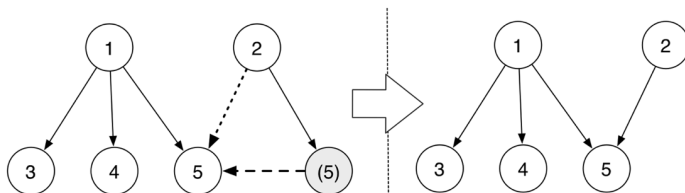


Рис. 3.3. Принцип роботи відношення псевдонімів

## Спеціалізовані типи контенту

Актуальним завданням розвинених CMS-систем залишається дослідження, розробка та вдосконалення засобів універсального керування інформаційними об'єктами Web-ресурсів, що дозволить спростити створення нових ресурсів різного призначення, а також забезпечить ефективні механізми їх супроводження та налаштування. В межах даної задачі потрібно вирішувати наступні завдання: створення спеціалізованих інформаційних об'єктів із користувацьким набором полів, керування відображенням таких об'єктів, сортування, фільтрація та навігація по сховищу створених об'єктів, інтеграція сховища інформаційних об'єктів із загальним сховищем контенту, керування ієрархією об'єктів, класифікація та групування об'єктів тощо. Огляд інформаційно-логічних методів моделювання спеціалізованих типів контенту подається далі.

### Макромова керування контентом

Макромова керування контентом в CMS — це спеціальна мова логічного керування контентом, оператори якої вбудовуються безпосередньо в інформаційний html-текст Web-сторінки. Такі команди можуть використовуватись на рівні контент-менеджера або архітектора Web-сайту.

Робота з контентом часто передбачає багаторазове виконання однотипних задач оформлення інформації. Виконання подібних задач вручну призводить до необхідності повторного формування html-розмітки, додаткового програмування та нагромадження в контенті сайту технічно-залежного коду. Ефективним розв'язком проблеми є створення системи *макрокоманд контенту*, що дозволять зосередити логіку оформлення повторюваних фрагментів контенту в одному місці [96]. Реалізація макрокоманд ґрунтується на синтаксичному аналізі контенту, в який по прийнятим правилам вставляються високорівневі оператори керування контентом (рис. 3.4).

### Тематичні таксономії предметних областей контенту

Тематичні групи служать для організації різноманітних міжпредметних і внутрішньопредметних зв'язків між елементами контенту. Тематичні групи використовуються для моделювання предметних областей, каталогізації, групування і вибірки асоціативного контенту. Організація тематичних груп відбувається у ієрархічній структурі. Це дозволяє вибудовувати таксономію предметних областей. Кожен еле-

мент контенту може брати участь у довільній кількості тематичних груп [100].

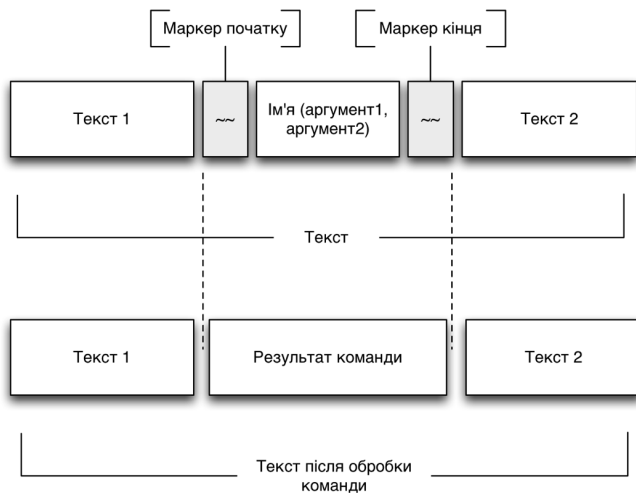


Рис. 3.4. Обробка високорівневої макрокоманди контенту

### Семантична база понять контенту

Для реалізації керування контентом на рівні семантики предметної області необхідно створювати сховище понять предметної області контенту та формалізувати відношення між ділянками контенту і поняттями предметної області. Така задача вирішується на основі онтологій та семантичних моделей предметних областей [159].

### 3.2. Моделювання спеціалізованих інформаційних об'єктів в універсальних системах керування Web-контентом

Незважаючи на велике розмаїття програмних систем, що застосовуються для керування контентом, актуальним завданням залишається дослідження, розробка та вдосконалення засобів універсального керування інформаційними об'єктами Web-ресурсів, що дозволить спростити створення нових ресурсів різного призначення, а також

забезпечить ефективні механізми їх супроводження та налаштування [162]. Зокрема актуальним є розв'язання наступних задач: створення спеціалізованих інформаційних об'єктів із користувацьким набором полів, керування відображенням таких об'єктів, сортування, фільтрація та навігація по сховищу створених об'єктів, інтеграція сховища інформаційних об'єктів із загальним сховищем контенту, керування ієрархією об'єктів, класифікація та групування об'єктів тощо. Серед систем з відкритим кодом Drupal надає найширші можливості по виконанню вказаних задач. Недоліком системи є така організація структури даних та програмного коду, яка зумовлює велике навантаження на сервер баз даних. Це в свою чергу сповільнює швидкість генерації Web-сторінок ресурсу та вимагає великого ступеня кешування, що не завжди доцільно. Крім того в даній системі ускладнена робота по налаштуванню відображення інформаційних об'єктів, а також робота по загальному адмініструванню сайту. Загалом проблема подання спеціалізованих інформаційних об'єктів в контексті CMS є дотичною до напрямку об'єктно-реляційного відображення ORM (Object-relational mapping) [165], об'єктно-реляційних баз даних [166] та інших напрямів, пов'язаних із моделюванням даних та знань. Тому подальші дослідження у цій галузі мають перспективу вдосконалити процес керування контентом сучасних інформаційних Web-систем та підвищити ефективність створення та підтримки Web-ресурсів різного призначення [162].

Представимо розгляд задачі створення спеціалізованих об'єктів контенту як засобу підвищення ефективності створення інформаційних Web-ресурсів різного призначення на базі універсальних CMS-систем. Для цього необхідно здійснити огляд методів реалізації засобів створення спеціалізованих об'єктів контенту в межах реляційних моделей бази даних CMS.

### **Загальні елементи контенту**

Ключовою інформаційною сутністю систем керування вмістом сайтів (CMS) є сторінка або елемент контенту. Як правило, в базі даних CMS-системи існує спеціальна таблиця, що представляє дану сутність, характеризуючи її певним набором полів. Основними полями загального елемента контенту є заголовок, html-текст, анотація та ін. В залежності від системи по-різному можуть бути реалізовані ієрархічні та структурні зв'язки між елементами контенту. В Drupal

загальний елемент контенту позначається терміном Node (вузол), у Wordpress — Post (допис), в Joomla — матеріал. Раніше було запропоновано ієрархічно-мережеву модель контенту [100], де сутністю, що відповідає за сторінки є множина елементів контенту  $V=\{v_i\}$ .

### **Інтеграція і розмежування спеціалізованих інформаційних об'єктів із загальними елементами контенту**

Спеціалізовані інформаційні об'єкти Web-ресурсу можуть реалізовуватись двома шляхами: (1) як доповнення до набору полів загального елемента контенту — приєднання до контенту; (2) як окрема незалежна сутність, не пов'язана напряму з елементами контенту загального типу — розмежування контенту та спеціалізованих об'єктів (рис. 3.5).

*Приєднання до загального контенту* вигідно використовувати у випадках, коли сутність, яку потрібно представити, є незначним розширенням сторінки загального типу і повинна грати роль деякого інформаційного елемента контенту, аналогічного сторінкам сайту. В Drupal це може бути реалізовано за допомогою функціональності Content types, що стала стандартною у версії 7 даної CMS [162]. Wordpress реалізує згадані функції за допомогою додатка Custom Post Type [162]. Для Joomla існує цілий набір розширень, що реалізують дану функціональність, найбільш відомим з яких є K2. K2 додає більше десятка таблиць в базу даних і фактично підмінює систему створення контенту в Joomla [162].

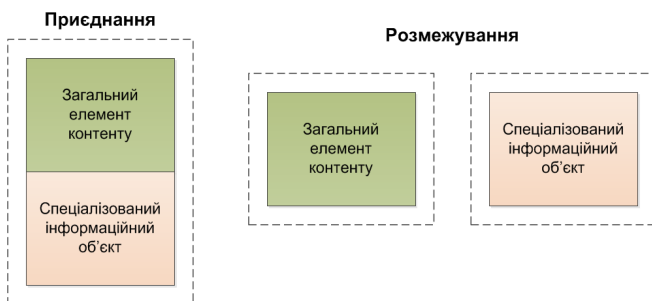


Рис. 3.5. Способи реалізації спеціалізованого інформаційного об'єкта у відношенні до загальних елементів контенту

*Розмежування загального контенту та спеціалізованих об'єктів* в CMS передбачає наявність незалежних сутностей в БД системи,

що відповідають за подання таких об'єктів. При цьому редагування даних об'єктів відбувається за допомогою окремого інтерфейсу, а набір полів не обтяжується стандартним набором полів загального елемента контенту. Спосіб відображення даних об'єктів на сайті повинен налаштовуватись за допомогою спеціальних засобів. Таким чином відбувається керування виглядом таких об'єктів, налаштування способів навігації по їх сховищу та інші спеціалізовані функціональні можливості.

Розмежування загального контенту та спеціалізованих об'єктів у згаданих CMS можна порівняти із розширенням стандартного набору полів для такої сутності CMS як елемент таксономії. Таксономія в математиці — це деревоподібна структура класифікацій деякого набору об'єктів. Таксономія в CMS використовується для різних типів класифікацій елементів контенту: для створення ієрархії розділів сайту, для організації міток (тегів), для організації меню та навігації, для тематичної класифікації контенту.

Вище запропоновано структуру тематичних груп контенту як засіб моделювання предметних областей інформаційного наповнення сайту:  $G = \{g_i\}$  — множина тематичних груп;  $FG: F \rightarrow F$  — батьківські зв'язки в ієрархії груп. Даний підхід можна розглядати також як засіб створення таксономії [162].

Drupal та Wordpress містять засоби створення таксономії (Wordpress використовує термін «категорії»). У цих системах на основі згаданих вище модулів для елементів таксономії можуть створюватись додаткові поля, у такому випадку окремі розділи таксономії можуть розглядатися як набори спеціалізованих інформаційних об'єктів.

Порівняно із стандартними елементами контенту, елементи таксономії не будуть містити значного переліку стандартних полів, тому такий метод опису спеціалізованих об'єктів можна розглядати як варіант розмежування контенту та відповідних об'єктів. Натомість слід зазначити, що такий спосіб не є строгим розмежуванням, і маніпуляції з новоствореними об'єктами будуть обтяжуватись стандартним шаром обробки, характерним для кожного елемента таксономії.

### **Реляційна реалізація спеціалізованих інформаційних об'єктів CMS**

Робота по керуванню спеціалізованими інформаційними об'єктами в контексті CMS передбачає опис нового типу контенту як нової сутності в інформаційній системі, що повинно включати:

1) *загальний опис* створюваної сутності, що включає такі характеристики як ім'я для програмного опрацювання та підпис для відображення користувачам;

2) *опис набору полів*, які повинні характеризувати відповідні інформаційні об'єкти, що включає власне перелік полів, а також опис кожного окремого поля із зазначенням його імені, підпису, типу даних та ін. інформації;

3) *створення інфраструктури для збереження* екземплярів новостворюваної сутності, тобто безпосередніх об'єктів із значеннями їх полів;

4) *налаштування* способу відображення об'єктів на сайті, їх адміністрування, а також будь-яких інших засобів роботи з ними.

Таким чином спеціалізовані об'єкти в БД CMS-системи декомпонуються на такі сутності, які повинні певним чином обов'язково відображатися в системі:

- 1) «тип об'єкту»;
- 2) «поля об'єкту»;
- 3) «об'єкти» (або екземпляри);
- 4) «значення полів» об'єктів.

У випадку, коли для створення об'єкта застосовується спосіб *приєднання до контенту*, роль «об'єкту» виконуватиме сторінка загального типу, до якої буде приєднано спеціалізовані «значення полів» відповідно до «типу об'єкту». У випадку розмежування спеціалізованих об'єктів та контенту, «об'єкт» буде представлено окремою сутністю в базі даних.

Реляційна логіка та можливості сучасних SQL-систем допускають велике розмаїття способів реалізації спеціалізованих інформаційних об'єктів в контексті бази даних CMS. Основні способи подані на рис. 3.6 у вигляді прототипів інформаційно-логічних моделей реляційної бази даних CMS-системи. Деякі моделі вимагають застосування інструкцій DDL (створення таблиць) на етапі додавання нових типів об'єктів. Розглянемо кожну із поданих моделей.

1. *Готова об'єктно-реляційна надбудова* (рис. 3.6, модель 1). Без застосування DDL-інструкцій. Недоліком моделі є використання однієї таблиці для збереження значень різних спеціалізованих полів, що вимагає або використовувати різні колонки для збереження значень різних типів, або накладати обмеження на тип даних спеціалізованих

полів. Іншим варіантом є застосування окремих таблиць для кожного з типів даних.

2. *Об'єктно-реляційна надбудова «Нове поле — нова таблиця»* (рис. 3.6, модель 2). Потребує застосування DDL з метою створення окремих таблиць для зберігання «значень полів». Дана модель є природним розвитком попередньої — тут вирішується згадана проблема подання полів різних типів. Відбувається це за рахунок створення спеціалізованих таблиць для кожного з полів. Недоліком даної моделі є складність «збирання» об'єкта, так як об'єкт виявляється розподіленим між різними таблицями, і його композиція вимагає значних SQL-витрат.

3. *Природна реляційна модель «Новий тип об'єктів — нова таблиця»* (рис. 3.6, модель 3). Потребує застосування DDL для створення таблиць, що представляють об'єкти стандартним для реляційних БД чином — кожен запис таблиці представляє об'єкт, кожне поле — значення поля об'єкта. Додаткова мета-інформація про тип об'єктів та налаштування полів можуть зберігатися у відповідних таблицях. Якщо застосовується приєднання об'єктів до контенту, тоді між таблицею сторінок та таблицею певного типу об'єктів існуватиме зв'язок «один-до-одного» (1–0..1). З іншого боку дана модель є найбільш природним рішенням у випадку розмежування контенту і інформаційних об'єктів. При цьому для реалізації спеціалізованої бізнес-логіки для маніпуляції об'єктами доцільним є наявність в CMS відповідного API для роботи із спеціалізованими об'єктами.

4. *Модель тегів* (рис. 3.6, модель 4). Без використання DDL. Застосовується принцип тегування: сторінці, що є об'єктом, призначається набір міток, кожна з яких представляє деяку характеристику об'єкта, тобто значення деякого поля. Тут кожна мітка в таблиці тегів відповідає деякому одному значенню поля. Значення полів (тобто теги) можуть групуватися в словники, тоді словник представлятиме деяке поле, а теги — область його значень. Даний підхід має значні обмеження у виразності опису об'єктів, проте він є дуже зручним у випадку, коли спеціалізовані об'єкти використовуються для фільтрації та групування контенту за деякими ознаками. Кожне значення поля отримує свій власний ідентифікатор, тому формування URL та відповідні SQL-запити по видобуванню об'єктів виконуються технічно просто.

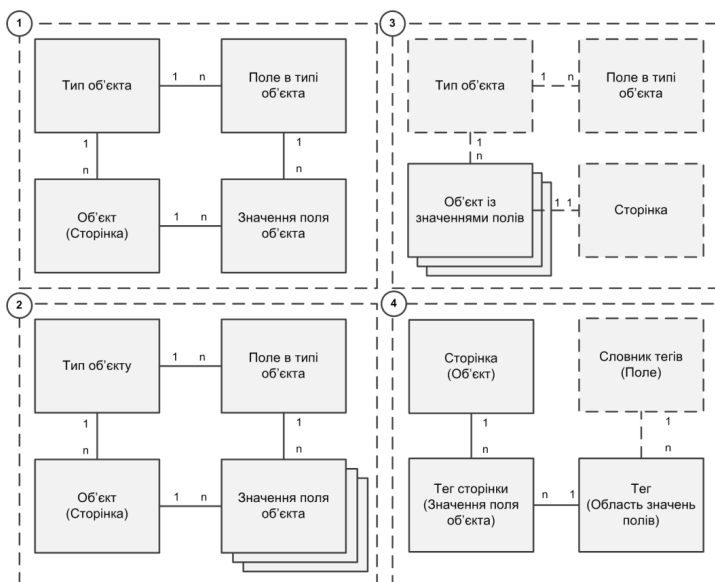


Рис. 3.6. Способи реляційної реалізації спеціалізованих інформаційних об'єктів CMS

### 3.3. Архітектура онтологічно-орієнтованої системи керування контентом

Структурну схему розробленої Web-системи побудови інформаційно-навчальних порталів зображено на рис. 3.7. База даних та знань предметної області складається з трьох інформаційних взаємопов'язаних сховищ: база контенту на основі Tree-Net, понятійно-тезисна база і компетенції. Відповідно персоналу системи надаються спеціальні інструментальні засоби формування і актуалізації такої бази даних та знань. З другого боку користувач починає свою роботу з формування освітнього запиту. За результатами цього етапу підсистема побудови індивідуального середовища та керування навчанням буде індивідуальний навчальний простір користувача і зберігає його за допомогою спеціальних структур. Тут же формується модель користувача. Підсистема доставки контенту служить для постачання персонального освітнього контенту користувачу. Підсистема тестування відповідає за механізми контролю знань.

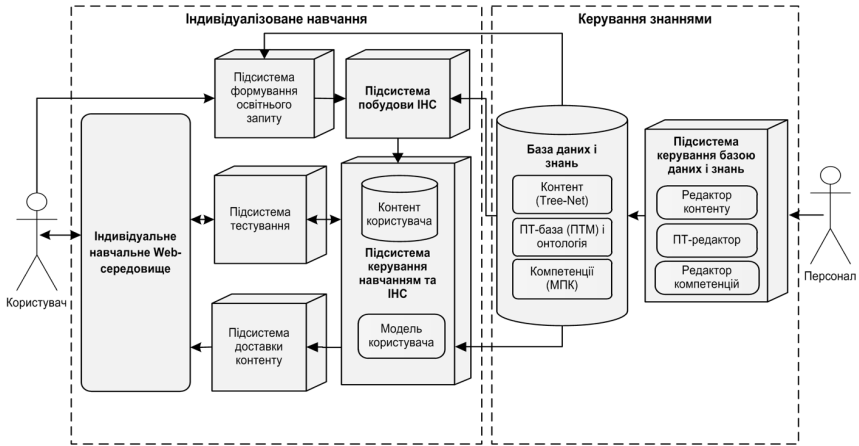


Рис. 3.7. Структурна схема Web-системи побудови ІНП

### 3.3.1. Функціональність системи на рівнях керування знаннями та організації безперервного навчання

Функціональність системи на рівні керування знаннями та на рівні організації навчання представлено на рис. 3.8 і рис. 3.9 у вигляді діаграм прецедентів у нотатції UML.

### 3.3.2. Бібліотеки класів онтологічно-орієнтованої системи керування контентом

Створене в роботі програмне забезпечення спирається на принципи об'єктно-орієнтованого проектування. Класи системи поділяються на дві бібліотеки: основна бібліотека класів — відповідає за безпосередню реалізацію моделей системи; адміністративна бібліотека — служить для організації керування і наповнення БД системи з урахуванням специфічних моделей даних системи. Класи основної бібліотеки, окрім принципів організації програмного коду, також віддзеркалюють структуру бази даних системи.

#### Структура класів, що реалізує ключові моделі системи

Ключові класи системи, які безпосередньо відповідають за реалізацію описаних раніше моделей подані в бібліотеці FreshCore ядра системи, діаграму якої показано подано на рис. 3.10.

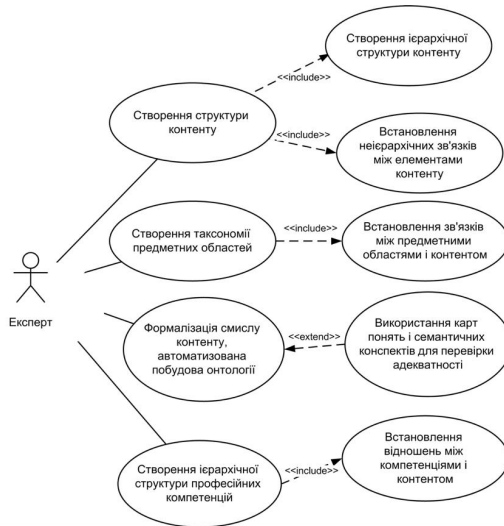


Рис. 3.8. Функціональність системи на рівні керування знаннями.  
 Діаграма прецедентів у нотації UML

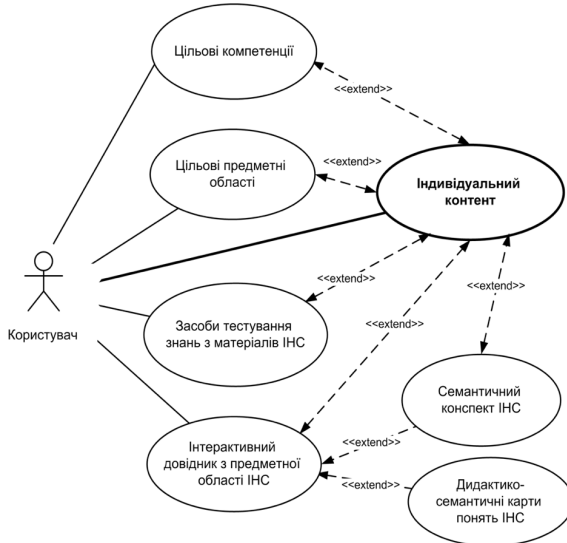


Рис. 3.9. Функціональність системи на рівні організації БН.  
 Діаграма прецедентів у нотації UML

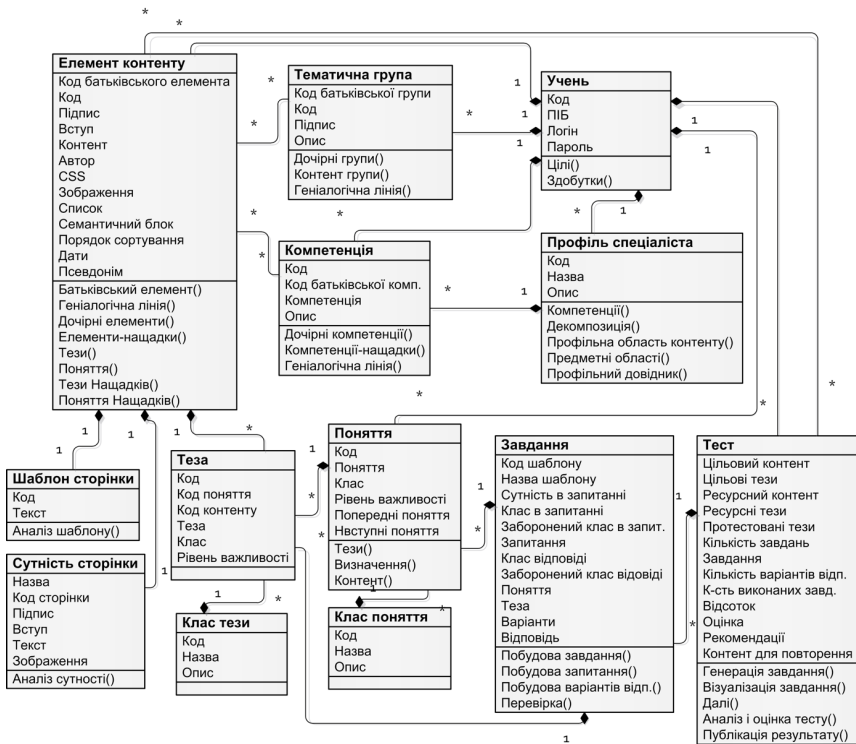


Рис. 3.10. Бібліотека, класи якої реалізують ключові моделі

На рис. 3.11 показано зв'язок між класами системи і моделями, які вони реалізують. Так класи «Елемент контенту», «Тематична група», а також «Шаблон сторінки» і «Сутність сторінки» описують контент згідно розробленої ієрархічно-мережевої моделі контенту Tree-Net. Класи «Поняття», «Теза», а також «Клас тези» і «Клас поняття» є ключовими класами для реалізації понятійно-тезисної моделі формалізації дидактичного тексту (ПТМ) та онтології. Класи «Компетенція» і «Профіль спеціаліста» є ключовими класами моделі професійних компетенцій (МПК). Для реалізації моделі контролю і діагностики знань і стану навчання (МКД) служать класи «Тест» і «Завдання». Спеціальний клас «Учень» подає модель користувача (МК). Для реалізації моделі освітнього запити (МОЗ) і моделі викладання (МВ) з її

основною функцією автоматизованої побудови індивідуального навчального середовища служить уся сукупність класів основної бібліотеки системи.

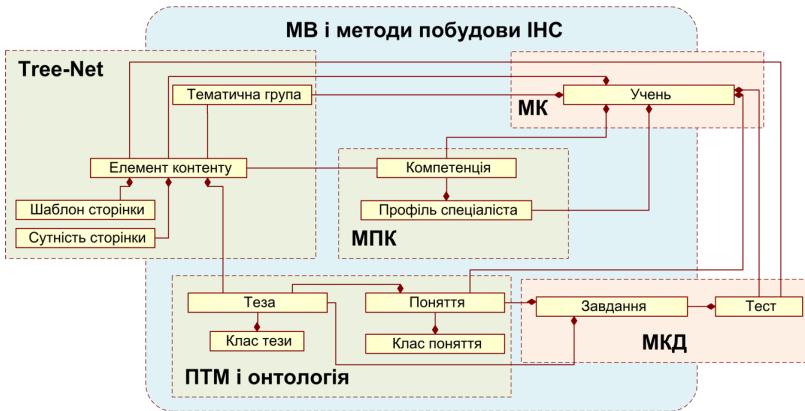


Рис. 3.11. Зв'язок між класами системи і моделями, які вони реалізують

### Адміністративна бібліотека класів для супроводження контенту системи

Спеціально для підтримки адміністрування бази навчального контенту на основі принципів Tree-Net, ПТМ і МПК була створена бібліотека класів, діаграма якої зображена на рис. 3.12. Клас «База даних» служить для з'єднання з БД і виконання SQL-запитів. Клас «Набір даних» служить для опису і подальшої обробки результату запиту. Клас «Таблиця» і його нащадки служать для формування користувацького Web-інтерфейсу для редагування таблиць БД. У цьому контексті за допомогою класу «Поле» описується кожне з полів таблиці БД у класі «Таблиця». Клас «Підлегла таблиця» є нащадком класу «Таблиця» і разом з ним служить для реалізації редагування таблиць БД, пов'язаних відношенням «головний-детальний». Клас «Таблиця-Дерево» служить для реалізації інтерфейсу редагування такої таблиці, у якій задається рекурсивне відношення «батько-нащадок» через одне з полів цієї ж таблиці. Цей клас служить для реалізації редагування багатьох сутностей комплексної моделі системи, які організовані у

вигляді дерева, серед них елементи контенту і тематичні групи Tree-Net, компетенції МПК, а також деякі інші об'єкти.

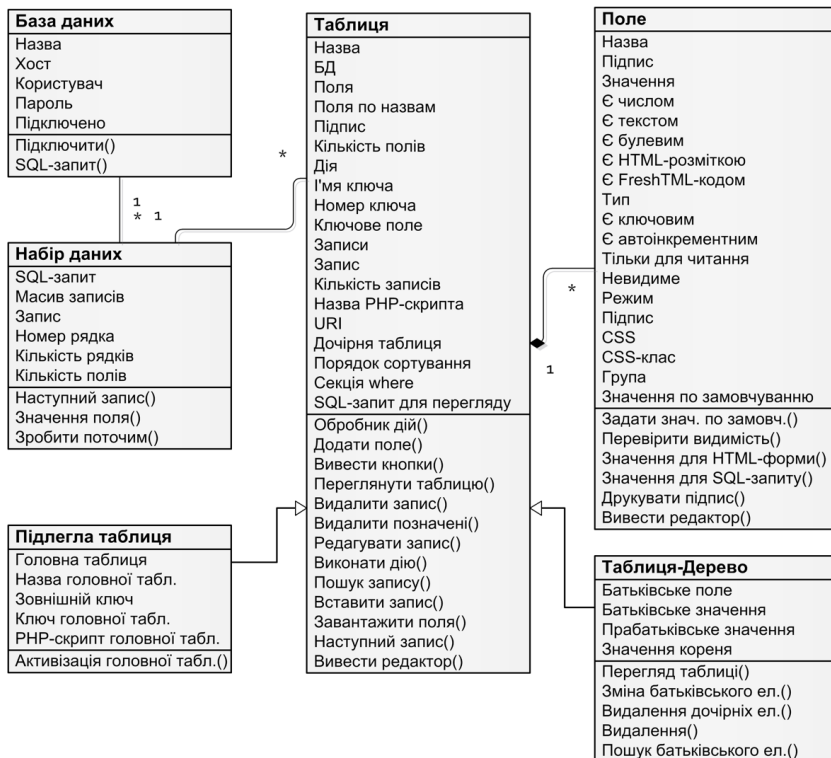


Рис. 3.12. Діаграма класів бібліотеки FreshDatasets для підтримки адміністрування бази навчального контенту

### 3.3.3. Засоби автоматичної побудови онтології предметної області контенту

Онтологія, що представляє формалізацію понятійної складової контенту та задає відношення дидактичного слідування між поняттями предметної області програмно реалізується на основі сутностей реляційної БД MySQL (рис. 3.13) та сукупності класів, описаних у відповідних PHP-модулях.

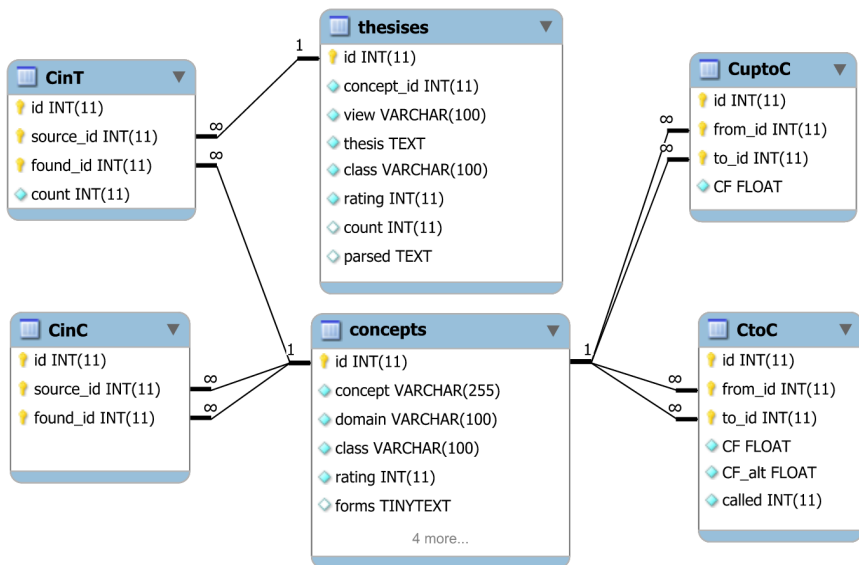


Рис. 3.13. Частина БД системи, яка відповідає за побудову та збереження онтології

Таблиця *concepts* зберігає поняття ПТМ, *thesises* — тези. В результаті синтаксичного аналізу понять та тез заповнюються таблиці *CinT* і *CinC*, які вказують на те які ПТ-сутності синтаксично входять в інші. *CtoC* зберігає граф онтології разом із відповідними факторами впевненості. *CuptoC* зберігає транзитивне замикання графу онтології.

Ключовим класом, в якому реалізовано алгоритми використання нечіткого виведення для задачі побудови онтології є клас *Concept*. Його метод *calcCF* реалізує етапи алгоритму пошуку усіх відношень даного поняття.

Пошук вхідних понять-кандидатів реалізується за допомогою спеціального SQL-запиту до БД MySQL, після чого для кожного запису, що представляє вхідне поняття-кандидат запускається метод *calcCF\_after*. Метод *calcCF\_after* виконує перевірку дії нечітких правил слідування між двома поняттями і у результаті повертає сукупний фактор впевненості для такого відношення. Інформація про знайдене відношення записується в БД.

Аналогічним чином обробляються вихідні поняття-кандидати з використанням методу *calcCF\_before* і подальшим записом інформації про відношення до БД.

Завершальним етапом методу *calcCF* є пошук і усунення протиріч. Це реалізується за допомогою SQL-запитів, що повертають інформацію про суперечні відношення, після цього для кожного з них робиться вибір найбільш достовірного з подальшим обчисленням скорегованого фактору впевненості. Після відпрацювання методу *calcCF* в БД з'являється інформація про усі безпосередні зв'язки даного поняття.

### **3.3.4. Засоби побудови індивідуального навчального середовища**

Алгоритми побудови індивідуального навчального середовища реалізовані в PHP-класі *Ontology* і спираються на результати роботи алгоритмів генерації онтології (PHP-клас *Concept*), синтаксичного аналізу і індексації контенту (PHP-клас *CMS*), а також алгоритмів побудови транзитивного замикання графу онтології, що виконуються за допомогою спеціального клієнт-серверного модуля *CuptoC*.

Клас *Ontology* містить такі ключові функції:

- *sortContent* — високорівнева функція, що відповідає за дидактичне сортування ділянок контенту на основі онтології предметної області (ПрО);
- *compareContent* — служить для аналізу співвідношення між двома ділянками контенту, безпосередньо реалізує алгоритми і правила нечіткого виведення для задачі дидактичного впорядкування контенту;
- *getConceptsOfViews* — повертає набір понять, що зустрічаються в ділянці контенту;
- *getEssentialConceptsOfViews* — реалізує предикат визначення цільових понять ділянки контенту, тобто таких, що є ключовим предметом обговорення в даному контексті.

Результат роботи функції *sortContent* надходить до модуля керування індивідуальним навчальним середовищем (*cms\_user.php*, клас *cmsUser*), після чого отриманий результат зберігається в обліковому записі користувача.

### 3.3.5. Фізична архітектура онтологічно-орієнтованої системи керування контентом

На стороні сервера система реалізована засобами серверної скриптової мови PHP, у якості реляційної СКБД тут служить MySQL, що широко застосовується в крупномаштабних Web-проектах. Фізично система складається з набору модулів, які представлені головним чином у вигляді PHP-файлів, а також клієнтських ресурсів, таких як JavaScript-сценарії, CSS-файли стилів та графічні елементи інтерфейсу у вигляді файлів зображень (рис. 3.14). Загальна кількість програмних файлів системи перевищує сотню, тому структура модулів подається у скороченому вигляді.

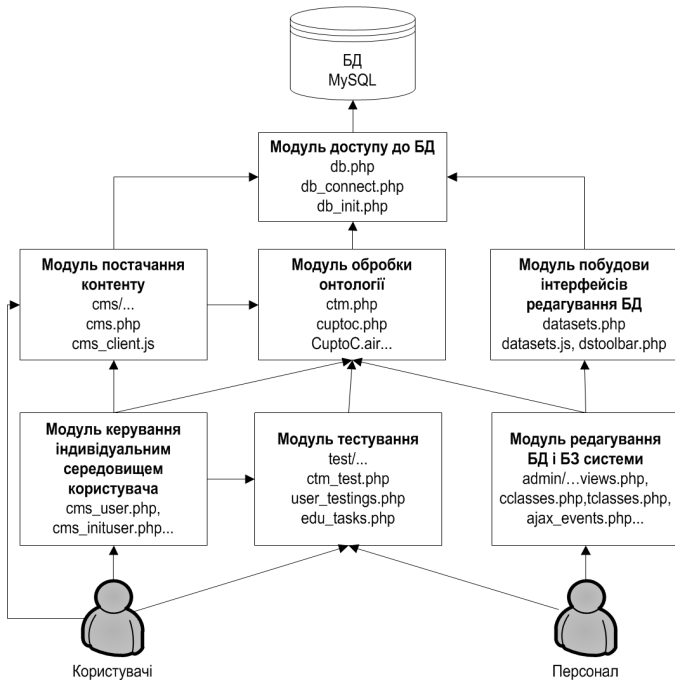


Рис. 3.14. Модульна структура програмного комплексу

Фізична архітектура системи зображена на рис. 3.15. Таким чином, програмні засоби реалізації включають: PHP у якості мови сценаріїв на стороні сервера; MySQL у якості сервера керування базою да-

них; HTML, CSS, JavaScript у якості клієнтських технологій розмітки і динамічного управління гіпертекстом. Технологія Ajax як інтеграція JavaScript, HTML, CSS і PHP використовується для реалізації асинхронних користувацьких інтерфейсів, що застосовувалося серед іншого для реалізації понятійно-тезисного редактора, який передбачає інтенсивну взаємодію користувача з системою у процесі редагування даних. Інфраструктурне програмне забезпечення на стороні сервера — Web-сервер, як правило, у ролі якого виступає Apache під управлінням Unix-подібної операційної системи, що застосовується на серверах хостингу. На стороні клієнта достатньо сучасного Web-браузера не залежно від ОС клієнтського комп'ютера.

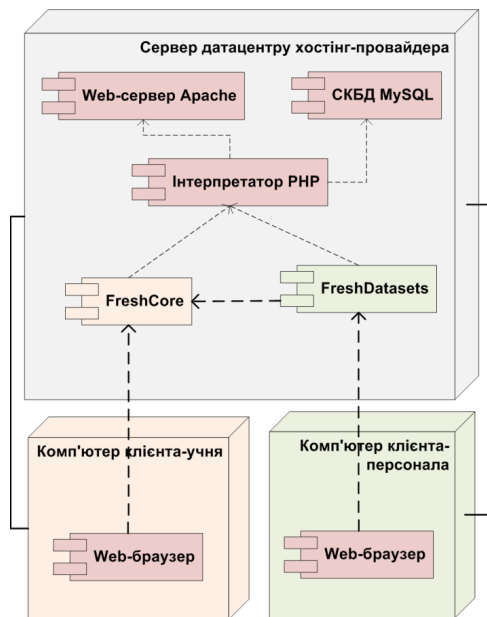


Рис. 3.15. Фізична архітектура системи FreshKnowledge.  
 Діаграма розгортання у нотатції UML

Фізично бібліотеки FreshCore і FreshDatasets, а також БД MySQL розміщуються на серверах датацентру хостинг-провайдера. Адмініс-

тративний персонал, як і кінцеві користувачі отримують доступ до системи через мережу Інтернет, використовуючи Web-браузери. Ключові функції персонал виконує за допомогою адміністративної бібліотеки FreshDatasets, тоді як кінцеві споживачі користуються системою завдяки функціоналу основної бібліотеки FreshCore.

Запропоновано сукупність архітектурних, інженерно-технічних та інформаційно-логічних рішень для побудови на їх ґрунті універсальної системи керування контентом. Поданий комплекс дозволяє на програмному рівні реалізувати ключові завдання універсальних CMS щодо конструювання, публікації та навігації по інформаційним сутностям предметної області Web-ресурсу [159].

Розглянуто задачу моделювання спеціалізованих інформаційних об'єктів в універсальних CMS-системах [162]. До ключових задач в контексті керування спеціалізованими об'єктами відноситься створення та зберігання об'єкта, публікація об'єкта, навігація по сховищу об'єктів, фільтрація та групування об'єктів за їх характеристиками.

Показано, що реалізація спеціалізованих об'єктів контенту відбувається одним з двох шляхів — як приєднання до загального контенту, або як розмежування з сторінками загального типу [162]. Доцільність кожного з цих способів обумовлюється конкретною задачею та ступенем складності структури спеціалізованого об'єкта.

Розглянуто основні реляційні моделі реалізації спеціалізованих інформаційних об'єктів у межах системи керування контентом. Показано, що кожна з моделей має власні переваги та недоліки, і тому повинна застосовуватись в залежності від типу задач. У зв'язку з цим робиться висновок про те, що універсальна CMS-система повинна надавати редакторам різні способи створення спеціалізованих об'єктів контенту [162].

Розроблено прикладну програмну систему [96, 167] керування контентом з розширеним інструментарієм автоматизованої побудови інформаційно-навчальних Web-порталів, яка містить програмні засоби створення міждисциплінарної бази контенту навчального та професійного призначення, засоби автоматичної побудови і відображення онтології предметної області, засоби побудови індивідуального інформаційно-навчального середовища і засоби автоматизованої побудови тестових завдань.

Перевагами запропонованого програмного забезпечення є наявність засобів семантичної формалізації контенту, що забезпечується програмною реалізацією ієрархічно-мережевої об'єктно-орієнтованої моделі контенту, понятійно-тезисної моделі та моделі професійних компетенцій. Це дає можливість окрім фізичного збереження контенту також формалізувати його смисл і використовувати ці знання для організації індивідуалізованого доступу користувачів до затребуваних ресурсів.

Розроблена адміністративна бібліотека класів дозволяє застосовувати принципи RAD (швидка розробка застосунків) для створення користувацьких Web-інтерфейсів керування базами даних, що значно спрощує процес розробки інформаційних Web-систем, які інтенсивно використовують бази даних. При цьому даний програмний інструментарій надає спеціальні можливості для організації керування БД з урахуванням запропонованих в роботі моделей даних контенту.

Структура БД і БЗ разом із алгоритмічним забезпеченням дає змогу застосовувати створену програмну систему для організації індивідуалізованого доступу користувачів до матеріалів порталу на основі професійних і навчальних цілей, а це забезпечує одну з ключових вимог до сучасних інформаційно-навчальних порталів.

## **4. Застосування програмного комплексу керування інформаційно-навчальним Web-контентом**

Розроблений програмний комплекс був застосований в проектах таких організацій і установ як Навчально-методичний комплекс «Інститут післядипломної освіти» НТУУ «КПІ», Інститут інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України, Регіональний центр розвитку е-урядування в Автономній Республіці Крим (РЦРЕУ), Представництво Університету «Vision» (США) у Східній Європі, а також в межах навчально-методичної діяльності в American University Kyiv, на кафедрі АПЕПС НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» та у низці ініціативних проектів. На базі програмної системи, що є результатом дослідження, було створено відкритий навчальний портал [znapnya.org](http://znapnya.org), який подає навчальні матеріали з інформаційних технологій, програмування, проектування програмного забезпечення та інших дисциплін. Далі подається опис використання розробленої програмної системи в межах згаданих проектів.

### **4.1. Предметна формалізація контенту і автоматична побудова та візуалізація онтології навчального курсу «Технології е-урядування»**

Регіональний центр розвитку е-урядування в Автономній Республіці Крим (РЦРЕУ) у межах проекту «Створення і підготовка діяльності Регіонального центру розвитку електронного урядування в Автономній Республіці Крим» підготував навчальний курс «Технології е-урядування». Розробник методичних матеріалів курсу — к.ю.н. М. С. Демкова.

Е-урядування — це технологія організації державної влади за допомогою систем локальних інформаційних мереж та сегментів глобальної інформаційної мережі, яка забезпечує функціонування певних органів в режимі реального часу та робить максимально простим і доступним щоденне спілкування громадянина з органами влади. У ході співпраці з РЦРЕУ на основі досліджень та запропонованих моделей, методів і програмних засобів здійснено структурування і формаліза-

цію контенту курсу, автоматично побудовано онтологію для галузі е-урядування.

Програмний інструментарій для формалізації предметної складової контенту надає інтерактивний Web-інтерфейс користувача для виділення з тексту сутностей відповідно до понятійно-тезисної моделі рис. 4.1.

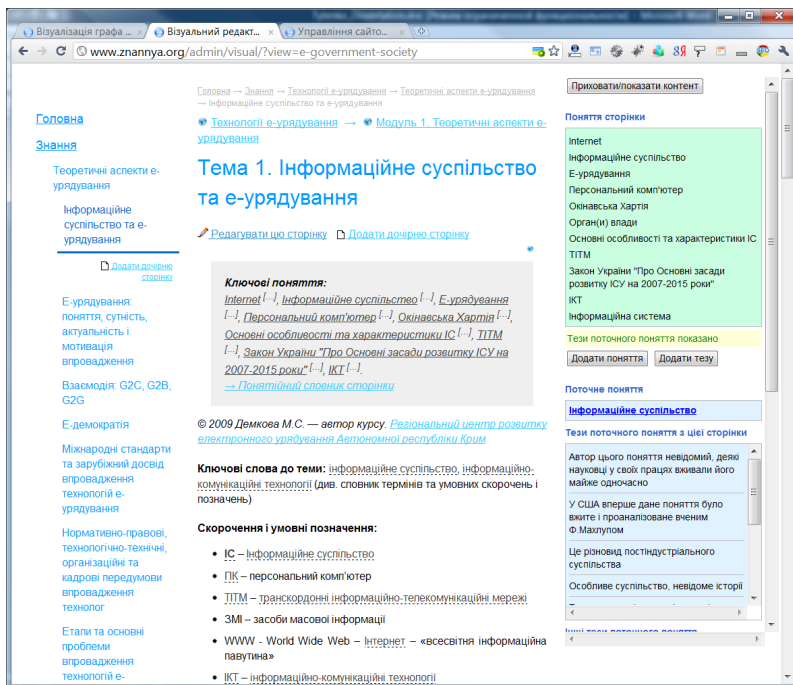


Рис. 4.1. Web-інтерфейс користувача для виділення з тексту сутностей відповідно до понятійно-тезисної моделі

Усього в контенті курсу виділено 64 поняття та 190 тез. Після автоматичного аналізу цих даних побудовано 102 відношення між поняттями курсу, а також 87 транзитивних відношень слідування (усього 189 відношень слідування між 64 поняттями). У необхідних випадках після перегляду візуалізованої онтології, застосовувалося корегування зв'язків між поняттями шляхом редагування класів та елементів ПТМ. В деяких випадках на коректність напрямку ребра в

графі онтології значно впливав вибір класу тези. Таким чином деякі невірні відношення, що призводили до циклів в графі онтології корегувалися шляхом заміни класів деяких тез на відповідні їм реверсні класи. Аналіз побудованої таким чином онтології підтверджує ефективність запропонованих методів, моделей і програмних засобів. Так підсистема автоматично визначила характерні відношення між ключовими поняттями курсу:

- Органи влади → е-урядування (фактор впевненості відношення  $CF=0,99$ );
- ІКТ → е-урядування ( $CF=0,93$ );
- е-урядування → е-демократія, ( $CF=0,88$ );
- е-урядування → Рекомендація Ради Європи (2004) з питань е-урядування ( $CF=0,99$ );
- Internet → Інформаційне суспільство ( $CF=0,5$ )
- тощо.

Засоби візуалізації графу онтології курсу «Технології е-урядування» зображено на рис. 4.2.

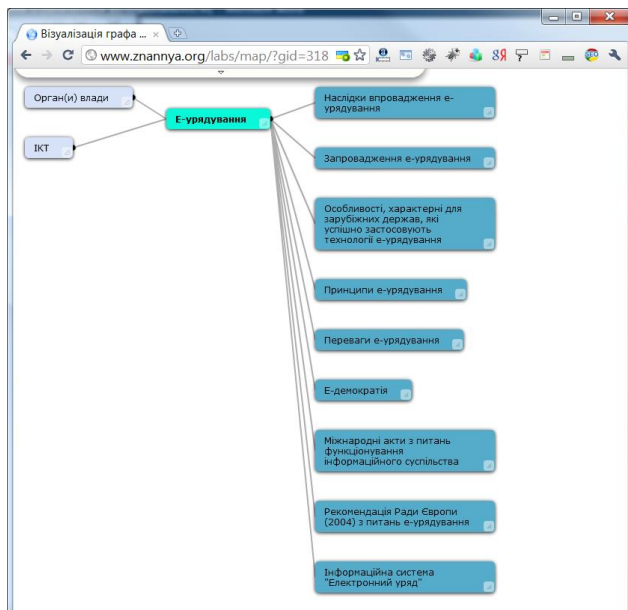


Рис. 4.2. Засоби візуалізації графу онтології курсу «Технології е-урядування»

## 4.2. Автоматизація тестування в курсах «Технологія ADO в Delphi» та «Технології е-урядування»

Застосування методу формалізації предметної складової контенту на основі ПТМ для широкого кола дисциплін дозволило автоматизувати процес побудови завдань для тестового контролю користувачів інформаційно-навчального порталу. Підсистема автоматизованого тестування може бути застосована для будь-якої ділянки навчального матеріалу за умови, що дана ділянка ПТ-формалізована. Так для ефективної побудови тестів, що міститимуть по 10 тестових завдань, з тексту даної ділянки контенту необхідно виділити біля 15 понять і 30 тез. Приклади роботи підсистеми автоматизованого тестування по курсам «Технологія ADO в Delphi» та «Технології е-урядування» представлено на рис. 4.3 і рис. 4.4.

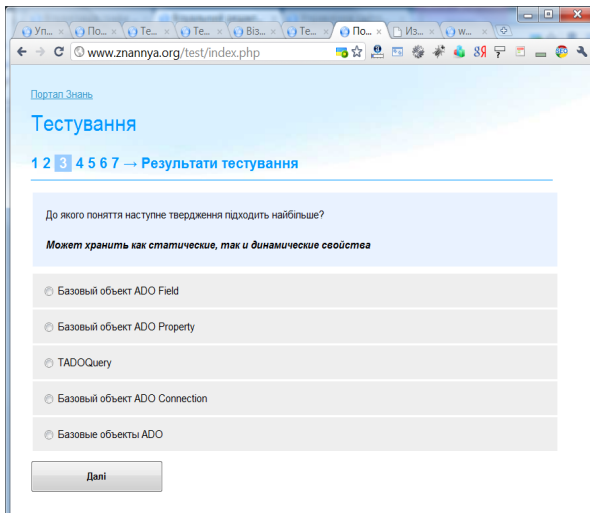


Рис. 4.3. Приклад роботи підсистеми автоматизованого тестування для курсу «Технологія ADO в Delphi»

Після завершення тестування користувач отримує сторінку про результати (рис. 4.5), де зазначається відсоток вірних відповідей та в залежності від налаштувань системи виводиться оцінка за тест. Крім цього зазначається перелік тем із гіперпосиланнями на відповідні ділянки контенту, які потребують доопрацювання.

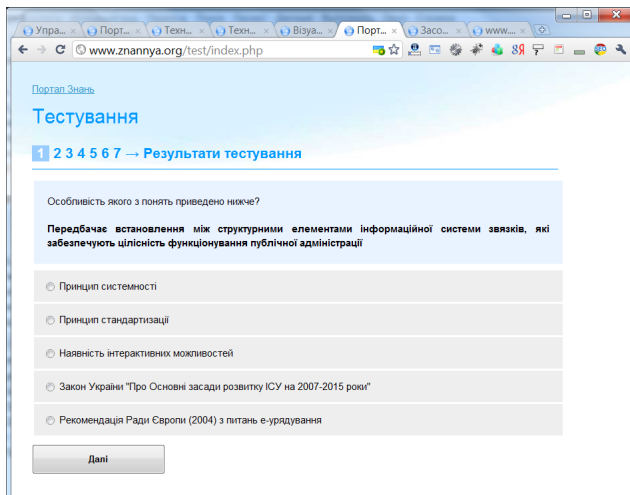


Рис. 4.4. Приклад роботи підсистеми автоматизованого тестування для курсу «Технології е-урядування»



Рис. 4.5. Сторінка результатів тестування

Кожен із сеансів тестування записується в журналі, який доступний експерту для перегляду і аналізу. Зокрема зберігається кожне із згенерованих завдань, відповіді користувача, сумарний відсоток вірних відповідей і перелік рекомендованого матеріалу для повторення.

Було проведено експеримент, при якому було застосовано для тестування тестові завдання, згенеровані на основі запропонованого підходу. При цьому для порівняння автоматично побудовані завдання було змішано із тестовими завданнями, створеними вручну експертом з навчального курсу (рис. 4.6). Параметри експерименту:

Кількість тестованих — 20, з них завершили тестування — 16.

Тема курсу: “Технології е-урядування”. Автор курсу: *к.ю.н. Демкова М.С.*

Кількість тестових завдань, створених експертом — 20.

Кількість тестових завдань, побудованих автоматично на базі МКД — 20.

Інтеграція стандартних і згенерованих тестових завдань на базі Moodle: *к.т.н. Богачков Ю.Н.*

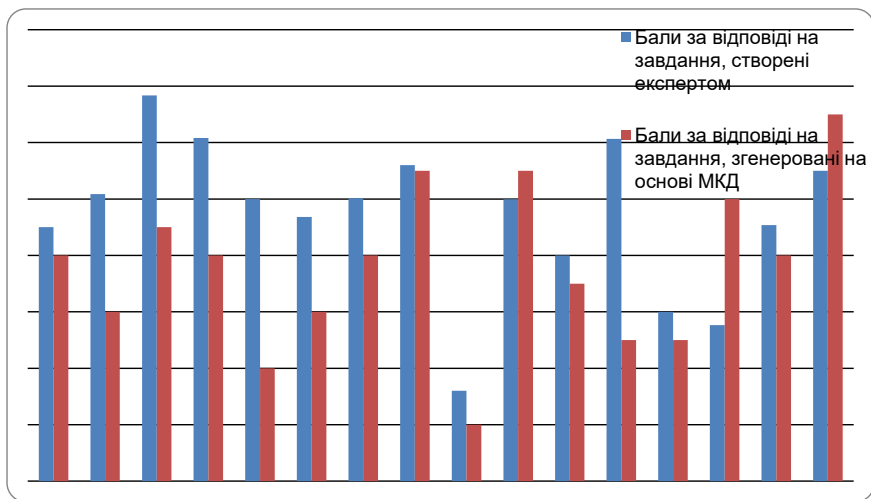


Рис. 4.6. Порівняльна діаграма кількості балів, отриманих студентами за відповіді на згенеровану частину тесту і частину тесту, що була побудована експертом. Вісь абсцис відповідає студентам, вісь ординат — кількості отриманих балів

Середня відносна похибка: 0,23.

Експеримент підтвердив перспективність застосування запропонованого підходу до генерації тестових завдань. При цьому додаткову увагу слід зосереджувати на оцінюванні кожного з тестових завдань в контексті усього тесту, а також на якості виконання понятійно-тезисної формалізації контенту.

### 4.3. Інформаційно-навчальний портал **Semantic Portal**

Програмні засоби, що реалізують ієрархічно-мережеву модель структурування контенту і опису предметних областей були застосовані для побудови онтологічно-орієнтованого порталу Semantic Portal ([semantic-portal.net](http://semantic-portal.net)) (рис. 4.7).



Рис. 4.7. Інформаційно-навчальний портал Semantic Portal

База даних порталу містить 1526 сторінок контенту, які віднесено до 20 предметних областей та їх розділів. Редагування елементу контенту (інформаційної Web-сторінки) відбувається за допомогою інтерфейсу, зображеному на рис. 4.8.

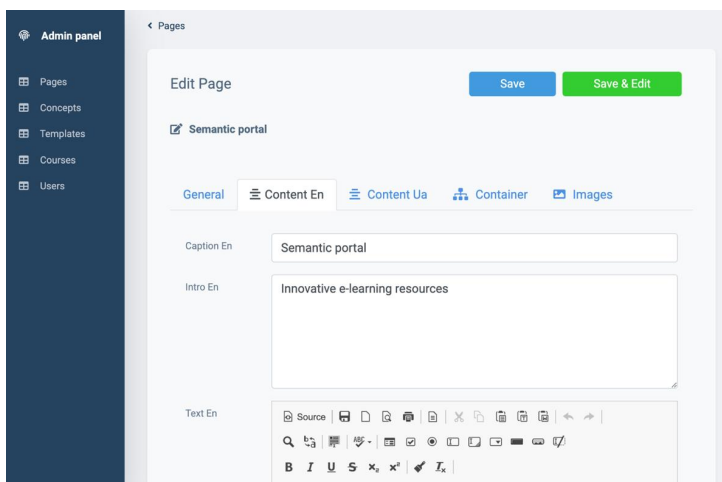


Рис. 4.8. Інтерфейс редагування Web-сторінки порталу

На порталі подані матеріали з програмування по багатьом технологічним стекам. Представлені матеріали опрацьовані за допомогою понятійно-тезисної формалізації. Таким чином, ресурс містить 2499 понять, 6161 тезу, 1088 структурних відношень та 2539 дидактичних відношень.

### **4.3. Побудова порталу організації, структурування та формалізація інформації на основі запропонованої моделі Web-контенту**

Загалом на базі створеного в роботі програмного забезпечення було побудовано більше 30 інтернет-ресурсів, серед яких такі проекти:

- сайт Ministry to Educate & Equip International (США) [www.mtee.org](http://www.mtee.org);
- сайт кафедри АПЕПС ТЕФ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» [apeps.kpi.ua](http://apeps.kpi.ua);
- портал з проблем інтелектуальних технологій в дистанційному навчанні [www.setlab.net](http://www.setlab.net) (рис. 4.9);
- відкритий навчальний портал з інформаційних технологій, розробки програмного забезпечення та інших дисциплін [www.znannya.org](http://www.znannya.org);
- інформаційно-навчальний портал [semantic-portal.net](http://semantic-portal.net);

а також низка інших громадських та комерційних проєктів.

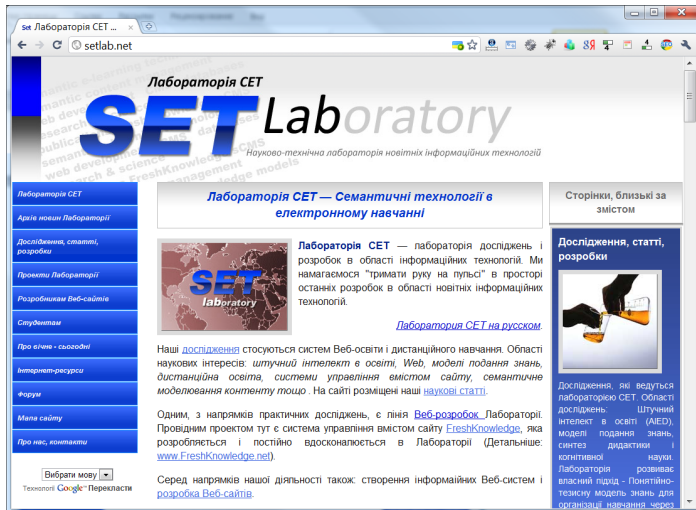


Рис. 4.9. Портал з проблем інтелектуальних технологій в дистанційному навчанні

Практика використання розробленого програмного забезпечення показала ефективність та зручність запропонованих моделей, методів і програмних засобів для побудови організаційних порталів, структурування та формалізації Web-контенту.

#### 4.4. Побудова індивідуального навчального середовища в межах циклу дисциплін з програмування

Відкритий навчальний портал [znannya.org](http://znannya.org) подає сукупність взаємопов'язаних навчальних курсів з проектування та розробки програмного забезпечення, а також з ряду інших дисциплін. Розгорнута тематика сайту у вигляді хмари тегів зображена на рис. 4.10. Загалом БЗ і БД порталу містить 1113 інформаційно-навчальних сторінок, 48 предметних галузей і їх підрозділів, 1696 понять, 7064 тези, 1517 відношень (2170 разом з транзитивними). В системі зареєстровано 984 користувача. На сайті реалізовано індивідуалізований доступ користувачів до затребуваних навчальних ресурсів порталу. Створено структуру професійних компетенцій і профілів спеціалістів у відповідних

галузях. Після реєстрації користувач отримує можливість формувати освітній запит, додаючи до власного облікового запису елементи, що подають цілі навчання, зокрема компетенції, профіль спеціаліста, набори контенту, тощо (рис. 4.11, 4.12). Після формування індивідуальних цілей навчання і вибору контенту, користувач отримує доступ до функції обчислення навчального середовища (рис. 4.12), в результаті якої система аналізує вказані цілі і контент. Якщо були обрані компетенції, система здійснює їх декомпозицію і знаходить усю сукупність відповідного їм контенту. Загальний обсяг контенту компетенцій а також контент, що був відібраний вручну користувачем, аналізується і сортується в дидактичному порядку з урахування ієрархічних відношень між елементами контенту та семантичних зв'язків між поняттями, які представлені в навчальному матеріалі (рис. 4.12).

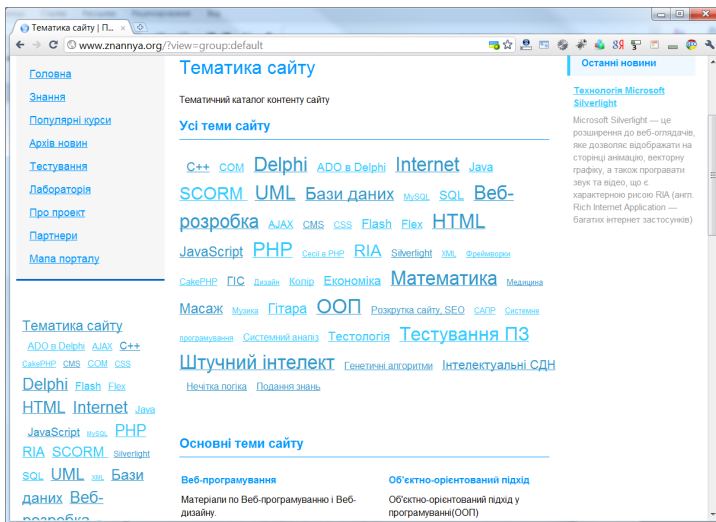


Рис. 4.10. Тематика порталу znannya.org

Експерименти, проведені на порталі znannya.org підтвердили працездатність запропонованих моделей, методів і програмних засобів для індивідуалізованого доступу користувачів до затребуваних навчальних ресурсів в межах інформаційного порталу.

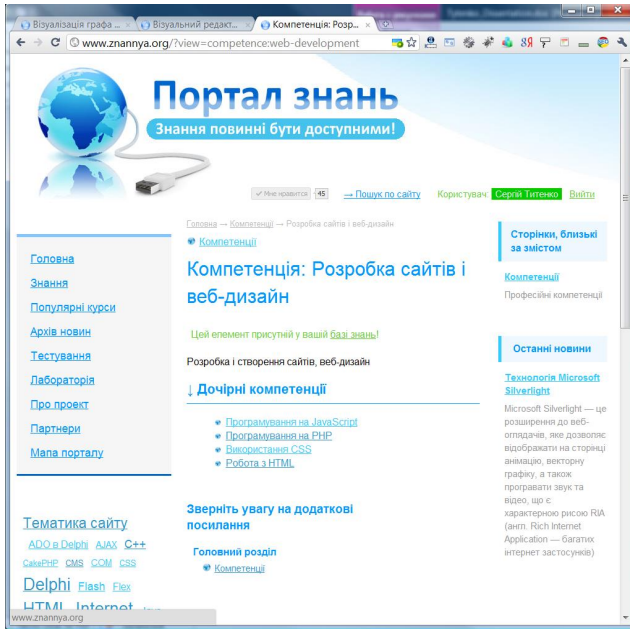


Рис. 4.11. Компетенція «Розробка сайтів і Web-дизайн»

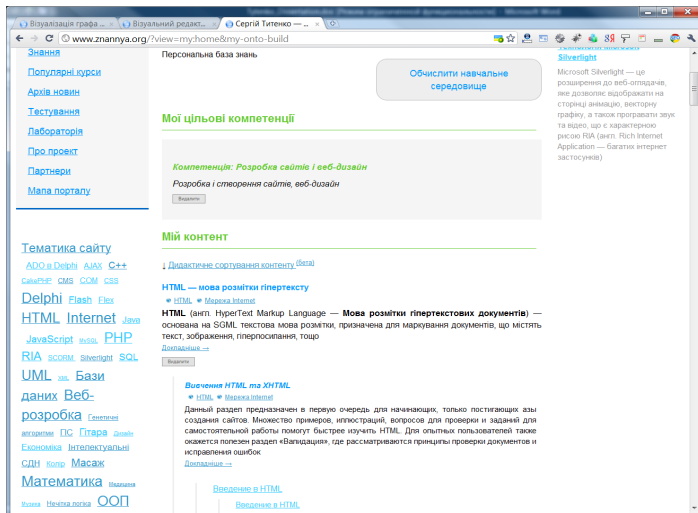


Рис. 4.12. Індивідуальне навчальне середовище

Створена на основі запропонованих моделей і методів програмна система була застосована для задач структурування і формалізації міждисциплінарного контенту, опису предметних областей інформаційних Web-ресурсів, автоматизованої побудови онтології, автоматизованого тестування і побудови індивідуального навчального середовища.

Результати роботи впроваджені у Навчально-методичному комплексі «Інститут післядипломної освіти» НТУУ «КПІ», в Інституті інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України, у Регіональному центрі розвитку *e*-урядування в Автономній Республіці Крим та в представництві Міжнародного університету «Vision» (США) у Східній Європі. Практика застосування розробленого програмного забезпечення підтверджує дієздатність і ефективність запропонованих моделей, методів і програмних засобів. Створена система, функціонує на відкритому навчальному порталі [znanua.org](http://znanua.org), який подає навчальні матеріали з інформаційних технологій, програмування, проектування програмного забезпечення та інших дисциплін. Запропонований програмний комплекс може застосовуватись для побудови інформаційно-навчальних Web-порталів по різних предметним галузям з функцією індивідуалізованого доступу користувачів до затребуваних інформаційних ресурсів.

## Висновки

У роботі розв'язана задача побудови комплексу моделей і методів та створення на їх основі програмного забезпечення онтологічно-орієнтованої системи керування інформаційно-навчальним Web-контентом із функцією індивідуалізованого доступу користувачів до затребуваної професійно-навчальної інформації в межах інформаційного Web-порталу. Робота містить наступні теоретичні і практичні результати.

1. Здійснено аналіз існуючих програмних систем, що застосовуються для керування Web-контентом інформаційних порталів навчального і професійного призначення. Проаналізовано сучасні освітні вимоги до програмних систем підтримки навчання, розглянуто методи, моделі і технології інтелектуальних навчальних систем та можливості їх застосування для побудови інформаційно-навчальних Web-порталів. Показано, що сучасні освітні вимоги необхідно задовольняти на основі онтологічно-орієнтованого моделювання навчального Web-контенту, як засобу моделювання знань в інформаційно-навчальній програмній Web-системі.

2. Відповідно до сформульованих вимог, на основі онтологічного підходу розроблено комплекс моделей і методів керування інформаційно-навчальним Web-контентом, що забезпечує структурно-алгоритмічні основи програмних засобів індивідуалізованого доступу користувачів до затребуваних міждисциплінарних ресурсів інформаційних Web-порталів. Розроблено наступні ключові компоненти:

- ієрархічно-мережева об'єктно-орієнтована модель подання даних і знань, представлених у Web-контенті інформаційно-навчального порталу;
- модель формалізації понятійної складової Web-контенту і метод автоматизованої побудови онтології предметної області;
- метод автоматичної побудови індивідуального інформаційно-навчального Web-середовища.

3. Для забезпечення інформаційно-логічного структурування системи розроблено ієрархічно-мережеву об'єктно-орієнтовану модель подання даних і знань, представлених у Web-контенті, що надало комплексне вирішення задач репрезентації великих об'ємів багатопред-

метної інформації, організації міждисциплінарних зв'язків, моделювання предметних областей, подання структури професійних компетенцій і організації навігації в інформаційному Web-порталі.

4. На основі вимог до формалізації концептуальної складової інформаційно-навчального контенту розроблено понятійно-тезисну модель, що дозволило програмно реалізувати засоби автоматизованої побудови тестових завдань, створення гіпермедійного довідника та інтерактивних карт понять з предметної області навчання, а також забезпечило основу для методу автоматичної побудови онтології предметної області.

5. З метою застосування апарату нечіткої логіки в програмних модулях, що відповідають за розв'язання задач визначення черговості структурних елементів міжпредметного Web-контенту, адаптовано стенфордську модель нечіткого виведення. Це забезпечило основу для розробки методу автоматичної побудови онтології і методу генерації індивідуального навчального середовища в програмній системі керування інформаційно-навчальними Web-ресурсами.

6. На базі стенфордської моделі нечіткого виведення запропоновано метод автоматизованої побудови онтології предметної області для інформаційно-навчальних Web-систем. Сутність методу полягає в автоматичному визначенні семантичних відношень між структурними елементами формалізованого контенту на базі апарату нечіткого виведення, що дозволило побудувати програмний модуль предметної формалізації контенту та модуль автоматизованого створення і обробки онтології для системи керування інформаційно-навчальним Web-контентом.

7. На основі онтологічного підходу і нечіткої логіки розроблено метод автоматичної побудови індивідуального міждисциплінарного Web-середовища навчання. Розроблений метод дав змогу програмно реалізувати підсистему індивідуалізованого доступу користувачів Web-порталів до затребуваних інформаційно-навчальних ресурсів.

8. Відповідно до запропонованих моделей розроблено прикладну програмну систему керування контентом з розширеним інструментарієм автоматизованої побудови інформаційно-навчальних Web-порталів, яка містить програмні засоби створення міждисциплінарної бази контенту навчального та професійного призначення, засоби автоматичної побудови та відображення онтології предметної області, засо-

би побудови індивідуального інформаційно-навчального середовища та засоби автоматизованої побудови тестових завдань. Результати роботи впроваджені у Американ Юніверситі Київ, Навчально-методичному комплексі «Інститут післядипломної освіти» НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», в Інституті інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України, у Регіональному центрі розвитку е-урядування в Автономній Республіці Крим та в представництві Міжнародного університету «Vision» (США) у Східній Європі.

## Список використаних джерел

1. Fenwick, T., Nerland, M., & Jensen, K.. Sociomaterial approaches to conceptualising professional learning and practice. *Journal of Education and Work*, 25(1), 2012, 1–13. <https://doi.org/10.1080/13639080.2012.644901>
2. Національна доктрина розвитку освіти: указ Президента України від 17 квітня 2002 року № 347/2002.
3. Коментарі до Національної доктрини розвитку освіти України (аналіз проекту освітньої доктрини від 15 травня 2001р.) / Т. Тімар, П. Дарваш, Я. Коварович, С. Поулсен // Бюлетень Програми підтримки вироблення стратегії реформування освіти — 2001. — №2, червень/липень — С. 27–40.
4. Votruba, J. C. Understanding and Facilitating Adult Learning. *The Journal of Higher Education*, 58(5), 1987, 602–604. <https://doi.org/10.1080/00221546.1987.11778287>
5. Біда, О. А., Орос, І. І., & Чичук, А. П. (2022). ЗАСТОСУВАННЯ АНДРОГОГІЧНОГО ПІДХОДУ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ФАХІВЦІВ У ЗВО. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*, (205), 12–17. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2022-1-205-12-17>
6. Bakare, T. V. Factors Affecting the Use of Andragogical Principles in Adult Education Programmes. *The Oriental Anthropologist*, 10(1), 2010, 105–119. <https://doi.org/10.1177/0972558X1001000109>
7. Medved, M. B. Creating an Environment for Ongoing Learning. [Електронний ресурс] : *Learning Circuits*, 2003. — Режим доступу: [http://www.astd.org/LC/2003/1203\\_medved.htm](http://www.astd.org/LC/2003/1203_medved.htm)
8. Rebecca H. Rutherford. (2004). Andragogy in the information age educating the IT adult learner. In *Proceedings of the 5th conference on Information technology education (CITC5 '04)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 282. <https://doi.org/10.1145/1029533.1029615>
9. Bassham G. Lifelong learning and the duty of self improvement. *Think*. 2008;6(16):101–105. doi:10.1017/S1477175600002487
10. Самойлов, В. Д. Модельное конструирование компьютерных приложений / В. Д. Самойлов. — К.: Наукова думка. — 2007. — 198 с.
11. Лаврищева, Е. М. Методы программирования: теория, инженерия, практика / Е. М. Лаврищева. — К.: Наукова думка. — 2006. — 451 с.

12. Основы инженерии качества программных систем / Ф. И. Андон, Г. И. Коваль, Т. М. Коротун, В. Ю. Суслов — К: Академперіодіка, 2002. — 502 с.

13. Brusilovsky, P. Methods and techniques of adaptive hypermedia / P. Brusilovsky // User Modeling and User-Adapted Interaction. — 1996. — № 6 (2–3). — P. 87–129.

14. Murray, T. Authoring Intelligent Tutoring Systems: An Analysis of the State of the Art / T. Murray. // International Journal of Artificial Intelligence in Education. — 1999. — № 10 — P. 98–129

15. Brusilovsky, P. Adaptive and intelligent Web-based educational systems / P. Brusilovsky, C. Peylo // International Journal of Artificial Intelligence in Education. Special Issue on Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems — 2003. — № 13 (2-4). — P. 159–172.

16. Brusilovsky, P. Adaptive and Intelligent Technologies for Web-based Education / P. Brusilovsky // Künstliche Intelligenz. Special Issue on Intelligent Systems and Teleteaching / [C. Rollinger, C. Peylo (eds.)]. — 1999. — № 4. — P. 19–25.

17. de Bra, P., Houben, G.J., Wu, H.: Aham: A dexter-based reference model for adaptive hypermedia / P. de Bra, G. J. Houben, H. Wu // Proceedings of the ACM Conference on Hypertext and Hypermedia, Darmstadt, Germany. — 1999. — P. 147–156.

18. Halasz, F. The Dexter Reference Model / F. Halasz, M. Schwartz. // Proc. NIST Hypertext Standardization Workshop. — 1990. — P. 95–133.

19. Halasz, F. The Dexter Hypertext Reference Model / F. Halasz, M. Schwartz // Communications of the ACM. — 1994. — № 37, nr. 2 — P. 30–39.

20. Brusilovsky, P. Adaptive navigation support / P. Brusilovsky // The Adaptive Web: Methods and Strategies of Web Personalization. Lecture Notes in Computer Science / [P. Brusilovsky, A. Kobsa and W. Neidl (eds.)]. — Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2007. — №. 4321. — P. 263–290.

21. Brusilovsky, P. User models for adaptive hypermedia and adaptive educational systems / P. Brusilovsky, E. Millán // The Adaptive Web: Methods and Strategies of Web Personalization. Lecture Notes in Computer Science / [P. Brusilovsky, A. Kobsa, W. Neidl (eds.)]. — Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2007. — № 4321. — P. 3–53.

22. Brusilovsky, P. Open corpus adaptive educational hypermedia / P. Brusilovsky, N. Henze // *The Adaptive Web: Methods and Strategies of Web Personalization. Lecture Notes in Computer Science* / [P. Brusilovsky, A. Kobsa and W. Neidl (eds.)]. — Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag, 2007. — №. 4321. — P. 671–696.

23. Conlan, O. Combining adaptive hypermedia techniques and ontology reasoning to produce dynamic personalized news services / O. Conlan, I. O’Keefe, S. Tallon // *Proc. of 4th International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH’2006). Lecture Notes in Computer Science* / [Wade, V., Ashman, H., Smyth, B. (eds.)]. — Springer Verlag, 2006 — № 4018. — P. 81–90

24. Brusilovsky, P. Domain, Task, and User Models for an Adaptive Hypermedia Performance Support System / P. Brusilovsky, D. W. Cooper // *Proc. of 2002 International Conference on Intelligent User Interfaces, San Francisco, CA.* / [Gil, Y., Leake, D. B. (eds.)]. — ACM Press. 2002. — P.23–30.

25. Vassileva, J. A task-centered approach for user modeling in a hypermedia office documentation system / J. Vassileva // *User Modeling and User-Adapted Interaction.* — 1996. — № 6 (2–3). — P. 185–223.

26. Андон, Ф. И. Логические модели интеллектуальных информационных систем / Ф. И. Андон, А. Е. Яшунин, В. А. Резниченко. — К: Наукова думка. — 1999. — 397 с.

27. Верлань, А. Ф. Системы со встроенным интеллектом на базе архитектуры машины диалога / А. Ф. Верлань, И. А. Чмырь // *Электронное моделирование.* — 2001. — Т.23, №1. — С. 75–83.

28. Чмир Ігор Олексійович. Моделювання та синтез діалогових агентів в інтелектуальних системах : Дис. ... д-ра тех. наук: 05.13.23 / Чмир Ігор Олексійович. — Київ. — 2008.

29. Brusilovsky, P. Layered evaluation of adaptive learning systems / P. Brusilovsky, C. Karagiannidis, D. Sampson // *International Journal of Continuing Engineering Education and Lifelong Learning.* — 2004. — № 14 (4/5). — P.402–421.

30. De Bra, P. Web-based educational hypermedia / P. De Bra // *Book chapter in: Data Mining in E-Learning* / [edited by C. Romero and S. Ventura]. — Universidad de Cordoba, Spain, WIT Press., 2006. — P. 3–17. — ISBN 1-84564-152-3.

31. Stash, N. Authoring of Learning Styles in Adaptive Hypermedia: Problems and Solutions / N. Stash, A. Cristea, P. De Bra // Proc. of The 13th International World Wide Web Conference (Alternate track papers and posters). — ACM Press, 2004. — P. 114–123.

32. N. Chomsky. Aspects of the theory of syntax. Cambridge: M.I.T. Press, 1965.

33. M. R. Quillian. Word concepts: A theory and simulation of some basic semantic capabilities. *Behavioral science*, 12(5), 410–430, 1967.

34. D. Ausubel, *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*. New York: Grune & Stratton, 1963.

35. D. Ausubel. The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. *Journal of Educational Psychology*, 51(5), 267–272, 1960. doi:10.1037/h0046669

36. P. Johnson. *Essential Learning Theories: Applications to Authentic Teaching Situations*. Rowman & Littlefield Publishers, 2019.

37. Novak, J. D., Gowin, D. B. *Learning How to Learn*. Cambridge University Press, Cambridge, MA, USA, 1984.

38. Novak, J. D. Concept maps and vee diagrams: Two metacognitive tools for science and mathematics education. In *Instructional Science*, 19, pp. 29–52, 1990

39. Novak, J. D., Cañas, A. J. Theoretical Origins of Concept Maps, How to Construct Them, and Uses in Education. *Reflecting Education*, 3(1), 2007. P. 29–42.

40. J. F. Sowa. Conceptual Graphs for a Data Base Interface. *IBM Journal of Research and Development*. 20 (4): 336–357, 1976. doi:10.1147/rd.204.0336

41. J. F. Sowa. *Conceptual structures: Information processing in mind and machine*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1984.

42. D. Corbett, C. Rouff. Self Optimization using Conceptual Graphs for NASA Autonomous Systems. In *Third IEEE International Workshop on Engineering of Autonomic & Autonomous Systems (EASE'06)*, pp. 149–157, 2006. doi:10.1109/EASE.2006.11

43. Luger, George F. *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving*. 4th ed., Addison-Wesley, 2005.

44. D. F. Dansereau. Node-link mapping principles for visualizing knowledge and information. In *Knowledge and information visualization*, pp. 61–81. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005. doi:10.1007/11510154\_4

45. T. Buzan. Using both sides of the brain. Dutton: New York, 1974.
46. Tytenko, S. V. INTERACTIVE CONCEPT MAPS IN ONTOLOGY-ORIENTED INFORMATION AND LEARNING WEB-SYSTEMS. KPI Science News, no. 2, pp. 24–36, 2019. doi:10.20535/kpi-sn.2019.2.167515
47. Mindmap sample. XMind, 2020 [Online]. Available: <https://assets.xmind.net/www/assets/images/home/home-hero-ui@3x-64881d8d06.png>. [Accessed: 02-Jun- 2020].
48. Nesbit J., Adesope O. Learning with concept and knowledge maps: A Meta-analysis. Review of Educational Research, 2006, Vol. 76, No. 3, P. 413–448. doi: 10.3102/00346543076003413
49. I. M. Kinchin, A. Möllits, P. Reiska. Uncovering Types of Knowledge in Concept Maps. Education Sciences. 2019, 9 (2), 131. doi:10.3390/educsci9020131
50. Puntambekar S., Stylianou A., Hübscher R. Improving Navigation and Learning in Hypertext Environments With Navigable Concept Maps. Human-Computer Interaction, 18(4), 395–428, 2003 doi:10.1207/s15327051hci1804\_3
51. H. Li, S. Hasegawa, A. Kashihara. A multi-layer map-oriented resource organization system for web-based self-directed learning combined with community-based learning. Research and Practice in Technology Enhanced Learning, 10, 14, 2015. doi:10.101186/s41039-015-0012-2
52. M. Eldefrawi, A. Sharaf, A. Elsayed. Bootstrapping Domain Knowledge Exploration using Conceptual Mapping of Wikipedia. International Journal of Advanced Computer Science and Applications. 4 (8), 2013. doi:10.14569/IJACSA.2013.040813
53. R. Shavelson, H. Lang, B. Lewin. On concept maps as potential “authentic” assessments in Science. CSE Technical Report 388. Los Angeles, CA: National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing (CRESST), UCLA. 1994
54. ISO/IEC 13250. Topic Maps. Second Edition. 2002
55. A. Valerio, D. B. Leake, A. J. Cañas. Using Automatically Generated Concept Maps for Document Understanding: A Human Subjects Experiment. In Concept Maps: Theory, Methodology, Technology. Proceedings of the 5th International Conference on Concept Mapping, pp. 438–445, Valetta, Malta. 20, 23, 54, 173. 2012
56. Falke T. Automatic Structured Text Summarization with Concept Maps. PhD Thesis. Technische Universität, 2019.

57. B. Sarrafzadeh, E. Lank. Improving exploratory search experience through hierarchical knowledge graphs. In Proceedings of the 40th International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, pp. 145–154. 2017. doi: 10.1145/3077136.3080829
58. Semantic Portal [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. — Електронні дані. — <http://semantic-portal.net/>
59. Handler, P. Ganeshkumar, B. O'Connor, M. Altantawy. Summarizing Relationships for Interactive Concept Map Browsers. In Proceedings of the 2nd Workshop on New Frontiers in Summarization. pp. 111–115. 2019. doi: 10.18653/v1/D19-5414
60. G. Hwang, P. Wu, H. Ke. An interactive concept map approach to supporting mobile learning activities for natural science courses. *Comput. Educ.* 57: 2272–2280. 2011. doi: 10.1016/j.compedu.2011.06.011
61. T. Sumner, F. Ahmad, S. Bhushan, G. Gu, F.J. Molina, S. Willard, M. J. Wright, L. Davis, L., G. Janée. Linking learning goals and educational resources through interactive concept map visualizations. *International Journal on Digital Libraries* 5: 18–24. 2004. doi: 10.1007/s00799-004-0112-x
62. Гагарін, О. О. Дослідження і аналіз методів та моделей інтелектуальних систем безперервного навчання / О. О. Гагарін, С. В. Титенко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2007. — № 6(56). — С. 37–48.
63. M. Roser, H. Ritchie, E. Ortiz-Ospina. Internet, 2015. Published online at OurWorldInData.org [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/internet>
64. Черняк, Л. Адаптируемость и адаптивность / Л. Черняк // Открытые системы. — 2004. — №09.
65. International Forum of Educational Technology & Society [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://ifets.ieee.org/>.
66. International Journal of Artificial Intelligence in Education (IJAIED) [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://aiied.inf.ed.ac.uk/>.
67. Simon., H. A. Department of Psychology, Carnegie Mellon University. [Speech presented at the 1997 Frontiers in Education Conference].
68. Encyclopedia of Artificial Intelligence. 2nd ed. / [S. C. Shapiro editor. ]. — New York: John Wiley & Sons, 1992. — Volume 1. — p. 434.
69. Jain, R. Refining the Search Engine [Електронний ресурс] // Ubiquity. — 2004. — Volume 5, Issue 29, Sept. 15–21. — Режим доступу : <http://www.acm.org/ubiquity/>.

70. Clancey, W. J. Knowledge-based tutoring: The GUIDON program / W. J. Clancey. — Cambridge, MA: The MIT Press, 1987.

71. McArthur, D. The roles of artificial intelligence in education: Current progress and future prospects / D. McArthur, M. Lewis, M. Bishay // RAND, Santa Monica, CA, DRU-472-NSF. — 1993.

72. Shute, V. Large-scale evaluation of an intelligent discovery world: SMITHTOWN / V. Shute, R. Glaser // Interactive Learning Environments. — 1990. — № 1. — P. 51–77.

73. Berners-Lee, T. Spinning the Semantic Web: Bringing the World Wide Web to Its Full Potential / T. Berners-Lee. — The MIT Press, 2005.

74. Berners-Lee, T. The Semantic Web / T. Berners-Lee, J. Hendler, O. Lassila // Scientific American. — 2001. — May, № 284, 5. — P. 34–43.

75. SW-EL: Semantic Web for E-Learning [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://compsci.wssu.edu/iis/swel/>.

76. Stankov, S. Ontology as a Foundation for Knowledge Evaluation in Intelligent E-learning Systems / S. Stankov, B. Žitko, A. Grubišić // International Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for E-Learning (SW-EL'05) in conjunction with 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AI-ED 2005), Amsterdam, Netherlands. — 2005. — P. 81–84.

77. Гадецька, З. М. Побудова інструментальних програмних систем автоматизації тестування знань в гібридних інтелектуальних середовищах на основі агентних технологій: Автореф. ... канд. тех. наук: 01.05.03. / Зоя Митрофанівна Гадецька. — Київ, 2008. — 28 с.

78. Побудова автоматизованих курсів з використанням оболонок навчаючих систем генеруючого та селективного типу: Методичні рекомендації / Укл. Г. І. Леліков, В. М. Сороко, О. Ю. Оболенський. — К.: Головдержслужба, 1998. — 76 с.

79. The World-Wide Web / T. Berners-Lee, R. Cailliau, A. Luotonen, H. Nielsen, A. Secret // Communications of the ACM. — 1994. — Vol. 37., №.8. — P. 76–82.

80. Smith, A. S. G. MLTutor: An Application of Machine Learning Algorithms for an Adaptive Web-based Information System / A. S. G. Smith, A. Blandford // International Journal of Artificial Intelligence in Education. — 2003. — № 13(2–4). — P. 233–260.

81. An adaptive Web-based learning system with a free-hyperlink environment / H. Mitsuhashi, Y. Ochi, K. Kanenishi, Y. Yano // Proceedings

of Workshop on Adaptive Systems for Web-Based Education at the 2nd International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems, AH'2002. May 28, 2002. Málaga, Spain. [P. Brusilovsky, N. Henze, & E. Millán (Eds.)]. — 2002. — P. 81–91.

82. Wayfinding Services for Open Educational Practices [Електронний ресурс] / M. Kalz, H. Drachler, J. van Bruggen, H. Hummel, R. Kopper // International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET). — 2008. — № 3(2). — Режим доступу : <http://online-journals.org/i-jet/article/view/220>.

83. Brusilovsky, P. Preface to special issue on user modeling for Web information retrieval / P. Brusilovsky, C. Tasso // User Modeling and User Adapted Interaction. — 2004. — № 14 (2–3). — P. 147–157.

84. Гагарін, О. О. Проблеми створення гіпертекстового навчального середовища / О. О. Гагарін, С. В. Титенко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля — 2007. — №4 (110). Ч.2. — С. 6–15.

85. Гагарін, О. О. Концептуальний підхід до подання знань в інтелектуальній освітній системі / О. О. Гагарін, В. І. Гайдаржи, С. В. Титенко // Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. 11–13 грудня 2006 р., м. Луганськ. — Луганськ: Альма-матер, 2006. — С. 17–19.

86. Валгина, Н. С. Теория текста: Учебное пособие / Н. С. Валгина. — Москва. Изд-во МГУП «Миркниги» — 1998. — 210 с.

87. Антонченко, М. О. Експертні системи як засіб формування якісних знань учнів 7–8 класів з предметів природничого циклу: Автореф. дис. ... канд. пед. наук: 13.00.09 / Антонченко Марія Олексіївна ; Харк. держ. пед. ун-т ім. Г. С. Сковороди. — Х., 2001. — 16 с.

88. Marshall, B. Convergence of Knowledge Management and E-Learning: the GetSmart Experience [Електронний ресурс] / Marshall, B., et al. // JCDL. — Houston, 2003. — Режим доступу: <http://ai.bpa.arizona.edu/go/intranet/Publication/JCDL-2003-Marshall.pdf>.

89. Efimova, L. Converging Knowledge Management, Training and e-learning: Scenarios to Make it Work / L. Efimova, J. Swaak // Journal of Universal Computer Science. — 2003. — Vol. 9, № 3. — P. 571–578.

90. Комов, С. А. Корпоративные знания — как ими управлять? [Електронний ресурс] / С. А. Комов // Журнал «Корпоративные сис-

темы». — 2005. — №3. — Режим доступа : <http://www.management.com.ua/ims/ims108.html>.

91. Allee, V. eLearning is not Knowledge Management [Электронный ресурс]. / V. Allee. — Режим доступа : <http://www.linezine.com/2.1/features/vaenkm.htm>.

92. Brusilovsky, P. Supporting teachers as content authors in intelligent educational systems / P. Brusilovsky, J. Knapp, J. Gamper // *Int. J. Knowledge and Learning*. — 2006. — Vol. 2, № 3/4. — P. 191–215.

93. Семикин, В. А. Семантическая модель контента образовательных электронных зданий: Автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.13.18 / Семикин Виктор Алексеевич ; Тюменск. гос. ун-т. — Тюмень, 2004. — 21 с.

94. Brusilovsky, P. Adaptive hypermedia, an attempt to analyze and generalize / P. Brusilovsky // *Multimedia, Hypermedia, and Virtual Reality (Lecture Notes in Computer Science)*. [P. Brusilovsky, P. Kommers, N. Streitz (Eds.)]. — Berlin: Springer-Verlag, 1996. — Vol. 1077. — P. 288–304.

95. Brusilovsky, P. KnowledgeTree: A distributed architecture for adaptive e-learning / P. Brusilovsky // *Proceedings of The Thirteenth International World Wide Web Conference, WWW 2004 (Alternate track papers and posters)*, New York, NY, 17–22 May. — ACM Press, 2004. — P. 104–113.

96. Титенко, С. В. FreshKnowledge — система управління навчальним Веб-контентом на семантичному рівні / С. В. Титенко, О. О. Гагарін // VII міжнародна конференція «Інтелектуальний аналіз інформації ІАІ-2007», Київ, 15–18 мая 2007 г. : Сб. тр. / Ред. кол. : С. В. Сирота (гл.ред.) и др. — К.: Просвіта, 2007. — С. 342–352.

97. Титенко, С. В. Комплекс моделей для побудови Web-системи безперервного навчання / С. В. Титенко // *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. — 2008. — № 5(61). — С. 57–66.

98. Gagarin, A. Complex model of educational hypermedia environment for ongoing learning / A. Gagarin, S. Tytenko // *Образование и виртуальность — 2007. Сборник научных трудов 11-й Международной конференции Украинской ассоциации дистанционного образования / Под общ. ред. В. А. Гребенюка, Др Киншука и В. В. Семенца*. — Харьков-Ялта : УАДО, 2007. — С. 140–145.

99. Гагарин, А. А. Организация дистанционного обучения как информационный фактор реализации научно-технологической сос-

тавляющей экономической безопасности государства / А. А. Гагарин, А. Н. Луценко, С. В. Титенко // Экономическая безопасность государства и информационные технологии в ее обеспечении / под общ. ред. Г. К. Вороновского, И. В. Недина — К.: Знания Украины, 2005. — С. 608–619.

100.Титенко, С. В. Модель навчального Web-контенту Tree-Net як основа для інтеграції керування знаннями і безперервним навчанням / С. В. Титенко, О. О. Гагарін // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 1. — С. 74–86.

101.Титенко, С. В. Моделювання області знань в системі безперервного навчання на основі інтеграції моделі контенту Tree-Net і понятійно-тезисної моделі / С. В. Титенко, О. О. Гагарін // VIII международная конференция «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2008», Киев, 14-17 мая 2008г.: Сб. тр. / Ред. кол. : С. В. Сирота (гл. ред.) и др. — К.: Просвіта, 2008. — С. 475–484.

102.Титенко, С. В. Семантична модель знань для цілей організації контролю знань у навчальній системі / С. В. Титенко, О. О. Гагарін // Сборник трудов международной конференции «Интеллектуальный анализ информации-2006». — Київ: Просвіта, 2006. — С. 298–307.

103.Титенко, С. В. Практична реалізація технології автоматизації тестування на основі понятійно-тезисної моделі / С. В. Титенко, О. О. Гагарін // Образование и виртуальность — 2006. Сборник научных трудов 10-й Международной конференции Украинской ассоциации дистанционного образования / Под общ. ред. В. А. Гребенюка, Др Киншука, В. В. Семенца.— Харьков-Ялта: УАДО, 2006. — С. 401–412.

104.Титенко, С. В. Генерація тестових завдань у системі дистанційного навчання на основі моделі формалізації дидактичного тексту / С. В. Титенко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2009. — № 1(63). — С. 47–57.

105.Arthur, K. How to Study Your Bible: Discover the Life-Changing Approach to God's Word. Harvest House Publishers, 2001.

106.Fee, Gordon D., and Douglas Stuart. How to Read the Bible for All Its Worth. 4th ed., Zondervan, 2014.

107.McKeachie, Wilbert J. «McKeachie's Teaching Tips: Strategies, Research, and Theory for College and University Teachers.» 11th ed., Houghton Mifflin, 2002.

108. Brusilovsky, P. Developing adaptive educational hypermedia systems: From design models to authoring tools / P. Brusilovsky // *Authoring Tools for Advanced Technology Learning Environment*. [T. Murray, S. Blessing and S. Ainsworth (eds.)]. — Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003. — P. 377–409.

109. Brusilovsky, P. Adaptive navigation support in educational hypermedia: An evaluation of the ISIS-Tutor / P. Brusilovsky, L. Pesin // *Journal of Computing and Information Technology*. — 1998. — 6,1 — P. 27–38.

110. Brusilovsky, P. An adaptive E-learning service for accessing interactive examples / P. Brusilovsky, M. Yudelson, S. Sosnovsky // *Proceedings of World Conference on E-Learning, E-Learn 2004*, Washington, DC, USA, November 1–5, 2004. [J. Nall and R. Robson (eds.)]. — ACE, 2004. — P. 2556–2561.

111. Weber, G. ELM-ART: An adaptive versatile system for Web-based instruction / G. Weber, P. Brusilovsky // *International Journal of Artificial Intelligence in Education, Special Issue on Adaptive and Intelligent Web-based Educational Systems*. — 2001. — 12 (4) — P. 351–384.

112. Brusilovsky, P. A tool for developing hypermedia-based ITS on WWW / P. Brusilovsky, E. Schwarz, G. Weber // *Intelligent Tutoring Systems — Proceedings of the Third International Conference, ITS '96*. [C. Frasson, G. Gauthier, and A. Lesgold, eds.]. — Berlin: Springer, 1996. — P. 261–269.

113. Weber, G. User modeling and Adaptive Navigation Support in WWW-Based Tutoring Systems / G. Weber, M. Specht // *User Modeling: Proceedings of the Sixth International Conference*. Wien, New York. [Jameson, A., Paris, C., and Tasso, C., editors]. — Springer-Verlag, 1997. — P. 289–300.

114. Brusilovsky, P. Adaptive Navigation Support for Open Corpus Hypermedia Systems (Invited talk) / P. Brusilovsky // *Proceedings of 5th International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH'2008)*, Hannover, Germany, July 29-August 1, 2008. [W. Nejdl, J. Kay, P. Pu and E. Herder (eds.)]. — Springer Verlag, 2008 — P. 6–8.

115. Олецкий О. В. Застосування формальних моделей онтологій для формалізації інформаційних потоків у системах управління контентом / О. В. Олецкий // *Теоретичні та прикладні аспекти побудови*

програмних систем. Матеріали міжнародної конференції TAAPSD'2005. Київ, 7–9 грудня 2005 р. — С. 26–29.

116. Діренко, І. С. Система управління вмістом веб-ресурсів на основі онтологічно-документного моделювання / І. С. Діренко, О. В. Олецький // Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем. Матеріали міжнародної конференції TAAPSD'2006. Київ, грудень 2006 р. — С. 171–176.

117. Титенко, С. В. Автоматизація побудови дидактичної онтології на основі понятійно-тезисної моделі / С. В. Титенко, О. О. Гагарін // X Міжнародна наукова конференція імені Т. А. Таран «Інтелектуальний аналіз інформації ІАІ-2010.»: Зб. праць Міжнар. наук. конф. Київ, 18–21 травня 2010 р. — Київ.: Національний технічний університет України «КПІ», 2010. — С. 269–275.

118. Титенко, С. В. Побудова дидактичної онтології на основі аналізу елементів понятійно-тезисної моделі / С. В. Титенко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2010. — № 1(69). — С. 82–87.

119. Відкритий навчальний портал [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.znannya.org>.

120. Buchanan B. G., Shortliffe E. H. Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project. — MA: Addison-Wesley, 1984. — 769 p.

121. Супряга І. А. Система автоматизованої побудови навчальних ресурсів на основі статей Wikipedia / І. А. Супряга, С. В. Титенко // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. — Кременчук: КрНУ, 2014. — Випуск 5 (88). — С. 136–140.

122. Левченко Я. А. Автоматизована побудова дидактичної онтології на основі Wikipedia / Я. А. Левченко, С. В. Титенко // Международная научная конференция имени Т. А. Таран «Интеллектуальный анализ информации» ИАИ-2015, Киев, 20–22 мая 2015 г. : сб. тр. — К. : Просвіта, 2015. — С. 131–137. ISBN 978–617–7010–07–3

123. Ковальов Е. А. Система аналізу онлайн-енциклопедії для генерації дидактичних рекомендацій / Ковальов Е. А., Титенко С. В. // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів, присвяченої 85 річчю теплоенергетичного факультету, м. Київ, 18–21 квітня 2016 р. У 2 т. — К. : «КПІ», 2016. — Т. 2. — с. 190.

124. Berger B., Shor P. W. Approximation algorithms for the maximum acyclic subgraph problem // Proceedings of the first annual ACM-SIAM symposium on Discrete algorithms. — Society for Industrial and Applied Mathematics, 1990. — С. 236–243.

125. TENCompetence — European research project for lifelong competence development [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.tencompetence.org/>.

126. Титенко, С. В. Генерація індивідуального навчального середовища на основі моделі професійних компетенцій у Web-системі безперервного навчання / С. В. Титенко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля — 2009. — №1 (131). Ч.2. — С. 267–273.

127. Романова, Е. С. 99 популярных профессий. Психологический анализ и профессиограммы. 2-е изд. / Е. С. Романова, — СПб.: Питер, 2004. — 464 с.

128. Морозова, Т. Ю. До проблеми взаємодії ІТ-освіти та ІТ-індустрії / Т. Ю. Морозова, Ю. С. Деордиця // Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. 11–13 грудня 2006 р., м. Луганськ. — Луганськ: Альма-матер, 2006. — С. 64–66.

129. Воробьёв, А. В. Модель преодоления интервала междолжностных компетенций / А. В. Воробьёв // Educational Technology & Society. — 2006. — № 9(4). — С. 260–264.

130. Brusilovsky, P. Web-based testing for distance education / P. Brusilovsky, P. Miller // Proceedings of WebNet'99, World Conference of the WWW and Internet, Honolulu, HI, Oct. 24–30, 1999. [P. De Bra and J. Leggett (eds.)]. — ААСЕ, 1999. — Р. 149–154.

131. Танченко С. С. Анализ методов генерации тестовых заданий / Танченко С. С., Титенко С. В., Гагарин А. А. // XIII международная научная конференция имени Т. А. Таран «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2013», Киев, 15–17 мая 2013 г. : сб. тр./ гл. ред. С. В. Сирота. — К. : Просвіта, 2013. — С. 220–226

132. Аванесов В. С. Основные элементы заданий в тестовой форме с двумя ответами. «Управление школой» №10, 2000.

133. Sosnovsky S. Web-based Parameterized Questions as a Tool for Learning / S. Sosnovsky, O. Shcherbinina, P. Brusilovsky // Proceedings of E-Learn 2003, Arizona USA. — 2003. — Р. 2151–2154.

134. Pathak, S. Assessing Student Programming Knowledge with Webbased Dynamic Parameterized Quizzes / S. Pathak, P. Brusilovsky // ED-MEDIA'2002 — World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications, Denver, CO, June 24–29, 2002 [Barker P and Rebelsky S (eds)]. — AACE, 2002. — P. 1548–1553.

135. QuizPACK — Quizzes for Parameterized Assessment of C Knowledge [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.sis.pitt.edu/~taler/QuizPACK.html>.

136. Левинская М. А. Автоматизированная генерация заданий по математике для контроля знаний учащихся [Електронний ресурс] // Educational Technology & Society. — 2002. — 5(4). — [С. 214–221]

137. Елизаренко, Г. Н. Проектирование компьютерных курсов обучения: концепция, язык, структура / Г. Н. Елизаренко. — К.: НТУУ «КПИ», 2001.

138. Cao, Y., Li, S., Liu, Y., Yan, Z., Dai, Y., Yu, P. S., & Sun, L. A comprehensive survey of ai-generated content (aigc): A history of generative ai from gan to chatgpt. *arXiv preprint arXiv:2303.04226*, 2023.

139. Jordan, M., Ly, K., & Soosai Raj, A. G. Need a Programming Exercise Generated in Your Native Language? ChatGPT's Got Your Back: Automatic Generation of Non-English Programming Exercises Using OpenAI GPT-3.5. In *Proceedings of the 55th ACM Technical Symposium on Computer Science Education V. 1, 2024, March*, pp. 618–624.

140. Nerodenko V. Generation of tests of various complexity levels in e-learning system based on educational text formalization model / Nerodenko V., Tytenko S. // Modern Aspects of Software Development: Proceedings of VI International Scientific and Practical Virtual Conference of Software Development Specialists, June, 24 2019 p. — Kyiv: Igor Sikorsky KPI, 2019. — pp. 121–133.

141. Петрова Л. Г., Петров С. О. Використання модифікованої понятійно-тезисної моделі для автоматизованого формування бази тестових запитань в системах комп'ютеризації освіти // Інформаційні технології і засоби навчання. — 2012. — №4 (30). — Режим доступу до журналу: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/ITZN/2012\\_4/648-1976-2-RV.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/ITZN/2012_4/648-1976-2-RV.pdf)

142. Мельник А.М., Пасічник Р.М. Метод генерації тестових завдань на основі системи семантичних класів // Вісник ТДТУ. — 2010. — Том 15. — № 1. — С. 187–193.

143. Мельник, А. М. Автоматична генерація тестових завдань різних типів // Вісник Хмельницького національного університету — 2010. — №4. — С. 124–129.

144. Атанов, Г. А. Моделирование учебной предметной области, или Предметная модель обучаемого / Г. А. Атанов // *Educational Technology & Society*. — 2001. — № 4 (1). — С. 111–124. — ISSN 1436–4522.

145. Атанов, Г. А. Семантическая предметная модель студента-экономиста по линейной алгебре / Г. А. Атанов, Е. Г. Евсеева // Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики: Збірник наукових праць: В 3-х томах. — Кривий Ріг: Видавничий відділ НацМетАУ, 2002. — Т. 1: Теорія та методика навчання математики. — С. 4–20.

146. Атанов, Г. А. Возрождение дидактики — залог развития высшей школы / Г. А. Атанов. — Донецк: Изд-во ДООУ, 2003.

147. Петровский, А. Б. Извлечение знаний для оценки кредитоспособности: подход теории мультимножеств / А. Б. Петровский // Труды Девятой национальной конференции по искусственному интеллекту с международным участием (КИИ-2004). — М.: Физматлит, 2004, том 2. — С. 853–860.

148. Копилова В. Ю. Оптимізація алгоритму упорядкування графу дидактичної онтології / В. Ю. Копилова, С. В. Титенко // XVII Міжнародна наукова конференція імені Т.А. Таран «Інтелектуальний аналіз інформації» ІАІ 2017, Київ, 17–19 травня 2017 р.: зб. пр.– К. : Просвіта, 2017. — 106-111 с. ISBN 978–617–7010–13–4

149. Титенко С. В. Онтологически-ориентированная система управления контентом информационно-учебных Web-порталов // *Educational Technology & Society* — 15 (3). 2012. — С. 522–533. ISSN 1436–4522.

150. Naps, T. L., Rößling, G., Almstrum, V., Dann, W., Fleischer, R., Hundhausen, C., ... та Velázquez-Iturbide, J. Á. Exploring the role of visualization and engagement in computer science education // *ACM Sigcse Bulletin*. — ACM, 2002. — Т. 35. — №. 2. — С. 131–152.

151. Andres E., Fleischer R., Liang M. E. An adaptive theory of computation online course in activemath // *Computer Science and Education (ICCSE), 2010 5th International Conference*. — IEEE, 2010. — С. 317–322.

152. Hollingsworth M. L., Narayanan N. H. Building a better eText-book // *Bulletin of the IEEE Technical Committee on Learning Technology*. — 2016. — Т. 18. — №. 2/3. — С. 14–17.

153.Barria-Pineda, J., Guerra, J., Huang, Y., Brusilovsky, P. Concept-Level Knowledge Visualization For Supporting Self-Regulated Learning // Proceedings of the 22nd International Conference on Intelligent User Interfaces Companion. — ACM, 2017. — С. 141–144.

154.Shimada, A., Ogata, H., & Wang, J. A meaningful discovery learning environment for e-book learners // 2017 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON). — 2017. — С. 1158–1165.

155.Dicheva D., Dichev C. TM4L: Creating and browsing educational topic maps // British Journal of Educational Technology. — 2006. — 37 (3). — С. 391–404.

156.Sarker, B. K., Wallace, P., & Gill, W. Some observations on mind map and ontology building tools for knowledge management. Ubiquity. — 2008.

157.Pastorino S. Rails 4 in Mindnode [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. — Електронні дані. — <https://wyeworks.com/blog/2012/9/20/rails-4-in-a-mindnode>

158.Позвоночник.org [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. — Електронні дані. — <http://pozvonochnik.org/>

159.Титенко С. В. Інформаційно-логічні та архітектурні засади універсальних систем керування web-контентом / С. В. Титенко // Международная научная конференция имени Т. А. Таран «Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2014», Киев, 14–16 мая 2014 г. : сб. тр./ гл. ред. С.В.Сирота. — К. : Просвіта, 2014. — С. 214–220.

160.Курилов М. А. Классификация систем управления содержанием web-ресурсов и их использование для разработки сайта дистанционного обучения / М.А. Курилов, С.В. Терещенко // Штучний інтелект. — 2010. — № 3. — С. 648–654.

161. Любченко С. С. Формирование обобщенной структуры системы управления содержанием web-сайта / С. С. Любченко // Искусств. интеллект. — 2005. — № 2. — С. 109–115.

162.Титенко С. В. Моделювання спеціалізованих інформаційних об'єктів в універсальних системах керування Web-контентом / С. В. Титенко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля — 2012. — №8 (179). Ч.2. — С. 235–239.

163.Титенко С. В. Структурные основы онтологически-ориентированной системы управления информационно-учебным Web-контентом / С. В. Титенко // Управляющие системы и машины: информа-

ционные технологии: междунар. науч. журн. — 2012. — № 2. — С. 35–42. ISSN 0130-5395

164.Олецький О. В. Застосування формальних моделей онтологій для формалізації інформаційних потоків у системах управління контентом / О. В. Олецький // Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем. Матеріали міжнародної конференції ТАAPSD'2005, Київ, 7–9 грудня 2005 р. — С. 26–29.

165.Torres, A., Galante, R., Pimenta, M. S., & Martins, A. J. B. Twenty years of object-relational mapping: A survey on patterns, solutions, and their implications on application design. *information and software technology*, 2017, 82, 1–18.

166.Dietrich, S., & Urban, S. *Fundamentals of object databases: Object-oriented and object-relational design*. Morgan & Claypool Publishers. 2010.

167.FreshKnowledge CMS — онтологічно-орієнтована система керування контентом, розроблена здобувачем [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.freshknowledge.net>.

168.Лабораторія СЕТ — віртуальна лабораторія семантичних технологій в електронному навчанні [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://www.setlab.net>.

*Наукове видання*

ТИТЕНКО  
Сергій Володимирович

**Онтологічно-орієнтовані  
системи керування контентом  
інформаційно-навчальних Web-порталів**

**монографія**

Підписано до друку 26.09.2024 р.  
Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Умовн. друк. аркушів — 14,65.  
Обл.-вид. аркушів — 9,84.  
Тираж 300 прим.

ТОВ ВНЗ «Американ Юніверсіті Київ»  
Свідоцтво серія ДК № 8037 від 05.01.2024  
Адреса: пл. Поштова, буд. 3, м. Київ,  
Київська обл., 04070