

Ю. В. Рогушина

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
провідний науковий співробітник відділу цифрової трансформації
Національної академії педагогічних наук України
Інституту цифровізації освіти Національної академії педагогічних наук України
ORCID: orcid.org/0000-0001-7958-2557

Л. Г. Кондратова

кандидат педагогічних наук, доцент,
завідувач відділу цифрової трансформації
Національної академії педагогічних наук України
Інституту цифровізації освіти Національної академії педагогічних наук України
ORCID: orcid.org/0000-0002-8523-5567

СЕМАНТИЧНЕ РОЗШИРЕННЯ СТРУКТУРИ БАЗИ ЗНАНЬ ЕНЦИКЛОПЕДИЧНОГО ПОРТАЛУ ЯК БАЗИС ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ОСВІТИ

У статті розглянуто використання енциклопедичного порталу як базису для автоматизованої побудови моделі предметної області в освітній сфері. Авторами проаналізовано досвід створення «Української електронної енциклопедії освіти» (УЕЕО) в Інституті цифровізації освіти НАПН України з використанням платформи MediaWiki та розширення Semantic MediaWiki. Проаналізовано структуру бази знань УЕЕО, яка базується на поєднанні онтологічної моделі екосистеми енциклопедичного ресурсу, яка формалізує процеси розробки та взаємодії учасників, та онтологічної моделі предметної області освіти, яка відображає семантичні зв'язки між енциклопедичними статтями. Особливу увагу приділено типізації інформаційних об'єктів (персоналії, організації, автори) та проблематиці уніфікованого структурування абстрактних понять через семантичні шаблони. Обґрунтовано переваги переходу від простого використання ключових слів до повноцінної семантичної обробки даних, що дозволяє реалізувати пошук і навігацію на рівні знань. Досліджено синергію застосування онтологій та графів знань для формалізації предметних областей в електронних енциклопедичних ресурсах (ЕР). Ключовим результатом дослідження є визначення ролі онтологічних моделей на різних стадіях життєвого циклу ЕР – від концептуалізації та перевірки узгодженості інженером зі знань до масового наповнення контенту редакторами та візуалізації зв'язків для кінцевих користувачів. Запропоновано механізм генерації графу знань на основі семантичної розмітки вікі-сторінок та зв'язків між ключовими словами. Особливу увагу приділено можливості створення персоналізованих підграфів знань за допомогою семантичних запитів користувачів. Запропонований підхід дозволяє автоматизувати виявлення прихованих зв'язків між статтями ЕР, підвищити релевантність пошуку та забезпечити інтероперабельність знань через їх експорт у формат OWL для використання в зовнішніх інтелектуальних застосунках.

Ключові слова: онтологічна модель, семантична розмітка, граф знань, Semantic MediaWiki, енциклопедичний ресурс, електронна енциклопедія освіти.

Постановка проблеми. Енциклопедичний портал завжди слугує потужним базисом для автоматизованої побудови моделі предметної області (МО) в освіті завдяки структурованим семантичним зв'язкам і динамічним оновленням контенту. Онтології можуть використовуватися в якості баз знань систем підтримки рішень (СППР), рекомендаційних та експертних систем. Вони дозволяють програмним застосункам обмінюватися концептуальними схемами даних, підтримуючи взаємодію на рівні знань без додаткової адаптації, і, таким чином, підтримують повторне використання знань предметної області.

Прикладом енциклопедичного порталу може слугувати «Українська електронна енциклопедія освіти» (далі УЕЕО), яка була створена в Інституті цифровізації освіти НАПН України.

В УЕЕО використовуються дві пов'язані між собою, але окремі онтології:

– онтологічна модель екосистеми енциклопедичного ресурсу (ЕР), яка відображає взаємини між учасниками розробки енциклопедичного порталу та тими об'єктами, які використовуються в цьому процесі (рис. 1);

– онтологічна модель предметної області (ПрО) – освіти, яка формалізує семантику відно-

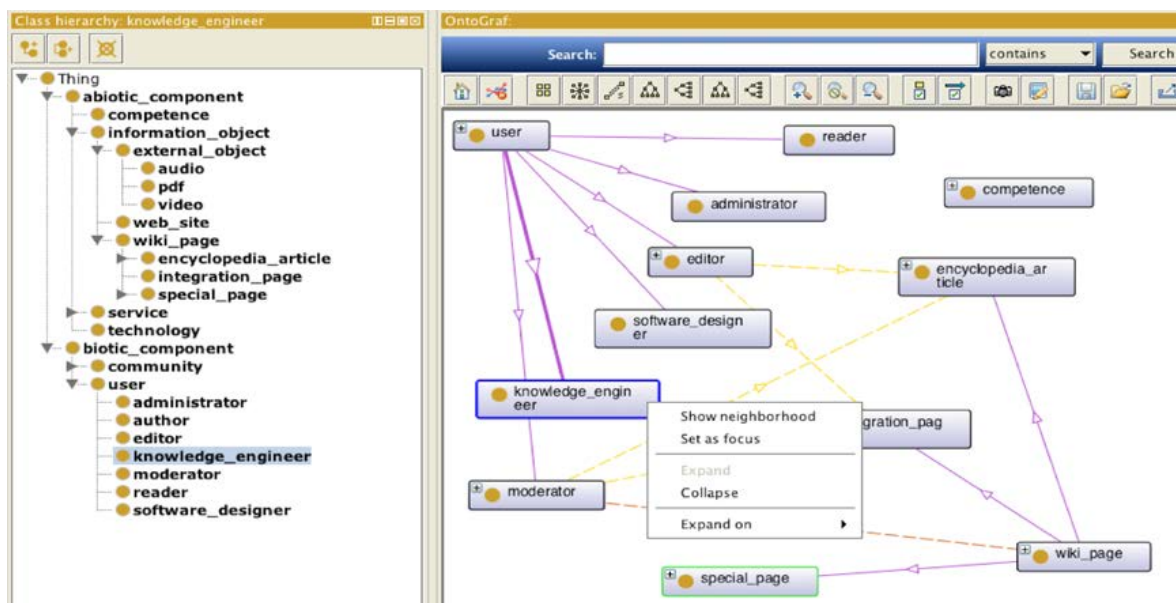


Рис. 1. Онтологічна модель екосистеми УЕЕО (фрагмент)

шень між базовими поняттями цієї предметної області, що представлені в енциклопедичному порталі окремими вікісторінками.

Важливо відмітити, що ці моделі відображають різні аспекти контенту УЕЕО, але пов'язує різними відношення основні елементи ЕР – енциклопедичні статті, які відповідають базовим поняттям ПрО освіти. Модель ЕР відображає сам процес створення, публікації та використання статті, а модель ПрО дозволяє фіксувати відношення між цими поняттями, що не залежать від форми їх представлення на порталі УЕЕО.

На даний момент УЕЕО містить семантичні шаблони для уніфікованого структурування відомостей про такі *типові інформаційні об'єкти* (ТІО), як персоналії, організації, автори статей. Онтологічна модель ПрО визначає їх атрибути, припустимі значення цих атрибутів та семантичні відношення між значеннями атрибутів (наприклад, «Особа А працює в організації Б», «Особа В є засновником організації Г»).

Значну частину електронного контенту УЕЕО складають статті, що відповідають таким класам, як довідки та дефініції. Вони призначені для подання відомостей щодо абстрактних понять ПрО освіти, і для них можливо визначити лише ті атрибути, що відображають їх формальні характеристики (визначення, автор, дата створення), але не розкривають їх зміст та взаємозв'язки (наприклад, досить складно визначити спільні атрибути для понять «Гіперактивність» та «Дослідницька діяльність»).

Для того, щоб забезпечити пошук та навігацію на порталі на рівні знань, необхідно надати механізми для уніфікованого відображення семантики енциклопедичних статей різних типів. Пропонується використовувати для цього такий

атрибут, як ключові слова (за аналогією, як це робиться у наукових публікаціях). Але такий підхід без семантичного доповнення забезпечує надто низьку виразність пошуку та навігації в УЕЕО.

При розробці УЕЕО було використано технологічну платформу MediaWiki з відкритим кодом та її семантичне розширення Semantic MediaWiki (SMW), що забезпечує формальне визначення та обробку змісту зв'язків між Вікі-сторінками з урахуванням стандартів Semantic Web [4, с. 123]. Це дозволяє значно розширити функціонал системи порівняно з традиційними вікіресурсами.

Тому доцільно використовувати ті розширені можливості, що надає технологічне середовище Semantic MediaWiki [3, с. 66], а саме:

- для ключових слів ПрО створити окремі вікісторінки з властивістю [Тип::Ключове слово] (вони не є енциклопедичними статтями і призначені тільки для відображення відношень ПрО);
- створити розширений набір семантичних властивостей – як універсальних («використовується для», «базується на», «є вдосконаленням», «є синонімом»), так і специфічних для ПрО освіти – за рекомендаціями авторів та редакторів.
- за допомогою цих семантичних властивостей централізовано визначити відношення між окремими ключовими словами;
- за допомогою семантичних властивостей редактори мають явно визначити відношення між енциклопедичною статтею та перманентними ключовими словами;
- на основі семантичних вікізапитів у Semantic MediaWiki сформувати граф знань, що пов'язує окремі поняття ПрО в цілісну структуру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання функціонування енциклопедичних пор-

талів в численних наукових роботах українських та зарубіжних дослідників, які аналізують моделі створення, оновлення контенту та вплив на інформаційний простір. Праці М. Железняка та О. Іщенко фокусуються на розвитку української електронної енциклопедистики, моделях онлайн-видань як Scholarpedia та Scholarly Community Encyclopedia, а також можливостях оновлення контенту в цифрових порталах. Роботи Т. Добко та Н. Черниш досліджують українські енциклопедії в цифровому форматі, їхню структуру та тенденції. Дослідження Ю. Пилинського аналізують українські електронні енциклопедії в контексті інформаційного простору. Роботи В. Бикова, Л. Кондратової, Ю. Рогушиної, О. Пінчук, присвячені питанням використання веб-орієнтованих автоматизованих систем для створення енциклопедичних ресурсів. Дослідження Ю. Рогушиної присвячено питанням семантичним розширенням. Але питання семантичного розширення структури бази знань для енциклопедичного порталу для автоматизованої побудови моделі предметної області освіти висвітлено досить обмежено і поребує подальшого дослідження.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розгляд можливостей семантичного розширення структури бази знань енциклопедичного порталу для здійснення автоматизованої побудови моделі предметної області освіти.

Виклад основного матеріалу. Енциклопедичні ресурси надають готову мережу понять (онтологію), де статті пов'язані гіперпосиланнями, що дозволяють автоматично витягувати терміни, ієрархії та асоціації для МО. Це спрощує формалізацію освітнього контенту, забезпечуючи повноту та актуальність, на відміну від ручного моделювання. В освіті це підтримує персоналізоване навчання через адаптивні траєкторії. Як показав досвід останніх років з семантизації та поповнення УЕЕО [1, с. 36], редакторам досить складно самостійно встановлювати змістові зв'язки між сторінками поза межами шаблонів – потрібно як точно знати назви відповідних сторінок енциклопедичного порталу, так і користуватися актуальним переліком семантичних властивостей та аналізувати сферу їх застосування (для цього призначена онтологічна модель предметної області, але більшість редакторів не володіють достатньо розвинутими цифровими компетенціями для роботи з онтологічними інструментами). Значно простіше для редакторів додавати до статей ключові слова, використовуючи для цього лише одну семантичну властивість – «ключове слово». Перелік таких слів міститься на окремій вікісторінці і оновлюється автоматично за допомогою вбудованого запиту Semantic MediaWiki (технологічне середовище підтримує пошук значень певної категорії або за значеннями певної семантичної властивості, але не дозволяє шукати самі

семантичні властивості з додатковими умовами). Визначити більш точно значення ключових слів можна простим переходом за посиланням з цієї сторінки. При цьому у запропонованому рішенні не втрачаються знання щодо предметної області – семантичні властивості між самими ключовими словами встановлює інженер зі знань, перевіряючи їх коректність і несуперечність та консультуючись з експертами. Таким чином, забезпечується подвійна модерація додавання кожного ключового слова, що впливає на якість структурування контенту УЕЕО, дозволяє уникати семантичного дублювання та логічних суперечностей.

Важливою перевагою запропонованого підходу є наступне:

- технологічна платформа Semantic MediaWiki, що використовується для розробки УЕЕО, повністю підтримує усі елементи цього рішення;

- цифрові компетенції редакторів УЕЕО, що стосуються створення та використання семантичної розмітки, не потребують додаткового вдосконалення для виконання цих робіт;

- авторам статей УЕЕО для вибору ключових слів не потрібно аналізувати специфіку програмної реалізації, достатньо мати перелік ключових слів УЕЕО та припустимих семантичних відношень між ними;

- обчислювальна складність семантичних запитів для побудови графу знань та його елементів, що цікавлять конкретних користувачів, є подібною до запитів-інтеграторів та не вплине на швидкодію взаємодії з порталом у цілому;

- створення шаблонів та елементів семантичної розмітки є подібним до створення аналогічних структур для типових інформаційних об'єктів, і тому їх впровадження не внесе додаткові проблеми у налагодження порталу.

Роль онтологічних моделей у розробці УЕЕО. Розглянемо детальніше, які саме онтології та для яких цілей можуть бути використані для моделювання енциклопедичного порталу.

Зараз онтології широко використовуються в інформаційних технологіях для покращення процесу комунікації між різними агентами (людиною або комп'ютерною системою) шляхом обміну та повторного використання інформації, даних або знань. Але такі онтології значно різняться як рівнем формалізації, так і виразною потужністю. Крім того, доцільно порівнювати обсяг, складність структури та якість онтології.

Для оцінювання та порівняння онтологій на семантичному рівні часто використовуються такі критерії:

- *Ясність (Clarity)* – наявність об'єктивних (на основі визначених джерел) та формалізованих або природномовних визначень для понять, які перевірено експертами предметної області.

– *Узгодженість* (Coherence) всіх аксіом (правил) онтології, яким не суперечать неформальні природномовні визначення;

– *Мінімальний вплив кодування* (Minimum encoding bias) – представлення знань в онтології не повинно залежати від кодування та реалізацію.

– *Стислість* (Conciseness) – онтологія не містить зайвих та надлишкових визначень, а замість цього використовує посилання на існуючі визначення (наприклад, в Dbpedia).

– *Повнота* (Completeness) – онтологія охоплює достатньо відомостей про реальний світ та перевіряється на основі перевірки відповідей на задалегідь визначені контрольні питання для конкретного застосування.

Центральними компонентами онтологій є поняття (класи), які можуть визначатися різними способами: текстовим визначенням, набором властивостей, логічною формулою (наприклад, поєднанням або перетином інших понять), набором екземплярів, що належать цьому поняттю.

Ці поняття пов'язуються між собою за допомогою відношень. Семантичні відношення пов'язують між собою класи (наприклад, мереологічні відношення вказують на те, що одне поняття складається з іншого, а термінологічні відношення виражають відношення синонімії або антонімії) або екземпляри класів.

Відповідно до того, які саме відношення використовуються в онтології та яким чином вони формалізовані, можна виокремити такі види онтологій, як термінологічні онтології, онтології даних та логічні онтології.

Термінологічні онтології можуть бути глосаріями, словниками, контрольованими словниками, таксономіями, фолксономіями, тезаурусами або лексичними базами даних. Цей тип онтології в основному зосереджений на термінах та їх взаємозв'язках, але вони можуть бути неоднозначними: на поняття може посилатися кілька термінів (синонімія), а термін може посилатися на кілька понять (омонімія). Тому термінологічна онтологія визначає, який термін використовується для представлення поняття, щоб уникнути неоднозначності (нормалізація словника). Але відмінності між поняттями та їх екземплярами не враховується: екземпляри розглядаються як поняття. Наприклад, тезаурус має три основні зв'язки між термінами: еквівалентність, ієрархічність та асоціативність.

Онтології даних призначені для полегшення обміну даними між інформаційними системами. Вони доповнюють термінологічні онтології концептуальними схемами для узгодженості даних. В онтологіях даних поняття складається з набору властивостей; всі поняття також визначаються одне через одне через зв'язки, які вони мають. Ці зв'язки також пов'язані з обмеженнями цілісності.

Логічні онтології потребують чіткої семантики мови, що використовується для визначення поняття, чітких мотивів для прийнятих відмінностей між поняттями, а також суворих правил щодо того, як визначати поняття та зв'язки. Це досягається за допомогою формальної логіки (зазвичай логіки першого порядку або дескриптивної логіки). Цей тип онтології є єдиним, який містить логічне визначення. Логічні онтології не зосереджуються на термінах та текстових визначеннях, навіть якщо вони можуть зберігатися в онтології, та підтримують міркування. Для їх подання зараз використовується мова OWL.

Як показує наведений вище аналіз бази знань УЕЕО, для відображення предметної області освіти доцільно відобразити набір ключових слів як термінологічну онтологію, використовуючи вже наявні на порталі семантичні відношення та таксономічні зв'язки.

Якщо за допомогою семантичної розмітки (семантична властивість «Ключове слово» для ТІО «Довідка» та «Дефініція», а також визначені у семантичних шаблонах специфічні атрибути інших ТІО, таких як «організація» та «Персоналія») пов'язати вікторінки статей зі сторінками статей EP, то ми переходимо до онтології даних, де для понять, що відповідають екземплярам класів онтології, визначені значення їх семантичних властивостей. Така онтологічна модель ПрО може бути експортована з порталу в форматі RDF – як вся повністю, так і для відбраною користувачем підмножини понять та відношень. Ця модель може надалі використовуватися іншими інтелектуальними застосунками, наприклад, для персоналізованого пошуку у Web або для моделювання сфери професійних інтересів. За потребою, така онтологія може бути поповнена (наприклад, у редакторі Protege) логічними правилами, аксіомами та обмеженнями. В такому разі вона перетворюється на логічну онтологію, яка має більшу виразність, але потребує більш складних алгоритмів поповнення та аналізу.

Співвідношення графів знань та онтологічних моделей. Розглянемо детальніше, який саме тип онтологічної моделі ПрО дозволяє побудувати інформація щодо множини понять (ключових слів та енциклопедичних статей) та семантично визначених відношень між ними. У найбільш загальному вигляді це вікіонтологія [7, с. 50], але вона має певну специфіку та деякі обмеження порівняно з загальним випадком, а саме – відсутність інформації про структуру та атрибути понять ПрО (відмітимо, що ті поняття, для яких ця структура визначена, тобто типові інформаційні об'єкти енциклопедичного порталу, розглядаються окремо).

Онтологія – це формальна семантична модель, яка визначає типи сутностей у певній предметній області та властивості, що описують їх. Вона

задає концептуальну схему для представлення знань, включаючи класи, відношення та обмеження. Це означає, що онтологія не лише описує терміни, а й задає правила їхнього використання, що критично для етапів концептуалізації та формалізації у семантичних вікі.

Таким чином, онтологія не лише задає абстрактні класи, а й включає екземпляри та аксіоми, які формалізують знання. Її теоретичний фундамент – дескриптивні логіки, що забезпечують можливість формального виведення нових знань. Виразна потужність онтологій забезпечує можливість опису складних концептуальних структур, формалізацію аксіом та обмежень для перевірки узгодженості, а також логічне виведення

Онтологічні моделі ПрО є основою для побудови бази знань інформаційної систем, забезпечуючи узгодженість і відтворюваність знань.

Граф знань – це структура даних, яка представляє інформацію у вигляді вузлів (сутностей) та ребер (зв'язків між ними), відображаючи конкретні екземпляри класів онтології та відношення між цими конкретними екземплярами. Вони часто базуються на онтологіях, але містять фактичні дані, що робить їх прикладними інструментами [6,6]. Вони також забезпечують виявлення прихованих зв'язків між сутностями. Висока прикладна виразність робить їх придатними для етапів візуалізації знань ПрО для користувачів ЕР.

Графи знань, як і онтології ПрО, можуть бути описані за допомогою стандартів Semantic Web, а саме:

- RDF (Resource Description Framework): базова модель у вигляді триплетів «суб'єкт–предикат–об'єкт».
- RDF-S (RDF Schema): розширення RDF для опису класів і властивостей.
- OWL (Web Ontology Language): мова для формального опису онтологій, що дозволяє логічні висновки.
- SKOS (Simple Knowledge Organization System) [5, с. 69]: мова для опису тезаурисів і класифікацій.

Таким чином, у загальному випадку у ЕР онтологія задає схему бази знань (які сутності та відношення існують в ПрО та які властивості їх описують, тоді як граф знань поповнює цю схему конкретними екземплярами даних. У випадку поповнення УЕЕО ключовими словами саме відношення між окремим ключовими словами дозволяють визначити семантичні зв'язки між статтями УЕЕО, що відповідають поняттям ПрО.

У процесі формалізації предметної області для семантизованих вікіенциклопедій ми маємо два ключові інструменти – онтології та графи знань. Вони тісно пов'язані, але виконують різні функції на різних етапах моделювання.

– *Етап концептуалізації ЕР.* Доцільно використовувати онтології, щоб створити формальну модель предметної області: визначити класи, що відповідають ТІО, їхні властивості та відношення та забезпечити їх нормативну узгодженість: усі терміни мають чіткі визначення, відношення формалізовані, а логічні обмеження дозволяють уникати суперечностей. На цьому етапі інженером зі знань створюється концептуальна основа бази знань в обраному технологічному середовищі, перевіряється відповідність властивостей цього середовища вимогам експертів ПрО щодо подання інформації.

– *Етап експериментального внесення контенту ЕР.* Доцільно на етапі введення екземплярів і фактів використовувати онтології з екземплярами. Це дозволяє перевіряти узгодженість та уніфіковане подання контенту. На цьому етапі експерт зі знань активно взаємодіє з модераторами ЕР та експертами ПрО, уточнюючі вимоги до подання контенту та поповнюючи семантичну складову порталу додатковими умовами та обмеженнями.

– *Етап масового додавання контенту ЕР.* Коли предметна область вже формалізована, потрібно інтегрувати великі масиви даних. На цьому етапі до внесення та структурування контенту активно залучаються редактори, які мають обмежені цифрові компетентності в поданні знань. Тому доцільно, крім онтології, використовувати графи знань, що відображають відношення між введеними сутностями, тому що сприйняття графів знань потребує менше специфічних навичок.

– *Етап використання ЕР.* На цьому етапі користувачі взаємодіють із енциклопедичним порталом через вбудовані засоби пошуку, навігації і аналітики. У цьому також можуть бути застосовані графи знань, які візуалізують для них структуру ПрО, тоді як онтологічна модель залишається для більш глибокої обробки контенту модераторами та інженером зі знань.

Запропонований в роботі підхід дозволяє генерувати як загальний граф знань ЕР (рис.2), так і персоналізовані графи знань (рис.3), які відображають інтереси окремих користувачів та є підграфами загального графу.

Алгоритм побудови графу знань на основі семантично розмічених вікісторінок ЕР складається з наступних кроків:

- Отримання природномовного енциклопедичного контенту – текстів статей від авторів
- Створення семантично розміщеного енциклопедичного контенту – набір вікісторінок статей (потенційних вузлів графа знань)
- Виділення набору ключових слів для кожної статті
- Інтеграція ключових слів окремих статей і уніфікований перелік

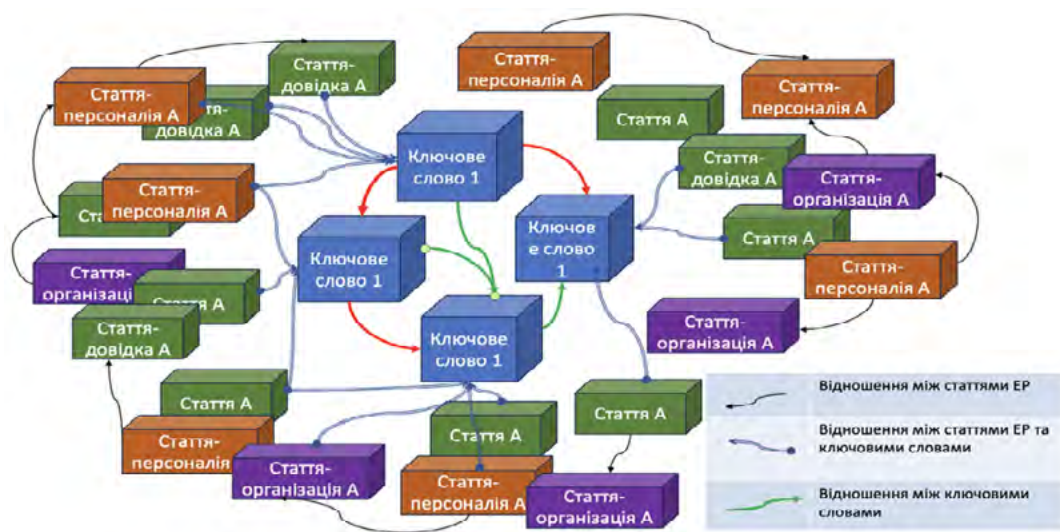


Рис. 2. Узагальнена схема графу знань ЕР, яка використовує семантичні відношення між статтями енциклопедії та ключовими словами

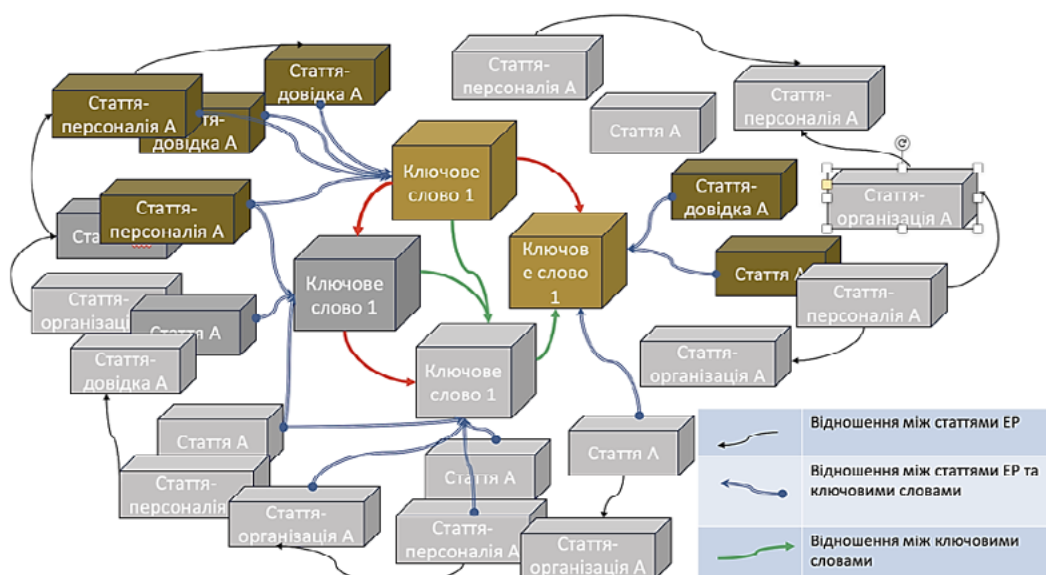


Рис. 3. Узагальнена схема персоналізованого графу знань, яка використовує семантичні відношення між обраними статтями та ключовими словами

– Побудова набору семантичних властивостей, що визначають зміст зв'язків між статтями ЕР та між ключовими словами

– Визначення семантичних відношень між ключовими словами (потенційних ребер графа знань)

– Виконання вбудованих семантичних запитів (рис. 4) на сторінках ключових слів для знаходження всіх статей ЕР, що використовують відповідні ключові слова

– Виконання семантичного запиту Semantic MediaWiki, умови якого дозволяють виокремити підмножину статей, що цікавлять конкретного користувача

– Збереження результатів цього запиту в форматах PDF та OWL для подальшого застосування в інших інтелектуальних системах

– Візуалізація графа знань для користувача (за потребою)

Такий граф знань структурує статті не як ізольовані тексти, а як мережу понять: граф знань показує фактичні зв'язки між статтями (наприклад, «Гурток» пов'язаний із «позашкільна освіта»). Таким чином, користувач може знайти всі статті УЕЕО, що стосуються певного поняття, або явно визначити, які саме зв'язки його цікавлять.

Доповнення набору семантичних властивостей ЕР ключовими словами статей спрямоване

- Візуалізація графа знань для користувача (за потребою)

```

{{#ask: [[Категорія:УЕЕО]]
[[Тип:Ключові слова]]
|?Ключове слово
|?Асоціюється
|?Синонім
|format=broadtable
|limit=50
|offset=0
|link=all
|sort=
|order=asc
|headers=show
|searchlabel=... подальші результати
|class=sortable wikitable smwtable
|prefix=none
}}

```

Рис. 4. Приклад коду запити Semantic MediaWiki для пошуку зв'язків між ключовими словами

на розширення функціоналу УЕЕО. Методика його впровадження має забезпечити дворівневу модерацію розширення бази знань порталу за умов значної диференціації рівня цифрових компетенцій учасників процесу створення енциклопедії: відносно складні функції забезпечуються спільною роботою експертів та інженера зі знань, редактори використовують простішу для сприйняття формалізацію структури знань порталу, якої достатньо для семантичного структурування контенту, а кінцеві користувачі отримують більш зручні та функціональні засоби для навігації та пошуку.

Висновки і пропозиції. У роботі обґрунтовано, яким чином використання платформи Semantic MediaWiki дозволяє трансформувати енциклопедичний портал (на прикладі УЕЕО) з пасивного сховища текстів у динамічну інтелектуальну модель предметної області освіти. Розглянуто, як розширення семантичної розмітки стає основою для генерації персоналізованих графів знань за контентом УЕЕО.

Основні результати дослідження:

- запропонована дворівнева модель модерації семантичної розмітки енциклопедичного порталу дозволяє розмежувати складні завдання онтологічного моделювання (виконуються інженером зі знань) та рутинне структурування контенту (виконується редакторами через семантичну властивість «Ключове слово»), що вирішує проблему різного рівня цифрових компетенцій учасників проекту;

- визначено, що онтологічна модель екосистеми енциклопедичного порталу формалізує кон-

цептуальну схему бази знань, тоді як графи знань забезпечують відображення зв'язків між конкретними статтями та поняттями у більш простій для сприйняття формі;

- підтримується персоналізація знань енциклопедичного порталу: розроблено засоби генерації персоналізованих графів знань відповідно до інтересів користувача з використанням семантичних запитів у середовищі Semantic MediaWiki;

- забезпечується технологічна сумісність: продемонстровано, що використання стандартів подання знань Semantic Web забезпечує повторне використання контенту УЕЕО, дозволяючи експортувати знання в інші інтелектуальні застосунки.

Впровадження запропонованої методики дозволяє значно підвищити як якість пошуку та навігації на порталі, так і коректність семантичної розмітки його контенту, створюючи надійний базис для автоматизованої розбудови цифрової екосистеми сучасної освіти.

Перспективи розвитку цього підходу стосуються наступних напрямів роботи:

- експорт наборів та таксономій ключових слів зі стандартизованих наборів відповідної предметної області (наприклад, з таксономій ключових слів, що рекомендовані вітчизняними та міжнародними фаховими виданнями та конференціями в сфері освіти);

- автоматизація пошуку ключових слів для статей з використанням генеративного штучного інтелекту для аналізу природномовних текстів (з використанням онтологічних моделей предметної області освіти як семантичної основи);

– використання тематичних онтологій та тезаурусів для знаходження та інтеграції розширеного набору семантичних відношень між поняттями предметної області.

Список використаної літератури:

1. Кондратова Л.Г., Рогушина Ю.В., Вимоги до цифрової компетентності наукових працівників щодо використання веборієнтованих інформаційних систем. 11 Звітна наукова конференція Інституту цифровізації освіти НАПН України «Цифрова трансформація науково-освітніх середовищ», 2025, с. 36-40. lib.iitta.gov.ua/id/eprint/745107/1/3бiрник_тез_звiтної_2025_фiн2.pdf.
2. Любченко В. В. Рівнева модель взаємодій в електронному навчанні. *Комп'ютерні науки та технології*. Технічний університет Варна. 2009. № 2. С. 59-63.
3. Рогушина Ю.В. Розробка інтелектуальних інформаційно-аналітичних вебпорталів на основі семантичних вікітехнологій: проблеми та перспективи. *Проблеми програмування*. 2023. № 3. С. 66-80. URL: pp.isofts.kiev.ua/index.php/ojs1/article/viewFile/583/633.
4. Davies J. Towards the Semantic Web: Ontology-driven knowledge management / Davies J., Fensel D., van Harmelen F. – John Wiley & Sons Ltd, England, 2002. 288 p.
5. Miles, A., & Pérez-Agüera, J. R. (2007). Skos: Simple knowledge organisation for the web. *Cataloging & Classification Quarterly*, 43(3-4), 69-83.
6. Schrader, B. (2020). What is the difference between an ontology and a knowledge graph. *Enterprise Knowledge*, 1-6.
7. Rogushina J. Analysis of Automated Matching of the Semantic Wiki Resources with Elements of Domain Ontologies. *International Journal of Mathematical Sciences and Computing (IJMSC)*. 2017. Vol. 3. No. 3. Pp. 50-58. URL: <http://www.mecs-press.org/ijmsc/ijmsc-v3-n3/IJMSC-V3-N3-5.pdf>.

Rogushina J., Kondratova L., Semantic expansion of the structure of the knowledge base of the encyclopedic portal as a basis for an automated model of the subject area of study

The article examines the use of the encyclopedic portal as a basis for an automated model of the subject area in the lighting sector. The authors analyzed the development of the "Ukrainian Electronic Encyclopedia of Education" (UEEO) at the Institute of Digitalization of Education of NAES of Ukraine using the MediaWiki platform with semantic plug-in Semantic MediaWiki. We analyse the structure of the UEEO knowledge base that uses an ontological model of the ecosystem of this encyclopedic resource. This model formalizes the processes of development and interaction between participants of UEEO development. Other important element of UEEO is an ontological model of education domain that formalizes semantic connections between encyclopedic articles.

Particular attention is paid to the typification of information objects (persons, organizations, authors) and the problem of the unified structure of abstract objects to be understood through semantic templates. The transition from a simple search of keywords to a full-fledged semantic processing of data, which allows to realize search and navigation on the same level of knowledge, is emphasized. The synergy between ontologies and knowledge graphs for the domain formalization in electronic encyclopedic resources (ER) is demonstrated. The key result of the study is defining the role of ontological models at various stages of the ER life cycle - from the conceptualization and verification by the knowledge engineer to the mass content addition by editors and visualization of semantic relations for end users. A mechanism for the knowledge graph generation is based on the semantic markup of the Wiki pages and links between ER keywords. Particular attention is paid to the generation of personalized knowledge subgraphs based on user semantic queries. This approach allows to automate the identification of relations between ER articles, promote the search relevance and ensure the knowledge interoperability through export to the OWL format for use by external intelligent applications.

Key words: *ontological model, semantic markup, knowledge graph, Semantic MediaWiki, encyclopedic resource, electronic encyclopedia of education.*

Дата першого надходження статті до видання: 17.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 06.05.2026