

СОКІЛ Марія

Національний університет «Львівська політехніка»
<https://orcid.org/0000-0003-1611-8241>

e-mail: mariia.b.sokil@lpnu.ua

АНДРУХІВ Андрій

Національний університет «Львівська політехніка»
<https://orcid.org/0000-0001-5915-8855>

e-mail: andriy.i.andrukhiv@lpnu.ua

СТРУКТУРНО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РЕКОМЕНДАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДБОРУ ОСВІТНІХ РЕСУРСІВ НА ОСНОВІ ОНТОЛОГІЧНИХ ТА СЕМАНТИЧНИХ ОБМЕЖЕНЬ

У роботі запропоновано структурно-математичну модель рекомендаційної системи підбору освітніх ресурсів, що ґрунтується на інтеграції метаданих навчальних дисциплін і бібліотечних фондів. Формалізація моделі передбачає представлення елементів освітнього процесу у вигляді множин об'єктів і системи відношень між ними, а також використання комплексної функції релевантності, яка поєднує семантичну подібність текстових описів, онтологічну близькість між класами та контекстні освітні обмеження.

Семантична складова реалізується через векторне представлення анотацій і ключових слів із застосуванням методів обробки природної мови. Онтологічна складова забезпечує формалізацію ієрархічної структури предметної області, що охоплює навчальні дисципліни та бібліотечні ресурси. Контекстна складова враховує параметри освітнього процесу, зокрема рівень підготовки та рік навчання.

Запропонований підхід дозволяє обмежити простір пошуку релевантними об'єктами, підвищити інтерпретованість результатів рекомендації та забезпечити масштабованість системи в умовах зростання обсягів даних. Отримана модель створює формальну основу для реалізації інтелектуальних рекомендаційних систем у цифровому освітньому середовищі закладу вищої освіти.

Ключові слова: рекомендаційна система, математичне моделювання, онтологія, семантичний аналіз, освітні ресурси, метадані, обробка природної мови.

SOKIL Mariia, ANDRUKHIV Andriy

Lviv Polytechnic National University

STRUCTURAL AND MATHEMATICAL MODEL OF A RECOMMENDATION SYSTEM FOR THE SELECTION OF EDUCATIONAL RESOURCES BASED ON ONTOLOGICAL AND SEMANTIC CONSTRAINTS

The paper proposes a structural and mathematical model of a recommendation system for the selection of educational resources based on the integration of metadata from academic disciplines and library collections. The model formalizes the key elements of the educational process in the form of object sets and a system of relations between them and introduces a comprehensive relevance function that combines semantic similarity of textual descriptions, ontological distance between classes, and contextual educational constraints.

The semantic component is implemented through vector representations of annotations and keywords using natural language processing techniques. The ontological component is based on a formalized hierarchy of the subject domain, while the contextual component takes into account the level of education and the year of study.

The proposed approach restricts the search space, increases the interpretability of recommendations, and ensures scalability as the volume of data grows. The resulting model provides a formal foundation for the implementation of an intelligent recommendation platform within the digital educational environment of a higher education institution.

Keywords: recommender system, mathematical modeling, ontology, semantic similarity, educational resources, metadata, natural language processing.

Стаття надійшла до редакції / Received 16.06.2026
Прийнята до друку / Accepted 30.07.2026
Опубліковано / Published 10.09.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© СОКІЛ Марія, АНДРУХІВ Андрій

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

У сучасному освітньому середовищі спостерігається стрімке зростання обсягів доступних навчальних ресурсів та ускладнення структури навчальних програм. Такі умови створюють суттєві труднощі для забезпечення ефективного інформаційного супроводу освітнього процесу. Все більше викладачі та студенти стикаються з проблемою швидкого та релевантного підбору літератури, яка б в повній мірі забезпечувала супровід навчальному процесу. З іншого боку викладачі змушені проводити багато часу в пошуках літератури

яка б відповідала як дисципліні так і рівню освіти і знань студента. Традиційні методи пошуку інформаційних ресурсів, які ґрунтуються на аналізі ключових слів або простих класифікаційних системах, виявляються недостатньо гнучкими оскільки не дозволяють враховувати семантичні зв'язки між навчальними об'єктами та не підтримують персоналізований підбір літератури.

У цьому контексті виникає необхідність у створенні формальної моделі і розробці інформаційної системи яка б давала можливість викладачам і студентам отримувати релевантні літературні джерела які б відповідали їх користувацьким потребам і для цього не потрібно було б затрачати великий проміжок часу. Робота такої системи має ґрунтуватися на інтеграції метаданих як навчальних дисциплін, так і метаданих бібліотечних ресурсів і цим самим забезпечуючи системний підхід до рекомендацій. Розробка такої моделі має як наукове, так і практичне значення. Науковий аспект полягає у створенні формальної структурної та математичної основи для моделювання інформаційних процесів у освітньому середовищі. Це дасть можливість однозначно описати зв'язки між навчальними дисциплінами, темами, ресурсами та компетентностями. Практичне значення полягає у можливості надавати допомогу викладачам та студентам у виборі ресурсів, які є найбільш точними для конкретної дисципліни. Важливим є доступ до ресурсів. Оскільки передбачається взаємодія між інформаційними системами ЗВО та його ж бібліотеки і доступних ресурсів, це дасть можливість підвищити ефективність навчального процесу та раціональність використання бібліотечних фондів.

Таким чином, постановка проблеми зводиться до потреби розробки структурно-математичної моделі інформаційної системи підбору освітніх ресурсів, яка забезпечує інтеграцію розрізнених джерел метаданих та створює формальну основу для подальшої інтелектуальної обробки та адаптивного підбору освітніх ресурсів. Вирішення цієї проблеми є актуальним як для академічних досліджень у сфері інформаційних технологій та освіти, так і для практичного забезпечення інтелектуального супроводу навчального процесу в сучасному університеті.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Проблематика рекомендаційних систем в освітній сфері в останні роки набула напрямою зацікавлення багатьох дослідників та розробників. Їх часто розглядають як ключову складову в контексті цифрової трансформації навчального середовища. Узагальнення сучасного стану досліджень в даному напрямку представлено в роботі [1]. В цій роботі розділено освітні рекомендаційні систем на контент-базовані, колаборативні та гібридні. Виходячи з цього аналізу, на даний момент важливим є не стільки розробка нових інформаційних систем а швидше підвищення точності вже існуючих. Натомість важливим є вирішення питання яке пов'язане із залученням семантичних механізмів обробки даних, зокрема для подолання проблеми «холодного старту» та зменшення інформаційного шуму. Такий висновок вказує на необхідність поєднання статистичних і семантичних підходів у межах єдиної формальної моделі.

У систематичному огляді [2] відображено подальший розвиток цієї тематики. Він охоплює понад сто досліджень освітніх рекомендаційних систем. У роботі визначено домінування методів машинного навчання та зростання ролі онтологічних структур для організації знань. Водночас автори наголошують на фрагментарності існуючих рішень та відсутності уніфікованої структурної моделі, яка інтегрувала б навчальні метадані, бібліотечні ресурси та контекст освітньої програми. Цей аспект залишається відкритим і потребує формалізованого підходу.

У позиційній роботі [3] окреслено концептуальні виклики сучасних освітніх рекомендаційних систем, серед яких адаптація до різних навчальних програм, масштабування при великих обсягах даних та забезпечення прозорості алгоритмів. Автори підкреслюють, що подолання зазначених викликів неможливе без чіткої структурної організації предметної області та формального опису взаємозв'язків між її елементами. Таким чином, питання математичної формалізації освітнього контексту набуває особливої актуальності.

Поряд із загальнотеоретичними підходами розвиваються моделі, орієнтовані на індивідуалізацію навчання. У роботі [4] представлено можливості використання колаборативної фільтрації для підтримки викладачів. Автори вважають що завдяки такому підходу можна досягти більшої ефективності взаємодії в навчальному процесі. У свою чергу, [5] аналізують вплив різних рівнів контролю користувача на результати рекомендацій та доводять переваги гібридних підходів, що поєднують автоматизовані механізми з контекстними обмеженнями. Проте зазначені роботи зосереджені переважно на поведінкових або текстових характеристиках, не приділяючи достатньої уваги формалізації структурних параметрів освітнього процесу.

В українських дослідженнях проблема моделювання рекомендаційних систем також отримала розвиток. Худік [6; 7] запропонував підходи до представлення даних рекомендаційної системи в освітній сфері які використовують апарат нечіткої логіки в поєднанні з гібридними методами оцінювання релевантності. Ці роботи демонструють можливість формалізації відповідності ресурсів компетентностям. Проте не достатньо досліджене однак питання інтеграції бібліотечних метаданих із метаданими дисциплін у межах єдиної структурної моделі. Цей напрямок залишається недостатньо описаним.

Ряд досліджень присвячені можливості використання методів машинного навчання до вирішення задач формування рекомендацій. Вони описані в працях Шумової, Рязанцева та Покришки [8]. В цих роботах

підкреслюється роль аналітичної обробки метаданих та автоматизованого ранжування ресурсів. Аналогічно, Євдокимов та співавтори [9] акцентують увагу на формалізованих методах і алгоритмах створення рекомендаційних систем. Цей аспект свідчить про зростання інтересу саме до математичного опису відповідних процесів. Водночас більшість існуючих моделей орієнтована на загальні універсальні інформаційні системи робота яких не враховує специфіку освітніх ресурсів, структури рівень освіти, рік навчання, спеціальність та ієрархію дисциплін.

Варто також виокремити аналіз етичних аспектів функціонування рекомендаційних систем у навчальних платформах. Автори в [10] доводять, що прозорість алгоритмів та можливість пояснення рекомендацій суттєво впливають на довіру користувачів а також ефективність рішень щодо підтримки та доповнення освітнього процесу. Це підкреслює важливість інтерпретованих моделей, у яких механізм формування рекомендації має формальне обґрунтування.

Аналіз літературних джерел засвідчує що на даний момент розроблено і протестовано велику кількість підходів до побудови освітніх рекомендаційних систем. Більша частина із описаних або зосереджується на статистичних методах обробки даних, або розглядає окремі аспекти семантичної організації знань. Недостатньо дослідженим залишається питання інтеграції бібліотечних та навчальних метаданих у межах єдиної структурно-математичної моделі, яка б одночасно враховувала семантичну подібність, ієрархічні особливості та освітній контекст. Такий підхід дасть можливість створити єдину інформаційну екосистему яка буде інтегрувати дані з автоматизованих бібліотечних інформаційних систем та навчальних платформ в межах єдиного ЗВО. Саме вирішенню цього завдання присвячене подальше дослідження.

ФОРМУЛЮВАННЯ МЕТИ СТАТТІ

Метою даної роботи є розробка узагальненої математичної моделі рекомендаційної системи для підбору освітніх ресурсів, що забезпечує інтеграцію бібліотечних метаданих та метаданих навчальних дисциплін. Модель передбачає формалізацію ключових елементів освітнього процесу таких як дисциплін, тем, компетентностей тощо та інформаційних ресурсів у вигляді множин об'єктів та системи відношень між ними. Така формалізація дозволяє визначати рівень відповідності ресурсів інформаційним потребам конкретної дисципліни.

У рамках досягнення цієї мети поставлено завдання:

1. Визначення та класифікація множин об'єктів, які є важливими для побудови рекомендаційної системи в освітньому середовищі.
2. Формалізація відношень між дисциплінами освітніми та бібліотечними компонентами.
3. Розробка узагальненої функції релевантності, яка забезпечує кількісну оцінку відповідності ресурсів освітнім потребам дисциплін.
4. Визначення ролі інтелектуального модуля в процесі аналізу, співставлення метаданих та адаптації рекомендацій.
5. Окреслення наукового та практичного значення запропонованої моделі для подальшої реалізації в системах персоналізованого інформаційного супроводу навчального процесу.

Таким чином, у роботі запропоновано теоретично обґрунтовану основу, яка забезпечує можливість подальшого переходу від абстрактної структурно-математичної моделі до практичної реалізації.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Обґрунтування та важливість запропонованого підходу

Тотальна цифровізація освітнього процесу спричиняє потребу в ефективних інструментах його супроводу. Якщо мова йде про пошук інформації то традиційні методи пошуку з використанням електронних каталогів ресурсів виявляються недостатньо гнучкими. Вони не забезпечують персоналізованого підходу та ігнорують семантичні зв'язки між дисциплінами, темами та очікуваними результатами навчання. Також ручний аналіз інформації потребує затрат часу і не завжди користувачі отримують бажаний результат.

В роботі запропоновано математичну модель інформаційної системи яка буде автоматично підбирати інформаційні ресурси релевантні до дисципліни та рівня освіти. Запропонований підхід базується на інтеграції метаданих бібліотечних ресурсів та метаданих навчальних дисциплін і передбачає формалізацію основних елементів освітнього процесу у вигляді множин об'єктів та системи відношень між ними. Таке представлення дозволяє створити узагальнену функцію релевантності, яка кількісно оцінює відповідність ресурсів інформаційним потребам конкретної дисципліни, забезпечуючи адаптивність та персоналізацію рекомендацій.

Саме для такого випадку використання онтологічної моделі дозволяє забезпечити більш релевантні результати рекомендацій. Це можливо за рахунок представлення семантичних зв'язків між дисциплінами, освітніми ресурсами та контекстом навчального процесу. На відміну від суто статистичних або векторних підходів, онтологія фіксує змістові обмеження предметної області (рівень освіти, рік навчання, тип ресурсу,

спеціальність). Це дозволяє зменшувати кількість некоректних рекомендацій. Таким чином, онтологічний підхід підвищує точність, інтерпретованість та контекстну узгодженість результатів рекомендаційної системи.

Наукова цінність підходу полягає у створенні формальної математичної основи, яка забезпечує системне подання знань та їх семантичних зв'язків. Такий результат може бути передумовою для подальшого застосування у вигляді онтологічних або графових моделей. Практична значущість проявляється у можливості підвищення ефективності навчального процесу: система сприяє раціональному використанню бібліотечних фондів, швидкому підбору релевантних матеріалів, а також підтримує викладачів і студентів у формуванні індивідуалізованого освітнього досвіду.

Таким чином, запропонований підхід поєднує наукову строгість математичного та структурного моделювання із практичною цінністю для освітніх установ, створюючи передумови для розвитку сучасних інтелектуальних систем підтримки навчального процесу.

Методологія дослідження

Математична модель рекомендаційної системи на основі онтологічної структури знань

Формування персоналізованих рекомендацій освітніх ресурсів в сучасному університетському середовищі потребує узгодженого врахування трьох груп параметрів: семантичних характеристик: текстових описів, структурних зв'язків між елементами навчального процесу та контекстних освітніх обмежень. З огляду на це запропоновано модель, яка поєднує математичну формалізацію цих зв'язків у вигляді множин об'єктів із онтологічним поданням предметної області та методами семантичного аналізу тексту.

На відміну від підходів, які спираються виключно на співставленні текстової подібності чи використанні поведінкових даних користувачів, запропонована модель виходить із припущення, що рекомендація освітнього ресурсу повинна враховувати не лише змістову близькість, але й відповідність структурі освітньої програми. Саме тому математична складова системи доповнюється онтологічним обмеженням простору пошуку.

Формалізація множин та об'єктів моделі

Модель автоматизованої рекомендації освітніх ресурсів передбачає використання формалізованого опису як навчальних дисциплін, так і бібліотечних ресурсів. Без чіткої математичної структури зіставлення таких об'єктів має евристичний характер і не гарантує узгодженості результатів.

З огляду на це, запропоновано описувати модель представлення елементів освітнього процесу у вигляді множин. Це дозволяє описати їх у вигляді структурованих об'єктів з фіксованими параметрами. Такий підхід створює основу для подальшого кількісного оцінювання відповідності ресурсів дисциплінам.

Позначимо

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ - множина навчальних дисциплін,

$R = \{r_1, r_2, \dots, r_N\}$ - множина бібліотечних ресурсів,

В такому випадку, кожен дисципліну можна описати впорядкованим набором елементів:

$$d_i = (AD_i, KD_i, L_i, Y_i, S_i), \quad (1)$$

Для даного випадку:

AD_i - текстовий опис дисципліни (або анотація дисципліни),

KD_i - множина ключових слів для дисципліни,

L_i - рівень освіти,

Y_i - рік навчання,

S_i - спеціальність.

Представлення дисципліни у вигляді кортежу дозволяє одночасно враховувати як текстові характеристики (ключові слова та анотацію), так і структурні параметри освітньої програми. Зокрема, належність до спеціальності, року навчання та рівня освіти формує контекстні обмеження, які не можуть бути коректно відображені лише через текстову подібність.

Таким чином, дисципліна розглядається як багатовимірний об'єкт. В структурі цього об'єкту є елементи притаманні змістовій та адміністративній частинам освітнього процесу.

Подібну логіку можна застосувати до бібліотечних ресурсів. Їх опис включає семантичні характеристики та структурні параметри, що дозволяє не лише визначати тематичну відповідність, але й контролювати академічну релевантність ресурсу. Наприклад, підручник для магістерського рівня не повинен автоматично рекомендуватися для дисципліни бакалаврського циклу.

Аналогічно як і у попередньому випадку, бібліотечний ресурс можна представити у вигляді

$$r_j = (M_j, AR_j, KR_j, TR_j, FP_j, L_j), \quad (2)$$

Де

M_j – структурні метадані літературного джерела (автор, рік видання, назва тощо),

AR_j – анотація ресурсу,

KR_j - ключові слова ресурсу;

TR_j - тип ресурсу (підручник, монографія, стаття тощо);

FP_j - формат представлення (паперовий чи електронний).

Таке уніфіковане подання дисциплін і ресурсів створює передумови для формалізованого зіставлення їх характеристик.

Для формального представлення метаданих використовується векторна модель:

$$\vec{r}_j = (w_1, w_2, \dots, w_K) \quad (3)$$

де w_i - ваги термінів, отримані за допомогою методу TF-IDF

Вага терміна визначається як

$$TFIDF(t, d) = TF(t, d) \cdot \log \frac{N}{DF(t)} \quad (4)$$

де $TF(t, d)$ - частота терміну t у документі d ,

$DF(t)$ - кількість документів, в яких міститься цей термін,

N - загальна кількість документів у колекції.

З допомогою такого векторного представлення можна обчислювати семантичну подібність між дисциплінами та ресурсами. Зазвичай в таких випадках використовується косинусна міра подібності:

$$Sim_{TFIDF}(d_i, r_j) = \frac{\vec{d}_i \cdot \vec{r}_j}{\|\vec{d}_i\| \cdot \|\vec{r}_j\|} \quad (5)$$

де $\vec{d}_i$ - векторне представлення опису дисципліни,

$\vec{r}_j$ - векторне представлення ресурсу.

Слід заважити що модель є гнучкою оскільки її можна доповнити іншими додатковими елементами, наприклад які стосуються змісту ресурсу чи переліку тем дисципліни. Проте це може ускладнити її роботу.

Онтологічна структура предметної області

У системах рекомендації освітнього призначення важливу роль відіграє не лише тематична близькість, але й структурна узгодженість об'єктів. Освітнє середовище має чітко визначену ієрархію: спеціальності, освітні програми, дисципліни, теми, результати навчання, компетентності тощо. Ігнорування цієї структури призводить до формування рекомендацій, які формально є подібними за змістом, але не відповідають академічному контексту. Сформувати основу для рекомендаційної системи яка враховує ієрархію і особливості освітнього процесу ЗВО можна використавши онтологічне її представлення.

Онтологія дасть можливість:

- явно задати ієрархію понять;
- формалізувати допустимі відношення між класами;
- обмежити простір пошуку релевантними категоріями;
- забезпечити прозорість рекомендації через логічні зв'язки.

На відміну від суто статистичних моделей, онтологічний підхід фіксує семантичні обмеження предметної області, що мінімізує ймовірність некоректних рекомендацій і підвищує інтерпретованість результатів.

Для структуризації предметної області використовується онтологія

$$O = (C, R, P) \quad (6)$$

де C - множина концептів (дисципліни, теми, ресурси),

R - множина семантичних відношень між ними,

P - множина властивостей.

Онтологія також може бути представлена у вигляді орієнтованого графа

$$G = (V, E) \quad (7)$$

Де $V = C$ - вершини, що відповідають концептам,

$E \subseteq V \times V$ - множина семантичних зв'язків.

Ієрархія класів (концептів) формується за принципом узагальнення-спеціалізації. Об'єктні властивості (наприклад, *hasTopic*, *requiresCompetency*, *supportsOutcome*, *intendedForLevel*) визначають допустимі зв'язки між сутностями і забезпечують логічну коректність структури. Онтологія виконує роль семантичного фільтра, який обмежує простір пошуку лише релевантними категоріями та підвищує інтерпретованість рекомендацій.

Онтологічну близькість можна визначити з допомогою відстані між відповідними класами у графі знань:

$$Dist_{ont}(c_i, c_j) = \text{length of shortest path between } (c_i, c_j) \quad (8)$$

На основі цієї відстані обчислюється міра онтологічної близькості:

$$Sim_{ont}(c_i, c_j) = \frac{1}{1 + Dist_{ont}(c_i, c_j)} \quad (9)$$

де $Dist_{ont}$ - мінімальна кількість ребер між відповідними класами. Такий підхід дозволяє кількісно врахувати структурну близькість об'єктів у межах ієрархії.

Оскільки рекомендації повинні відповідати освітньому контексту, доцільно врахувати ці параметри

$$Cxt = (L, Y, S) \quad (10)$$

Тоді функцію відповідності ресурсу контексту можна представити як m_{ctx}

$$Sim_{ctx}(d_i, r_j) = \begin{cases} 1, & L_i = L_j \wedge Y_i = Y_j \\ \alpha, & L_i = L_j \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases} \quad (11)$$

Семантична складова моделі

Семантична складова відповідає за змістову близькість текстових описів. Оскільки традиційні методи пошуку за ключовими словами не враховують латентні смислові зв'язки між поняттями, у моделі передбачається використання векторного подання текстів.

Перетворення текстових даних у числовий формат дозволяє застосувати метричні методи для обчислення ступеня подібності.

Для врахування змістової близькості текстові характеристики перетворюються у векторні представлення:

$$v_{d_i} = \text{Embed}(KD_i \cup AD_i), \quad (12)$$

$$v_{r_j} = \text{Embed}(KR_j \cup AR_j) \quad (13)$$

Семантична подібність визначається за допомогою косинусної міри:

$$Sim_{emb}(d_i, r_j) = \frac{v_{d_i} \cdot v_{r_j}}{\|v_{d_i}\| \|v_{r_j}\|}. \quad (14)$$

Отримане значення відображає міру семантичної близькості між дисципліною та ресурсом. Проте виключно семантичний підхід не гарантує структурної коректності рекомендації. Тому модель доповнюється онтологічним та контекстним компонентами.

$$Sim_{sem}(d_i, r_j) = \lambda Sim_{TFIDF}(d_i, r_j) + (1 - \lambda) Sim_{emb}(d_i, r_j) \quad (15)$$

Інтегральна оцінка визначається як зважена сума компонент:

$$I(d_i, r_j) = \alpha Sim_{sem}(d_i, r_j) + \beta Sim_{ont}(c(d_i), c(r_j)) + \gamma Sim_{ctx}(d_i, r_j), \quad (16)$$

де

$$\alpha + \beta + \gamma = 1, \alpha, \beta, \gamma \geq 0. \quad (17)$$

Оптимальний ресурс визначається як

$$r^* = \arg \max_{r_j \in R} I(d_i, r_j). \quad (18)$$

Особливості та переваги моделі

Поєднання математичної формалізації з онтологічною структурою дозволяє забезпечити :

- високу інтерпретованість результатів рекомендації завдяки чітким логічним зв'язкам в онтології;
- обмеження простору пошуку тільки релевантними категоріями предметної області;
- інтегрувати нові класи та ресурси без зміни базових алгоритмів;
- масштабованість системи при зростанні обсягів бібліотечних фондів і навчальних програм;
- можливість інтеграції нових дисциплін і ресурсів без зміни базових алгоритмів;
- поєднання логічного висновку з сучасними методами обробки природної мови..

Таким чином, модель не обмежується статистичним ранжуванням, а враховує внутрішню організацію освітнього середовища, що підвищує її прикладну цінність для університетських інформаційних систем.

Інтеграція методів штучного інтелекту

Перевагою запропонованої моделі можна вважати також можливість інтеграції з моделями штучного інтелекту. На основі ШІ можна реалізувати інтелектуальний модуль системи для аналізу метаданих, семантичного зіставлення анотацій і ключових слів, оцінку онтологічної та контекстної відповідності. Методи машинного навчання та обробки природної мови застосовуються для автоматичного коригування вагових коефіцієнтів функції релевантності залежно від специфіки навчального процесу та профілю користувача. Це дасть можливість забезпечити персоналізований підбір ресурсів, підвищити точність рекомендацій і створити передумови для подальшої онтологічної або графової реалізації платформи.

Логіка роботи системи базується на послідовному поєднанні семантичного аналізу текстових метаданих і структурних обмежень, заданих онтологією предметної області. На першому етапі здійснюється автоматичне зіставлення анотацій і ключових слів дисциплін та бібліотечних ресурсів із використанням моделей штучного інтелекту. Після цього результати фільтруються та уточнюються відповідно до онтологічних зв'язків між рівнем освіти, роком навчання, типом ресурсу та навчальною програмою. Такий підхід дозволяє формувати рекомендації, що є не лише семантично подібними, але й педагогічно та контекстно доцільними.

Таким чином, логічна структура моделі забезпечує інтеграцію розрізнених джерел інформації, адаптивне формування рекомендацій та можливість масштабування до великих освітніх систем, створюючи формальну основу для подальшої онтологічної реалізації та побудови інтелектуальних систем підтримки навчання.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. Запропоновано узагальнену структурно-математичну модель інформаційної системи підбору освітніх ресурсів, робота якої базується на інтеграції метаданих навчальних дисциплін та бібліотечних ресурсів у межах єдиної формалізованої множинної структури.
2. Розроблено комплексну функцію релевантності, що поєднує семантичну подібність текстових описів, онтологічну близькість та контекстні освітні обмеження (рівень освіти, рік навчання) з урахуванням зваженої інтеграції компонент.
3. Формалізовано механізм онтологічного обмеження простору пошуку через введення метрики структурної відстані між класами предметної області, що забезпечує підвищення інтерпретованості та контекстної узгодженості рекомендацій.
4. Обґрунтовано доцільність поєднання математичного моделювання, онтологічного представлення знань та методів семантичного аналізу тексту у межах єдиної рекомендаційної моделі для освітнього середовища закладу вищої освіти.

**ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ
І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ**

У результаті проведеного дослідження розроблено структурно-математичну модель рекомендаційної системи підбору освітніх ресурсів, що забезпечує інтеграцію метаданих навчальних дисциплін та бібліотечних фондів у межах єдиного формалізованого підходу.

Модель ґрунтується на множинному представленні елементів освітнього процесу та формалізації відношень між ними, що дозволило описати дисципліни й ресурси у вигляді впорядкованих кортежів із фіксованими параметрами. Це створило основу для побудови комплексної функції релевантності, яка інтегрує три компоненти: семантичну подібність текстових характеристик, онтологічну близькість об'єктів у графі знань та контекстну відповідність освітнім параметрам.

Запропонована функція релевантності забезпечує кількісну оцінку відповідності ресурсу конкретній дисципліні та дозволяє формалізовано обмежувати простір пошуку за рахунок структурних ієрархічних зв'язків предметної області. На відміну від моделей, що базуються виключно на текстовій подібності або поведінкових даних, запропонований підхід враховує академічний контекст освітньої програми, що підвищує інтерпретованість і педагогічну доцільність рекомендацій.

Отримані результати формують теоретичну основу для подальшої онтологічної або графової реалізації системи, а також для інтеграції методів машинного навчання з метою адаптивного налаштування вагових коефіцієнтів компонент функції релевантності. Перспективи подальших досліджень пов'язані з апробацією моделі на реальних масивах бібліотечних і навчальних даних та експериментальною оцінкою точності й якості рекомендацій.

Література

1. Souabi S., Retbi A., Khalidi Idrissi M., Bennani S. Recommendation systems on e-learning and social learning: A systematic review. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*. 2021. Vol. 19. No. 5. P. 432–451. URL: <https://academic-publishing.org/index.php/ejel/article/view/2482>
2. Da Silva F. L. A systematic literature review on educational recommender systems for teaching and learning: research trends, limitations and opportunities / F. L. da Silva, K. C. Slodkowski, K. K. da Silva, S. C. Cazella // *Education and Information Technologies*. - 2022. - Vol. 28. - P. 3451-3480. - Режим доступу: <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11341-9>.
3. Errakha K. Recommender systems in e-learning: Trends, challenges, and future directions / K. Errakha, A. Samih, A. Marzouk, A. Krari // *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. - 2025. - Vol. 103, № 7. - P. 2969-2979. - Режим доступу: <https://www.jatit.org/volumes/Vol103No7/27Vol103No7.pdf>.
4. Da Cruz A. Individualized recommender systems for teaching / A. da Cruz, C. Soalles, N. Teixeira, P. da Cruz // *Brazilian Journal of Information Science*. - 2020. - Vol. 14, № 2. - P. 87-101. - Режим доступу: <https://doi.org/10.14571/brajets.v17.n3.878-908>.
5. Qurat Ul Ain M. A. Designing and evaluating an educational recommender system with different levels of user control / M. A. Qurat Ul Ain, M. A. Chatti, M. Jarke // *arXiv preprint*. - 2020. - arXiv:2501.12894. - Режим доступу: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.12894>.
6. Худік Б. О. Модель представлення даних рекомендаційної системи в сфері освіти на основі нечіткої логіки / Б. О. Худік // *Кібербезпека, наука, техніка*. - 2023. - № 21(1). - С. 56-68. - Режим доступу: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2023.21.260272>.
7. Худік Б. О. Застосування рекомендаційної системи в освітній сфері / Б. О. Худік // *Зв'язок*. - 2023. - № 6(166). - С. 112-125. - Режим доступу: <https://doi.org/10.31673/2412-9070.2023.065868>.
8. Шумова Л. О. Моделі машинного навчання для формування рекомендацій / Л. О. Шумова, О. І. Рязанцев, С. А. Покришка // *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. - 2023. - № 2(278). - С. 96-106. - Режим доступу: <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-278-2-96-105>.

9. Євдокимов В. В. Формалізовані методи та алгоритми для створення рекомендаційних систем / В. В. Євдокимов, А. В. Морозов, Т. А. Вакалюк // Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. - 2024. - № 28. - С. 120-133.

10. Majjate H. Assessing the impact of ethical aspects of recommendation systems on student trust and engagement in e-learning platforms / H. Majjate, Y. Bellarhmouch, A. Jeghal, A. Yahyaouy, H. Tairi, K. A. Zidani // Education and Information Technologies. - 2024. - № 3. -P. 3953-3977. - Режим доступу: [<https://doi.org/10.1007/s10639-024-12979-3>].

References

1. Souabi S., Retbi A., Khalidi Idrissi M., Bennani S. Recommendation systems on e-learning and social learning: A systematic review. International Journal of Emerging Technologies in Learning. 2021. Vol. 19. No. 5. P. 432-451. URL: <https://academic-publishing.org/index.php/ejel/article/view/2482> (accessed 26 February 2026).
2. Da Silva F. L., Slodkowski K. C., da Silva K. K., Cazella S. C. A systematic literature review on educational recommender systems for teaching and learning: research trends, limitations and opportunities. Education and Information Technologies. 2022. Vol. 28. P. 3451–3480. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11341-9>
3. Errakha K., Samih A., Marzouk A., Krari A. Recommender systems in e-learning: Trends, challenges, and future directions. Journal of Theoretical and Applied Information Technology. 2025. Vol. 103. No. 7. P. 2969–2979. URL: <https://www.jatit.org/volumes/Vol103No7/27Vol103No7.pdf> (accessed 26 February 2026).
4. Da Cruz A., Soalles C., Teixeira N., da Cruz P. Individualized recommender systems for teaching. Brazilian Journal of Information Science. 2020. Vol. 14. No. 2. P. 87–101. <https://doi.org/10.14571/brajets.v17.n3.878-908>
5. Qurat Ul Ain M. A., Chatti M. A., Jarke M. Designing and evaluating an educational recommender system with different levels of user control. arXiv preprint. 2020. arXiv:2501.12894. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2501.12894>
6. Khudik B. O. Model of data representation of the recommendation system in the field of education based on fuzzy logic. Kyberbezpeka, nauka, tekhnika. 2023. No. 21(1). P. 56–68. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2032.21.260272> [in Ukrainian].
7. Khudik B. O. Application of the recommendation system in the educational field. Zviazok. 2023. No. 6(166). P. 112–125. <https://doi.org/10.31673/2412-9070.2023.065868> [in Ukrainian].
8. Shumova L. O., Riazantsev O. I., Pokryshka S. A. Models of machine learning for the formation of recommendations. Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia. 2023. No. 2(278). P. 96–106. <https://doi.org/10.33216/1998-7927-2023-278-2-96-105> [in Ukrainian].
9. Yevdokymov V. V., Morozov A. V., Vakaliuk T. A. Formalized methods and algorithms for creating recommendation systems. Aktualni problemy avtomatyzatsii ta informatsiinykh tekhnolohii. 2024. No. 28. P. 120–133 [in Ukrainian].
10. Majjate H., Bellarhmouch Y., Jeghal A., Yahyaouy A., Tairi H., Zidani K. A. Assessing the impact of ethical aspects of recommendation systems on student trust and engagement in e-learning platforms. Education and Information Technologies. 2024. No. 3. P. 3953–3977. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12979-3>