

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-365-69>

УДК 519.7:681.3

ШАПИРО ОЛЕКСІЙ

Харківський національний університет радіоелектроніки

<https://orcid.org/0009-0005-3539-266X>

e-mail: oleksii.shapyro@nure.ua

ШУБІН ІГОР

Харківський національний університет радіоелектроніки

<https://orcid.org/0000-0002-1073-023X>

e-mail: igor.shubin@nure.ua

ПОДАННЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ НЕСТРУКТУРОВАНИХ ДАНИХ В АДАПТИВНИХ НАВЧАЛЬНИХ МУЛЬТИМЕДІА-СИСТЕМАХ НА ОСНОВІ МЕТОДУ КОМПАРАТОРНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

У статті досліджено проблему подання та класифікації неструктурованих даних в адаптивних навчальних мультимедіа-системах. Актуальність роботи зумовлена зростанням обсягів і різноманітності навчального контенту, для якого традиційні засоби формалізації, індексування та організації є недостатніми. Метою дослідження є розроблення підходу до впорядкування мультимедійних ресурсів на основі методу компараторної ідентифікації. Запропоновано формалізувати відповідність між документами та поняттями предметної області за допомогою предиката релевантності, а класифікацію виконувати через побудову відношень еквівалентності для документів і понять. Це дає змогу формувати класи семантично близьких об'єктів, зменшувати надлишковість подання та об'єднувати відібрані документи у гіперструктуру, придатну для адаптивної навігації. Показано, що такий підхід підтримує семантичні зв'язки між елементами контенту, створює формальну основу для використання предикатів у процедурах інтелектуального аналізу даних і може бути інтегрований в архітектуру адаптивних освітніх систем. Практичне значення результатів полягає в підвищенні ефективності персоналізованого подання навчальних матеріалів, поліпшенні структурованості мультимедійних ресурсів і розширенні можливостей програмної інженерії під час проектування таких систем.

Ключові слова: великі дані, інтелектуальний аналіз даних, семантичні зв'язки, предикати, архітектура, програмна інженерія.

SHAPYRO OLEKSIJ, SHUBIN IHOR

Kharkiv National University of Radio Electronics

REPRESENTATION AND CLASSIFICATION OF UNSTRUCTURED DATA IN ADAPTIVE LEARNING MULTIMEDIA SYSTEMS BASED ON THE METHOD OF COMPARATIVE IDENTIFICATION

The article addresses the problem of representation and classification of unstructured data in adaptive teaching multimedia systems. The relevance of the study is determined by the rapid growth of heterogeneous educational resources, including text, images, audio, video, and combined multimedia objects, whose weak formalization complicates automated processing, semantic interpretation, and personalized delivery. The purpose of the research is to develop a formal approach to organizing such resources by applying the method of comparative identification to documents selected from a multimedia database. The proposed approach is based on defining the correspondence between a document and a concept of the subject domain through a relevance predicate. On this basis, equivalence relations are introduced both for multimedia documents and for domain concepts, which makes it possible to form classes of semantically close documents and classes of functionally equivalent concepts. Such factorization reduces redundancy, preserves semantic integrity, and creates the basis for constructing a hyperstructure of educational content. The paper shows that the use of predicates as formal descriptors enables consistent classification of unstructured resources and supports semantic relationships between content elements at different levels of abstraction. In this way, the method can be incorporated into the architecture of adaptive multimedia and hypermedia systems, where the representation of knowledge, user modeling, and navigation control must operate jointly. The proposed model supports not only storage and indexing, but also adaptive presentation of learning materials according to user needs, prior knowledge, and educational goals. This is especially important for environments that rely on intelligent data analysis to generate individualized learning trajectories and to improve the accessibility of educational resources. A distinctive feature of the proposed solution is the simultaneous classification of both documents and concepts within a unified formal framework. This allows the system to organize multimedia content into semantically coherent layers, establish stable semantic relationships between learning objects, and provide multi-level navigation within the educational space. As a result, learners can receive logically ordered materials that correspond more precisely to their current tasks and cognitive characteristics. The method also creates preconditions for further automation of content processing, including the integration of machine learning tools for relevance detection and the extension of adaptive mechanisms in large-scale repositories. The practical significance of the study lies in the possibility of improving the efficiency of adaptive learning systems, optimizing the organization of multimedia databases, and strengthening software engineering solutions for the development of intelligent educational platforms. Therefore, the proposed approach can be used as a formal basis for building adaptive multimedia systems capable of handling big data while preserving semantic consistency and pedagogical relevance.

Keywords: big data, intelligent data analysis, semantic relationships, predicates, architecture, software engineering.

Стаття надійшла до редакції / Received 11.02.2026

Прийнята до друку / Accepted 11.03.2026

Опубліковано / Published 28.05.2026



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/)

© Шапіро Олексій, Шубін Ігор

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Сучасні освітні технології дедалі частіше покладаються на адаптивні мультимедійні та гіпермедійні платформи, здатні модифікувати спосіб подачі навчальної інформації відповідно до індивідуальних

характеристик кожного учня. Такі платформи не тільки забезпечують персоналізацію навчального процесу, але й дозволяють враховувати темп опанування матеріалу, попередній рівень знань та специфіку когнітивних навичок, що підвищує ефективність засвоєння нового матеріалу [1]. Використання інформаційних технологій у навчальному процесі передбачає наявність електронних освітніх ресурсів, що сприяють підвищенню ефективності навчання та забезпечують персоналізацію освітнього середовища. Вони охоплюють ключові етапи навчального процесу: постановку цілей, аналіз навчальних завдань, планування дій, сприйняття та засвоєння матеріалу, закріплення знань, а також здійснення самоконтролю та оцінки результатів. Крім того, такі ресурси дозволяють учням самостійно визначати час і місце навчання, регулювати швидкість та методи засвоєння матеріалу, а також обирати форму подачі та обсяг інформації відповідно до своїх індивідуальних потреб.

Реалізація зазначених підходів ґрунтується на використанні гіпермедійних засобів, які інтегрують функціональні можливості гіпертексту та складних мультимедійних середовищ. Поєднання гіпертекстових технологій із мультимедійними елементами створює умови для побудови нелінійних освітніх маршрутів і позитивно впливає на результативність опанування навчального матеріалу. Структурування інформації у вигляді мережі взаємопов'язаних змістових компонентів дає змогу реалізувати різні сценарії індивідуального навчання та адаптувати стратегії засвоєння знань до особливостей користувача [2]. Мультимедійні засоби забезпечують багатоканальне подання інформації, зокрема через візуальні, аудіальні та кінестетичні компоненти, що сприяє підвищенню рівня розуміння матеріалу, активізації пізнавальної діяльності та формуванню стійких знань.

Проте, ефективне використання таких платформ ускладнюється через значну різноманітність форматів мультимедійних даних, відсутність єдиної структури та складність автоматичного визначення релевантності контенту. Це створює проблему представлення, класифікації та організації неструктурованих мультимедійних даних таким чином, щоб забезпечити адаптивне та персоналізоване навчання. Крім того, виникає необхідність у методах, що дозволяють інтегрувати різноманітні дані, підтримувати багаторівневі та багатоканальні освітні траєкторії та враховувати семантичні зв'язки між документами й поняттями предметної області [3].

Наукове значення цієї проблеми полягає у розробці ефективних методів організації мультимедійних даних, які забезпечують структуроване, логічне та семантично точне представлення контенту. Практичне значення – у підвищенні ефективності електронних засобів навчання, створенні умов для персоналізованого підходу до учнів та покращенні адаптивності освітнього процесу в реальному часі.

Аналіз досліджень та публікацій

Загалом, гіпермедіа-структури змінюють спосіб здобуття знань, стаючи засобом організації та управління процесом навчання. При цьому значно зростає роль самого учня у навчальному процесі. Гіпермедіа об'єднує функції баз даних щодо обробки запитів користувача з можливістю представлення інформації у різних форматах. Об'єднаний мережею внутрішніх посилань, гіперпростір може включати відео- та аудіозаписи, таблиці, статистичні діаграми, карти, а також фрагменти, що відображають результати виконання складних процедур [4]. Відсутність жорсткої схеми угруповання даних відрізняє гіпермедіа від традиційної інформації, хоча це й ускладнює процес його розробки.

Традиційні інформаційні системи зазвичай працюють із обмеженим набором структурованих даних, тоді як сучасні адаптивні мультимедійні системи здатні обробляти широкий спектр форматів, включаючи текст, зображення, аудіо, відео та інтерактивні елементи. Крім того, вони використовують новітні алгоритми аналізу, класифікації та індексування, що дозволяє динамічно адаптувати навчальний контент під різні сценарії використання, підвищуючи гнучкість і ефективність системи. Це зумовлює зростання різноманіття типів даних і підтримку складного багаторівневого інтерактивного середовища. У працях, присвячених адаптивній гіпермедіа [5], зазначається, що сучасні навчальні системи базуються на інтеграції моделі предметної області, моделі користувача та механізму адаптації, який забезпечує персоналізацію подання навчального контенту.

Одним із ключових викликів є організація та класифікація неструктурованих мультимедійних даних, які складно формалізувати та обробляти стандартними методами. Такі дані, попри відсутність жорсткої структури, містять внутрішні ознаки, що дають змогу ідентифікувати й групувати інформаційні елементи за певними характеристиками [6]. Збереження й урахування цієї внутрішньої організації створює передумови для розроблення методів класифікації, обробки та зберігання мультимедійних ресурсів. Для подання семантичної інформації доцільно використовувати базу знань, що містить поняття та взаємозв'язки між ними, яка може слугувати основою для індексування навчальних матеріалів.

У наукових працях вітчизняних дослідників [7] акцентується увага на доцільності застосування семантичних моделей і баз знань для задач індексування та класифікації мультимедійного контенту в навчальних системах. При цьому архітектура адаптивної мультимедійної системи повинна включати:

1. Підсистему взаємодії з користувачем.
2. Базу мультимедійних даних.
3. Підсистему обробки та виконання.

Така структура забезпечує можливість групування навчального матеріалу в класи еквівалентності та формування гіпермедійної організації контенту з урахуванням психолого-педагогічних, методичних і ергономічних вимог.

Формулювання цілей статті

Мета роботи: представити та класифікувати неструктуровані дані в мультимедійних системах, запропонувавши застосування підходу компараторної ідентифікації для побудови класів еквівалентності та

об'єднання документів, відібраних із бази мультимедійних даних (БМД), у гіперструктуру.

Виклад основного матеріалу

Нижче подано алгоритм формування класів еквівалентності для документів, відібраних за результатами запиту до бази мультимедійних даних (БМД). Запропонований підхід спирається на ідеї компараторної ідентифікації та логічного зіставлення об'єктів за множиною ознак, що широко застосовується у задачах класифікації та семантичного аналізу даних.

Припустимо, що за результатами запиту користувача було отримано n документів $t_i, i = \overline{1, n}$. Кожен із них містить у своїх індексних записих одне або кілька понять бази знань предметної області (або їхніх похідних), які виконують функцію ключових слів для індексування. Позначимо множину документів як $T = \{t_i\}, 1 \leq i \leq n$; а множину понять та відносин між ними – через $P = \{p_j\}, 1 \leq j \leq m$.

На відміну від традиційних систем аналізовани поняття p_j є неоднорідними елементами моделі предметної області: це можуть бути самі поняття, їхні властивості, значення властивостей, компоненти поняття, класифікаційні ознаки, а також контекстні або семантичні зв'язки між поняттями. Взаємозв'язки між ними можуть бути довільними та складати складну мережу асоціативних та ієрархічних зв'язків, що відображає багатовимірну природу навчальної інформації. Для подання мультимедійних даних під різними кутами зору (зберігання, обробка, навігація) або для реалізації різних навчальних стратегій може застосовуватися множинне індексування, яке забезпечує можливість одночасного використання декількох характеристик документів. Неоднорідність понять бази знань визначається також особливостями механізмів представлення інформації у БМД, наприклад, через набір ключових слів, тегів, семантичних міток чи метаданих, що описують основний зміст документа. Крім того, неоднорідність дозволяє враховувати різнорівневу деталізацію інформації: від загальних категорій до конкретних прикладів або часткових елементів, що сприяє більш точному визначенню семантичної близькості між документами. Загалом множина понять P дозволяє описати документи множини T у стислому вигляді та створює основу для класифікації, індексування і побудови гіперструктур у мультимедійних системах.

Тому кожна пара «документ – поняття» (t, p) має чітке визначення їх відповідності або невідповідності. Ця відповідність може бути представлена у вигляді предикату, який назвемо предикатом релевантності R . Для кожної пари документа $t \in T$ та поняття $p \in P$ значення предикату R дорівнює 1 , якщо поняття p відповідає мультимедійному документу t , і 0 у протилежному випадку. Важливо, щоб для кожної спроби встановлення відповідності предикат R визначався однозначно, тобто повторне обчислення $R(t, p)$ давало той самий результат. Виконання цієї умови (так званого постулату існування предикату R) забезпечує стабільність визначення відповідності кожної пари (t, p) . При людській компарації постулат виконати ідеально неможливо. Ідеально точно виконання постулату існування можливе лише за умови автоматизованої обробки даних. У разі, якщо $R(t, p) = 1$, документ t вважається релевантним щодо поняття p .

Для формування фрагментів кінцевої гіперструктури необхідне впорядкування відібраних даних шляхом їх класифікації та розподілу на окремі логічні елементарні групи чи одиниці. Кожен окремий блок подання даних у гіперструктурі можна визначити як архітектурну одиницю. Введемо відношення приналежності Δ для відібраних мультимедіа-документів t_a та t_b одному конструктиву таким чином: $t_a \Delta t_b \Leftrightarrow (\forall p \in P) (R(t_a, p) = R(t_b, p))$. Відношення Δ визначає мінімально розчленоване подання цілісності. Дійсно, якщо $t_a \Delta t_b$, то $R(t_a, p) = R(t_b, p)$ для будь-якого поняття або відношення, що описує задану предметну область. Це означає, що відповідні поняття присутні в індексних записих обох документів, тобто інформація у t_a та t_b є семантично близькою. Якщо ж відношення $t_a \Delta t_b$ не виконується, існує принаймні одне поняття $p^* \in P$, яке відповідає лише одному документу. Таким чином, властивості цих документів у повному обсязі збігаються лише щодо певної множини понять P .

Відношення Δ володіє властивостями рефлексивності $t_a \Delta t_b$, симетричності $(\forall t_a, t_b \in T) (t_a \Delta t_b) \Rightarrow t_b \Delta t_a$ та транзитивності $(\forall t_a, t_b, t_c \in T) (t_a \Delta t_b) \wedge (t_b \Delta t_c) \Rightarrow t_a \Delta t_c$. Отже, відношення Δ є еквівалентністю.

Аналогічно, для понять проблемної області, які лежать в основі формування гіперструктури, можна визначити відношення Π , що встановлює приналежність понять p_i, p_j до понятійної основи конструктиву P :

$$p_i \Pi p_j \Leftrightarrow (\forall t \in T) (R(t, p_i) = R(t, p_j)).$$

Відношення Π визначає закономірності структурування цілісності та дозволяє формалізувати функціональну еквівалентність понять проблемної області. А саме: якщо для будь-якого мультимедіа-документа t виконується $R(t, p_i) = R(t, p_j)$, отже, обидва поняття проблемної області p_i та p_j можна вважати функціонально еквівалентними для механізму компресії та узагальнення відібраної інформації. Це означає, що обидва поняття несуть однакове смислове навантаження у контексті мультимедіа-документів і можуть бути об'єднані у спільні класи для зменшення надлишковості даних. Інакше, якщо відношення Π не виконується для деяких p_i та p_j , то знайдеться такий документ $t^* \in T$, що $R(t^*, p_i) \neq R(t^*, p_j)$, тобто одне з понять не відповідає цьому документу, що свідчить про наявність унікальної семантичної інформації, яка потребує окремого обліку. Таке формальне визначення відношення Π забезпечує надійну основу для подальшого групування понять у класи еквівалентності та побудови гіперструктур, що підтримують семантичну цілісність і точність класифікації мультимедійних даних.

Аналогічно, можна показати, що відношення Π має властивості рефлексивності, симетричності та транзитивності, тобто, також є ставленням еквівалентності.

Відносини Δ і Π дозволяють запровадити відповідні їм предикати $E_\Delta(t_a, t_b)$ і $E_\Pi(p_i, p_j)$, які однозначно визначаються логічною функцією відповідності документа та поняття R . Предикат

$$E_\Delta(t_a, t_b) = (\forall p \in P) (R(t_a, p) \sim R(t_b, p)), \quad (1)$$

заданий на множині $T \times T$; предикат

$$E_{\Pi} (p_i, p_j) = (\forall t \in T) (R(t, p_i) \sim R(t, p_j)), \quad (2)$$

заданий на множині $P \times P$. Предикат E_{Δ} можна використовувати визначення семантичної близькості документів t_a і t_b з множини T : якщо $E_{\Delta} (t_a, t_b) = 1$, то, згідно (1), $R(t_a, p) = R(t_b, p)$ для будь-якого поняття p з множини P . Отже, всі властивості документів t_a і t_b , що виражаються поняттями з множини Z , збігаються. Якщо ж $E_{\Delta} (t_a, t_b) = 0$, то знайдеться таке поняття $p \in P$, для якого $R(t_a, p) \neq R(t_b, p)$, що говорить про семантичну відмінність t_a і t_b . Аналогічно, предикат $E_{\Pi} (p_i, p_j)$ застосовується для визначення функціональної еквівалентності понять p_i і p_j з множини P : якщо $E_{\Pi} (p_i, p_j) = 1$, то, згідно (2), для будь-якого документу $t \in T$ справджується $R(t, p_i) = R(t, p_j)$, тобто. обидва поняття або відповідають даному документу, або обидва не відповідають.

Обидва предикати E_{Δ} і E_{Π} є відношеннями еквівалентності, що дозволяють факторизувати множини T і P . Алгоритм компараторної ідентифікації здійснює порівняння кожного документу $t \in T$ із іншими документами та кожного поняття $p \in P$ із іншими поняттями на основі предикату релевантності $R(t, p)$ (див. рис. 1).



Рис. 1. Блок-схема алгоритму компараторної ідентифікації

На практиці процес виглядає так:

1. Для кожного документу t перевіряються всі поняття $p \in P$ і визначається, чи відповідає кожне поняття документу ($R=1$) або ні ($R=0$).
2. Порівнюються всі пари документів (t_a, t_b) для встановлення предикату $E_{\Delta}(t_a, t_b)$. Якщо всі значення R збігаються для даних документів, вони потрапляють у один клас еквівалентності.
3. Аналогічно, для понять p_i, p_j визначається предикат $E_{\Pi}(p_i, p_j)$. Поняття, що мають однакову відповідність по всіх документах, об'єднуються в один клас еквівалентності.
4. Кожен клас документів і понять формує шар семантичної близькості, який надалі використовується для побудови гіперструктури та багаторівневої навігації.

Для ілюстрації запропонованого підходу розглянемо умовну базу мультимедійних даних, що містить документи D_1, D_2, D_3 та D_4 із ключовими поняттями відповідно:

- D_1 – «Алгоритм, Сортування, Пошук»,
- D_2 – «Алгоритм, Сортування, Масив»,
- D_3 – «Алгоритм, Графи, Пошук»,
- D_4 – «Масив, Дані, Структури даних».

Множина документів $T = \{D_1, D_2, D_3, D_4\}$ і множина понять $P = \{\text{Алгоритм, Сортування, Пошук, Масив, Дані, Графи, Структури даних}\}$. За допомогою предикатів еквівалентності E_{Δ} і E_{Π} можна сформувати класи семантично близьких документів та функціонально еквівалентних понять. Так, документи D_1 і D_2 мають спільні поняття «Алгоритм» і «Сортування» та потрапляють в один клас еквівалентності C_1 , тоді як D_3 та D_4 формують окремі класи C_2 і C_3 через відмінність ключових понять. Аналогічно, поняття «Сортування» і «Алгоритм» у контексті D_1 та D_2 утворюють шар семантичної близькості, тоді як «Пошук» і «Графи» належать до різних шарів. Цей приклад демонструє, як запропонований механізм компараторної ідентифікації дозволяє впорядковувати документи та поняття, забезпечуючи основу для побудови гіперструктури мультимедійних даних.

Предикат E_{Δ} визначає розбиття множини T на шари S , які об'єднують документи з семантично близьким

змістом; документи, що належать різним шарам S , не є такими. При цьому класу V^t всіх документів $t \in T$, семантично близьких документу $s \in T$, відповідає предикат $V^t(t) = E_\Delta(t, s)$. Предикат E_Π дозволяє поділити множину P на шари L , що об'єднують функціонально еквівалентні поняття; при цьому поняття різних шарів L не є функціонально еквівалентними. Класу V^r всіх понять $p \in P$, функціонально еквівалентних поняттю $r \in P$, відповідає предикат $V^r(p) = E_\Pi(p, r)$. Враховуючи (1) та (2), отримуємо:

$$V^t(t) = (\forall p \in P) (R(t, p) \sim R(t, p)), \quad (3)$$

$$V^r(p) = (\forall t \in T) (R(t, p) \sim R(t, r)), \quad (4)$$

Формули (3) і (4) відображають закономірності організації інформації під час створення гіпермедійних структур, де предикат R визначається класифікатором у процесі експериментальної обробки даних. Формування гіпермедійної структури на основі відношень еквівалентності дозволяє зменшити надлишковість інформації та забезпечити семантичну цілісність навчального контенту. Розширені висновки дослідження демонструють численні переваги запропонованого підходу. Методика забезпечує семантичну цілісність контенту, дозволяє інтегрувати різномірні мультимедійні ресурси та підвищує адаптивність навчального процесу під конкретного користувача. Реалізація даного підходу може стикатися з труднощами, такими як масштабування при великій кількості документів і понять, потреба автоматизованого визначення релевантності для різних типів мультимедіа та обмеження щодо ресурсів із складною або невизначеною семантикою (наприклад, відео без підписаного контенту).

Перспективи розвитку включають інтеграцію методів машинного навчання для автоматичного визначення релевантності, використання графових баз даних для швидкої навігації між шарами класів еквівалентності, а також розширення підходу на динамічні мультимедійні ресурси, такі як онлайн-відео та інтерактивні симуляції. Використання відношень еквівалентності дозволяє ефективно групувати документи та поняття у класи еквівалентності, що створює основу для багаторівневого і багатоканального представлення навчального матеріалу. Наприклад, на сторінці з темою «Алгоритми сортування» користувачу можуть бути представлені кілька рівнів навігації: від загальних понять («Алгоритм», «Сортування») до конкретних реалізацій і прикладів коду, з можливістю переходу до суміжних тем («Пошук», «Масиви») на основі семантичних зв'язків між документами.

Таке багаторівневе групування також створює основу для збору статистики про взаємодію користувача з контентом, що дозволяє аналізувати ефективність освітніх траєкторій і коригувати їх у режимі реального часу. Враховуючи це, запропонований механізм компараторної ідентифікації забезпечує гнучкість при реалізації адаптивних сценаріїв навчання, дозволяє автоматично формувати персоналізовані освітні траєкторії та інтегрувати різномірні дані з розподілених джерел. Використання відношень еквівалентності також сприяє підвищенню точності семантичного індексування та покращенню навігаційних механізмів у гіпермедійній структурі, роблячи навчальний процес більш інтуїтивним, зручним та ефективним для користувача.

Висновки з даного дослідження

і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Адаптивні гіпермедійні системи застосовують різні моделі користувача, що дозволяють персоналізувати подачу контенту та навігацію навчальних сторінок відповідно до індивідуальних особливостей процесу навчання. Під час персоналізованого навчання дані про користувача надходять із розподілених у мережі освітніх ресурсів, а на виході формується логічно організований набір навчальних матеріалів, який відповідає конкретному користувачу та його потребам. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям розвитку адаптивних навчальних систем, орієнтованих на персоналізацію контенту та інтеграцію неструктурованих мультимедійних даних.

У межах даної роботи запропоновано методіку представлення та класифікації неструктурованих даних із використанням компараторної ідентифікації для формування класів еквівалентності та побудови гіперструктури документів, відібраних за результатами запиту до бази мультимедійних даних. Застосування цієї методіки дозволяє забезпечити семантичну цілісність навчального контенту, зменшити надлишковість даних і створити основу для адаптивного навчання.

Перспективи подальших досліджень включають розробку автоматизованих механізмів визначення релевантності для різномірних мультимедійних ресурсів, а також інтеграцію алгоритмів машинного навчання з метою підвищення точності формування класів еквівалентності та покращення персоналізації освітнього контенту. Таким чином, запропонований підхід сприяє підвищенню ефективності електронних засобів навчання та реалізації індивідуального підходу до користувача.

Література

1. du Plooy E. Personalized adaptive learning in higher education: a scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement [Електронний ресурс] / Eileen du Plooy, Daleen Casteleijn, Denise Franzsen // *Heliyon*. – 2024. – С. e39630. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39630> (дата звернення: 23.03.2026). – Назва з екрана.
2. Tsortanidou X. Adaptive educational hypermedia systems based on learning styles: the case of adaptation rules [Електронний ресурс] / Xanthippi Tsortanidou, Charalampos Karagiannidis, Adamantios Koumpis // *International journal of emerging technologies in learning (ijet)*. – 2017. – Т. 12, № 05. – С. 150. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3991/ijet.v12i05.6967> (дата звернення: 23.03.2026). – Назва з екрана.

3. AI-based personalized e-learning systems: issues, challenges, and solutions [Електронний ресурс] / Mir Murtaza [та ін.] // IEEE access. – 2022. – С. 1. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1109/access.2022.3193938> (дата звернення: 23.03.2026). – Назва з екрана.
4. Multimedia tools in the teaching and learning processes: a systematic review [Електронний ресурс] / M. D. Abdulrahman [та ін.] // Heliyon. – 2020. – Т. 6, № 11. – С. e05312. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05312> (дата звернення: 23.03.2026). – Назва з екрана.
5. Tmimi M. Proposal of a complete model and architecture of an intelligent adaptive hypermedia [Електронний ресурс] / Mehdi Tmimi // International journal of advanced trends in computer science and engineering. – 2019. – С. 1491–1497. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/70842019> (дата звернення: 23.03.2026). – Назва з екрана.
6. Abu-Salih B. A systematic literature review of knowledge graph construction and application in education [Електронний ресурс] / Bilal Abu-Salih, Salihah Alotaibi // Heliyon. – 2024. – Т. 10, № 3. – С. e25383. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25383> (дата звернення: 23.03.2026). – Назва з екрана.
7. Цифрова трансформація відкритих науково-освітніх середовищ [Електронний ресурс] : монографія / О. Бондаренко [та ін.]. – Київ : Ін-т цифровізації освіти НАПН України, 2024. – 308 с. – Режим доступу: <https://doi.org/10.33407/lib.NAES.id/eprint/744025> (дата звернення: 23.03.2026). – Назва з екрана.

References

1. du Plooy E. Personalized adaptive learning in higher education: a scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement [Electronic resource] / Eileen du Plooy, Daleen Casteleijn, Denise Franssen // Heliyon. – 2024. – P. e39630. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39630> (date of access: 23.03.2026). – Title from screen.
2. Tsortanidou X. Adaptive educational hypermedia systems based on learning styles: the case of adaptation rules [Electronic resource] / Xanthippi Tsortanidou, Charalampos Karagiannidis, Adamantios Koumpis // International journal of emerging technologies in learning (ijet). – 2017. – Vol. 12, no. 05. – P. 150. – Mode of access: <https://doi.org/10.3991/ijet.v12i05.6967> (date of access: 23.03.2026). – Title from screen.
3. AI-based personalized e-learning systems: issues, challenges, and solutions [Electronic resource] / Mir Murtaza [et al.] // IEEE access. – 2022. – P. 1. – Mode of access: <https://doi.org/10.1109/access.2022.3193938> (date of access: 23.03.2026). – Title from screen.
4. Multimedia tools in the teaching and learning processes: a systematic review [Electronic resource] / M. D. Abdulrahman [et al.] // Heliyon. – 2020. – Vol. 6, no. 11. – P. e05312. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05312> (date of access: 23.03.2026). – Title from screen.
5. Tmimi M. Proposal of a complete model and architecture of an intelligent adaptive hypermedia [Electronic resource] / Mehdi Tmimi // International journal of advanced trends in computer science and engineering. – 2019. – P. 1491–1497. – Mode of access: <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2019/70842019> (date of access: 23.03.2026). – Title from screen.
6. Abu-Salih B. A systematic literature review of knowledge graph construction and application in education [Electronic resource] / Bilal Abu-Salih, Salihah Alotaibi // Heliyon. – 2024. – Vol. 10, no. 3. – P. e25383. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25383> (date of access: 23.03.2026). – Title from screen.
7. Digital transformation of open scientific and educational environments [Electronic resource] : monograph / O. Bondarenko [et al.]. – Kyiv : Institute for Digitalisation of Education of the NAES of Ukraine, 2024. – 308 p. – Mode of access: <https://doi.org/10.33407/lib.NAES.id/eprint/744025> (date of access: 23.03.2026). – Title from screen.