

УДК 004.82:37.091.212.3

DOI: 10.31673/2412-9070.2026.025815

А. А. ЯРЕМЕНКО<sup>1</sup>, аспірант;

ORCID: 0009-0007-0116-0347

В. В. ГОРБОРУКОВ,<sup>2,3</sup> канд. техн. наук, доцент, старший дослідник,

ORCID: 0000-0002-2758-7724

<sup>1</sup>Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава<sup>2</sup>Національний центр «Мала академія наук України», Київ<sup>3</sup>Національний університет «Києво-Могилянська академія», Київ

## АРХІТЕКТУРА ОНТОЛОГІЧНО КЕРОВАНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТА ОСВІТНІХ ДОСЯГНЕНЬ

*У статті представлено формально обґрунтовану модель інтелектуальної системи моніторингу та рейтингування навчальних досягнень обдарованої молоді, побудовану на поєднанні онтологічної інженерії та методів багатокритеріального аналізу. Робота спрямована на розв'язання важливої освітньої проблеми – відсутності в Україні єдиної, методологічно узгодженої та масштабованої системи оцінювання результатів інтелектуальних конкурсів, здатної забезпечити об'єктивне порівняння досягнень учнів, педагогів і закладів освіти. Розрізненість протоколів, фрагментарність даних і неоднорідність критеріїв оцінювання формують суттєві бар'єри для формування ефективної державної політики підтримки талановитої молоді та ускладнюють довгостроковий моніторинг динаміки її результатів. Відсутність формальних механізмів інтеграції результатів інтелектуальних конкурсів обмежує можливості їх міжконкурсного зіставлення та аналітичної агрегації. Для подолання цих обмежень запропоновано цілісну архітектуру опрацювання даних, яка охоплює повний цикл трансформації: від структуризації та нормалізації різноформатних документів до побудови формальної онтології предметної галузі та її збагачення оцінним шаром на основі підходів багатокритеріального аналізу. Реалізація цієї моделі забезпечує логічну узгодженість, семантичну прозорість і відтворюваність обчислень, інтегруючи строгі математичні оператори з адаптивними механізмами семантичного аналізу. Унаслідок цього у сформованому онтологічно узгодженому оцінному просторі забезпечується інваріантне та коректне порівняння результатів незалежно від типу конкурсу, року проведення та процедур оцінювання. Отримані результати створюють методологічну та технологічну основу для побудови національної системи моніторингу і підтримки обдарованої молоді та відкривають перспективи застосування онтологічно-орієнтованих систем у задачах інтеграції гетерогенних освітніх даних і багатокритеріального оцінювання. Запропонована модель може використовуватися для розроблення довгострокових стратегій розвитку освітніх програм та забезпечення аналітичної підтримки державних і регіональних ініціатив у сфері роботи з обдарованою молоддю.*

**Ключові слова:** онтологічна інженерія, формальна онтологія, семантична нормалізація, структуризація даних, багатокритеріальний аналіз, конкурентна нормалізація, рейтингування навчальних досягнень, онтологічно кероване оцінювання, освітня аналітика.

### Вступ

В умовах глобальної конкуренції зростає роль інтелектуального капіталу, що зумовлює необхідність у створенні національних систем, здатних забезпечувати об'єктивний моніторинг, аналіз і прогнозування навчальних досягнень. Особливої актуальності це набуває у сфері роботи з обдарованою молоддю, де якісна аналітична підтримка визначає можливість раннього виявлення талантів, формування індивідуальних освітніх траєкторій та прийняття обґру-

© Яременко А. А., Горборуков В. В., 2026

обґрунтованих управлінських рішень на рівні не лише учнів, а й навчальних закладів, педагогів та наукових керівників, регіонів і країни в цілому.

Незважаючи на багаторічну практику проведення інтелектуальних конкурсів та олімпіад у національній освітній екосистемі досі відсутня інтегрована система комплексного рейтингування, що здатна опрацьовувати різномірні дані з багатьох джерел та забезпечувати об'єктивне порівняння результатів між різними конкурсами, секціями й роками. Наразі дані про досягнення учнів, шкіл і регіонів ізольовано накопичуються у вигляді окремих протоколів чи звітів різних форматів та структур, що унеможлиблює їх пряме зіставлення, узагальнення і створює суттєві інформаційні бар'єри. Ручний та локальний спосіб опрацювання таких даних не дозволяє забезпечити ні прозорості, ні системності, ні аналітичної глибини, необхідної для формування державної політики у сфері роботи з обдарованою молоддю.

Отже, виникає потреба у створенні інформаційно-аналітичної системи, здатної інтегрувати різномірні дані, формувати єдиний семантичний простір освітніх результатів та забезпечувати об'єктивне рейтингування учасників конкурсів. Високі вимоги до точності, масштабованості та інтероперабельності систем такого класу зумовлюють необхідність використання сучасних інформаційних технологій для забезпечення узгодженого формального подання та логічної цілісності знань предметної галузі. Зокрема, онтологічний підхід у поєднанні з методами багатокритеріального аналізу (MCDA) та когнітивними механізмами інтерпретації даних доцільно розглядати як методологічну основу для створення систем, що не лише акумулюють інформацію, а й надають інструменти для глибокого аналізу, виявлення закономірностей і оцінювання динаміки розвитку.

Таким чином, створення інформаційно-аналітичної системи на базі онтологічного підходу для моніторингу та рейтингування навчальних досягнень може розглядатися як логічна відповідь на виклики сучасної освіти. Адже така система потенційно здатна забезпечити не лише технічну інтеграцію даних, але й концептуальну узгодженість, прозорість механізмів обчислення, відтворюваність результатів та можливість прийняття обґрунтованих рішень на основі комплексного аналізу. Впровадження подібної системи може надати фундамент для розвитку національної інфраструктури підтримки обдарованої молоді, що суттєво посилить можливості державної освітньої політики.

### *Аналіз останніх досліджень і публікацій*

Значна частина інформаційно-аналітичних рішень у сфері освіти базується на традиційних технологічних підходах до інтеграції та централізованої обробки даних. Водночас розроблення та підтримка подібних систем у межах таких підходів потребують значних ресурсів і ускладнюються відсутністю гнучких механізмів адаптації [1]. Класична модель роботи з даними не враховує їхньої семантики, не забезпечує природної масштабованості, уніфікації та можливості гнучкого та оперативного оновлення [2]. У результаті такі рішення добре працюють лише у вузьких, статичних сценаріях і втрачають ефективність із зростанням структурної складності та обсягів інформації.

В цих умовах актуалізується потреба у переході до онтологічно орієнтованих технологій, які забезпечують формальне, логічно узгоджене та семантично прозоре представлення знань предметної галузі. Онтологія у цьому контексті виступає як формальна модель предметної галузі – структурована сукупність понять, відношень, правил інтерпретації та логічних обмежень [3]–[6], що дозволяє враховувати семантику освітніх даних і процесів оцінювання. Сучасні дослідження підкреслюють зростання ролі онтологій як ключового інструмента інтеграції знань і пояснюваності у системах штучного інтелекту [7]–[9]. Водночас інтеграція з великими мовними моделями відкриває нові можливості для автоматизації побудови та підтримки онтологій [10]–[12], що формує підґрунтя для створення пояснюваних і контекстно-обізнаних інтелектуальних систем [13].

Однією з ключових переваг онтологічного підходу є здатність формувати формально визначений семантичний простір, у якому логічна структура предметної галузі безпосередньо задає параметри подальших аналітичних процедур. У такому середовищі багатокритеріальне оцінювання ґрунтується не на розрізнених числових показниках, а на цілісній концептуальній

моделі, що визначає класи об'єктів, їхні властивості, атрибути та значення, а також таксономічні відношення між ними [14]. Такий підхід дозволяє усунути розрив між структурою знань і процедурою оцінювання, що забезпечує масштабованість і відтворюваність результатів та дає змогу інтегрувати оцінювання в єдиний формально узгоджений аналітичний контекст.

Таким чином, онтологічні моделі та технології виступають методологічно обґрунтованою основою для побудови сучасних інформаційно-аналітичних систем [15], зокрема для реалізації комплексних процедур моніторингу та рейтингування. Вони не лише усувають структурну неоднорідність даних, але й забезпечують можливість створення когнітивно орієнтованих механізмів аналізу, що стає ключовим елементом переходу від розрізнених та фрагментованих документів до повноцінного інтелектуального освітнього середовища.

### Основна частина

Для формування онтологічного представлення освітніх і конкурсних даних потрібний певний формалізований підхід, що забезпечує перехід від гетерогенних табличних структур до цілісної концептуальної моделі. В основі розробленого підходу лежать три ключові етапи: структуризація даних, семантичне узгодження та побудова онтології. Усі вони формують логічно зв'язаний процес, у якому кожен наступний крок спирається на результати попереднього. Вхідні дані можуть бути представлені у різних форматах: електронні таблиці, анкети та описові документи.

Для того, щоб усі ці джерела можна було обробляти однаково, вводиться множина табличних структур:

$$T = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}, \quad (1)$$

де  $T$  – це множина всіх таблиць, отриманих або безпосередньо з аркушів Excel або шляхом автоматичного витягання структур із файлів іншого формату.

Кожна таблиця описується трійкою:

$$T_k = (R_k, C_k, \Lambda_k^T), \quad (2)$$

де  $R_k$  – множина рядків,  $C_k$  – множина стовпців, а  $\Lambda_k^T : R_k \times C_k \rightarrow V_{\text{raw}}$  – функція, що для кожної пари (рядок, стовець) повертає відповідне значення,  $V_{\text{raw}}$  – множина всіх сирих значень, які зустрічаються у даних.

Початково всі таблиці розглядаються виключно як структурні носії даних. Перший крок структуризації, полягає в тому, що кожен рядок таблиці інтерпретується як окрема одиниця даних – об'єкт. Множина об'єктів визначається як:

$$X = \bigcup_{k=1}^n \{x_{k,r} \mid r \in R_k\}, \quad (3)$$

де  $X$  – множина всіх об'єктів,  $x_{k,r}$  – об'єкт, який породжується рядком  $r$  таблиці  $T_k$ .

На цьому етапі кожен об'єкт існує виключно як індивідуальна конфігурація даних, породжена відповідним рядком таблиці. Множина атрибутів визначається як об'єднання всіх заголовків стовпців:

$$A = \bigcup_{k=1}^n C_k, \quad (4)$$

де  $A$  – множина сирих імен атрибутів,  $C_k$  – колонки  $k$ -ї таблиці.

У даному випадку атрибут розглядається лише як позначення стовпця, без будь-яких семантичних властивостей або класифікації. Множина значень атрибутів формується, як множина всіх заповнених комірок таблиць:

$$V = \left\{ \Lambda_k^T(r, c) \mid 1 \leq k \leq n, r \in R_k, c \in C_k \right\}, \quad (5)$$

де  $V$  – множина сирих значень, які ще не класифіковані (не розподілені на літеральні або об'єктні).

Для відтворення структури таблиць у формальному вигляді введемо трійкове відношення:

$$F \subseteq X \times A \times V, \quad (6)$$

де  $F = \bigcup_{k=1}^n \{(x_{k,r}, c, \Lambda_k^T(r, c)) \mid r \in R_k, c \in C_k\}$ ,  $X$  – множина об'єктів,  $A$  – множина імен атрибутів,  $V$  –

простір значень атрибутів по всім об'єктам.

У даному випадку, відношення  $F$  є повною структурною реконструкцією таблиць. Адже, наприклад, відношення  $(x, a, v) \in F$  означає, що об'єкт  $x$  має атрибут  $a$  зі значенням  $v$ . Таким чином, результатом структуризації є формальний опис:

$$S = (X, A, V, F), \quad (7)$$

де:  $X$  – множина об'єктів,  $A$  – множина атрибутів,  $V$  – множина первинних табличних значень,  $F$  – визначає тринарне відношення об'єкт–атрибут–значення.

Ця структура є повною та самодостатньою моделлю табличних даних, яка не містить жодних семантичних припущень та слугує базою для наступного етапу – семантичної нормалізації та узгодження. Цей етап включає: лексичну нормалізацію, ідентифікацію об'єктних значень, формування розширеної множини об'єктів та визначення їх типів.

Нехай  $L$  – множина всіх текстових лексем, що з'являються у структурованих даних.

$$L = L_A \cup L_V, \quad (8)$$

де  $L_A = \text{lex}(A)$  – множина лексем атрибутів,  $L_V = \text{lex}(V)$  – множина лексем значень.

Для визначення синонімії (еквівалентних варіантів написань) використовується оператор нормалізації:

$$g : L \rightarrow L_{\text{norm}}, \quad (9)$$

де  $L_{\text{norm}}$  – множина канонічних нормалізованих лексем.

Відношення синонімії може бути визначено так:

$$l_1 \sim l_2 \Leftrightarrow g(l_1) = g(l_2), \quad (10)$$

де  $l_1, l_2 \in L$  – довільні лексеми лексичного простору,  $g$  – оператор нормалізації.

Таки чином, дане відношення еквівалентності визначає, що два різні записи вхідних даних вважаються еквівалентними, якщо після нормалізації вони збігаються. Оператор нормалізації застосовується до всіх атрибутів і значень:

$$A' = \{g(a) \mid a \in A\}, V' = \{g(v) \mid v \in V\}, \quad (11)$$

де  $A'$  – множина нормалізованих атрибутів,  $V'$  – множина нормалізованих значень.

Деякі нормалізовані значення з  $V'$  представляють не літерали, а окремі сутності. Для їх розрізнення введемо оператор класифікації:

$$\sigma : V' \rightarrow \{\text{Ob}, \text{Lt}\}, \quad (12)$$

де  $\text{Ob}$  – позначення того, що значення інтерпретується як окремий об'єкт,  $\text{Lt}$  – позначення того, що значення є текстовим літералом. Оператор  $\sigma$  визначає, чи слід трактувати нормалізоване значення як об'єктну сутність, чи як просте текстове значення.

Оператор класифікації дозволяє множину значень розкласти на дві підмножини:

$$V_{\text{obj}} = \{v \in V' \mid \sigma(v) = \text{Ob}\}, V_{\text{lit}} = \{v \in V' \mid \sigma(v) = \text{Lt}\}, \quad (13)$$

де  $V_{\text{obj}}$  – множина значень, інтерпретованих як об'єкти,  $V_{\text{lit}}$  – множина значень, інтерпретованих як літерали.

Далі для кожного значення, яке ідентифіковано як об'єктне, створюється відповідний об'єкт:

$$X' = X \cup \{y_v \mid v \in V_{\text{obj}}\}, \quad (14)$$

де  $X$  – множина об'єктів, отриманих із рядків таблиць,  $y_v$  – новий об'єкт, що представляє сутність, яка раніше існувала лише як значення,  $V_{\text{obj}}$  – множина значень, класифікованих як об'єктні.

Ця операція розглядається як монотонне розширення множини об'єктів: жоден із початкових елементів не модифікується і не переінтерпретується, натомість до вже наявної множини додаються нові об'єкти. Кожен з них формується на основі значень, що ідентифіковані як такі, що репрезентують самостійні сутності.

Після процедур семантичного аналізу та узгодження, нормалізація атрибутів і значень має бути відображена у базовій структурі даних, тобто у відношенні  $F$ , яке містить трійки  $(x, a, v)$ . Це може бути здійснено за допомогою оператора нормалізації  $g$ :

$$F' = \{(x, g(a), g(v)) \mid (x, a, v) \in F\}, \quad (15)$$

де  $F'$  – нормалізоване відношення об'єкт–атрибут–значення,  $F$  – вихідне відношення,  $g(a)$  – нормалізований атрибут,  $g(v)$  – нормалізоване значення.

Якщо нормалізоване значення є об'єктним, тобто  $g(v) \in V_{\text{obj}}$ , то відповідна трійка в  $F'$  набуває інтерпретації:  $(x, g(a), y_{g(v)})$ , де  $y_{g(v)}$  – об'єкт, створений із об'єктного значення  $g(v)$ .

Узагальнена область визначення нормалізованого відношення:

$$F' \subseteq X' \times A' \times (V_{\text{lit}} \cup V_{\text{obj}}), \quad (16)$$

де  $X'$  – множина всіх об'єктів після розширення (рядкові + породжені із значень),  $A'$  – множина нормалізованих атрибутів,  $V_{\text{lit}}$  – множина літеральних значень,  $V_{\text{obj}}$  – множина об'єктних значень (інтерпретованих як об'єкти).

Нормалізовані об'єкти та виокремлені об'єктні значення утворюють підґрунтя для введення множини типів  $TP$  та відповідної функції типізації:

$$\tau: X' \rightarrow TP, \quad (17)$$

де  $X'$  – множина всіх об'єктів після розширення,  $TP$  – множина типів об'єктів,  $\tau(x)$  – функція, що призначає тип певному об'єкту  $x \in X'$ .

Функція типізації виконує впорядкування об'єктів за їх концептуальними ознаками. Типізація надає вже сформованим об'єктам місце у системній семантичній структурі. Окремі функції типізації для атрибутів або значень не вводяться, оскільки атрибути інтерпретуються як ролі або властивості, а значення – як літерали або об'єкти.

Результат етапу нормалізації описується структурою:

$$N = (X', A', V', F', C, \tau_X), \quad (18)$$

де  $X'$  – розширена множина об'єктів,  $A'$  – нормалізовані атрибути,  $V'$  – нормалізовані значення,  $F'$  – нормалізоване тринарне відношення об'єкт–атрибут–значення,  $C$  – множина типів,  $\tau_X$  – функція типізації об'єктів.

На базі цієї структури здійснюється побудова формальної онтології, що містить семантичну інтерпретацію всіх об'єктів, атрибутів і зв'язків між ними. Побудову онтології описує оператор:

$$\Phi_{\text{ont}}: N \rightarrow O, \quad (19)$$

де  $\Phi_{\text{ont}}$  – оператор відображення, який перетворює структуровані нормалізовані дані у логічну онтологічну форму,  $N$  – нормалізована структура даних,  $O$  – формальна онтологія.

Формально онтологія визначається як впорядкована трійка:

$$O = (X^o, R^o, F^o), \quad (20)$$

де  $X^o$  – множина концептів та об'єктів онтології,  $R^o$  – множина бінарних відношень,  $F^o$  – функція інтерпретації.

У цьому поданні концепти відповідають типам об'єктів, ролі (бінарні відношення) – нормалізованим атрибутам, а функція інтерпретації пов'язує кожен концепт із множиною відповідних об'єктів та кожен роль – із множиною пар „об'єкт–значення“. Таким чином, нормалізовані дані отримують чітке семантичне відображення у вигляді системи концептів, відношень і фактів, що й утворює онтологічну модель.

Після формування онтології стає можливим застосування методів багатокритеріального оцінювання на базі технології онтологічного супроводу, що дозволяє розширити онтологічну модель рейтинговими значеннями.

$$\Omega_{MR} : O \rightarrow M_R \rightarrow O^*, \quad (21)$$

де  $O$  – онтологія предметної області,  $M_R$  – модель задачі ранжування,  $O^*$  – розширена онтологія,  $\Omega_{MR}$  – визначає механізм здійснення відповідних перетворень.

Описана вище формальна схема визначає математичну послідовність перетворень, необхідних для переходу від гетерогенних табличних даних до розширеної онтології  $O^*$ , яка містить семантичні та оцінні компоненти. Проте для практичної реалізації такого процесу потрібна його технологічна організація, яка поєднує формальні операції структуризації, нормалізації, онтологічного виведення та MCDA-збагачення в єдиний операційний конвеєр. Щоб забезпечити узгодженість між математичною моделлю та її програмною реалізацією, запропоновано архітектуру нейронно-онтологічного процесу (рис. 1). Вона відображає не лише послідовність застосування операторів (1)–(21), але і механізми семантичної підтримки та зворотного узгодження, які забезпечують коректність інтерпретацій на кожному етапі. Архітектура описує повний життєвий цикл даних – від первинних документів до валідованої розширеної онтології  $O^*$  та поєднує формальні процедури математичної моделі з нейронно-семантичними механізмами та компонентами багатокритеріального оцінювання. У межах цієї архітектури процес трансформації даних реалізується через низку послідовних етапів, кожен з яких забезпечує виконання окремого класу операцій та створює умови для коректності наступних перетворень.

Сукупно ці етапи формують узгоджену обчислювально-семантичну структуру, що забезпечує перехід від сирової таблично-текстової інформації до формально визначеного онтологічного простору. Етапи обробки такі:

- Попередня обробка – на початковому кроці здійснюється стандартизація вхідних матеріалів: уніфікація форматів та виділення табличних структур.
- Структуризація – формується синтаксичний рівень даних: визначаються множини об'єктів, атрибутів і значень та реконструюється трійкове відношення об'єкт–атрибут–значення, що задає формально-структурну модель вхідних даних.
- Семантичний аналіз – виконуються процедури нормалізації, синонімії, ідентифікації об'єктних значень з метою формування семантично узгодженої системи атрибутів і значень. На цьому етапі нейронно-семантичний модуль відіграє роль контекстуального посередника, який уточнює інтерпретації та підвищує точність класифікації.
- Формування онтології – на основі нормалізованих структур будується формальна онтологічна модель предметної області: визначаються концепти та об'єкти, їхні властивості (відношення) та типи зв'язків між ними.
- MCDA-збагачення – структура онтології доповнюється оцінним шаром на базі алгоритму конкурентної нормалізації, що дозволяє здійснювати валідне рейтингування результатів інтелектуальних конкурсів.
- Валідація – здійснюється структурна та семантична перевірка узгодженості побудованої онтології.

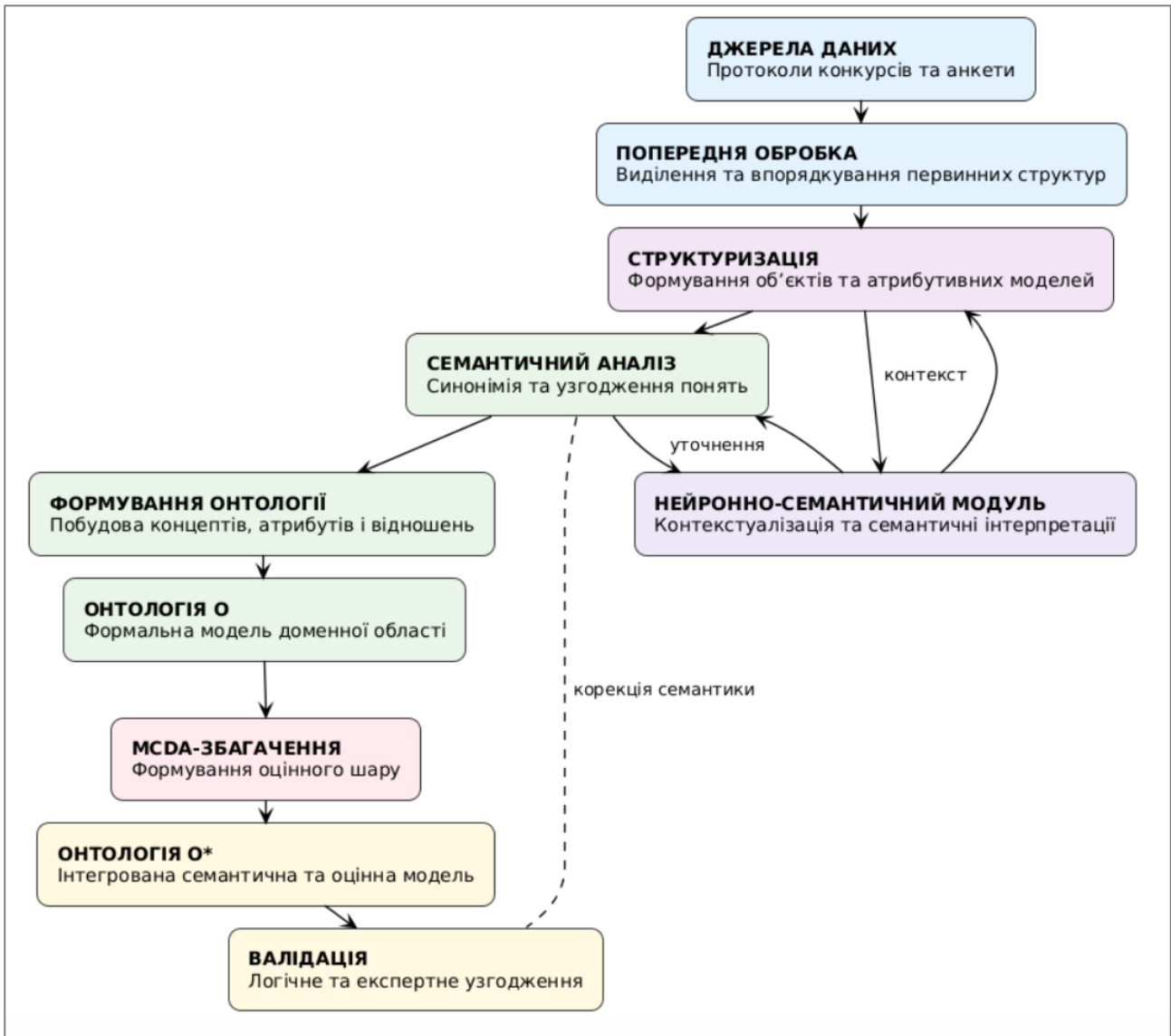


Рис. 1. Архітектура нейронно-онтологічного процесу аналізу та збагачення даних

Завершення послідовності цих етапів приводить до формування двох взаємопов'язаних концептуально завершених моделей. Першою є онтологія  $O$  – базове семантичне представлення предметної області, що відображає нормалізовану структуру об'єктів, атрибутів і відношень. Другою є розширена онтологія  $O^*$ , у якій семантичний шар доповнено рейтинговими балами.

### Висновки

У виконаній роботі сформовано цілісну теоретичну та технологічну основу для розгортання сучасної інтелектуальної системи моніторингу й рейтингування навчальних досягнень обдарованої молоді, яка долає обмеження традиційних підходів завдяки поєднанню онтологічної інженерії та багатокритеріального аналізу. Запропонована модель являє собою концептуально зв'язаний процес переходу від гетерогенних початкових даних до формально визначеного семантично-оцінного онтологічного простору, що утворює логічно узгоджену систему. У роботі показано, що формалізація повного циклу перетворення даних засобами строгих математичних операторів забезпечує відтворюваність, однозначність і програмну реалізованість усіх процедур. Розроблена нейронно-онтологічна архітектура, яка поєднує формальні ме-

ханізми виведення з адаптивними семантичними модулями, підтверджує можливість практичної імплементації моделі у вигляді цілісного інформаційно-аналітичного конвеєра.

Отримані результати створюють концептуальний фундамент для розгортання національної інфраструктури підтримки роботи з обдарованою молоддю: від збору даних і їх семантичної інтеграції до прозорого, відтворюваного й методологічно цілісного рейтингування. Запропонований підхід може бути застосований і в інших сферах, що потребують інтеграції гетерогенних даних та формально узгоджених механізмів багатокритеріального оцінювання.

### Внесок авторів

Андрій ЯРЕМЕНКО – формалізація задачі дослідження, розробка концепції інтелектуальної системи, побудова онтологічної моделі предметної галузі; Вячеслав ГОРБОРУКОВ – аналіз проблематики та джерел, розробка методів багатокритеріального оцінювання, узагальнення результатів.

### Декларація про штучний інтелект

Автор не використовував штучний інтелект при створенні матеріалів статті.

### Конфлікт інтересів

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів та підтверджує, що під час підготовки цієї роботи не існувало жодних комерційних, фінансових чи інших взаємовідносин, які могли б бути розцінені як такі, що здатні вплинути на результати дослідження або їх інтерпретацію. Робота виконана відповідно до принципів академічної доброчесності, етичних норм проведення наукових досліджень та вимог редакційної політики щодо запобігання конфлікту інтересів.

### Список використаної літератури

1. Vanthienen, J. *Introduction to BIG Data and Agile Business* / J. Vanthienen, K. De Witte. // *Data Analytics Applications in Education*. – Boca Raton: Auerbach Publications, 2017. – P. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781315154145>
2. Musa, M. H. *Integrating and retrieving learning analytics data from heterogeneous platforms using ontology alignment: Graph-based approach* / M. H. Musa, S. Salam, S. F. A. Fesol, M. S. Shabarudin, J. F. Rusdi, M. A. Norasikin, I. Ahmad // *MethodsX*. – 2025. – Vol. 14. – Article. 103092. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2024.103092>
3. Gruber, T. R. *A translation approach to portable ontology specifications* / T. R. Gruber // *Knowledge Acquisition*. – 1993. – Vol. 5, no. 2. – P. 199–220. DOI: <https://doi.org/10.1006/knac.1993.1008>
4. Guarino, N. *Understanding, building and using ontologies* / N. Guarino // *International Journal of Human-Computer Studies*. – 1997. – Vol. 46, no. 2–3. – P. 293–310. DOI: <https://doi.org/10.1006/ijhc.1996.0091>
5. Uschold, M. *Ontologies: principles, methods and applications* / M. Uschold, M. Gruninger // *The Knowledge Engineering Review*. – 1996. – Vol. 11, no. 2. – P. 93–136. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0269888900007797>
6. Staab S. *Handbook on Ontologies* / ed. by S. Staab, R. Studer. – 2nd ed. – Berlin; Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. – 811 p. – ISBN 978-3-540-70999-2. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-540-92673-3>
7. Futia, G. *On the Integration of Knowledge Graphs into Deep Learning Models for a More Comprehensible AI – Three Challenges for Future Research* / G. Futia, A. Vetro // *Information*. – 2020. – Vol. 11, no. 2. – article. 122. DOI: <https://doi.org/10.3390/info11020122>

8. Mizoguchi, R. *Using Ontological Engineering to Overcome AI-ED Problems: Contribution, Impact and Perspectives* / R. Mizoguchi, J. Bourdeau // *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. – 2016. – Vol. 26, no. 1. – P. 91–106. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40593-015-0077-5>
9. Confalonieri, R. *On the multiple roles of ontologies in explanations for neuro-symbolic AI* / R. Confalonieri, G. Guizzardi // *Neurosymbolic Artificial Intelligence*. – 2025. – Vol. 1, no. 11. – P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3233/NAI-240754>
10. Val-Calvo, M. *OntoGenix: Leveraging Large Language Models for enhanced ontology engineering from datasets* / M. Val-Calvo, M. Egana Aranguren, J. Mulero-Hernandez, G. Almagro-Hernandez, P. Deshmukh, J. A. Bernabe-Díaz, P. Espinoza-Arias, J. L. Sanchez-Fernandez, J. Mueller, J. T. Fernandez-Breis // *Information Processing & Management*. – 2025. – Vol. 62, no. 3. – article. 104042. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2024.104042>
11. Babaei Giglou, H. *LLMs4OL: Large Language Models for Ontology Learning [Text]* / H. Babaei Giglou, J. D'Souza, S. Auer // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – Cham : Springer, 2023. – P. 408–427. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-47240-4\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-031-47240-4_22)
12. Mateiu, P. *Ontology engineering with Large Language Models* / P. Mateiu, A. Groza // *2023 25th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms for Scientific Computing (SYNASC)*. – IEEE, 2023. – P. 226–229. – ISBN 979-8-3503-9412-2. DOI: <https://doi.org/10.1109/SYNASC61333.2023.00038>
13. Gazzawe, F. *Integrating Ontology in Information Science and AI: Evolution, Applications, and Future Directions* / F. Gazzawe // *Knowledge Management Dynamics in a Transformative Environment*. – IntechOpen, 2025. – P 1-11. – DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.1007650>
14. Stryzhak, O. *Decision-making System Based on The Ontology of The Choice Problem [Text]* / O. Stryzhak, V. Horborukov, V. Prychodniuk, O. Franchuk, R. Chepkov // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2021. – Vol. 1828, no. 1. – Article. 012007. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1828/1/012007>
15. Nadutenko, M. *Ontology-Driven Lexicographic Systems* / M. Nadutenko, V. Prykhodniuk, V. Shyrokov, O. Stryzhak // *Lecture Notes in Networks and Systems*. – Cham: Springer, 2022. – P. 204–215. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-98012-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-98012-2_16)

A. Yaremenko, V. Gorborkov

## ARCHITECTURE OF AN ONTOLOGY-DRIVEN SYSTEM FOR ANALYSIS OF INTELLECTUAL AND EDUCATIONAL ACHIEVEMENTS

*The article presents a formally substantiated model of an intelligent system for monitoring and rating the academic achievements of gifted youth, built on a combination of ontological engineering and multi-criteria analysis methods. The work is aimed at solving an important educational problem: the absence in Ukraine of a single, methodologically consistent and scalable system for evaluating the results of intellectual competitions capable of providing an objective comparison of the achievements of students, teachers, and educational institutions. The diversity of protocols, data fragmentation, and heterogeneity of assessment criteria create significant barriers to the formation of an effective state policy to support talented youth and complicate the long-term monitoring of the dynamics of their achievements. The absence of formal mechanisms for integrating the results of intellectual competitions limits the possibilities for their cross-competition comparison and analytical aggregation. To overcome these limitations, a holistic data processing architecture is proposed, covering the full transformation cycle: from structuring and normalizing documents of various formats to building a formal ontology of the subject area and enriching it with an evaluation layer based on multi-criteria analysis. The implementation of this model ensures logical consistency, semantic transparency, and reproducibility of computations by integrating rigorous mathematical operators with adaptive mechanisms of semantic analysis. As a result, within the formed ontologically consistent evaluation*

*space, invariant and correct comparison of results is ensured regardless of the type of competition, year, or evaluation procedures. The results obtained create a methodological and technological basis for building a national system for monitoring and supporting gifted youth and open prospects for the application of ontologically oriented systems to the integration of heterogeneous educational data and multi-criteria evaluation. The proposed model can be used to develop long-term strategies for educational program development and to provide analytical support for state and regional initiatives in the field of gifted education.*

**Keywords:** ontology engineering, formal ontology, semantic normalization, data structuring, multi-criteria analysis, competitive normalization, academic achievement ranking, ontology-driven assessment, educational analytics.

---

Надійшла до редакції: 16.02.2026

Прийнята до друку: 21.04.2026

Опубліковано: 27.04.2026

© 2026 Яременко А. А., Горборуков В. В.

Цей матеріал ліцензовано за умовами CC BY 4.0. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>