

ОНТОЛОГІЧНІ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ТРАНСДИСЦИПЛІНАРНОЇ STEM-ОСВІТИ

Олександр Стрижак¹
Ольга Кузьменко²
Віталій Приходнюк¹
В'ячеслав Горборуков¹

¹ Національний центр «Мала академія наук України», Київ

² Донецький державний університет внутрішніх справ, Кропивницький

У статті досліджуються науково-технологічні засади використання онтологічних платформ і технологій семантичної інтеграції знань у контексті розвитку STEM-освіти. Проведено комплексний аналіз сучасних інструментів побудови онтологій, що забезпечують формалізацію знань, встановлення семантичних взаємозв'язків між навчальними поняттями та інтеграцію освітніх ресурсів різних дисциплін. Обґрунтовано концептуальну модель трансдисциплінарної STEM-онтології, яка включає структуру сутностей, властивостей, відношень і логічних правил, що забезпечує формування міжпредметних зв'язків у освітньому процесі. Запропоновано архітектуру онтологокерованої освітньої системи, що передбачає інтеграцію семантичних моделей знань із аналітичними модулями та когнітивними освітніми сервісами. Розглянуто можливості застосування онтологічних платформ для створення адаптивних освітніх середовищ, у яких здійснюється автоматизований аналіз навчальних даних, виявлення прогалин у знаннях і формування персоналізованих рекомендацій для здобувачів освіти. Розкрито перспективи інтеграції розроблених моделей у цифрові освітні ЕСО-системи, що сприяє розвитку інтелектуальних освітніх сервісів і підвищенню ефективності STEM-підготовки.

Ключові слова: STEM-освіта, онтологія, семантична інтеграція знань, онтологічні платформи.

Постановка проблеми. Освітній простір XXI століття зазнає суттєвих трансформацій, що обумовлені процесами цифровізації суспільства, динамічним розвитком наукових знань і зростаючими вимогами до підготовки фахівців, здатних ефективно працювати в умовах складних технологічних систем. Тому, вагомого значення набуває STEM-освіта, яка передбачає інтеграцію знань із природничих наук, технологій, інженерії та математики, що орієнтована на формування в здобувачів освіти дослідницьких, аналітичних і інженерно-технологічних компетентностей, потрібних для ефективного розв'язання складних наукових і прикладних задач.

Водночас, розвиток STEM-освіти характеризується посиленням ролі трансдисциплінарного підходу, який передбачає інтеграцію знань із різних галузей науки для комплексного пояснення складних явищ і процесів реального світу. Трансдисциплінарність розглядається як прояв рефлексивної міжконтекстної зв'язності об'єктів і процесів різних предметних областей, що ґрунтується на їхніх спільних функціонально інтерпретованих властивостях. У такому підході формується цілісне освітнє середовище, в межах якого відбувається інтеграція різноманітних систем знань і створення стійких семантичних зв'язків між поняттями, технологіями та практичними завданнями, що сприяє розвитку системного мислення, дослідницької творчості та здатності працювати зі складними інформаційними структурами.

Відтак, реалізація трансдисциплінарного підходу в STEM-освіті супроводжується низкою суттєвих труднощів. Передусім це зумовлено значним обсягом наукових знань, що формуються в різних галузях науки та відрізняються специфікою термінологічного апарату, структурою понять і методами дослідження. В більшості освітніх практик навчальний контент традиційно організовується за дисциплінарним принципом, що ускладнює інтеграцію знань і формування міжпредметних зв'язків. Крім того, цифрові освітні ресурси нерідко функціонують у вигляді ізольованих інформаційних систем, які не забезпечують належної узгодженості, взаємодії та семантичної інтеграції навчальних даних. У зв'язку з цим виникає низка науково-методичних суперечностей. Зокрема, між потребою в формуванні трансдисциплінарного освітнього середовища STEM-освіти та відсутністю ефективних інструментів структуризації й інтеграції знань різних предметних галузей; між потребою в використанні інтелектуальних цифрових технологій для організації освітнього процесу та недостатнім

рівнем семантичної формалізації навчального контенту; між зростаючим обсягом освітніх даних та обмеженими можливостями традиційних інформаційних систем щодо їхньої логічної інтеграції та аналізу.

Одним із перспективних напрямів подолання зазначених суперечностей є використання онтологічних платформ, що базуються на технологіях семантичного моделювання знань. Онтологічні підходи дозволяють формалізувати понятійний апарат предметних областей, встановлювати логічні зв'язки між науковими концептами, а також інтегрувати різноманітні освітні ресурси в єдину структуровану систему знань. Завдяки цьому створюються передумови для формування трансдисциплінарних інформаційно-освітніх середовищ, здатних підтримувати інтелектуальні освітні сервіси, адаптивне навчання та когнітивний аналіз освітнього контенту.

Попри зростання інтересу до онтологічних технологій у сфері управління знаннями та інформаційних систем, їхнє використання в контексті трансдисциплінарної STEM-освіти залишається недостатньо дослідженим. Це зумовлює потребу в теоретичному обґрунтуванні та аналізі можливостей застосування онтологічних платформ для побудови сучасного інформаційно-дидактичного середовища STEM-освіти.

Аналіз наукових досліджень і публікацій. Останні наукові публікації демонструють застосування онтологічних технологій у STEM-освіті, з метою структурування знань, забезпечення семантичної узгодженості навчальних ресурсів і розвитку адаптивних освітніх платформ. Дослідницькі роботи останніх років підкреслюють важливість онтологічних моделей для підтримки трансдисциплінарних підходів, оскільки традиційні інформаційні системи не забезпечують належного рівня узгодженості та семантичної сумісності навчальних даних.

Так, науковець Ц. Чітук (C. Chituc) (2025) аналізує роль технологій Semantic Web і онтологій у цифрових освітніх ЕСО-системах, зокрема для реалізації концепцій Education 4.0. Автор наголошує, що онтологічні моделі дозволяють формалізувати понятійний апарат предметних областей і створювати семантичні зв'язки між концептами, що є критично важливим для адаптивного навчання та персоналізації освітніх траєкторій здобувачів освіти (Chituc, 2025). В дослідженні провідних вчених Л. Венг, В. Хан, З. Ксі (L. Wang, W. Han, Z. Xi) (2024) розробили фреймворк E-SWT для інтеграції онтологій, метаданих і логічних правил в освітніх платформах. Дослідження показало, що семантична інтеграція знань дозволяє не лише структурувати освітній контент, але й активувати механізми логічного виведення для підтримки адаптивних навчальних сценаріїв, що сприяє кращому розумінню міжпредметних зв'язків у STEM-середовищі.

У систематичному огляді Н. Рахаю, Р. Фердяна, С. Кусумавардані (N. W. Rahayu, R. Ferdiana, S. S. Kusumawardani) (2022) розглядають застосування онтологій у системах рекомендацій для електронного навчання. Науковці відзначають, що рекомендаційні механізми на основі онтологій можуть значно покращувати релевантність навчальних матеріалів і підтримувати персоналізоване навчання, однак існуючі методи побудови онтологій здебільшого не стандартизовані, що ускладнює їхнє масштабоване застосування у великих цифрових освітніх мережах. Українські вчені В. Шаповалов, О. Стрижак (V. Shapovalov, O. Stryzhak) (2023) обґрунтовують використання онтологій як інструменту трансдисциплінарної інтеграції знань, що дозволяє поєднувати інформацію з різних предметних галузей у єдину когнітивну структуру, підвищуючи когнітивну узгодженість контенту та сприяючи створенню гнучких освітніх програм з урахуванням індивідуальних потреб здобувачів вищої освіти.

В наукових працях Н. Рахаю, Р. Фердяна, С. Кусумавардані (N. W. Rahayu, R. Ferdiana, S. S. Kusumawardani) (2022); В. Шаповалова, О. Стрижака (V. Shapovalov, O. Stryzhak) (2023) окреслено, що онтологічні моделі є ключовою основою когнітивних освітніх сервісів, що дозволяють оцінювати інтелектуальні компетентності та досягнення здобувачів вищої освіти у процесі STEM навчання. Відповідно, у нашому дослідженні враховано підхід до побудови онтологій множинного інтелекту як основу для адаптивних систем підтримки навчання, які враховують поведінкові та когнітивні особливості здобувачів освіти та забезпечують контекстно відповідний підбір навчальних завдань (Стрижак, Ємець, Дейнека, Савченко, 2024).

Отже, більшість наукових досліджень зосереджені на окремих аспектах онтологічного моделювання або обмежених практичних кейсах, що ускладнює розроблення уніфікованих стандартів побудови онтологій для широкого спектра STEM дисциплін. Відповідно, відсутність узгоджених методик оцінювання якості онтологічних моделей і механізмів їхнього автоматичного створення гальмує впровадження таких рішень у великих освітніх платформах. Аналіз цих публікацій показує, що онтологічні платформи є потужним інструментом структуризації, інтеграції та семантичної

інтерпретації знань у STEM-освіті. Водночас відсутність стандартів та універсальних методологій потребує подальших досліджень, спрямованих на формалізацію процедур побудови, перевірки та масштабного застосування онтологій в освітніх ЕСО-системах.

Виклад основного матеріалу. Освітні системи на сучасному етапі розвитку зазнають глибоких трансформацій, що зумовлено процесами цифровізації суспільства, стрімким зростанням обсягів наукових знань і потребою в підготовці фахівців, здатних ефективно діяти в складних технологічних та інформаційних середовищах. У таких умовах актуалізується потреба в розвитку інтегративних підходів до організації освітнього процесу, що виходять за межі традиційної дисциплінарної структури освіти та спрямовані на формування цілісного наукового світогляду здобувачів освіти. Однією з ключових освітніх парадигм, що реалізує подібний підхід, є STEM-освіта, орієнтована на розвиток дослідницьких, аналітичних і практикоорієнтованих компетентностей (Ivanova, Terzieva, 2026).

Важливою особливістю сучасних STEM-середовищ є запит на трансдисциплінарність, яка передбачає об'єднання знань із різних предметних областей для розв'язання складних проблем реального життя. Однак у традиційних освітніх практиках освітній контент здебільшого організовується за окремими дисциплінами, що обмежує міжпредметну інтеграцію та ускладнює встановлення семантичних зв'язків між поняттями різних галузей. Це у свою чергу створює бар'єри на шляху до ефективної побудови трансдисциплінарних освітніх траєкторій і розширює розрив між навчальними цілями та здатністю інформаційних систем їх досягати (Rahayu, Ferdiana, Kusumawardani, 2022).

Суттєвим чинником, який ускладнює інтеграцію знань у цифрових освітніх ЕСО-системах, є розрізненість інформаційних платформ, що функціонують автономно й не забезпечують належної семантичної узгодженості. Це проявляється у відсутності єдиного формалізованого знання, яке могло б лягти в основу адаптивних та персоналізованих сервісів, що підтримують процес навчання. Така ситуація свідчить про потребу розроблення нових методів управління знаннями, інтегрованих моделей репрезентації навчальних концептів та інструментів семантичної інтеграції, які дозволили б ефективно поєднувати різноманітні освітні ресурси (Wang, Han, Xi, 2024).

Вирішення цих проблем можливе за допомогою онтологічних технологій, які надають формальні засоби опису предметних областей, визначення сутностей, їхніх властивостей і логічних зв'язків між ними. Семантичне моделювання знань дозволяє створювати структури, здатні забезпечувати узгодженість і взаємодію між навчальними елементами, інтегрувати різні джерела інформації та формувати когнітивні освітні сервіси (Chituc, 2025).

В сучасних дослідженнях звертають увагу на використання відкритих онтологічних платформ (зокрема, Protégé, TopBraid Composer) для організації семантичного представлення навчальних ресурсів і створення когнітивних сервісів, які дозволяють оцінювати інтелектуальні досягнення здобувачів вищої освіти у контексті STEM-навчання (Стрижак, Ємець, Дейнека, Савченко, 2024). Такі моделі не лише структурують знання, але й створюють передумови для автоматизованого вибору навчальних матеріалів, адаптації контенту до структурних потреб кожного здобувача, а також забезпечують підтримку систем прийняття рішень для викладачів та освітніх менеджерів.

Водночас сучасні публікації виявляють суперечності щодо підходів до побудови та оцінювання онтологій. Зокрема, бракує узгоджених процедур, які дозволяли б масштабувати рішення на рівні повноцінних STEM-програм або освітніх платформ універсального призначення. Недостатня стандартизація метаданих, відсутність загальноприйнятих критеріїв якості онтологічних моделей та обмеженість практичних прикладів застосування свідчать про потребу подальшого розвитку теоретичних і методичних основ онтологічних платформ для освіти.

На основі виявлених тенденцій, суперечностей і практичних потреб у використанні онтологічних технологій у STEM-освіті сформуємо мету, завдання та предмет дослідження, що сприятимуть розробленню ефективних моделей та інструментів для сучасних освітніх ЕСО-систем.

Метою дослідження є теоретичне та методичне обґрунтування використання онтологічних платформ для трансдисциплінарної інтеграції знань, автоматизації їх семантичної інтерпретації та побудови адаптивних освітніх середовищ у межах STEM-освіти.

На основі поставленої мети визначено такі **завдання дослідження**:

1. Провести комплексний аналіз сучасних онтологічних платформ і технологій семантичної інтеграції знань у STEM-освітніх контекстах.

2. Розробити та обґрунтувати концептуальну модель трансдисциплінарної STEM-онтології, яка забезпечує семантичну інтеграцію навчальних матеріалів і формування міжпредметних зв'язків.

3. Дослідити можливості використання онтологічних платформ в контексті STEM-освіти для створення адаптивних когнітивних освітніх сервісів.

4. Визначити перспективи впровадження розроблених моделей у цифрові освітні екосистеми та академічні середовища.

У дослідженні застосовувалися такі **методи дослідження**: аналітичний огляд літератури (наукові бази даних Scopus, Web of Science, ERIC) для систематизації сучасних підходів; методи семантичного онтологічного моделювання для побудови трансдисциплінарної структури знань; порівняльний аналіз інформаційних та освітніх платформ для виявлення функціональних можливостей; системний аналіз та синтез наукових концепцій для формулювання експериментальних структур та логічних зв'язків.

Об'єктом дослідження є процеси організації знань та інтеграції навчальних ресурсів у STEM-освітніх середовищах.

Предметом дослідження є онтологічні платформи, моделі та технології, що забезпечують семантичну структурування знань, міжпредметні зв'язки і адаптивність освітнього контенту.

Цифровізація освіти та зростання обсягів знань у STEM-напрямах створюють потребу в інтегрованих освітніх середовищах, які забезпечують узгодження інформації з різних дисциплін. *Онтологічні платформи* виступають ключовим інструментом для семантичної організації знань, дозволяючи формалізувати поняття, атрибути та взаємозв'язки між ними, а також автоматизувати процеси адаптації контенту й оцінки навчальних досягнень. Серед провідних платформ, які активно використовуються у STEM-освіті, на нашу думку, варто виділити наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики онтологічних платформ

Платформа	Основне призначення	Ключові функціональні можливості	Переваги для STEM-освіти	Обмеження
Protégé	Розроблення та редагування онтологій	підтримка OWL, RDF; візуалізація ієрархій; плагіни для reasoning	зручна побудова семантичних структур навчальних дисциплін; підтримка логічного виведення	потребує додаткової інтеграції з освітніми системами
WebProtégé	Онлайн-редагування та колективна робота з онтологіями	веб-інтерфейс; спільна розробка моделей; контроль версій	можливість командної роботи викладачів над створенням навчальних онтологій	залежність від веб-середовища
TopBraid	Управління семантичними даними та знаннями	підтримка SPARQL; семантичні графи; інтеграція з базами даних	ефективна інтеграція різномірних освітніх ресурсів	складність налаштування
OntoStudio	Розроблення корпоративних онтологій	моделювання складних знань; підтримка reasoning; інтеграція з інформаційними системами	можливість створення комплексних семантичних моделей освітніх екосистем	комерційна ліцензія

Дані платформи дозволяють вирішувати ключові проблеми STEM-освіти, включно з узгодженням розрізнених ресурсів, формуванням міжпредметних зв'язків та автоматизацією аналізу знань. Такий підхід створює передумови для ефективного впровадження адаптивних освітніх систем.

Перехід від аналізу технологій до побудови моделі є природним, адже для впровадження адаптивних освітніх сервісів потрібна чітка семантична структура. Концептуальна STEM-онтологія складається з чотирьох рівнів:

1. **Сутності (Concepts)** – основні елементи онтологічної моделі та відображають ключові поняття STEM дисциплін. До них можуть належати такі концепти, як «алгоритм», «математична функція», «електричний струм», «механічна система», «датчик», «робототехнічний модуль» тощо. Сутності формують концептуальне ядро онтології, на основі якого вибудовується структура знань і встановлюються зв'язки між різними науковими галузями.

2. **Властивості (Properties)** – описують характеристики сутностей та уточнюють їхні функціональні або структурні особливості. Зокрема, для сутності «алгоритм» такими характеристиками можуть бути обчислювальна складність, тип алгоритмічної структури або сфера застосування. Для сутності «механічна система» властивостями можуть виступати маса, матеріал, принцип дії або тип механізму. Наявність властивостей дозволяє детальніше формалізувати поняття та забезпечити їх коректне використання у межах онтологічної моделі.

3. **Взаємозв'язки (Relations)** – визначають семантичні відношення між сутностями та відображають логічні, функціональні або структурні залежності між поняттями різних дисциплін. Саме система таких зв'язків забезпечує інтеграцію знань і формування міжпредметних залежностей. Найбільш поширеними типами відношень є: «є різновидом» (is-a); «частина – ціле» (part-of); «використовується для» (used-for); «визначається через» (defined-by); «взаємодіє з» (interacts-with).

Для міждисциплінарних взаємозв'язків у STEM-онтології розглянемо приклад їхньої реалізації (таблиця 2).

Таблиця 2 – Приклади семантичних зв'язків між STEM дисциплінами

Дисципліна	Ключове поняття	Пов'язана дисципліна	Тип зв'язку	Пояснення
Математика	Функція	Фізика	використовується для	математичні функції застосовуються для опису фізичних процесів
Фізика	Електричний струм	Інженерія	основа для	використовується при проектуванні електронних систем
Інформатика	Алгоритм	Робототехніка	керує	алгоритми забезпечують управління роботизованими системами
Інженерія	Механічна система	Фізика	базується на	принципи механіки визначають роботу технічних систем

4. **Правила (Rules)** – є механізмом логічного виведення знань та дозволяють автоматично отримувати нову інформацію на основі вже наявних даних. Використання правил забезпечує можливість інтелектуального аналізу навчального контенту та підтримки освітніх рішень. Наприклад, якщо деяка тема у фізиці базується на математичній концепції, система може автоматично визначити необхідність попереднього засвоєння відповідного математичного матеріалу (рисунок 1).



Рисунок 1. Структурна схема концептуальної STEM-онтології

Отже, застосування правил дозволяє реалізувати механізми адаптивного навчання, коли освітня система аналізує результати навчання здобувачів вищої освіти і формує рекомендації щодо подальшого опрацювання навчальних матеріалів. Застосування такої моделі дозволяє не лише інтегрувати навчальні ресурси з різних дисциплін у єдину семантичну мережу, але й автоматично формувати міжпредметні зв'язки, що сприяє трансдисциплінарному навчанню. Впровадження онтологій відкриває нові можливості для когнітивних освітніх сервісів, здатних: адаптувати

навчальний контент під індивідуальні потреби здобувачів вищої освіти; автоматично оцінювати рівень знань та визначати прогалини; формувати персоналізовані траєкторії навчання; надавати викладачам аналітичні звіти для прийняття рішень.

В межах нашого дослідження для ілюстрації можливостей даного підходу розглянуто технологію (Приходнюк, Горборуков, Довга, 2024), що передбачає створення програмного інструменту для формування освітніх нарративів, який базується на переосмисленні способів представлення змісту освітніх програм. Його сутність полягає у переході від традиційного описового (лексикографічного) подання навчального матеріалу до онтологічного моделювання, що дозволяє системно структурувати знання та відобразити семантичні взаємозв'язки між ключовими поняттями.

В більшості випадків державні освітні програми мають переважно описову структуру, в якій зміст навчання представлений у вигляді переліку термінів, понять і тематичних блоків, що підлягають опрацюванню здобувачами освіти. Така форма подання інформації може бути трансформована в формалізовану модель знань за допомогою процедур онтологічно орієнтованої рекурсивної редукції. Застосування цього підходу передбачає поетапне виокремлення змістових елементів навчального матеріалу, встановлення ієрархічних зв'язків між ними та побудову цілісної семантичної структури. Додатково ефективність цього процесу може підвищуватися завдяки використанню інструментів штучного інтелекту, які забезпечують автоматизований аналіз текстових фрагментів, ідентифікацію ключових концептів та виявлення логічних взаємозв'язків у структурі навчального змісту.

Онтологічна модель освітнього нарративу може бути представлена у вигляді таксономічно організованої структури, в межах якої основні терміни виступають окремими об'єктами, впорядкованими в ієрархічну систему відповідно до тематичних розділів. Такий спосіб організації забезпечує структурованість, логічну послідовність і змістову цілісність подання навчального матеріалу. Кожний розділ об'єднує групи взаємопов'язаних понять, що репрезентують окремі фрагменти або тематичні сегменти знань. При цьому між термінами встановлюються різні типи семантичних взаємозв'язків. Вони можуть варіюватися від базових відношень типу «частина–ціле» або «належить до», до більш складних зв'язків, які відображають освітні вимоги та результати навчання, зокрема опанування понять, володіння відповідною термінологією чи здатність застосовувати її у процесі навчальної діяльності (Приходнюк, Горборуков, Довга, 2024).

Як ілюстрацію такого підходу наведено порівняльний аналіз державної галузевої навчальної програми та спеціалізованої позашкільної програми (рисунок 2). Спеціалізована позашкільна програма, маючи більш вузьку тематичну спрямованість, може бути співвіднесена з окремими змістовими компонентами загальноосвітньої програми. Подібне зіставлення створює можливості для узгодження навчального змісту між різними курсами або дисциплінами та сприяє формуванню цілісної освітньої траєкторії.

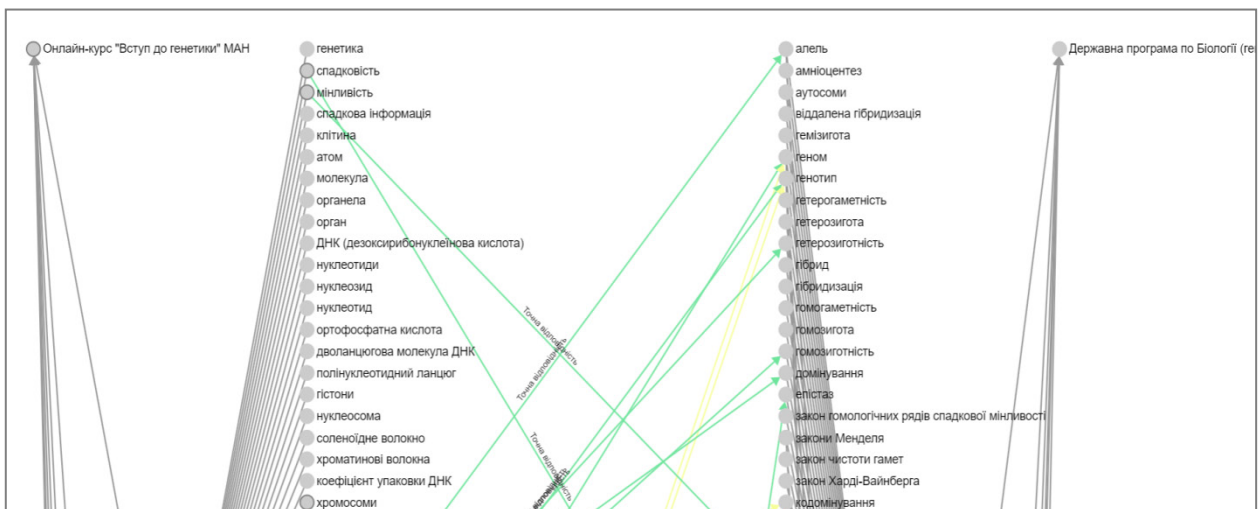


Рисунок 2. Встановлення відповідностей між елементами освітніх нарративів

Важливим етапом формування інтегрованого освітнього нарративу є встановлення семантичних відповідностей між структурними елементами різних онтологічних моделей. Саме цей процес забезпечує поєднання знань, представлених у різних освітніх програмах, у єдину логічно узгоджену систему. В межах такого узгодження можуть бути визначені два основні типи відповідностей:

- пряма відповідність – між ідентичними або синонімічними термінами;
- часткова відповідність – між поняттями, які перебувають у відношенні включення або належності (клас–підклас).

Визначення таких відповідностей у ручному режимі є доволі складним завданням, що зумовлено різноманіттям мовних формулювань, варіативністю термінології та наявністю багатозначних понять. За цих умов доцільним є використання сучасних систем ШІ, які здатні здійснювати контекстний аналіз тексту, ідентифікувати синонімічні конструкції, узагальнення та смислові відтінки термінів, а також виявляти інші закономірності мовного представлення знань. Завдяки таким можливостям технології ШІ можуть ефективно застосовуватися для автоматизації процесу встановлення семантичних відповідностей між елементами різних онтологічних структур.

Встановлені відповідності можуть бути інтегровані до структури онтології освітнього нарративу та представлені у візуалізованому вигляді за допомогою інструментальних засобів КІТ «ПОЛІЕДР». Функціональні можливості цього програмного комплексу передбачають одночасне відображення кількох онтологічних структур (рисунок 2), що створює умови для наочного аналізу взаємних відповідностей і виявлення структурних зв'язків між їхніми елементами.

Інструментальні засоби КІТ також забезпечують глибший аналіз сформованої онтологічної структури: користувач отримує можливість досліджувати взаємозв'язки між поняттями, оцінювати рівень відповідності різних навчальних програм, перевіряти їх змістову узгодженість та виявляти потенційне дублювання матеріалу (рисунок 3). Такий функціонал створює надійну основу для об'єктивного порівняння навчальних курсів, розробки інтегрованих освітніх програм та оптимізації навчального контенту.

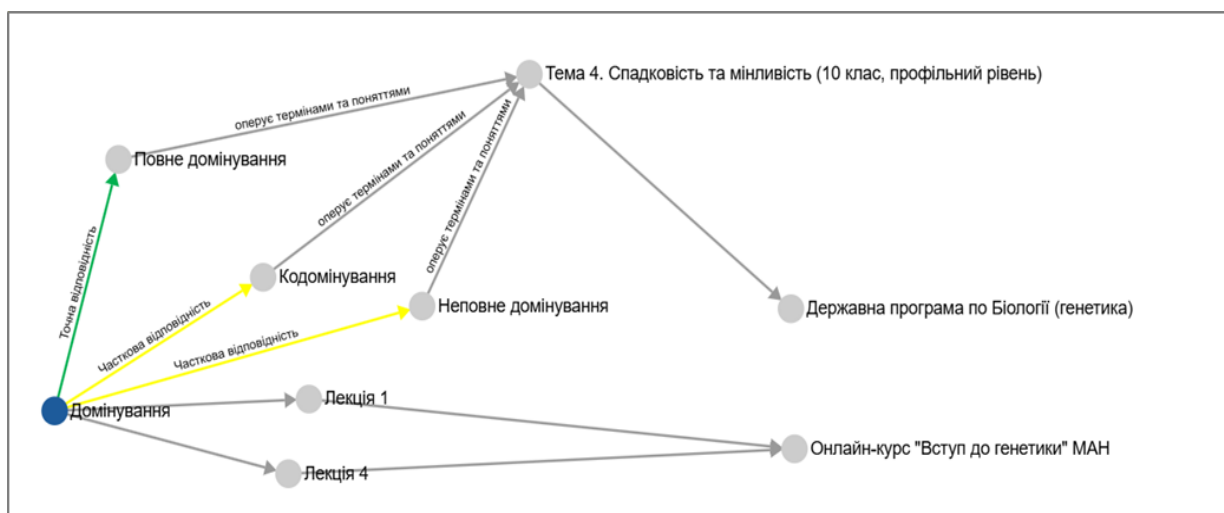


Рисунок 3. Приклад позашкільної навчальної програми (генетика)

Отже, використання онтологокерованих інструментів забезпечує прозору та структуровану організацію навчального контенту, підвищує точність порівняння програм та сприяє ефективному прийняттю рішень у процесі освітнього планування. Застосування таких технологій створює передумови для інтеграції знань і формування цілісних освітніх нарративів, що відповідають вимогам сучасної STEM-освіти.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У межах проведеного дослідження реалізовано основні завдання, що стосуються розробки онтологокерованої системи для підтримки трансдисциплінарної STEM-освіти та інтеграції навчальних ресурсів, а саме:

1. *Створено концептуальну модель трансдисциплінарної STEM-онтології*, яка формалізує ключові поняття та міжпредметні зв'язки в освітньому процесі. Модель включає сутності дисциплін (математика, фізика, інженерія, інформатика), їхні властивості, взаємозв'язки та правила логічного виведення знань. Така структура дозволяє інтегрувати розрізнені навчальні матеріали, забезпечує семантичну сумісність даних і слугує основою для створення адаптивних когнітивних освітніх сервісів.

2. *Розроблено онтологокеровану систему для автоматизованого аналізу навчальних ресурсів та компетентностей здобувачів вищої освіти*, що дозволяє перетворювати неструктуровані освітні дані в структуровані семантичні представлення. Система підтримує оцінювання міжпредметних

зв'язків, виявлення прогалин у знаннях і формування рекомендацій для персоналізації освітнього процесу. Крім того, вона забезпечує аналітичну візуалізацію навчальних траєкторій і прогресу студентів.

3. *Оцінено потенціал впровадження системи в цифрові освітні екосистеми, що демонструє можливість ефективної інтеграції STEM-онтологій з LMS, відкритими онлайн-курсами та іншими навчальними платформами. Результати показують, що використання онтологій підвищує узгодженість навчальних матеріалів, сприяє формуванню міжпредметних компетентностей і забезпечує більш точне оцінювання інтелектуальних досягнень студентів.*

Подальший розвиток досліджень у цьому напрямі доцільно спрямувати на поглиблення теоретико-методологічних і технологічних засад використання онтологічних моделей у STEM-освіті. Насамперед перспективним є розширення структури розробленої трансдисциплінарної STEM-онтології шляхом деталізації її семантичних рівнів, включення нових класів сутностей, що відображають специфіку різних галузей знань, а також урахування особливостей функціонування освітніх систем на різних рівнях підготовки – від середньої до вищої та післядипломної освіти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Приходнюк, В. В., Горборуков, В. В., Довга, М. І. (2024). Автоматизована побудова освітніх нарративів як засіб інформаційно-аналітичного забезпечення позакласної освіти. *Наукові записки Малої академії наук України*, 2(30), 48–57. <https://doi.org/10.51707/2618-0529-2024-30-05>.
- Стрижак, О. Є., Ємець, В. В., Дейнека, І. В., & Савченко, Я. В. (2024). Науково-технологічні засади створення та використання когнітивних сервісів для оцінювання інтелектуальних досягнень суб'єктів навчання. *Академічні студії. Серія «Педагогіка»*, 4, 137–149.
- Chituc, C. M. (2025). Exploring the role of semantic web technologies and ontologies in the digital education ecosystems for Education 4.0. *IEEE 12th International Conference on E-Learning in Industrial Electronics (ICELIE)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ICELIE64733.2025.11244746>.
- Ivanova, T., & Terzieva, V. (2026). Ontology learning in educational systems. *Information*, 17(2), Article 147. <https://doi.org/10.3390/info17020147>.
- Rahayu, N. W., Ferdiana, R., & Kusumawardani, S. S. (2022). A systematic review of ontology use in e-learning recommender systems. *Education and Information Technologies*, 27(4), 5039–5056. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10798-9>.
- Shapovalov, V., & Stryzhak, O. (2023). Transdisciplinary integration of knowledge in the environment of a virtual STEM center. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 26, 95–108. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.26.095>.
- Wang, L., Han, W., & Xi, Z. (2024). Exploring semantic web tools in education to boost learning and improve organizational efficiency. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, 21(1), 45–60. <https://doi.org/10.4018/IJSWIS.370315> URL: <https://www.igi-global.com/gateway/article/370315>.

REFERENCES

- Chituc, C. M. (2025). Exploring the role of semantic web technologies and ontologies in the digital education ecosystems for Education 4.0. *IEEE 12th International Conference on E-Learning in Industrial Electronics (ICELIE)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ICELIE64733.2025.11244746>.
- Ivanova, T., & Terzieva, V. (2026). Ontology learning in educational systems. *Information*, 17(2), Article 147. <https://doi.org/10.3390/info17020147>.
- Prykhodniuk, V. V., Horborukov, V. V., Dovha, M. I. (2024). Avtomatyzovana pobudova osvityv yak zasib informatsiino-analitychnoho zabezpechennia pozaklasnoi osvity [Automated construction of educational narratives as a means of information and analytical support for extracurricular education]. *Naukovi zapysky Maloi akademii nauk Ukrainy*, 2(30), 48–57. <https://doi.org/10.51707/2618-0529-2024-30-05>. [in Ukrainian]
- Rahayu, N. W., Ferdiana, R., & Kusumawardani, S. S. (2022). A systematic review of ontology use in e-learning recommender systems. *Education and Information Technologies*, 27(4), 5039–5056. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10798-9>.
- Shapovalov, V., & Stryzhak, O. (2023). Transdisciplinary integration of knowledge in the environment of a virtual STEM center. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 26, 95–108. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2023.26.095>.
- Stryzhak, O. Ye., Yemets, V. V., Deineka, I. V., & Savchenko, Ya. V. (2024). Naukovo-tekhnologichni zasady stvorennia ta vykorystannia kohnityvnykh servisiv dlia otsiniuvannia intelektualnykh dosiahnen

subiektiv navchannia [Scientific and technological principles of creating and using cognitive services for assessing the intellectual achievements of subjects of study]. *Akademichni studii. Seriia «Pedahohika»*, 4, 137–149. [in Ukrainian].

Wang, L., Han, W., & Xi, Z. (2024). Exploring semantic web tools in education to boost learning and improve organizational efficiency. *International Journal on Semantic Web and Information Systems*, 21(1), 45–60. <https://doi.org/10.4018/IJSWIS.370315>. URL: <https://www.igi-global.com/gateway/article/370315>.

Дата надходження: 16.02.2026

Дата прийняття до друку після рецензування: 18.03.2026

Дата публікації: 24.04.2026

Олександр Стрижак – д-р тех. наук, професор, заступник директора з наукової роботи Національного центру «Мала академія наук України», Київ, e-mail: sae953@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4954-3650>.

Ольга Кузьменко – д-р пед. наук, професор, учений секретар секретаріату Вченої ради Донецького державного університету внутрішніх справ, Кропивницький; провідний науковий співробітник відділу інформаційно-дидактичного моделювання Національного центру «Мала академія наук України», Київ, e-mail: Kuzimenko12@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4514-3032>.

Віталій Приходнюк – канд. тех. наук, старший дослідник, завідувач відділу створення і використання інтелектуальних мережних інструментів Національного центру «Мала академія наук України», Київ, e-mail: tangens91@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2108-7091>.

В'ячеслав Горборуков – канд. тех. наук, старший дослідник, науковий співробітник відділу створення і використання інтелектуальних мережних інструментів Національного центру «Мала академія наук України», Київ, e-mail: slavon07@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2758-7724>.

ONTOLOGICAL PLATFORMS FOR TRANSDISCIPLINARY STEM EDUCATION

Oleksandr Stryzhak – D. Sc. in Engineering, Professor, Deputy Director for Scientific Work, NC “Junior Academy of Sciences of Ukraine”, Kyiv, Email: sae953@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4954-3650>.

Olha Kuzmenko – Doctor of Pedagogy, Professor, Academic Secretary of the Secretariat of the Academic Council of Donetsk State University of Internal Affairs, Kropyvnytskyi; Leading Researcher at the Department of Information and Didactic Modeling of the National Center «Junior Academy of Sciences of Ukraine», Kyiv, Email: Kuzimenko12@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4514-3032>.

Vitalii Prykhodniuk – PhD in Engineering, Senior Researcher, Head of the Department of Creation and Usage of Intellectual Network Tools, National Center «Junior Academy of Sciences of Ukraine», Kyiv, Email: tangens91@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2108-7091>.

Viacheslav Horborukov – PhD in Engineering, Senior Researcher, Researcher at the Department of Creation and Use of Intelligent Network Tools of the National Center «Junior Academy of Sciences of Ukraine», Kyiv, Email: slavon07@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2758-7724>.

The article explores the scientific and technological foundations for the use of ontological platforms and semantic knowledge integration technologies in the context of STEM education development. A comprehensive analysis of modern ontology construction tools that ensure the formalization of knowledge, the establishment of semantic relationships between educational concepts, and the integration of educational resources from different disciplines is conducted. A conceptual model of transdisciplinary STEM ontology is substantiated, which includes the structure of entities, properties, relations, and logical rules and ensures the formation of interdisciplinary connections in the educational process. The architecture of an ontology-driven educational system is proposed, which provides for the integration of semantic knowledge models with analytical modules and cognitive educational services. The possibilities of using ontological platforms to create adaptive educational environments in which automated analysis of educational data, identification of knowledge gaps, and formation of personalized recommendations for students are carried out are considered. The prospects for integrating the developed models into digital educational ECO-systems are revealed, which contributes to the development of intelligent educational services and increases the effectiveness of STEM training.

Keywords: STEM education, ontology, semantic integration of knowledge, ontological platforms.