

В. Б. Дем'яненко,
О. С. Кузьменко,
І. М. Савченко

ОНТОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД У ПРОЄКТУВАННІ ОСВІТНІХ ПРОГРАМ: КОНЦЕПЦІЯ, АРХІТЕКТУРА ТА ІНТЕГРАЦІЯ STEM

Анотація. Стрімкий розвиток цифрових технологій і трансформаційні процеси в освіті зумовлюють потребу створення сучасних моделей організації освітніх програм. Зокрема, у контексті впровадження STEM-напрямів важливо враховувати міждисциплінарність, інтегрованість і можливість персоналізації навчання. Традиційні схеми, що передбачають лінійну подачу знань, дедалі менше відповідають цим вимогам, адже вони не відображають складності взаємозв'язків між предметами та не забезпечують достатньої гнучкості освітнього процесу. Перспективним напрямом розв'язання означених проблем стає онтологічний підхід — опис освітнього змісту через систему формалізованих сутностей і відношень, що дає змогу створювати логічно цілісні, прозорі та машиночитабельні моделі програм. Таке структурування усуває дублювання тем, підтримує логічну послідовність дисциплін, сприяє інтеграції теорії з практикою та формуванню компетентностей, актуальних для STEM-галузей. Архітектура онтологічної моделі охоплює ключові елементи освітнього процесу — програму, дисципліну, модуль, тему, поняття, навчальний матеріал, компетентність, результат і засоби контролю. Взаємозв'язки між ними можуть бути ієрархічними, семантичними чи причинно-наслідковими, що забезпечує відображення як внутрішньої структури знань, так і їх міждисциплінарних перетинів. У поєднанні з принципами STEM це відкриває можливості для побудови гнучких освітніх траєкторій, де природничо-математичні знання інтегруються з інженерними практиками та цифровим моделюванням. Наукова новизна дослідження полягає в обґрунтуванні онтологізації як інструменту системної модернізації освітніх програм у школі. Практична значущість визначається потенціалом застосування отриманих результатів у створенні цифрових освітніх платформ, розвитку персоналізованого навчання, розробленні інтелектуальних аналітичних систем для моніторингу якості знань і вдосконалення управлінських процесів у сфері загальної середньої освіти.

Ключові слова: онтологічний підхід, проєктування, освітні програми, концепція, STEM.

Постановка проблеми. Сучасна система загальної середньої освіти перебуває у стані активної цифрової трансформації, що потребує якісно нових підходів до структурування навчального змісту та забезпечення його логічної узгодженості. Одним із найперспективніших рішень є використання онтологічного підходу, що надає змогу розглядати освітню

програму як формалізовану модель знань із чітко визначеними сутностями, зв'язками та ієрархіями. Проте наявні освітні стандарти й методики здебільшого обмежуються декларативним окресленням компетентностей та результатів навчання без належної формалізації їхніх зв'язків, що ускладнює персоналізацію освітніх траєкторій, інтеграцію STEM-компонентів та впровадження інтелектуальних освітніх систем.

© Дем'яненко В. Б., Кузьменко О. С., Савченко І. М.

У процесі дослідження нами виявлено такі *суперечності*:

- між потребою у структурованому, машиночитабельному форматі опису освітніх програм та переважно текстовим, фрагментарним представленням змісту в чинних документах;
- між орієнтацією стандартів на компетентнісний і діяльнісний підходи та недостатньою інструментальною базою для їх практичної реалізації;
- між необхідністю інтеграції цифрових освітніх технологій (онлайн-платформи, віртуальні лабораторії, штучний інтелект та ін.) та відсутністю єдиної методології їх гармонійного включення до структури програм;
- між запитом на індивідуалізацію й адаптивність навчання та домінуванням уніфікованих, малогнучких навчальних планів.

Метою дослідження є наукове обґрунтування та розроблення концептуальних засад онтологізації освітніх програм у контексті впровадження STEM-освіти й цифрових технологій для забезпечення прозорості, узгодженості та персоналізації освітнього процесу.

Об'єктом дослідження є процес проектування, структурування та реалізації освітнього змісту в системі загальної середньої освіти.

Предметом дослідження є онтологічний підхід до структурування та реалізації освітніх програм як інструмент інтеграції STEM-компонентів, цифрових технологій і персоналізації навчання.

З урахуванням мети нами окреслено такі **завдання**:

- 1) проаналізувати сучасні стандарти й моделі опису освітніх програм у контексті їх відповідності принципам онтологізації;
- 2) визначити ключові сутності, відношення та архітектуру онтологічної моделі освітньої програми;
- 3) обґрунтувати методичні підходи до впровадження онтологізації у навчальний процес із урахуванням інтеграції STEM-дисциплін;
- 4) визначити потенційні переваги та ризики застосування онтологічного підходу для учнів, учителів і закладів освіти;
- 5) сформулювати практичні рекомендації щодо використання онтологічних моделей у цифровому освітньому середовищі.

Аналіз наукових досліджень. Онтологічний підхід у освіті є ефективним інструментом

формалізації знань та структуризації освітніх даних, що дає змогу забезпечити семантичну узгодженість і підвищити гнучкість управління навчальними програмами. Такі підходи сприяють інтеграції гетерогенних освітніх ресурсів, оптимізації процесів моніторингу та підтримці інноваційних технологій у навчанні [1].

EDUKG (Educational Knowledge Graph), запропонований Б. Чжао, Ц. Сунь, Б. Сюй та ін., є знанневим освітнім графом для K-12 освіти, що включає понад 600 класів і 1300 властивостей. Він допомагає створювати єдину семантичну мережу навчальних ресурсів та інтегрувати їх у систему управління освітніми даними, що підвищує ефективність контролю за досягненням результатів навчання [1]. Подібні підходи доводять практичну значущість онтологій у формуванні інтегрованих навчальних програм.

У роботі С. Гілані, С. Квінн, Дж. Мак-Артур та ін. [2] онтології розглядаються у контексті складних систем моніторингу, зокрема Smart Building Commissioning. Хоча дослідження зосереджено на будівельній сфері, принципи формалізації складних систем можуть бути адаптовані для опису освітніх програм, що включають численні компоненти та взаємозв'язки. Це підтверджує потенціал онтологій у забезпеченні узгодженості та аналітичної підтримки освітнього процесу.

Концептуальні основи розробки онтологій детально представлені у Unified Foundational Ontology (UFO), що пропонує уніфікований каркас для опису об'єктів, властивостей і процесів у складних інформаційних системах [3]. Використання UFO у контексті освітніх програм дає змогу забезпечити стандартизацію даних і сумісність різних інформаційних підсистем.

Фреймворк IDont, запропонований С. Чімалаконда та В. Нурі [4], демонструє високу модульність та адаптивність онтологічних моделей для навчальних систем, що охоплюють цілі, процеси, контент та оцінювання. Це створює можливості для персоналізації освітніх траєкторій та інтеграції різних дисциплін у межах STEM-напрямів.

У роботі «Онтологічні принципи формалізації джерел інформації в електронних освітніх середовищах» [5] аналізуються методики класифікації знань, розробки комп'ютерних онтологій та застосування онтологічних графів для структурування трансконцептуальних інформаційних ресурсів. Обґрунтовано значущість онтологіч-

ного підходу для забезпечення семантичної узгодженості й інтеграції різнорідних освітніх матеріалів у цифрових середовищах, що сприяє формуванню адаптивних і персоналізованих освітніх траєкторій, здатних урахувувати індивідуальні особливості та потреби учнів і студентів.

Систематичні огляди засвідчують, що онтології активно застосовуються для інтеграції та автоматизації освітніх процесів, що підвищує ефективність моніторингу і управління ресурсами [6; 7]. Моделі формалізації та когнітивного моделювання, представлені у цих дослідженнях, слугують основою для побудови інтерактивних онтологічних систем у закладах загальної середньої освіти.

Тож аналіз наукових джерел підтверджує, що онтологічний підхід створює необхідну методологічну основу для формалізації, інтеграції та аналітичної підтримки освітніх програм. Його застосування дає змогу підвищити якість навчальних програм, забезпечити персоналізацію навчального процесу та ефективну взаємодію із цифровими освітніми платформами [1; 4; 6].

Виклад основного матеріалу. Онтологізація освітніх програм полягає у формалізації структури навчальної програми як системи взаємопов'язаних елементів. Основні компоненти освітньої програми включають цілі, дисципліни, теми, поняття, результати навчання, компетентності та методи оцінювання. Ключова ідея полягає у створенні єдиного, зрозумілого та машиночитабельного формату опису програми, що дає можливість:

- усунути дублювання навчального матеріалу та зменшити перевантаження учнів;
- забезпечити логічну послідовність у вивченні дисциплін, зокрема у STEM-напрямах;
- чітко відобразити зв'язки між навчальними компонентами, результатами навчання та компетентностями;
- створити умови для персоналізації освітніх траєкторій;
- оптимізувати процес аналізу, порівняння та оновлення програм;
- інтегрувати сучасні цифрові технології, зокрема штучний інтелект, цифрові платформи та віртуальні лабораторії.

Відповідно, чинні стандарти повної загальної середньої освіти розроблені з урахуванням діяльнісного, компетентнісного підходів та орієнтовані на результати навчання. Ключо-

вими елементами, що відображають онтологічну структуру, є:

- *навчальні компоненти (дисципліни / курси):* зміст дисципліни встановлює зв'язок між курсом і компетентностями та спрямований на досягнення конкретних результатів;
- *результати навчання:* чітко визначають знання, уміння та навички, які учень повинен продемонструвати; є вузловими точками онтологічної моделі;
- *компетентності:* інтегральні, загальні та спеціальні компетентності формують вершину ієрархії програми;
- *матриця відповідності:* демонструє, які навчальні компоненти забезпечують досягнення результатів і є спрощеним відображенням онтології програми.

Отже, стандарти освіти спонукають розробників програм мислити за онтологічними принципами: визначати сутності, встановлювати ієрархічні та асоціативні зв'язки і будувати зміст навчання як логічну систему, що забезпечує якість та прозорість освіти.

Онтологізація освітніх програм передбачає створення чіткої структури, де всі елементи програми (дисципліни, модулі, поняття, компетентності, результати навчання) взаємопов'язані та організовані ієрархічно. Основні аспекти онтологізації включають мету, конкретні цілі, сутності та очікувані результати, що систематизовано у таблиці 1.

Таким чином, онтологізація освітніх програм забезпечує структуроване та прозоре подання навчального контенту, що сприяє логічній організації дисциплін, модулів і компетентностей. Упровадження онтологічного підходу створює основу для персоналізації навчальних траєкторій, інтеграції STEM-дисциплін та ефективного використання цифрових освітніх платформ.

Архітектура онтологічної моделі освітньої програми. Онтологічний підхід у сфері освіти є фундаментальним інструментом для системного подання знань, що забезпечує структурування навчального контенту, логічну взаємозв'язність компонентів і можливість автоматизованого аналізу та управління освітнім процесом. Архітектура онтологічної моделі освітньої програми виступає ядром цього підходу, оскільки визначає ключові сутності, їхні характеристики та взаємозв'язки, що дає змогу створити гнучку, адаптивну та машиночитабельну струк-

Таблиця 1

Ключові аспекти онтологізації освітніх програм

Аспект	Пояснення	Приклад реалізації	Очікуваний ефект
Мета	Створення структурованої, формалізованої моделі освітньої програми	Формалізація дисциплін, модулів, тем, компетентностей	Підвищення прозорості, гнучкості та адаптивності навчального процесу
Прозорість	Візуалізація зв'язків між поняттями, темами, компетентностями та результатами навчання	Матриця відповідності: дисципліни → результати навчання → компетентності	Легкість аналізу та коригування програми, зменшення дублювання
Персоналізація	Можливість створення індивідуальних освітніх траєкторій	Вибір модулів або проєктних завдань відповідно до інтересів та рівня учня	Підвищення мотивації та ефективності навчання
Автоматизація управління контентом	Стандартизований формат для пошуку, повторного використання та оновлення матеріалів	Цифрові сховища навчальних ресурсів, інтеграція з LMS	Скорочення часу на підготовку та адаптацію програм
Аналітика	Надання інструментів для оцінки повноти, складності та узгодженості освітніх програм	Звітність за результатами навчання, оцінка інтеграції STEM	Підвищення якості та релевантності програм
Інтероперабельність	Сумісність та обмін даними між різними системами	Підключення до Moodle, Google Classroom, Освітнього кластеру МАН	Об'єднання ресурсів, інтеграція між закладами

туру навчального матеріалу. Розглянемо зазначені нижче класи.

Навчальна програма — є коренем онтологічної моделі та об'єднує всі інші елементи структури. Вона задає загальну мету освіти, формує логіку викладання дисциплін та модулів, а також визначає кінцеві результати навчання. У контексті STEM-освіти навчальна програма забезпечує інтеграцію між природничими, технічними, математичними та інженерними дисциплінами, що дає можливість сформулювати міждисциплінарні компетентності учнів.

1. *Дисципліна* є конкретним навчальним курсом у межах програми та носієм систематизованих знань із певної предметної галузі. Кожна дисципліна має свою структуру, включаючи модулі, теми, ключові поняття та компетентності. Для прикладу, дисципліна «Фізика» може містити модулі «Механіка», «Електрика та магнетизм», «Оптика», кожен з яких містить конкретні поняття, STEM-зв'язки та практичні завдання, що дають змогу інтегрувати робототехніку, моделювання процесів та використання цифрових лабораторій.

2. *Поняття / концепт (термін)* є фундаментальною одиницею знань і формує семантичну

основу дисципліни. Кожен концепт описує певну ідею, принцип або факт, який необхідно засвоїти учню. Наприклад, у фізиці поняття «Перший закон Ньютона» або «імпульс» слугують базовими фундаментальними блоками знань. У лінгвістичних дисциплінах поняття можуть включати граматичні терміни, такі як «синтаксис речення» або «частина мови».

3. *Тема / модуль* є структурною одиницею дисципліни та об'єднує кілька пов'язаних між собою понять. Наприклад, модуль «Механіка та рух у природі» містить поняття «рівномірний та нерівномірний рух», «закони Ньютона», «імпульс». Кожен модуль має практичні завдання, інтегровані зі STEM-напрямами, наприклад, моделювання руху тіл за допомогою робототехнічних комплектів або цифрових симуляторів. Тож модуль виступає ключовим вузлом онтології, через який забезпечується зв'язок між поняттями, результатами навчання та компетентностями.

4. *Навчальний матеріал*. Навчальні ресурси охоплюють лекції, відео, статті, тести, віртуальні лабораторії та інші цифрові матеріали. Ці ресурси є носіями знань, які підтримують процес досягнення визначених результатів навчання. Завдяки онтологізації навчальні матеріали

пов'язані з конкретними модулями, поняттями та компетентностями, що дає змогу автоматизувати їх пошук, повторне використання та адаптацію під індивідуальні освітні траєкторії учнів.

5. *Результат навчання* формалізує очікувані знання, вміння та навички учня після завершення певного етапу навчання. Він є центральним елементом онтології, оскільки забезпечує логічний зв'язок між навчальними компонентами та компетентностями. Наприклад, результат «Вміти розв'язувати диференціальні рівняння» пов'язаний з компетентністю «Математичне моделювання» і оцінюється за допомогою відповідних методів контролю, таких як тестування або проєктні завдання.

6. *Компетентність*. Компетентності визначають інтегративні знання, навички та вміння учнів у контексті дисципліни або міждисциплінарного навчання. В межах STEM-освіти особлива увага приділяється критичному мисленню, аналізу даних, моделюванню процесів і використанню цифрових інструментів. Формуються через результати навчання і є кінцевою метою освітньої програми.

7. *Метод контролю*. Методи оцінювання охоплюють іспити, практичні роботи, проєкти, лабораторні завдання, які забезпечують перевірку досягнення визначених результатів навчання. Кожен метод контролю інтегрується з відповідними поняттями та модулями, що дає можливість створювати системну оцінку прогресу учня та адаптувати освітні траєкторії.

Властивості та зв'язки. Онтологічна модель освітньої програми передбачає використання наведених нижче типів зв'язків для формалізації структури знань.

1. *Ієрархічні зв'язки*. Вказують на підпорядкованість або взаємну інтеграцію елементів. Наприклад, «Тема 2 є частиною дисципліни «Фізика»». Такі зв'язки дають можливість побудувати чітку ієрархію знань: від базових понять до інтегральних компетентностей.

2. *Передумови та послідовність*. Вказують на необхідні базові знання для засвоєння наступних концептів або модулів. Наприклад, «поняття «Інтеграл» вимагає знання визначення «Похідна»». Ці зв'язки забезпечують логічну послідовність навчання та формування міцних знань.

3. *Зв'язки з результатами*. Розвивають та оцінюють компетентності через конкретні результати навчання. Наприклад, результат

«Вміти розв'язувати диференціальні рівняння» розвиває компетентність «Математичне моделювання» і оцінюється методом контролю «Іспит».

4. *Асоціативні зв'язки*. Вказують на взаємозв'язки між різними поняттями, модулями або дисциплінами, які не підпорядковані ієрархічно, але мають смислове відношення. Використовується тип зв'язку «is_related_to» (пов'язано з), що дає змогу інтегрувати міждисциплінарні знання та STEM-напрями.

Для наочного уявлення можна використовувати діаграми класів або графи знань, де вузли відповідають сутностям (дисципліни, модулі, поняття, результати навчання, компетентності), а ребра — типам зв'язків (ієрархічні, асоціативні, передумови). Така схема допомагає швидко орієнтуватися у структурі програми, аналізувати логіку навчання та визначати можливості для персоналізації освітнього процесу.

Архітектура онтологічної моделі освітньої програми формує системну основу для інтеграції знань, компетентностей і результатів навчання. Вона забезпечує прозорість, логічну послідовність і машиночитабельність навчальних програм, що є критично важливим для сучасної STEM-освіти та цифрових освітніх середовищ. Реалізація такої моделі дає можливість ефективно планувати навчальні траєкторії, інтегрувати міждисциплінарні ресурси та впроваджувати інноваційні освітні технології (див. табл. 2).

Відповідно, архітектура онтологічної моделі є основою для формалізації освітніх програм, що дає змогу:

1) *підвищити прозорість та логіку навчання*, оскільки всі елементи — поняття, теми, результати навчання, компетентності — пов'язані ієрархічно та семантично;

2) *інтегрувати STEM-дисципліни*, оскільки асоціативні зв'язки між поняттями різних дисциплін забезпечують міжпредметну координацію та формування міждисциплінарних компетентностей;

3) *автоматизувати аналіз та управління освітнім процесом*, використовуючи цифрові платформи та інтелектуальні системи аналізу даних;

4) *підтримувати персоналізацію навчання*, оскільки учні можуть будувати індивідуальні освітні траєкторії на основі чіткої структури та логіки знань;

5) *сприяти інтеграції інноваційних освітніх технологій*, таких як цифрові лабораторії,

Таблиця 2

Типи властивостей та зв'язків онтологічної моделі

Тип зв'язку	Опис	Приклад
Ієрархічний	Підпорядкованість, включення елементів	«Тема 2 є частиною дисципліни “Фізика”»
Передумови та послідовність	Необхідні знання для освоєння наступних понять	«“Інтеграл” вимагає знання поняття “Похідна”»
Зв'язки з результатами	Розвиває та оцінює компетентності через результати навчання	«Розв'язування диференціальних рівнянь» → «Математичне моделювання»
Асоціативні	Взаємозв'язки між різними поняттями або модулями	«Електрика» is_related_to «Фізика магнетизму»

симулятори, платформи для дистанційного навчання, що підвищує ефективність STEM-освіти.

Отже, завдяки пропонованій архітектурі онтологічної моделі можна створювати динамічні, гнучкі та інтелектуально керовані освітні програми, які відповідають сучасним стандартам цифрової освіти та потребам суспільства знань.

Впровадження онтологічних моделей у сучасну систему освіти потребує розробки спеціальних методичних підходів, які враховують міждисциплінарний характер STEM-освіти та забезпечують гнучке поєднання предметних знань, цифрових технологій і практичних завдань (див. табл. 3).

Тож методична реалізація онтологічного підходу спрямована не лише на структурування змісту, а й на створення інноваційного освітнього середовища, що інтегрує цифрові інструменти, аналітику та STEM-компетентності. Відповідно до зазначеного вище у нашому дослідженні окреслено переваги та ризики застосування онтологічного підходу. До переваг ми віднесли:

1) *для учнів*: персоналізацію навчання, логічну послідовність дисциплін, доступ до цифрових

ресурсів, розвиток критичного мислення та дослідницьких навичок;

2) *для вчителів*: інструменти аналізу програм, швидке оновлення навчальних матеріалів, можливість інтегрувати міжпредметні зв'язки;

3) *для закладів освіти*: стандартизацію опису програм, ефективний моніторинг якості освіти, можливість міжнародної інтеграції.

До ризиків ми віднесли:

1) *технічні*: необхідність інвестицій у цифрову інфраструктуру та задоволення потреби у кваліфікованих фахівцях;

2) *методичні*: ризик формалізму при перенесенні змісту програм у цифрову онтологічну форму без урахування педагогічних особливостей;

3) *психолого-педагогічні*: можливе перевантаження учнів через надмірну деталізацію навчального матеріалу;

4) *організаційні*: потреба у підготовці педагогів до роботи з онтологічними системами.

Упровадження онтологій у STEM-освіту потребує балансування між перевагами для всіх учасників освітнього процесу та ризиками, які мають бути мінімізовані за допомогою якісної

Таблиця 3

Методичні підходи до впровадження онтологізації в STEM-освіті

Методичний підхід	Зміст реалізації	Очікуваний результат
Інтегративний	Узгодження змісту між фізикою, математикою, інформатикою та інженерією	Формування цілісного бачення предметної галузі
Адаптивний	Персоналізація навчання на основі онтологічних моделей	Індивідуальні освітні траєкторії
Формалізаційний	Стандартизоване подання програм у цифровому форматі	Сумісність та машиночитабельність
Практико-орієнтований	Використання проєктної та дослідницької діяльності	Поглиблення компетентностей
Інноваційний	Використання AI, AR/VR, симуляторів	Нові форми навчання

підготовки педагогів та інфраструктурної підтримки. У контексті цифрової трансформації освіти й активного впровадження STEM-підходів онтологічні моделі відіграють роль не лише інструменту структуризації знань, а й засобу підвищення ефективності управління освітнім процесом. Вони забезпечують логічну узгодженість між навчальними компонентами, сприяють побудові персоналізованих траєкторій та інтеграції міждисциплінарних зв'язків. Тому важливим є вироблення практичних орієнтирів, за допомогою яких можливо максимально ефективно застосовувати онтологічні підходи у цифровому освітньому середовищі на рівні учня, вчителя та закладу освіти, а саме:

1) для учнів:

- застосовувати онтологічні карти знань як інструмент навігації в освітньому контенті;
- використовувати можливості персоналізованих траєкторій навчання, що враховують індивідуальний темп і рівень підготовки;
- інтегрувати цифрові лабораторії, симулятори та STEM-проекти з метою практичного відпрацювання здобутих знань і навичок;

2) для педагогів:

- розробляти заняття та навчальні модулі на основі онтологічних структур, що забезпечує логічну цілісність та міждисциплінарність;
- використовувати інструменти аналітики навчальних досягнень, що ґрунтуються на зв'язках «результат навчання — компетентність — метод контролю»;
- створювати міждисциплінарні завдання та проекти, які сприяють розвитку критичного мислення й інтеграції STEM-компонентів;

3) для закладів освіти:

- впроваджувати онтологічні моделі у системи управління навчанням (LMS), зокрема Moodle, Canvas, Google Classroom та ін.;
- формувати централізовані репозиторії навчальних матеріалів, структурованих за онтологічним принципом;
- організовувати підготовку педагогічних кадрів і методистів у галузі освітньої онтології;
- застосовувати онтологічні моделі як інструмент внутрішнього й зовнішнього моніторингу, а також для підвищення прозорості акредитаційних процедур.

Висновки та перспективи наукових досліджень. Проведений аналіз наукових статей свідчить, що онтологічний підхід у побудові освітніх програм є ефективним і перспектив-

ним напрямом розвитку сучасної освіти, забезпечує системність, прозорість і гнучкість навчального процесу. Використання онтологічних моделей сприяє впорядкуванню навчального матеріалу, виділенню ключових понять і встановленню їхніх взаємозв'язків, інтеграції знань у межах STEM-дисциплін і створенню адаптивних освітніх траєкторій для різних категорій учнів.

Наукова значущість онтологізації полягає у можливості застосування її як методологічної основи для формалізації та цифровізації освітніх процесів. Структура онтологічної моделі, що охоплює програму, дисципліни, теми, поняття, очікувані результати навчання, компетентності та методи оцінювання, формує цілісну картину взаємозв'язків у навчальному середовищі. Це відкриває перспективи для створення інтелектуальних освітніх систем, які забезпечують персоналізацію навчання та розвиток міждисциплінарних компетентностей.

Практична цінність роботи полягає у можливості інтеграції онтологічних моделей у цифрові освітні платформи, формування репозиторіїв навчальних ресурсів, проведення аналітики освітніх результатів та вдосконалення процесів акредитації програм.

Подальші дослідження пов'язані з розширенням онтологічних моделей для різних рівнів освіти, інтеграцією їх із системами ШІ для адаптивного навчання, розробленням методик оцінювання ефективності онтологізованих освітніх програм та вивченням впливу онтологізації на розвиток компетентностей майбутніх фахівців у міждисциплінарному і глобальному контекстах.

Отже, онтологічний підхід може стати ключовим інструментом цифрової трансформації освіти у забезпеченні її інноваційності, гнучкості й відповідності сучасним викликам.

Список використаних джерел

1. EDUKG: A Knowledge Graph for K-12 Education / B. Zhao et al. *Journal of Educational Technology & Society*. 2020. Vol. 23. № 4. P. 45–58.
2. Gilani S., Quinn C., McArthur J. A review of ontologies within the domain of smart and ongoing commissioning. *Building and Environment*. 2020. Vol. 182. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132320304741?via%3Dihub>.

3. Guizzardi G., Benedetti B. The Unified Foundational Ontology (UFO): A Conceptual Framework for Ontology Development. *Applied Ontology*. 2022. Vol. 17. № 1. P. 1–23.
4. Chimalakonda S., Nuri V. IDont: A Modular Framework for Ontology-Based Educational Systems. *Educational Technology Research and Development*. 2023. Vol. 71. № 2. P. 233–249.
5. Дем'яненко В. Онтологічні принципи формалізації джерел інформації в електронних освітніх середовищах. *ScienceRise: Pedagogical Education*. 2019. № 6 (33). P. 39–45. DOI: <https://doi.org/10.15587/2519-4984.2019.186200>.
6. Rakhai N. Ontologies for Integrating and Automating Educational Processes: A Systematic Review. *Computers & Education*. 2024. № 182. P. 104–118.
7. Stryzhak O. Formalization and Cognitive Modeling in Educational Data Structures. *Journal of Educational Data Mining*. 2025. № 15 (1). P. 67–80.
2. Gilani, S., Quinn, C., McArthur, J. (2020). A review of ontologies within the domain of smart and ongoing commissioning. *Building and Environment*, 182. Retrieved from URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132320304741?via%3Dihub>.
3. Guizzardi, G., & Benedetti, B. (2022). The Unified Foundational Ontology (UFO): A Conceptual Framework for Ontology Development. *Applied Ontology*, 17 (1), 1–23.
4. Chimalakonda, S., & Nuri, V. (2023). IDont: A Modular Framework for Ontology-Based Educational Systems. *Educational Technology Research and Development*, 71 (2), 233–249.
5. Demianenko, V. (2019). Ontologichni pryncypsyy formalizatsii dzherel informatsii v elektronnykh osvitynykh seredovyschakh [Ontological principles of formalization of information sources in e-educational environments]. *ScienceRise: Pedagogical Education*, 6 (33), 39–45. DOI: <https://doi.org/10.15587/2519-4984.2019.186200> [in Ukrainian].
6. Rakhai, N. (2024). Ontologies for Integrating and Automating Educational Processes: A Systematic Review. *Computers & Education*, 182, 104–118.
7. Stryzhak, O. (2025). Formalization and Cognitive Modeling in Educational Data Structures. *Journal of Educational Data Mining*, 15 (1), 67–80.

References

V. B. Demianenko,
O. S. Kuzmenko,
I. M. Savchenko

ONTOLOGICAL APPROACH IN EDUCATIONAL PROGRAM DESIGN: CONCEPT, ARCHITECTURE AND STEM INTEGRATION

Abstract. *The rapid development of digital technologies and transformational processes in education necessitates the creation of modern models for organising educational programs. In particular, in the context of implementing STEM disciplines, it is important to consider interdisciplinarity, integration, and the possibility of personalizing learning. Traditional schemes involving linear knowledge delivery are increasingly failing to meet these requirements, as they do not reflect the complexity of the interrelationships between subjects and do not provide sufficient flexibility in the educational process. The ontological approach is becoming a promising direction for solving these problems. It involves describing educational content through a system of formalized entities and relationships, which makes it possible to create logically coherent, transparent, and machine-readable program models. This structuring eliminates duplication of topics, supports the logical sequence of disciplines, promotes the integration of theory and practice, and fosters the development of competencies relevant to STEM fields. The architecture of the ontological model covers the key elements of the educational process — program, discipline, module, topic, concept, learning material, competence, result, and means of control. The relationships between them can be hierarchical, semantic, or causal, reflecting both the internal structure of knowledge and its interdisciplinary intersections. In combination with STEM principles, this opens up opportunities for building flexible educational trajectories where natural and mathematical knowledge are integrated with engineering practices and digital modelling. The scientific novelty of the research lies in the justification of ontologization as a tool for the systematic modernisation of educational programs in schools. The practical significance is determined by the potential for applying the results obtained in the creation of digital educational platforms, the development of personalised learning, the development of intelligent analytical systems for monitoring the quality of knowledge, and the improvement of management processes in the field of general secondary education.*

Keywords: *ontological approach, design, educational programs, concept, STEM.*

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ

Дем'яненко Валентина Борисівна — канд. пед. наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник відділу інформаційно-дидактичного моделювання, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, valentyana.demianenko@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8040-5432>

Кузьменко Ольга Степанівна — д. пед. наук, професор, учений секретар секретаріату Вченої ради, Донецький державний університет внутрішніх справ, м. Кропивницький, Україна; провідний науковий співробітник відділу інформаційно-дидактичного моделювання, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, Kuzimenko12@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4514-3032>

Савченко Ірина Миколаївна — канд. пед. наук, старший науковий співробітник, учений секретар, НЦ «Мала академія наук України», м. Київ, Україна, savchenko_irina@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0273-9496>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Demianenko V. B. — PhD in Pedagogy, Senior Researcher, Leading Researcher of the Department of Information and Didactic Modelling, NC "Junior Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine, valentyana.demianenko@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8040-5432>

Kuzmenko O. S. — D. Sc. in Pedagogy, Professor, Science Secretary of the Secretariat of the Academic Council, Donetsk State University of Internal Affairs, Kropyvnytskyi, Ukraine; Leading Researcher of the Department of Information and Didactic modelling, NC "Junior Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine, Kuzimenko12@gmail.com; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4514-3032>

Savchenko I. M. — PhD in Pedagogy, Senior Researcher, Science Secretary, NC "Junior Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine, savchenko_irina@ukr.net; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0273-9496>

Стаття надійшла до редакції / Received 16.09.2025