

УДК 378.147:004.77:004.94

DOI <https://doi.org/10.52726/as.pedagogy/2025.4.3>

В. Б. ДЕМ'ЯНЕНКО

*кандидат педагогічних наук, старший дослідник,
провідний науковий співробітник відділу інформаційно-дидактичного моделювання,
Національний центр «Мала академія наук України», м. Київ, Україна
Електронна пошта: valentyana.demianenko@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-8040-5432>*

Є. Б. ШАПОВАЛОВ

*кандидат технічних наук, завідувач відділу інформаційно-дидактичного моделювання,
Національний центр «Мала академія наук України», м. Київ, Україна
Електронна пошта: sjb@man.gov.ua
<http://orcid.org/0000-0003-3732-9486>*

А. Є. СТРИЖАК

*доктор філософії, учений секретар,
Інститут прикладних систем управління Національної академії наук України, м. Київ, Україна
Електронна пошта: stryzhakae@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-8266-2013>*

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ОСВІТИ: ПРОБЛЕМИ СТРУКТУРУВАННЯ ДАНИХ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТІ

Дослідження присвячене критичному аналізу та обґрунтуванню архітектурних рішень для подолання проблем структурування та семантичної інтероперабельності освітніх даних в умовах цифровізації освіти України. Актуальність теми зумовлена глибокою фрагментацією цифрової інфраструктури, спричиненою відсутністю уніфікації даних, представлення даних у різних форматах, зокрема PDF без функції машиночитаності. Метою роботи є комплексний аналіз джерел семантичної неузгодженості даних та розробка науково-методологічних засад для побудови інтегрованої освітньої системи.

У ході дослідження встановлено, що головною перешкодою є не інфраструктурна несумісність програмних засобів, а семантична розрізненість даних яка виникає через відсутність єдиної національної освітньої онтології та уніфікованих словників метаданих. Це призводить до порушення ключових метрик управління якістю даних (DQM), зокрема точності, узгодженості та своєчасності, що мінімізує аналітичну цінність освітньої інформації та унеможливує впровадження ефективного управління на основі даних (Data-Driven Management).

Запропоновано концепцію єдиного порталу обміну даними як універсального архітектурного посередника, використання татово хабу дозволяє здійснити автоматичне мапування схем та гарантувати каскадну актуалізацію даних, що істотно знижує операційні витрати на їх обробку та трансформацію. Це перетворює дані на економічно цінний стратегічний актив, необхідний для коректного формування об'єктивних освітніх показників. Додатково наголошується на критичній ролі інституційного забезпечення: впровадження персистентних ідентифікаторів (PID) та створення національного регламенту управління даними освіти, який законодавчо закріпить процедури управління якістю даних та забезпечить захист персональних даних в інтегрованому середовищі.

Результати роботи мають практичну значущість для формування політики у сфері цифровізації освіти та є науково-методичною основою для розробки технічних специфікацій інтеграційних платформ.

Ключові слова: цифровізація освіти, інтероперабельність, управління якістю даних, національна освітня онтологія, фрагментація даних.

Поставлення проблеми. Проблематика цифровізації освіти визначається як міждисциплінарне дослідницьке поле, яке акумулює знання на перетині педагогічних наук, інженерії даних та архітектури державного управління. Актуальність дослідження надзвичайно

загострена обставинами останніх років (пандемія COVID-19 та повномасштабна військова агресія росії). Ці кризові виклики спровокували форсований, але хаотичний перехід української освіти на дистанційні та змішані формати. Це виявило системний розрив між

нагальними освітніми потребами, з одного боку, та гострою невідповідністю між уніфікацією даних та існуючою IT-інфраструктурою, з іншого. Поточний стан цифровізації освіти в Україні характеризується суттєвим дефіцитом інтегрованості на рівні логіки організації даних та структури інформаційних систем, що перешкоджає формуванню єдиного освітнього цифрового простору.

Базова проблема полягає не стільки у дефіциті апаратних чи програмних засобів, скільки у відсутності єдиної моделі та уніфікованих стандартів обміну даними та протоколів інтегрованості. Наслідком є формування роз'єднаної інфраструктури, представленої численними розрізненими інформаційними системами (LMS, EMIS, SIS). Низький рівень їхньої інтегрованості стає ключовим бар'єром для безперешкодної автоматизованої консолідації освітніх даних, унеможливаючи створення єдиної аналітичної бази. Станом на сьогодні українська освітня галузь функціонує за **моделлю управління, що базується на паперовому та електронному документообігу**. Це означає, що основна увага приділяється оформленню паперових звітів та наказів, а не аналізу цифрових даних. Процес цифровізації, таким чином, зводиться до оцифрування паперових процесів (електронні класні журнали, PDF-програми, PDF-підручники тощо) замість цифровізації самих навчальних процесів та даних. Освітні стандарти, включно з новим Державним стандартом базової середньої освіти (2022) та Державним стандартом профільної середньої освіти (2024) продовжують подавати вимоги до знань та компетентностей переважно у форматі неструктурованого або напівструктурованого тексту. В українській практиці навчальна програма часто представлена як монолітний документ, машинна обробка таких даних неможлива без складних алгоритмів обробки природної мови (NLP). Різні системи використовують різні **термінологічні стандарти** для позначення одних і тих самих сутностей. Відсутність єдиної онтологічної моделі (господарю термінів) призводить до семантичної несумісності даних на рівні значень, що унеможливує коректну інтерпретацію та блокує формування консолідованої аналітичної

бази. В освітній сфері дані зазвичай **розподілені по різних системах**. Це відбувається тому, що кожен заклад використовує **свій перелік окремих цифрових платформ** (Google Classroom, Moodle тощо), які **не пов'язані між собою**. У результаті інформація про навчання залишається закритою всередині кожної програми. А, отже, ключова проблема полягає в тому, що кожна із цих систем функціонує як окреме, незалежне сховище даних. Дані про успішність учня, зміст навчальної програми та результати тестувань не синхронізуються між платформами, що унеможливує створення цілісного цифрового профілю здобувача освіти та автоматизований аналіз ефективності навчальних програм.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасний етап цифровізації освіти, прискорений глобальними викликами після 2020 року, трансформував фокус наукових досліджень. Результати численних наукових досліджень і діяльності відкритих форумів узагальнюють напрацювання провідних вітчизняних та зарубіжних науковців, формуючи цільне бачення цифровізації як ключового стратегічного чинника розвитку освіти. Водночас складність цього феномену потребує не лише констатації фактів, а й глибокого теоретичного синтезу. Логічним продовженням і поглибленням цієї наукової дискусії стала колективна монографія «Освіта для цифрової трансформації суспільства» [Освіта для цифрової трансформації]. Її фундаментальна цінність полягає у полідисциплінарному аналізі, що дозволяє вийти за межі вузькоспеціалізованих трактувань. Вступні розділи, зокрема праці В. Кременя [Освіта для цифрової трансформації, 1-47] та А. Цибаль-Міхальської [Освіта для цифрової трансформації, 47-61] задають філософсько-методологічний тон дослідження. Автори розглядають цифровізацію не як самоціль, а як інструмент гуманітарного розвитку та відповідь на цивілізаційні виклики. В. Кремень, аналізуючи діяльність НАПН України, наголошує на системності цифрової трансформації, яка охоплює законодавчі, інфраструктурні та змістові аспекти, підкреслюючи роль науки у забезпеченні цього процесу. А. Цибаль-Міхальська акцентує увагу на орієнтації суспільства на знання в умовах глобалі-

зації та медіадосвіду. Значну увагу в монографії приділено питанням цифрової нерівності та розвитку людського капіталу. У дослідженні Н. Ничкало, Л. Лук'янової та О. Овчарук [Освіта для цифрової трансформації, 74-99] глибоко проаналізовано європейський досвід та українські реалії цифрової трансформації. Автори слушно вказують на багаторівневість цифрового розриву (доступ, навички, використання) та його загострення в умовах війни. Логічним продовженням цієї теми є розділ, присвячений розвитку цифрової компетентності вчених. Водночас динамічний розвиток технологій висуває нові вимоги до змісту цифрової трансформації, тому окремий розділ монографії присвячено одній з найбільш дискусійних тем сучасності – штучному інтелекту в освіті. Ф. Шльосек [Освіта для цифрової трансформації, 237-249] розглядає дилему «надії та загрози», аналізуючи етичні та праксеологічні аспекти впровадження штучного інтелекту. Особливий інтерес становить прикладне дослідження О. Топузова та С. Алексєєвої [Освіта для цифрової трансформації, 249-260], які пропонують використовувати штучний інтелект та імерсивні технології (VR/AR) як інструмент компенсації освітніх втрат. В умовах, коли значна частина учнів навчається дистанційно або перебуває за кордоном, технології адаптивного навчання та віртуальні лабораторії стають не просто інновацією, а необхідністю для збереження якості освіти. А. Коломієць та О. Жовнич [Освіта для цифрової трансформації, 260-271] розкривають потенціал ChatGPT як педагогічної технології, що сприяє розвитку критичного мислення, за умови дотримання академічної доброчесності.

Методологія праці [Цифровізація освіти] базується на принципах системності та прогностичності. Це дозволяє простежити генезу цифрових змін в українському освітньому просторі та порівняти їх із європейськими векторами розвитку, що є критично важливим для інтеграції вітчизняної освіти у світовий науковий дискурс. Структурно-логічна побудова праці відображає системний підхід до висвітлення проблеми, пропонуючи досліднику концептуальний перехід від філософського осмислення загальних закономірностей цифрової трансформації до прикладного

аналізу інструментарію штучного інтелекту та мережевих освітніх сервісів. Особливу увагу приділено питанням етики та соціальної відповідальності, що часто залишаються поза увагою суто технічних розвідок. Варто відзначити питання, присвячені математичним та цифровим технологіям. Автори переконливо доводять, що цифрова грамотність викладача сьогодні є не додатковою компетентністю, а базовою умовою професійної придатності. Полідисциплінарність праці проявляється у залученні історичного контексту, що дозволяє глибше зрозуміти циклічність освітніх реформ. Вагомим здобутком є обґрунтування процесів цифрової трансформації крізь призму «людиноцентризму», що дозволяє розглядати технологічний прогрес у нерозривному зв'язку з розвитком особистості. В умовах техногенного суспільства виникає ризик дегуманізації навчання, проте автори пропонують дієві механізми збереження суб'єкт-суб'єктних відносин у цифровому середовищі. Логічним доповненням теоретичного блоку є практичні кейси впровадження хмарних сервісів та аналіз викликів дистанційного навчання в кризових умовах, що робить працю актуальною «тут і зараз». Автори концептуалізують цифровізацію не як механічне оцифрування навчальних засобів, а як фундаментальну трансформацію дидактичної парадигми, що передбачає радикальне переосмислення методів та стратегій взаємодії суб'єктів освітнього процесу. Науковці обґрунтовують необхідність переходу до адаптивного навчання, де цифрові інструменти дозволяють будувати індивідуальні освітні траєкторії для кожного здобувача.

На відміну від високоструктурованого простору професійних наукових комунікацій, де наукометричні бази (Scopus, Web of Science) забезпечують прозору ієрархію та облік даних, результати академічної активності здобувачів освіти залишаються фрагментованими, що створює ефект інформаційної «сірої зони» в освітньому середовищі, неструктурованою та складною для автоматизованої обробки. Сучасний вектор вітчизняних та зарубіжних наукових пошуків спрямований на забезпечення семантичної інтероперабельності освітніх даних [Semantic Interoperability], шляхом розробки онтологічних моделей, які

дозволяють нівелювати проблему платформної гетерогенності (технологічної різноманітності) у процесах цифровізації. У межах окресленої проблематики наукові дослідження [Struzhak, et al., Quamar et al., Babenko et al.] посідають ключове місце, репрезентуючи інноваційні підходи до цифровізації, що ґрунтуються на розв'язанні проблеми семантичної інтеперабельності наукових результатів із застосуванням онтологічних таксономій. В роботі [Shapovalov, et al.] автори демонструють, як онтологія дозволяє уніфікувати зміст у гетерогенних джерелах та забезпечити машинно-оброблений пошук і аналіз знань. В дослідженні [Приходнюк], на основі ретельного вивчення сучасних практик адміністрування та структурування статистичної звітності в НЦ «МАНУ» авторами було діагностовано низку системних деструкторів, що обмежують ефективність управління освітніми даними. Серед них критичне значення мають: дефіцит уніфікованих структур даних, високий рівень інформаційної фрагментації та значні перешкоди під час проведення коректного порівняльного аналізу показників. З метою нівелювання зазначених проблем у дослідженні запропоновано концепцію онтологічно керованої системи, яка позиціонується як інтелектуальне ядро для модернізації звітності. Даний підхід забезпечує перехід від механічного збору даних до їх стратегічного опрацювання через:

- детальний формалізований опис предметної галузі;
- автоматизовану агрегацію даних із розрізнених джерел;
- семантичну трансформацію та інтеграцію показників у єдиний логічний контур;
- багаторівневу верифікацію достовірності статистичних масивів.

Аналіз проблем цифровізації освіти, зокрема в аспекті обміну даними, за матеріалами Е. Крумма [Крумм], засвідчує, що ключовим бар'єром є відсутність інтеперабельності між різними технологічними платформами. Накопичення масивів даних про навчальну діяльність часто не трансформується у якісні педагогічні рішення через розрізненість систем навчання та оцінювання, які функціонують ізольовано. Проблема усклад-

нюється не лише технічними викликами стандартизації протоколів (як xAPI чи IMS Caliper), а й відсутністю спільного розуміння того, як інтерпретувати алгоритми семантичної інтерпретації цифрових артефактів діяльності здобувачів у межах різнорівневих освітніх контекстів. Відтак, успіх цифровізації залежить від переходу від простого впровадження інструментів до створення єдиних екосистем (як саморегульованих систем), здатних перетворювати фрагментовані дані на цілісну підтримку навчального процесу.

Ключовим технічним бар'єром цифровізації освіти є проблема інтеперабельності, що полягає у складності забезпечення змістовної взаємодії між розрізненими навчальними платформами. Згідно зі звітом IEEE LTSC, використання стандарту xAPI хоч і дозволяє фіксувати широке коло навчальних подій, проте не гарантує автоматичного використання цих даних різними системами через відсутність єдиних семантичних профілів.

Це зумовлює стан інформаційної замкненості, за якого дані про прогрес здобувача освіти залишаються **локалізованими** в межах окремих програмних середовищ. Такий стан унеможливорює інтеграцію відомостей із різних джерел у цілісну модель навчання. Відтак, цифрова трансформація потребує переходу від простого збору даних до впровадження жорстких протоколів узгодження метаданих. Тільки подолання технологічної розрізненості дозволить перетворити фрагментовані цифрові сліди на дієвий інструмент підтримки індивідуальних освітніх траєкторій. Цим питанням розглядаються в дослідженні [xAPI].

Таким чином, фокус із масового впровадження дистанційних інструментів змістився в бік **налагодження єдиної структури та стабільної роботи** цифрових освітніх систем. Пріоритетним завданням постає не просто насичення галузі сервісами, а забезпечення їхньої технологічної єдності та безперебійного функціонування. Як зазначають у своїх працях українські та міжнародні дослідники нинішнє завдання полягає не в додаванні нових технологій, а в інтеграції існуючих ресурсів. Актуальність цього дослідження зумовлена глибоким протиріччям, яке виникло в закладах освіти: значний обсяг цифрових даних генеру-

ється щодня, але ці дані залишаються неструктурованими, що унеможлиблює їхній вільний обмін та інтерпретацію різними інформаційними системами. Це явище описується як інформаційна фрагментація, яка суттєво гальмує розвиток навчальної аналітики та персоналізованого навчання. Проблема структурування даних є наріжною для забезпечення інтероперабельності, оскільки неуніфіковані дані не можуть бути коректно оброблені.

Мета статті полягає у комплексному аналізі ключових проблем структурування та семантичної інтероперабельності освітніх даних, спричинених **технологічною різномірністю платформ** у процесі цифровізації системи освіти України та обґрунтуванні архітектурних і методологічних підходів для подолання інформаційної фрагментації та забезпечення ефективного управління на основі даних.

Ефективність цифровізації національної системи освіти в Україні визначально залежить від успішного розв'язання проблеми інформаційної роздробленості. Головний виклик полягає у переході від розв'язування технічних проблем обміну до забезпечення семантичної інтероперабельності – системної властивості систем однозначно тлумачити значення та контекст вхідних/вихідних даних (транзакційних об'єктів). Відсутність узгодженої національної освітньої онтології та єдиних уніфікованих стандартів опису даних створює бар'єри для агрегації, верифікації та формування єдиного цифрового профілю суб'єктів освітнього процесу. Наявний стан інформаційної роздробленості унеможлиблює повноцінну реалізацію принципів управління, що ґрунтується на даних (Data-Driven Management). Таким чином, існує об'єктивна потреба у розробці та впровадженні універсальної інтеграційної моделі.

Управління якістю даних (Data Quality Management, DQM) є ключовим операційним елементом у боротьбі з негативними наслідками інформаційної фрагментації. Неузгодженість, неповнота та застарілість вихідних освітніх даних, тобто їх низька якість безпосередньо призводить до суттєвого зниження валідності всієї аналітичної платформи. В кон-

тексті функціонування неоднорідних інформаційних систем, де відсутнє єдине джерело управління якістю даних стає практично нералізованим на локальному рівні. Фрагментовані сховища функціонують за власними, часто несумісними, правилами валідації, що унеможлиблює наскрізну верифікацію. Суттєва проблема полягає у тому, що інтеграція низькоякісних даних, навіть за умови технічної інтероперабельності, призводить до інтеграції помилок. А це призводить до хибних висновків на рівні регіонального та національного управління, особливо в питаннях оцінки освітніх втрат, планування навчальних програм та інтеграції навчальних курсів. Подолання цієї системної невідповідності вимагає перегляду архітектурних засад управління даними, починаючи з першоджерел. З огляду цифровізації, Державний стандарт освіти є не просто нормативним документом, а базовою онтологією (ontology), що описує сутності («компетентність», «знання», «уміння») та зв'язки між ними. Ефективність будь-якої освітньої платформи детермінується точністю конвертації документа у формат, придатний для автоматизованого алгоритмічного опрацювання (Machine-Readable Format). Аналіз еволюції освітніх стандартів, які регламентують зміст і результати навчання, дозволяє визначити три послідовні генерації їх формального подання. Перше покоління, навчальні програми та освітні стандарти 1990-х а орієнтована на послідовний виклад тем і змісту, де зв'язок між окремими знаннями, навичками початку 2000-х років це, по суті, лінійні текстові масиви. Їх структура та зв'язок із компетентностями не були формалізовані і залежали від суб'єктивного розуміння та досвіду педагога.

Перехід до компетентнісного підходу, відображений у стандартах другого та третього покоління, характеризується поступовим переходом до матричної форми структуризації. Ці стандарти використовують дво- або тривимірні табличні (матричні) структури для вертикального узгодження ключових освітніх елементів: очікуваних результатів навчання (Learning Outcomes), сформованих компетентностей та змістових ліній (наприклад, міжпредметної інтеграції). Впровадження такої матричної логіки є безумовним прогресом у формалізації

взаємозв'язків між елементами навчального змісту. Проте, незважаючи на зовнішню структурованість, сутнісно таке представлення залишається «аналоговим», непридатним для автоматизованої обробки. Це означає, що зв'язки між елементами матриці (наприклад, код компетентності та код результату навчання) існують лише у формі статичного текстового опису та графічного розташування в документі, відсутність формалізованої, структурованої моделі даних (онтології) не дозволяє автоматично управляти цими зв'язками. Кожного разу, коли необхідно порівняти стандарти різних рівнів освіти чи здійснити їх автоматичне зіставлення з навчальними ресурсами, потрібне ручне втручання та інтерпретація, що є прямим індикатором недостатньої семантичної інтероперабельності самих стандартів. Це створює первинне джерело фрагментації даних ще на етапі їхнього формування [Постанови КМУ № 898, № 688; Моніторингові дослідження].

Низька якість вихідних освітніх даних є фундаментальною перешкодою для впровадження управління, орієнтованого на дані. Відтак, управлінська діяльність регресує до інтуїтивного підходу, де формальні статистичні звіти не відображають об'єктивної реальності. Джерела низької якості даних в освітній сфері мають подвійну природу: структурну та операційну. Структурна неадекватність проявляється у відсутності персистентних ідентифікаторів (PID) для ключових суб'єктів (здобувач, викладач, курс). Використання різних локальних ID (наприклад, реєстраційний номер у ЄДЕБО та внутрішній ID шкільної системи) унеможлиблює автоматичну дедуплікацію записів, що спричиняє колізійність даних та спотворює фактичну кількість студентів чи вчителів, і тим впливаючи на і на фінансове планування також. Семантична розбіжність у формальному описі структури бази даних також є структурним дефектом, оскільки одне й те саме поняття може бути інтерпретовано по-різному у різних інформаційних системах, що порушує узгодженість даних при їх агрегації. Операційні дефекти переважно пов'язані з людським фактором. Ручне внесення даних у неінтегровані системи призводить до високого рівня транскрипційних

помилко та значної латентності оновлення інформації. Ця латентність критично впливає на своєчасність даних, роблячи їх неактуальними для оперативного прийняття рішень та унеможлиблюючи ефективне управління у режимі реального часу.

Неефективність або низька результативність процесів DQM оцінюється через невідповідність ключовим метрикам, що має прямі негативні наслідки для аналітичної веристики. Насамперед, страждає метрика точності (Accuracy): дані, отримані внаслідок множинних ручних трансформацій між системами, здебільшого містять похибки, що спотворюють певні показники. Метрика унікальності (Uniqueness) не досягає необхідного рівня через неможливість дедуплікації, що спричиняє завищення показників, зокрема при розрахунку кількості здобувачів освіти LMS чи кількості зареєстрованих викладачів. Найбільш руйнівним для управлінських рішень є порушення своєчасності (Timeliness). Наприклад, несвоєчасне оновлення даних інколи створює аномальні записи, викривляючи дані для планування навчального навантаження та розподілу освітніх субвенцій. Усі ці невідповідності метрик у сукупності призводять до того, що будь-яка аналітична модель, побудована на таких розрізненіх і неперевіреніх даних, втрачає надійність та репрезентативність.

Управління якістю даних має бути переорієнтовано з точкового виправлення помилок на систематичне впровадження контрольних механізмів у структурно-логічний базис цифрової системи (інформаційної архітектури). Ключовим архітектурним рішенням є впровадження механізмів каскадного оновлення. Замість пасивного очікування корекції, має активно забезпечуватися розповсюдження критичних змін до всіх систем-споживачів, гарантуючи узгодженість даних у реальному режимі часу. Для забезпечення організаційної цілісності, ці механізми слід вбудувати в межі управління даними. При цьому власники даних (а саме МОН України) встановлюють стандарти якості, а зберігачі даних (заклади освіти) забезпечують їх виконання на місцях, застосовуючи єдині процедури введення даних. Тільки такий комплексний підхід, що поєднує архітектурну інженерію

та інституційне регулювання є ключовим інструментом для перетворення розрізаних записів на надійний масив даних.

Підсумовуючи, ефективне подолання проблем структурування та інтероперабельності даних вимагає відходу від тактики точкових виправлень до системного архітектурного підходу. Розв'язування цієї проблеми полягає у послідовній реалізації взаємопов'язаних компонентів:

1) створення національної освітньої онтології як базису семантичної узгодженості;

2) впровадження інтеграційного механізму, який виконує дві ключові функції під час передавання даних: транспорт даних, який забезпечує надійне та стандартизоване їх транспортування від джерела до отримувача та семантична трансформація, як процес узгодження значень і форматів даних, щоб вони мали однаковий зміст (семантику) для всіх систем для ефективного та масштабованого обміну;

3) формалізація управління даними для забезпечення якості та правового регулювання;

4) застосування системи персистентних ідентифікаторів (PID) для забезпечення однозначної ідентифікації суб'єктів, об'єктів та результатів науково-освітньої діяльності, що гарантує цілісність зв'язків у гетерогенному середовищі;

5) автоматизація процесу екстракції та інтерпретації цифрових профілів здобувачів освіти, викладачів, що дозволяє конвертувати розрізнені масиви даних у структуровані профілі компетенцій, придатні для автоматизованого опрацювання;

6) розбудова механізмів інтелектуального аналізу (Learning Analytics) на основі верифікованих даних, що створює підґрунтя для переходу до управління на основі даних та персоналізації освітніх траєкторій;

7) забезпечення архітектурної витривалості та масштабованості системи шляхом впровадження відкритих стандартів інтероперабельності, що дозволяє безперешкодно інтегрувати нові цифрові сервіси та територіально розрізнені освітні інституції в єдиний інформаційний контур.

Майбутні дослідження мають бути спрямовані на розробку конкретних алгоритмів мапу-

вання схем від локальних систем до національного стандарту та створення пілотних моделей впровадження для оцінки навчальних втрат. Реалізація запропонованих рішень дозволить перетворити дані з розрізаних і часто неправдивих записів на національний стратегічний актив, що є необхідним для успішної та прозорої цифрової трансформації освіти.

Структурування освітніх програм як основа семантичної інтероперабельності

Запропоновані у дослідженні структури освітніх стандартів і програм демонструють, що нормативна база української освіти вже фактично задає каркас для побудови національної освітньої онтології, але поки що існує переважно в текстово-табличному, а не в машинозчитуваному форматі. Це призводить до того, що багаторівнева система цілей, результатів навчання, змістових ліній, видів діяльності та критеріїв оцінювання не може бути повноцінно інтегрована в цифрові платформи без додаткового ручного структурування.

Ієрархія «Державний стандарт – Типова програма – Модельна програма – Навчальна програма». На верхньому рівні знаходяться Державні стандарти (початкової, базової та профільної середньої освіти), які задають мету, ціннісні орієнтири, ключові компетентності, наскрізні вміння, освітні галузі, цикли освіти та вимоги до результатів навчання (загальних і конкретних). Кожен стандарт містить також блоки щодо навчального планування, навчального навантаження, інваріантної та варіативної складових, що створює повний нормативний опис освітньої траєкторії учня.

Наступний рівень становлять типові освітні програми (для 5–9 та 10–12 класів), які конкретизують: загальні положення, мету і завдання програми, очікувані результати, обсяг навчального навантаження, типові навчальні плани, розподіл годин, рекомендовані форми організації освітнього процесу, інструментарій оцінювання, а також інтегровані курси та міжгалузеві теми (зокрема STEM-освіту). На їхній основі будуються модельні навчальні програми за освітніми галузями (наприклад, мовно-літературна), які мають уніфіковану структуру: загальні положення, пояснювальна записка (мета, завдання, принципи), ключові

компетентності, структура змісту (змістові лінії, результати навчання, види діяльності), критерії оцінювання.

Останнім, операційним рівнем є уніфіковані навчальні програми з конкретних дисциплін і для конкретних класів, які містять загальні відомості (посилання на стандарт), пояснювальну записку (мета, завдання, принципи, наскрізні лінії, види діяльності, методи та форми роботи), змістовий компонент (теми, види діяльності, результати навчання) та критерії оцінювання (поточне, формувальне, підсумкове). Саме цей рівень безпосередньо пов'язаний із практикою вчителя, але водночас має бути формально узгоджений із верхніми рівнями через спільні ідентифікатори результатів навчання, компетентностей та змістових ліній.

Державні стандарти (для початкової, базової та профільної середньої освіти) описуються як комплексні нормативні рамки, у яких

послідовно задаються мета, ціннісні орієнтири, ключові компетентності та наскрізні вміння. Вони містять модель циклічної організації освіти (наприклад, адаптаційний, базово-предметний, профільно-адаптаційний, профільний цикли), а також детальний опис освітніх галузей. Кожна галузь представлена системою закодованих результатів навчання (на кшталт «2 МОВ 1.1» тощо), що задають очікувані досягнення учнів. Окремими розділами подаються загальні та конкретні вимоги до результатів навчання, засади навчального планування через базові навчальні плани та їхню диференціацію за типами закладів, а також блоки, присвячені навчальному навантаженню, рекомендованій і мінімальній кількості годин, можливостям перерозподілу та використанню додаткового часу (див. рис. 1).

Типові освітні програми для 5–9 та 10–12 класів описуються як проміжна

Структура Державних стандартів освіти

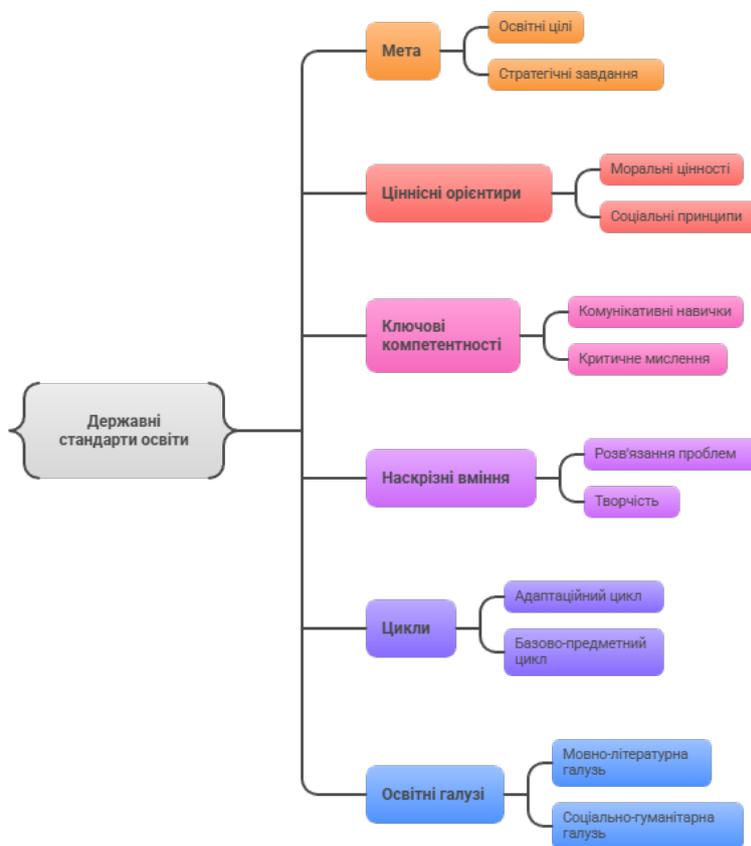


Рис. 1. Схема структурування Державних стандартів освіти

ланка між державним стандартом і конкретною навчальною програмою. Вони починаються із загальних положень, де формулюються мета й завдання програми, уточнюється обсяг навчального навантаження із поділом за циклами, а також визначаються очікувані результати навчання та базові вимоги до учнів. Подальша структура містить опис методів оцінювання й контролю, схеми розподілу навчального часу й кількості годин, рекомендації щодо форм організації освітнього процесу та інструментарію оцінювання. У межах цих програм вибудовуються типові навчальні плани та перелік модельних навчальних програм, деталізуються освітні галузі й кластери (мовно-літературний, соціально-гуманітарний, STEM, фізична культура, соціальна та здоров'язбережувальна освіта), а також описуються обов'язкові й вибіркові освітні компоненти з указанням годинного навантаження та рівня вивчення.

Модельна навчальна програма на галузевому рівні постає як логічно завершений опис освітньої галузі. Спочатку формуються загальні положення із зазначенням галузі та посиланнями на відповідний державний стандарт, після чого подається пояснювальна записка. У записці окреслюються мета та завдання, які структуровано на компоненти «навчити», «виховати», «сформувати», «розвинути», що задає чітку педагогічну логіку. Далі описуються принципи побудови програми й особливості змісту, з акцентом на компетентнісний підхід, інтеграцію змісту та нерозривність змістових ліній, а також визначаються наскрізні змістові лінії, пов'язані з громадянською відповідальністю, екологічною безпекою та сталим розвитком, здоров'ям і безпекою, підприємливістю та фінансовою грамотністю. У наступному блоці наводяться ключові компетентності та наскрізні вміння, після чого розгортається структура змісту у вигляді зміс-

Структура типової освітньої програми

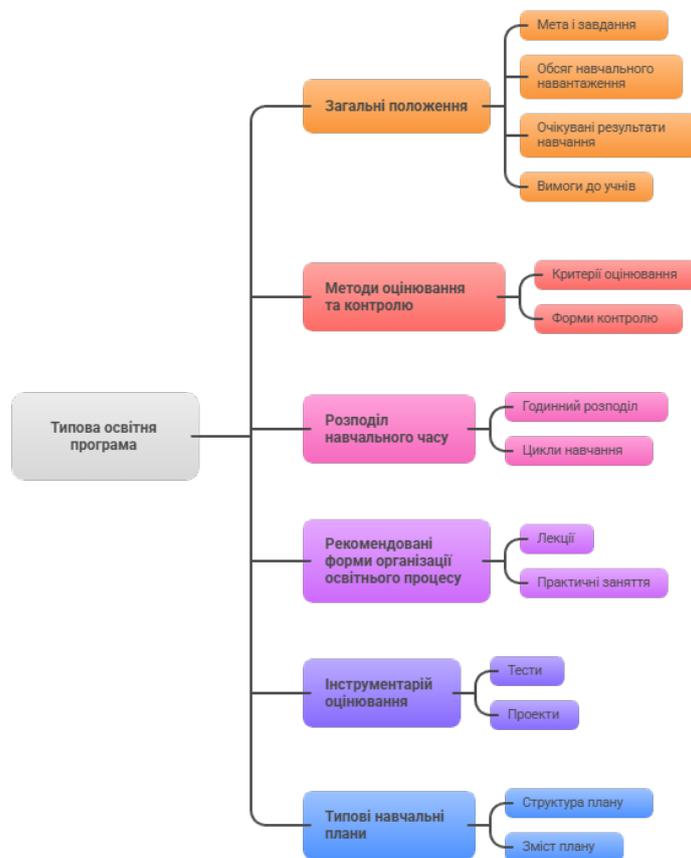


Рис. 2. Схема структуривання типової освітньої програми

тових ліній, видів навчальної діяльності й відповідних результатів навчання. Завершує опис система критеріїв оцінювання, яка логічно прив'язує результати навчання до конкретних показників досягнень (див. рис. 3.). Разом із тим, структура програм може відрізнятись. До прикладу, програми академічного рівня можуть містити інші структурні елементи такі як “Освітні кластери та профілі” та інші й навпаки, не містити інших структурних компонентів. Тому, подальші дослідження будуть присвячені генерації уніфікованих структур.

Усі ці структури є природними кандидатами для формалізації у вигляді онтології, де кожен елемент (стандарт, галузь, результат навчання, тема, вид діяльності, критерій оцінювання) отримує сталий ідентифікатор і чітко описані зв'язки з іншими елементами. Перенесення наведених ієрархій у машинозчитувані моделі (наприклад, RDF/OWL/XML) створює основу для семантичної інтероперабельності між різними інформаційними системами освіти, забезпечуючи єдину точку істини для управлінських рішень та аналітики.

Структура Модельної Навчальної Програми

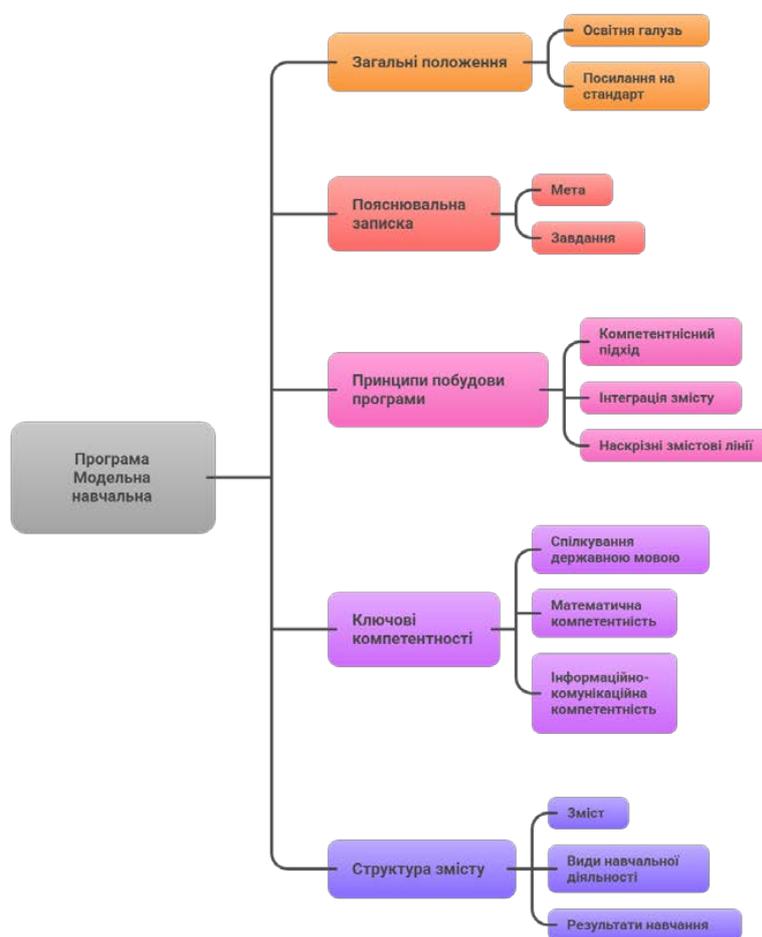


Рис. 3. Структура Модельної навчальної програми

Висновки. Підсумовуючи можна зазначити, що головний виклик у процесі цифрової трансформації системи освіти України полягає не стільки у відсутності технологічних

засобів, скільки у системній невідповідності між гетерогенною архітектурою цифрового освітнього середовища та необхідністю уніфікації інформаційних потоків. Ця невідповід-

ність критично проявляється на рівні семантичної інтероперабельності. Відтак, єдиним ефективним шляхом подолання інформаційної розрізненості є перехід до посередницької архітектури, що базується на принципі шини семантичної трансформації (SST). Ця модель передбачає створення уніфікованого середовища, де дані з гетерогенних джерел проходять етап онтологічного мапування, перетворюючись із «сирих» масивів на структуровані знання. Такий підхід дозволяє нівелювати конфлікти форматів та забезпечити високу точність машинної інтерпретації результатів, незалежно від первинної структури джерела, яка забезпечує необхідний рівень адаптивності до постійних змін у законодавстві та освітніх й дидактичних стандартах. Встановлено, що ключовим і пріоритетним елементом подолання системної фрагментації є не впровадження технічних протоколів, а розробка узгодженої національної освітньої онтології. Її відсутність є першопричиною низької узгодженості та точності даних, що накопичуються.

Обґрунтовано, що управління якістю даних є критично необхідною інституційною

функцією, яка має бути імплементована в архітектуру інтеграції як обов'язковий і автоматизований процес, а не виконуватися як постфактум-корекція.

Таким чином, результати дослідження формують науково-методичний базис для переосмислення стратегії інтеграції освітніх інформаційних систем, зміщуючи акцент з технологічної інсталяції на інформаційну стандартизацію.

Перспективні дослідження мають сфокусуватися на розробці детальної правової та етичної моделі для обміну чутливими даними, що забезпечуватиме баланс між потребами у наскрізній аналітиці та вимогами законодавства щодо захисту персональних даних, включаючи протоколи псевдонімізації та авторизації доступу. З огляду на це, наукова спільнота має скерувати зусилля на трансформацію архітектурно-методологічних пропозицій у практичні інженерні рішення та рекомендації для державної політики, що забезпечить стійкий фундамент для подальшого розвитку цифрового освітнього простору України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Освіта для цифрової трансформації суспільства / Edukacja dla cyfrowej transformacji społeczeństwa / Education for digital transformation of society : монографія. У 2 т. Т. 1 ; за наук. ред. В. Кременя, Н. Ничкало, Л. Лук'янової, Н. Лазаренко. Київ : ТОВ «Юрка Любченка», 2024. 526 с.
2. Цифровізація освіти та соціальні проблеми в сучасному техногенно-інформаційному суспільстві : матеріали всеукраїнського науково-педагогічного підвищення кваліфікації, 1 квітня – 12 травня 2024 року. Львів. Торунь : Liha-Pres, 2024. 120 с.
3. Semantic Interoperability by Freddie O'Connell on January 24, 2017. Url: <https://xapi.com/blog/semantic-interoperability/> (дата звернення 13.10.2025).
4. O. Stryzhak, S. Dovgyi, V. Demianenko, M. Popova, O. Gayevska. (2021). Cognitive digital platforms of scientific education. Interdisciplinary studies of complex systems. № 19. <https://doi.org/10.31392/iscs.2021.19.035>.
5. Abdul Quamar, Chuan Lei, Dorian Miller, Fatma Özcan, Jeffrey Kreulen, Robert J Moore, Vasilis Efthymiou. (2020). An Ontology-Based Conversation System for Knowledge Bases. Industry 1: Graph Databases and Knowledge Base. SIGMOD '20, June 14-19, 2020, Portland, OR, USA. URL: <https://leichuan.github.io/files/sigmod20-mdx.pdf> (дата звернення 14.10.2025).
6. Vitalina Babenko, Igor Shostak, Mariia Danova & Olena Feoktystova. (2021). Creation of Ontological Knowledge Bases in the Semantic Web by Analyzing Table Structures. Semantic IoT: Theory and Applications. Studies in Computational Intelligence, vol 941. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64619-6_9.
7. Yevhenii B. Shapovalov, Viktor B. Shapovalov, Roman A. Tarasenko, Stanislav A. Usenko and Adrian Paschke. A semantic structuring of educational research using ontologie CTE Workshop Proceedings, 2021, Vol. 8: CTE-2020, pp. 105-123 <https://acnsci.org/journal/index.php/cte/article/view/219/223>.
8. Приходнюк В В., Кузьменко О. С., Горборуков В. В. Онтологічно керована обробка статистичних даних зі звітів регіональних відділень НК «ЯДУ». (2025). *Наукові записки Малої академії наук України*, 2(33), С. 69-82. <https://doi.org/10.51707/2618-0529-2025-33-08>.
9. Andrew E. Krumm, Jared Boyce, Howard T. Everson. A Collaborative Approach to Sharing Learner Event Data. URL: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1314163.pdf>
10. xAPI: A Guide for Technical Implementers. URL: https://sagroups.ieee.org/2247-1/wp-content/uploads/sites/316/2018/07/IEEE-LTSC-TAG-xAPI-2018-Technical-Report-on-xAPI_-March-2018-Master-Draft.pdf

11. Про деякі питання державних стандартів повної загальної середньої освіти: Постанова Кабінету Міністрів України від 30.09.2020 № 898 URL: <https://educationforlife.mon.gov.ua/wp-content/uploads/2025/10/pro-deyaki-pytannya-derzhavnyh-standartiv-povnoyi-zagalnoyi-se%E2%80%A6-postanova-%E2%84%96-898-vid-30.09.2020-d498849-20220902.pdf> (дата звернення 11.10.2025).
12. Про внесення змін до Державного стандарту початкової освіти: Постанова Кабінету Міністрів України від 24.07.2019 № 688. URL: <https://educationforlife.mon.gov.ua/wp-content/uploads/2025/10/pro-vnesennya-zmin-do-derzhavnogo-standartu-pochatkovoyi-osvit%E2%80%A6-postanova-%E2%84%96-688-vid-24.07.2019-d486714-20190724-1.pdf> (дата звернення 11.10.2025).
13. Моніторингові дослідження за 2024 рік. Державна служба якості освіти України. Київ: ДСЯО, 2024. Url: <https://sqe.gov.ua/diyalnist/monitoringovi-doslidzhennya/opituvannya-doslidzhennya-vivchennya-za-2024/> (дата звернення 11.10.2025).

REFERENCES

1. Osvita dlia tsyfrovoyi transformatsii suspilstva / Edukacja dla cyfrowej transformacji społeczeństwa / Education for digital transformation of society : monohrafiia. (2024) U 2 t. T. 1 ; za nauk. red. V. Kremenia, N. Nychkalo, L. Lukianovoi, N. Lazarenko. Kyiv : TOV «Iurka Liubchenka» 526 s. [in Ukrainian]
2. Tsyfrovizatsiia osvity ta sotsialni problemy v suchasnomu tekhnohenno-informatsiinomu suspilstvi (2024) : materialy vseukrainskoho naukovy-pedahohichnoho pidvyshchennia kvalifikatsii, 1 kvitnia – 12 travnia 2024 roku. Lviv. Torun : Liha-Pres 120 s. [in Ukrainian]
3. Semantic Interoperability by Freddie O'Connell on January 24, 2017. Url: <https://xapi.com/blog/semantic-interoperability>. (data zvernennia 13.10.2025).
4. O. Stryzhak, S. Dovgyi, V. Demianenko, M. Popova, O. Gayevska. (2021). Cognitive digital platforms of scientific education. Interdisciplinary studies of complex systems. № 19. <https://doi.org/10.31392/iscs.2021.19.035>
5. Abdul Quamar, Chuan Lei, Dorian Miller, Fatma Özcan, Jeffrey Kreulen, Robert J Moore, Vasilis Efthymiou. (2020). An Ontology-Based Conversation System for Knowledge Bases. Industry 1: Graph Databases and Knowledge Base. SIGMOD '20, June 14-19, Portland, OR, USA. URL: <https://leichuan.github.io/files/sigmod20-mdx.pdf> (data zvernennia 14.10.2025).
6. Vitalina Babenko, Igor Shostak, Mariia Danova & Olena Feoktystova. (2021). Creation of Ontological Knowledge Bases in the Semantic Web by Analyzing Table Structures. Semantic IoT: Theory and Applications. Studies in Computational Intelligence, vol 941. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-64619-6_9
7. Yevhenii B. Shapovalov, Viktor B. Shapovalov, Roman A. Tarasenko, Stanislav A. Usenko and Adrian Paschke. (2021) A semantic structuring of educational research usingontologie CTE Workshop Proceedings, Vol. 8: CTE-2020, pp. 105-123 <https://acnsci.org/journal/index.php/cte/article/view/219/223>
8. Prykhodniuk V. V, Kuzmenko O. S., Gorborkov V. V. Ontolohichno kerovana obrobka statystychnykh danykh zi zvitiv rehionalnykh viddilen NK «IaDU». (2025). Naukovi zapysky Maloi akademii nauk Ukrainy, 2(33), S. 69-82. <https://doi.org/10.51707/2618-0529-2025-33-08>. [in Ukrainian]
9. Andrew E. Krumm, Jared Boyce, Howard T. Everson. A (2021) Collaborative Approach to Sharing Learner Event Data. Url: <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1314163.pdf>
10. xAPI: A Guide for Technical Implementers. (2018) Url: https://sagroups.ieee.org/2247-1/wp-content/uploads/sites/316/2018/07/IEEE-LTSC-TAG-xAPI-2018-Technical-Report-on-xAPI_-March-2018-Master-Draft.pdf
11. Pro deiaki pytannia derzhavnykh standartiv povnoi zahalnoi serednoi osvity: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 30.09.2020 № 898 URL: <https://educationforlife.mon.gov.ua/wp-content/uploads/2025/10/pro-deyaki-pytannya-derzhavnyh-standartiv-povnoyi-zagalnoyi-se%E2%80%A6-postanova-%E2%84%96-898-vid-30.09.2020-d498849-20220902.pdf> (data zvernennia 11.10.2025). [in Ukrainian]
12. Pro vnesennia zmin do Derzhavnogo standartu pochatkovoi osvity: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 24.07.2019 № 688. Url: <https://educationforlife.mon.gov.ua/wp-content/uploads/2025/10/pro-vnesennya-zmin-do-derzhavnogo-standartu-pochatkovoyi-osvit%E2%80%A6-postanova-%E2%84%96-688-vid-24.07.2019-d486714-20190724-1.pdf> (data zvernennia 11.10.2025). [in Ukrainian]
13. Monitorynhovi doslidzhennia za 2024 rik. Derzhavna sluzhba yakosti osvity Ukrainy. Kyiv: DSIAO, 2024. Url: <https://sqe.gov.ua/diyalnist/monitoringovi-doslidzhennya/opituvannya-doslidzhennya-vivchennya-za-2024/> (data zvernennia 11.10.2025). [in Ukrainian]

V. B. DEMIANENKO

PhD, Senior Researcher,

*Leading Researcher of the Department of Information and Didactic Modelling,
National Center "Junior Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine*

E-mail: valentyna.demianenko@gmail.com

http://orcid.org/0000-0002-8040-5432

YE. B. SHAPOVALOV

PhD, Head of the Department of Information and Didactic Modeling,

National Center "Junior Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

E-mail: sjb@man.gov.ua

http://orcid.org/0000-0003-3732-9486

A. YE. STRYZHAK

Doctor of Philosophy, Scientific Secretary,

Institute of Applied Control Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

E-mail: stryzhaka@gmail.com

https://orcid.org/0000-0001-8266-2013

**DIGITALIZATION OF EDUCATION: DATA STRUCTURING
AND INTEROPERABILITY CHALLENGES**

This study is dedicated to a critical analysis and justification of architectural solutions for overcoming the problems of structuring and semantic interoperability of educational data in the context of the digitalization of Ukraine's education system. The relevance of the topic is determined by the profound fragmentation of the information landscape, caused by the heterogeneity of platforms used (Educational Management Information Systems (EMIS), LMS, e-journals), which leads to the formation of persistent fragmented data repositories, so-called "information silos." The purpose of the work is a comprehensive analysis of the sources of semantic data inconsistencies and the development of scientific and methodological principles for building an integrated educational system.

The research establishes that the main obstacle is not technical, but rather the semantic isolation of data, which arises from the lack of a unified National Educational Ontology and standardized metadata vocabularies. This results in the violation of key Data Quality Management (DQM) metrics, specifically accuracy, consistency, and timeliness, which minimizes the analytical value of educational information and prevents the effective implementation of Data-Driven Management.

The concept of a Unified National Data Exchange Portal is proposed as a universal architectural intermediary. Utilizing this Hub allows for automatic schema mapping and guarantees cascading data updates, significantly reducing the operational costs associated with data processing and transformation. This transforms data into an economically valuable strategic asset, necessary for the correct formation of objective educational indicators. Furthermore, the critical role of institutional support is emphasized: the introduction of Persistent Identifiers (PID) and the creation of a national regulation for education data governance, which legally establishes DQM procedures and ensures the protection of personal data in the integrated environment.

The results of the work have practical significance for educational digitalization policy formation and provide a scientific and methodological foundation for developing technical specifications for integration platforms.

Key words: Education digitalization, interoperability, Data Quality Management, national educational ontology, data fragmentation.

Дата першого надходження статті до видання: 23.11.2025

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 26.12.2025

Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.12.2025