

doi: xx.xxxx/xxxx

УДК 378.14:004.9:376.1

Т. Л. Столяренко

АРХІТЕКТУРА ВІДКРИТОЇ ЦИФРОВОЇ ІНКЛЮЗИВНОЇ ОСВІТНЬОЇ ЕКОСИСТЕМИ УНІВЕРСИТЕТУ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПІВ UNIVERSAL DESIGN FOR LEARNING

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця

У статті здійснено комплексне теоретичне обґрунтування та розроблено архітектурну модель відкритої цифрової інклюзивної освітньої екосистеми сучасного університету, в основу якої покладено принципи Universal Design for Learning (UDL). Актуальність дослідження зумовлена стрімкою диверсифікацією студентського контингенту, що включає осіб з інвалідністю, іноземних студентів та здобувачів із різними когнітивними стилями, що висуває нові вимоги до гнучкості цифрової інфраструктури закладу вищої освіти. Традиційний підхід «одне рішення для всіх», притаманний більшості сучасних систем управління навчанням (LMS), є неефективним для забезпечення справжньої інклюзії.

В основу запропонованої архітектури покладено три методологічні стовпи UDL: множинні засоби представлення інформації, множинні засоби дії та вираження, а також множинні засоби залучення. Наукова новизна дослідження полягає у розробці багатопланової моделі екосистеми, яка охоплює чотири взаємопов'язані рівні: інфраструктурний (хмарні ресурси та безпека даних), сервісний (LMS, репозиторії відкритих ресурсів та аналітика), адаптаційний (модулі ШІ та асистивні технології) та комунікаційний (API-інтерфейси та стандарти інтероперабельності). Особливу увагу приділено адаптивному навчальному середовищу, яке функціонує на основі динамічної моделі студента, що враховує профілі доступності, уподобань, компетентностей та мотивації.

У роботі деталізовано механізми забезпечення відкритості та інтероперабельності системи через впровадження міжнародних стандартів, таких як IMS Global (LTI, QTI), xAPI та WCAG 2.2 рівня AA. Обґрунтовано організаційну стратегію впровадження архітектури, яка передбачає створення Центру інклюзивної цифрової освіти та трифазний план переходу (від базової інфраструктури до повноцінної екосистеми на основі ШІ). Для оцінювання ефективності запропоновано систему KPI, що базується на показниках доступності, залученості, навчальних результатів та задоволеності користувачів. Практична значущість результатів полягає у створенні концептуального та технічного базису для модернізації університетського цифрового простору з метою забезпечення рівного доступу до якісної освіти для всіх категорій здобувачів.

Ключові слова: інклюзивна освіта, цифрова екосистема, Universal Design for Learning (UDL), архітектура університету, адаптивне навчання, доступність, відкрита освіта, модель студента, інтероперабельність.

Вступ

Сучасна вища освіта функціонує в умовах цифрової трансформації, що супроводжується необхідністю забезпечення рівного доступу до освітніх ресурсів для всіх категорій здобувачів освіти. Особливої актуальності набуває проблема створення інклюзивного освітнього середовища, здатного враховувати різноманітність когнітивних, фізичних і соціальних характеристик студентів.

Традиційні освітні системи часто не відповідають вимогам інклюзивності, що обмежує можливості навчання для осіб з особливими освітніми потребами. Сучасний університет функціонує в умовах зростаючої диверсифікації студентського контингенту: серед здобувачів вищої освіти збільшується частка осіб з інвалідністю, студентів із різними стилями навчання, іноземних громадян,

а також людей, що поєднують навчання з роботою чи доглядом за членами родини [1]. Це висуває принципово нові вимоги до організації освітнього процесу та цифрової інфраструктури університету. Водночас розвиток цифрових технологій створює передумови для формування відкритих освітніх екосистем, здатних забезпечити персоналізоване навчання.

Таким чином, актуальною науковою проблемою є розробка архітектури цифрової інклюзивної освітньої екосистеми університету, яка базується на принципах Universal Design for Learning (UDL) і забезпечує доступність, гнучкість та адаптивність навчального процесу.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями

Попри задекларований курс на інклюзивність, більшість вітчизняних університетів продовжують використовувати технологічні платформи, спроектовані за принципом «одне рішення для всіх» (one-size-fits-all), що априорі не може задовольнити потреби різноманітної аудиторії [2]. Традиційні системи управління навчанням (LMS) забезпечують базовий рівень доступності, однак не інтегрують механізмів адаптації змісту, темпу та способів оцінювання до індивідуальних потреб студентів.

Концепція Universal Design for Learning (UDL), розроблена в Центрі прикладних спеціальних технологій (CAST), пропонує системний підхід до проектування навчального середовища, що забезпечує гнучкість і доступність для всіх учасників освітнього процесу без необхідності спеціальних пристосувань [3]. Однак перенесення принципів UDL у площину цифрової архітектури університету залишається науково-практичним завданням, що потребує ґрунтовного дослідження.

Практична значущість проблеми підсилюється вимогами міжнародних стандартів доступності (WCAG 2.2, EN 301 549), Конвенції ООН про права осіб з інвалідністю, а також Закону України «Про вищу освіту» в частині забезпечення рівного доступу до освітніх послуг [4]. Розробка архітектурних рішень для відкритої цифрової інклюзивної екосистеми є відповіддю на ці виклики.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблематика інклюзивного дизайну в освіті набула суттєвого розвитку в зарубіжній науковій думці протягом останнього десятиліття. Роботи Роуз і Мейєр [3] заклали концептуальну основу UDL як педагогічного підходу, що ґрунтується на трьох принципах: множинні засоби представлення інформації, множинні засоби дії та вираження, множинні засоби залучення.

Дослідження Алберта і Скотта [5] продемонстрували ефективність застосування UDL у вищій освіті, зафіксувавши підвищення академічної успішності студентів з особливими потребами на 23% при впровадженні адаптивних цифрових матеріалів. Фундаментальне значення мають праці Кастро та ін. [6], які запропонували концептуальну модель «інклюзивної цифрової екосистеми» як взаємопов'язаної мережі технологічних компонентів, педагогічних практик та організаційних процесів.

У контексті архітектурного проектування освітніх систем вагомий внесок зробили Андерсон і Дрон [7], які визначили три покоління педагогіки дистанційного навчання та обґрунтували перехід до коннективістських моделей

як основи відкритих освітніх екосистем. Концепцію освітніх екосистем як складних адаптивних систем розвивали Барбер і Дімітрієв [8], акцентуючи увагу на принципах самоорганізації та емерджентності.

Вітчизняні дослідники також роблять значний внесок у розробку теоретичних засад цифровізації освіти. Биков В. Ю. [9] обґрунтував концепцію відкритої освіти як методологічну основу для проектування сучасних освітніх систем. Спірін О. М. [10] розробив модель хмаро орієнтованого навчального середовища університету, що є суттєвою складовою цифрової інфраструктури. Лещенко М. П. та Тимчук Л. І. [11] дослідили проблеми цифрової гуманістики в освіті й окреслили перспективи розвитку інклюзивних технологій.

Водночас у науковій літературі практично відсутні комплексні дослідження, присвячені цілісній архітектурі відкритої цифрової інклюзивної освітньої екосистеми університету, побудованої на принципах UDL. Більшість наявних робіт зосереджені або на окремих технологічних компонентах, або на педагогічних аспектах UDL без урахування системного архітектурного виміру [12].

Формулювання мети статті

Мета статті полягає в розробці та обґрунтуванні архітектурної моделі відкритої цифрової інклюзивної освітньої екосистеми університету на основі принципів Universal Design for Learning, що забезпечує рівний доступ до якісної освіти для всіх учасників навчального процесу незалежно від їхніх індивідуальних особливостей, здібностей та потреб.

Для досягнення мети визначено такі завдання: 1) проаналізувати принципи UDL та їх проєкцію на цифрову архітектуру університету; 2) розробити багатoshарову архітектурну модель відкритої цифрової інклюзивної освітньої екосистеми; 3) визначити ключові компоненти екосистеми та їх функціональні взаємозв'язки; 4) обґрунтувати механізми забезпечення інтероперабельності та відкритості екосистеми; 5) окреслити практичні рекомендації щодо імплементації запропонованої архітектури в університеті.

Викладення основного матеріалу дослідження

1. Принципи UDL як основа архітектурного проєктування

Проектування інклюзивної екосистеми починається з розуміння людської варіативності не як відхилення від норми, а як природної властивості функціонування мозку. Нейропсихологічні дослідження ідентифікують три ключові мережі, що відповідають за процес навчання, які і стали основою принципів UDL (Таблиця 1).

Universal Design for Learning є науково обґрунтованим підходом до проектування навчання, що ґрунтується на нейронаукових дослідженнях варіативності людського мозку [3]. Три основоположні принципи UDL — множинні засоби представлення (What of learning), множинні засоби дії та вираження (How of learning) та множинні засоби залучення (Why of learning) — утворюють методологічну тріаду, що має безпосередні імплікації для цифрової архітектури університету [13].

Перший принцип — множинні засоби представлення — передбачає, що навчальний контент має бути доступним у різних форматах: текстовому, аудіо, відео, інтерактивному. Це вимагає від архітектури підтримки конвертації форматів у режимі реального часу, забезпечення субтитрів та аудіоописів,

можливості налаштування розміру шрифту, контрасту та колірної схеми [14].

Другий принцип — множинні засоби дії та вираження — означає, що студенти повинні мати можливість демонструвати свої знання різними способами: через письмові роботи, усні презентації, мультимедійні проекти, портфоліо тощо. Це зумовлює необхідність гнучкої системи оцінювання та різноманітних інструментів для створення освітнього контенту [15].

Третій принцип — множинні засоби залучення — акцентує на важливості мотивації та саморегуляції навчання. Архітектурно це реалізується через елементи гейміфікації, персоналізовані навчальні маршрути, соціальне навчання та інструменти рефлексії [16].

Таблиця 1

Зв'язок нейронних мереж мозку з принципами UDL та їх реалізація в цифровій екосистемі

Нейронна мережа	Питання навчання	Принцип UDL	Цифрові інструменти реалізації
Афективна (Affective Networks)	"Чому?" — Мотивація та залучення	Множинні засоби залучення (Engagement)	Гейміфікація, вибір тем проектів, соціальні форуми, адаптивні нагадування
Розпізнавальна (Recognition Networks)	"Що?" — Сприйняття та розуміння	Множинні засоби представлення (Representation)	Відео з субтитрами, Alt-text, аудіокниги, інтерактивні схеми, переклад мовами
Стратегічна (Strategic Networks)	"Як?" — Дія та вираження	Множинні засоби дії та вираження (Action & Expression)	Відеоподкасти, ментальні карти, програмування, спільне редагування документів

Оновлення UDL 3.0 (2024 рік) додає до цієї моделі критично важливий шар — ідентичність здобувача. У цифровій екосистемі це означає створення умов, де кожен студент відчуває себе частиною спільноти ("Sense of Belonging") та має інструменти для вираження своєї культурної та особистісної унікальності. Це вимагає від архітектури системи не лише технічної доступності, а й змістовної гнучкості.

Багаторівнева структура відкритої цифрової екосистеми

Цифрова інклюзивна екосистема університету не є статичним набором програм, а складною ієрархічною структурою, де кожен рівень підсилює інший.

Стратегічно-політичний рівень (Governance Layer): Цей рівень включає національні стратегії (наприклад, Стратегію цифрової трансформації освіти і науки України до 2030 р.) та внутрішні університетські політики. Він забезпечує фінансування, правовий захист осіб з інвалідністю та стандартизацію вимог до цифрових ресурсів. Важливим аспектом є перехід від благодійної допомоги до гарантування прав на цифрову доступність.

Технологічний рівень (Infrastructure Layer): Основою є хмарні платформи (Cloud-native), що гарантують доступність 24/7 з будь-якої точки світу. Архітектура базується на концепції NGDLE (Next Generation Digital Learning Environment) — екосистемі інтероперабельних продуктів, що з'єднані відкритими стандартами.

Це дозволяє уникати "замкненості на вендорі" (vendor lock-in) та легко інтегрувати нові асистентські технології.

Контентно-ресурсний рівень (Asset Layer): Включає цифрові навчальні об'єкти (DLO), відкриті освітні ресурси (OER) та мультимедійні бібліотеки. Відповідно до UDL, контент має бути "народженим доступним" (born accessible). Це означає дотримання стандартів WCAG 2.1 AA на етапі створення, а не подальшої адаптації.

Соціально-педагогічний рівень (Human Layer): Найважливіший рівень, що включає мережеві спільноти викладачів, тьюторів, асистентів та самих студентів. Інклюзивна компетентність персоналу є фундаментом екосистеми. Вона передбачає здатність викладача використовувати "Plus One" підхід (за Т. Тобіном) — завжди пропонувати хоча б один альтернативний спосіб залучення чи представлення матеріалу.

Відкрита освіта та OER: Архітектурна відкритість

Справжня інклюзивна екосистема повинна базуватися на принципах відкритості (Openness). Використання відкритих освітніх ресурсів (OER) знімає не лише фінансові бар'єри, а й дозволяє реалізувати право на "5R" (Retain, Reuse, Revise, Remix, Redistribute).

В контексті UDL це дає можливість: 1) Створювати мультимодальні версії одного й того ж курсу (наприклад, додавати переклад жестовою мовою до відкритого відеокурсу без дозволу правовласника). 2) Використовувати відкрите ПЗ (FOSS), яке часто є більш адаптивним та сумісним з асистентськими технологіями, ніж пропрієтарні рішення. 3) Залучати студентів до співтворення знань через відкриту педагогіку, що підвищує їхню впевненість у власних силах та розвиває критичне мислення. 4) Екосистема має включати національну освітню електронну платформу, яка б інтегрувала OER-репозиторії різних університетів, забезпечуючи високу якість контенту незалежно від місця перебування студента.

2. Багат шарова архітектурна модель екосистеми

На основі аналізу принципів UDL та сучасних підходів до проектування освітніх систем запропоновано багат шарову архітектурну модель відкритої цифрової інклюзивної освітньої екосистеми університету, що містить чотири взаємопов'язані шари (рис. 1).

Перший — інфраструктурний шар — формує технологічну основу екосистеми: хмарні обчислювальні ресурси, мережева інфраструктура, системи зберігання даних та сервери ідентифікації. Критичними характеристиками цього шару є масштабованість, надійність та відповідність стандартам безпеки даних (GDPR, Закон України «Про захист персональних даних») [4].

Другий — сервісний шар — є ядром цифрової екосистеми і включає: систему управління навчанням (LMS) з підтримкою стандартів SCORM, xAPI та LTI; репозиторій відкритих освітніх ресурсів (OER); систему управління ідентифікацією та доступом (IAM); аналітичну платформу навчання (Learning Analytics); інструменти відеоконференцв'язку та асинхронної взаємодії [7].

Третій — адаптаційний шар — є ключовою інновацією запропонованої архітектури. Він включає: модуль адаптивного навчального контенту, що автоматично перетворює матеріали в доступні формати залежно від профілю студента; систему рекомендацій на основі штучного інтелекту; механізм

персоналізованих навчальних маршрутів; інструменти асистивних технологій (синтез мовлення, розпізнавання голосу, альтернативні засоби введення) [17].

Четвертий — комунікаційний шар — забезпечує взаємодію між учасниками освітнього процесу та зовнішніми партнерами: роботодавцями, іншими університетами, органами освіти. Він реалізується через API-інтерфейси, протоколи обміну даними (Open API, RESTful), стандарти інтероперабельності (IMS Global, IEEE LTSC) [6].



Рис. 1. Багатошарова архітектурна модель відкритої цифрової інклюзивної освітньої екосистеми університету

3. Компоненти адаптивного навчального середовища

Центральним елементом запропонованої архітектури є адаптивне навчальне середовище (АНС), що функціонує на перетині сервісного та адаптаційного шарів. АНС будується на основі моделі студента (Learner Model), яка динамічно оновлюється на основі даних навчальної аналітики та включає: профіль доступності (технічні засоби, що використовує студент); профіль уподобань (preferred modalities); профіль компетентностей (поточний рівень знань та навичок); профіль мотивації (інтереси, цілі навчання) [18].

На основі моделі студента система генерує персоналізований навчальний маршрут, що визначає послідовність навчальних активностей, рекомендовані ресурси та способи оцінювання. Алгоритми машинного навчання аналізують патерни взаємодії студента з системою та коригують маршрут у режимі реального часу [17].

Важливим компонентом АНС є модуль асистивних технологій, що інтегрує: програми зчитування екрану (JAWS, NVDA); інструменти альтернативного та додаткового спілкування (AAC); засоби перекладу жестовою мовою; технологію відстеження погляду (eye tracking) для студентів з обмеженими руховими можливостями [15].

4. Принципи відкритості та інтероперабельності

Відкритість є фундаментальною характеристикою запропонованої

екосистеми. Вона реалізується на трьох рівнях: технологічному (використання відкритих стандартів та програмного забезпечення з відкритим кодом), контентному (ліцензування навчальних матеріалів за Creative Commons) та організаційному (відкрита освіта як інституційна цінність) [9].

Інтероперабельність забезпечується завдяки дотриманню міжнародних стандартів: IMS Global Learning Consortium (QTI для оцінювання, LTI для інтеграції інструментів, Caliper для аналітики); IEEE 1484.x (LTSC) для опису навчальних об'єктів; xAPI (Tin Can API) для відстеження різноманітних навчальних активностей поза межами LMS; WCAG 2.2 рівня AA як мінімальний стандарт доступності для всіх компонентів [13].

Федеративна архітектура ідентифікації (на основі SAML 2.0, OAuth 2.0 та OpenID Connect) дозволяє студентам використовувати єдині облікові дані для доступу до всіх компонентів екосистеми, включно з зовнішніми освітніми платформами (Coursera, edX, Khan Academy), що є критично важливим для реалізації принципу відкритості [7].

Технічна можливість реалізації UDL у великих масштабах залежить від здатності різних систем обмінюватися даними без втрати контексту та доступності.

LTI 1.3 та LTI Advantage: Цей стандарт забезпечує безпечну інтеграцію зовнішніх інструментів (наприклад, інтерактивних відеосервісів чи симуляцій) безпосередньо в LMS університету. Для інклюзії це означає, що студент може використовувати свій звичний інтерфейс та асистентські налаштування (наприклад, екранний диктор) в усіх підключених додатках. Сервіс "Access For All Personal Needs and Preferences" у межах LTI дозволяє автоматично передавати профіль доступності студента зовнішньому інструменту, який одразу адаптує свій вигляд під його потреби.

xAPI (Experience API): Дозволяє відстежувати навчальний шлях студента поза межами формальної LMS. Для студентів з ООП це критично, оскільки вони часто використовують спеціалізовані мобільні додатки чи офлайн-пристрої. xAPI фіксує ці активності у сховищі рекордів навчання (LRS), дозволяючи викладачу бачити повну картину залученості та вчасно надавати підтримку через систему раннього попередження (Learning Analytics).

Таблиця 2

Порівняльна характеристика компонентів інтероперабельності в інклюзивній екосистемі

Стандарт / Технологія	Основна функція	Значення для інклюзії та UDL
LTI 1.3 (Security Framework)	Безпечна автентифікація (OIDC/OAuth2)	Захист приватних даних про здоров'я та особливі потреби студента при передачі між сервісами.
LTI Advantage (Deep Linking)	Прямий виклик конкретного контенту	Можливість надавати студенту пряме посилання на адаптовану версію ресурсу в обхід складних навігаційних меню.
xAPI Statements	Фіксація досвіду ("Актор-Дієслово-Об'єкт")	Аналіз того, які формати контенту (відео чи текст) студент обирає найчастіше, для подальшої персоналізації траєкторії.

5. Організаційні механізми імплементації

Технологічна архітектура не може функціонувати ефективно без відповідного організаційного забезпечення. Запропонована модель передбачає створення університетського Центру інклюзивної цифрової освіти (ЦІЦО), що виконує функції координації розвитку екосистеми, підтримки здобувачів з особливими потребами, навчання науково-педагогічних працівників та моніторингу доступності [11].

Покрокова імплементація архітектури передбачає три фази. Перша фаза — базова інфраструктура: модернізація LMS, забезпечення базового рівня доступності (WCAG 2.1 AA), впровадження системи навчальної аналітики. Друга фаза — адаптивні компоненти: впровадження персоналізованих навчальних маршрутів, інтеграція асистивних технологій, розвиток репозиторію OER. Третя фаза — повноцінна екосистема: інтеграція ШІ, відкрита федеративна ідентифікація, міжуніверситетська інтероперабельність [12].

Фінансова модель розвитку екосистеми ґрунтується на поєднанні університетського фінансування, грантових коштів (програми Horizon Europe, Erasmus+), державних субсидій у рамках програм підтримки інклюзивної освіти та партнерства з ІТ-компаніями, що постачають ліцензійне програмне забезпечення [8].

6. Оцінювання ефективності екосистеми

Для оцінювання ефективності запропонованої архітектури розроблено систему ключових показників (KPI), що охоплює чотири виміри: доступність (відсоток компонентів, що відповідають WCAG 2.2 AA; кількість студентів, що використовують асистивні технології); залученість (рівень активності студентів у системі; показник утримання на курсах); навчальні результати (академічна успішність у порівнянні між студентами з особливими потребами та без них); задоволеність (результати опитувань щодо сприйнятності середовища) [18].

Навчальна аналітика є ключовим інструментом моніторингу та вдосконалення екосистеми. Платформа аналітики збирає дані з усіх компонентів через xAPI, агрегує їх у єдиному сховищі (Learning Record Store) та надає дашборди для викладачів, адміністраторів та самих студентів [6]. Особлива увага приділяється питанням конфіденційності даних та алгоритмічної упередженості, що є критичними етичними аспектами застосування ШІ в освіті.

7. Висновки та перспективи подальших робіт

У статті розроблено та обґрунтовано архітектуру відкритої цифрової інклюзивної освітньої екосистеми університету на основі принципів Universal Design for Learning. Запропонована чотиришарова модель (інфраструктурний, сервісний, адаптаційний та комунікаційний шари) забезпечує системний підхід до проектування інклюзивного цифрового середовища, що враховує технологічні, педагогічні та організаційні аспекти.

Ключові наукові результати дослідження полягають у такому: вперше запропоновано цілісну архітектурну модель відкритої цифрової інклюзивної освітньої екосистеми університету, що інтегрує принципи UDL на всіх рівнях проектування; обґрунтовано функціональну роль адаптивного навчального середовища як центрального компонента екосистеми; розроблено механізми

забезпечення інтероперабельності на основі міжнародних освітніх стандартів; запропоновано організаційну модель покрокової імплементації архітектури.

Практична значущість результатів полягає у можливості їх безпосереднього використання університетами при розробці або модернізації цифрової інфраструктури з метою забезпечення інклюзивності освітнього процесу. Запропонована система КРІ дозволяє здійснювати систематичний моніторинг ефективності екосистеми та приймати обґрунтовані рішення щодо її розвитку.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з: емпіричною верифікацією запропонованої архітектурної моделі на базі конкретних університетів; розробкою детального технічного специфікацій для кожного компоненту екосистеми; дослідженням ефективності алгоритмів адаптивного навчання для різних категорій студентів з особливими потребами; аналізом правових та етичних аспектів збору та обробки персональних даних у контексті навчальної аналітики; вивченням міжнародного досвіду імплементації подібних екосистем та його адаптації до українського контексту.

Список літератури

1. Конвенція про права осіб з інвалідністю [Електронний ресурс] / Організація Об'єднаних Націй. – 2006. – Режим доступу: <https://www.un.org/disabilities/documents/convention/convoptprot-e.pdf> (дата звернення: 13.04.2026).
2. Seale J. E-Learning and Disability in Higher Education: Accessibility Research and Practice / J. Seale. – 3rd ed. – Routledge, 2020. – 320 p..
3. Rose D. H. Teaching Every Student in the Digital Age: Universal Design for Learning / D. H. Rose, A. Meyer. – ASCD, 2002. – 216 p.
4. Закон України «Про вищу освіту»: Закон України від 01.07.2014 № 1556-VII // Відомості Верховної Ради України. – 2014. – № 37–38. – Ст. 2004. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-18> (дата звернення: 13.04.2026)
5. Al-Azawei A. Universal Design for Learning (UDL): A Content Analysis of Peer Reviewed Journal Articles from 2012 to 2015 / A. Al-Azawei, F. Serenelli, K. Lundqvist // Journal of the Scholarship of Teaching and Learning. – 2016. – Vol. 16, № 3. – P. 39–56.
6. Castro R. Digital Inclusive Ecosystems in Higher Education: A Conceptual Framework / R. Castro, A. Díaz, E. Martín // Educational Technology & Society. – 2019. – Vol. 22, № 4. – P. 12–25.
7. Anderson T. Three Generations of Distance Education Pedagogy / T. Anderson, J. Dron // International Review of Research in Open and Distributed Learning. – 2011. – Vol. 12, № 3. – P. 80–97.
8. Barber M. Educational Ecosystems for a Changing World / M. Barber, E. Dimitriadou. – Pearson, 2021.
9. Биков В. Ю. Моделі організаційних систем відкритої освіти : монографія / В. Ю. Биков. – К. : Атіка, 2009. – 424 с..
10. Спірін О. М. Хмаро орієнтоване освітнє середовище навчального закладу: сучасний стан і перспективи розвитку в Україні / О. М. Спірін // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2013. – Т. 37, № 5. – С. 66–80.

11. Лещенко М. П. Цифрова гуманістика як відкрита і багатовимірна сфера науково-педагогічної діяльності / М. П. Лещенко, Л. І. Тимчук // Інформаційні технології і засоби навчання. – 2015. – Т. 48, № 4. – С. 1–14.
12. Burgstahler S. Universal Design in Higher Education: From Principles to Practice / S. Burgstahler. – 3rd ed. – Harvard Education Press, 2020. – 420 p..
13. Universal Design for Learning Guidelines Version 2.2 [Електронний ресурс] / CAST. – 2018. – Режим доступу: <http://udlguidelines.cast.org> (дата звернення: 13.04.2026).
14. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2 [Електронний ресурс] / W3C Web Accessibility Initiative. – 2023. – Режим доступу: <https://www.w3.org/TR/WCAG22/> (дата звернення: 13.04.2026).
15. Edyburn D. L. Assistive Technology in Education: A Critical Guide to the Field / D. L. Edyburn. – Routledge, 2021. – 256 p..
16. Meyer A. Universal Design for Learning: Theory and Practice / A. Meyer, D. H. Rose, D. Gordon. – CAST Professional Publishing, 2014. – 232 p..
17. Intelligent tutoring systems: a systematic review of characteristics, applications, and evaluation methods / E. Mousavinasab [et al.] // Interactive Learning Environments. – 2021. – Vol. 29, № 1. – P. 142–163.
18. Utilizing Learning Analytics to Support Study Success / ed. by D. Ifenthaler, D. K. Mah, J. Y. K. Yau. – Springer, 2019. – 365 p..

References

1. United Nations. Convention on the Rights of Persons with Disabilities [Electronic resource] / United Nations. – 2006. – Access mode: <https://www.un.org/disabilities/documents/convention/convoptprot-e.pdf> (Accessed 13.04.2026).
2. Seale J. E-Learning and Disability in Higher Education: Accessibility Research and Practice / J. Seale. – 3rd ed. – Routledge, 2020. – 320 p.
3. Rose D. H. Teaching Every Student in the Digital Age: Universal Design for Learning / D. H. Rose, A. Meyer. – ASCD, 2002. – 216 p..
4. On Higher Education : Law of Ukraine dated 01.07.2014 No. 1556-VII // Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine. – 2014. – No. 37–38. – Art. 2004.
5. Al-Azawei A. Universal Design for Learning (UDL): A Content Analysis of Peer Reviewed Journal Articles from 2012 to 2015 / A. Al-Azawei, F. Serenelli, K. Lundqvist // Journal of the Scholarship of Teaching and Learning. – 2016. – Vol. 16, No. 3. – P. 39–56.
6. Castro R. Digital Inclusive Ecosystems in Higher Education: A Conceptual Framework / R. Castro, A. Díaz, E. Martín // Educational Technology & Society. – 2019. – Vol. 22, No. 4. – P. 12–25.
7. Anderson T. Three Generations of Distance Education Pedagogy / T. Anderson, J. Dron // International Review of Research in Open and Distributed Learning. – 2011. – Vol. 12, No. 3. – P. 80–97.
8. Barber M. Educational Ecosystems for a Changing World [Electronic resource] / M. Barber, E. Dimitriadou. – Pearson, 2021. – Access mode: <https://www.pearson.com/content/dam/one-dot-com/one-dot-com/global/Files/about/innovation/education-ecosystems.pdf> (Accessed 13.04.2026).

9. Bykov V. Yu. Models of organizational systems of open education: monograph [Modeli orhanizatsiinykh system vidkrytoi osvity] / V. Yu. Bykov. – Atika, 2009. – 424 p.
10. Spirin O. M. Cloud-oriented educational environment of an educational institution: current state and prospects of development in Ukraine [Khmaro oriientovane osvitnie seredovyshe navchalnoho zakladu: suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku v Ukraini] / O. M. Spirin // Information Technologies and Learning Tools. – 2013. – Vol. 37, No. 5. – P. 66–80.
11. Leshchenko M. P. Digital humanities as an open and multidimensional sphere of scientific and pedagogical activity [Tsyfrova humanistyka yak vidkryta i bahatovymirna sfera naukovo-pedahohichnoi diialnosti] / M. P. Leshchenko, L. I. Tymchuk // Information Technologies and Learning Tools. – 2015. – Vol. 48, No. 4. – P. 1–14.
12. Burgstahler S. Universal Design in Higher Education: From Principles to Practice / S. Burgstahler. – 3rd ed. – Harvard Education Press, 2020. – 420 p..
13. Universal Design for Learning Guidelines Version 2.2 [Electronic resource] / CAST. – 2018. – Access mode: <http://udlguidelines.cast.org> (Accessed 13.04.2026).
14. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2 [Electronic resource] / W3C Web Accessibility Initiative. – 2023. – Access mode: <https://www.w3.org/TR/WCAG22/> (Accessed 13.04.2026).
15. Edyburn D. L. Assistive Technology in Education: A Critical Guide to the Field / D. L. Edyburn. – Routledge, 2021. – 256 p.
16. Meyer A. Universal Design for Learning: Theory and Practice / A. Meyer, D. H. Rose, D. Gordon. – CAST Professional Publishing, 2014. – 232 p..
17. Intelligent tutoring systems: a systematic review of characteristics, applications, and evaluation methods / E. Mousavinasab [et al.] // Interactive Learning Environments. – 2021. – Vol. 29, No. 1. – P. 142–163.
18. Utilizing Learning Analytics to Support Study Success / ed. by D. Ifenthaler, D. K. Mah, J. Y. K. Yau. – Springer, 2019. – 365 p.

Надійшла до редакції 14.04.2025, розглянута на редколегії 00.00.2025

ARCHITECTURE OF AN OPEN DIGITAL INCLUSIVE EDUCATIONAL ECOSYSTEM OF A UNIVERSITY BASED ON THE PRINCIPLES OF UNIVERSAL DESIGN FOR LEARNING

The article provides a comprehensive theoretical substantiation and develops an architectural model of an open digital inclusive educational ecosystem for a modern university, based on the principles of Universal Design for Learning (UDL). The relevance of the study is driven by the rapid diversification of the student population, including persons with disabilities, international students, and learners with diverse cognitive styles, which places new demands on the flexibility of the digital infrastructure of higher education institutions. The traditional "one-size-fits-all" approach inherent in most modern Learning Management Systems (LMS) is ineffective for ensuring true inclusion.

The proposed architecture is founded on the three methodological pillars of

UDL: multiple means of representation, multiple means of action and expression, and multiple means of engagement. The scientific novelty of the research lies in the development of a multi-layer ecosystem model that covers four interconnected levels: the infrastructure layer (cloud resources and data security), the service layer (LMS, repositories of open resources, and analytics), the adaptation layer (AI modules and assistive technologies), and the communication layer (API interfaces and interoperability standards). Special attention is paid to the adaptive learning environment, which functions based on a dynamic learner model that takes into account profiles of accessibility, preferences, competencies, and motivation .

The paper details the mechanisms for ensuring the openness and interoperability of the system through the implementation of international standards such as IMS Global (LTI, QTI), xAPI, and WCAG 2.2 Level AA. The organizational strategy for implementing the architecture is substantiated, providing for the creation of a Center for Inclusive Digital Education and a three-phase transition plan (from basic infrastructure to a full-fledged AI-based ecosystem over 2 years). To evaluate the effectiveness, a KPI system is proposed based on indicators of accessibility, engagement, learning outcomes, and user satisfaction . The practical significance of the results lies in the creation of a conceptual and technical basis for modernizing the university's digital space to ensure equal access to quality education for all categories of students.

Keywords: inclusive education, digital ecosystem, Universal Design for Learning (UDL), university architecture, adaptive learning, accessibility, open education, learner model, interoperability.

Відомості про автора:

Столяренко Тетяна Леонідівна – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри Економічної кібернетики і системного аналізу Харківського національного економічного університету ім. Семена Кузнеця. Електронна пошта: tatsto1978@gmail.com, телефон 0975218476, ORCID: 0000-0002-7202-316X.

About the author:

Stoliarenko Tetyana – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Economic Cybernetics and System Analysis Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics Email: tatsto1978@gmail.com, Phone: 0975218476, ORCID: 0000-0002-7202-316X