

<https://doi.org/10.62405/osiconf.2026.27>

Романюк Олександр,

Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна,
ORCID: 0000-0002-2245-3364, e-mail: rom8591@gmail.com

Майданюк Володимир,

Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна,
ORCID: 0000-0002-2386-6603, e-mail: maidaniuk2000@gmail.com

ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ОСНОВА ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІДКРИТИХ ЦИФРОВИХ ОСВІТНІХ ПЛАТФОРМ

АНОТАЦІЯ. Метою дослідження є визначення ролі хмарних технологій у функціонуванні відкритих цифрових освітніх платформ та формування структурно-функціональної моделі їх побудови. Використано методи системного і порівняльного аналізу, узагальнення, структурної декомпозиції та функціонального моделювання. Запропоновано п'ятирівневу модель хмарної освітньої платформи, що включає інфраструктурний, платформний, сервісний, інтеграційний та користувацький рівні. Сформовано систему критеріїв оцінювання платформи за показниками доступності, масштабованості, інтероперабельності, відкритості, відмовостійкості, захищеності та економічної ефективності. Обґрунтовано доцільність комплексного використання моделей надання хмарних ресурсів IaaS, PaaS і SaaS. Встановлено, що хмарна архітектура створює технологічні умови для масштабованого доступу до відкритих освітніх ресурсів, інтеграції розподілених інформаційних систем і зменшення залежності закладів освіти від локальної обчислювальної інфраструктури.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: хмарні технології; цифрова освіта; освітня платформа; відкриті освітні ресурси; інтероперабельність; масштабованість

ВСТУП. Цифрова трансформація освіти спричиняє суттєві зміни у способах створення, зберігання, поширення та використання навчальної інформації. Цифрові ресурси вже не виконують виключно допоміжної функції, а стають складовою інформаційної інфраструктури закладів освіти. Навчальні курси, електронні бібліотеки, системи контролю знань, відеоматеріали, засоби комунікації, репозитарії та сервіси спільної роботи формують комплексне цифрове середовище, доступ до якого має забезпечуватися незалежно від фізичного місця перебування користувача.

Важливим напрямом цифрової трансформації є розвиток відкритих освітніх ресурсів. Відповідно до рекомендацій UNESCO відкритими освітніми ресурсами є навчальні, викладацькі та дослідницькі матеріали, що перебувають у суспільному надбанні або поширюються за відкритою ліцензією, яка допускає безоплатний доступ, використання, адаптацію та подальше поширення (UNESCO, 2019). Тому відкритість сучасної цифрової освітньої платформи не повинна зводитися лише до можливості перегляду навчального матеріалу. Необхідними є також можливість його пошуку, повторного використання, інтеграції з іншими інформаційними системами та збереження відомостей про походження й умови ліцензування.

Проблематика відкритих цифрових платформ пов'язана також із розвитком концепції відкритої науки. У рекомендаціях UNESCO наголошується на важливості відкритих освітніх ресурсів, відкритого програмного забезпечення, відкритих даних та цифрових інфраструктур як взаємопов'язаних компонентів сучасного інформаційного середовища (UNESCO, 2021). Відповідно цифрова освітня платформа має забезпечувати не тільки доступ користувача до інформації, але й технологічні можливості для обміну ресурсами між освітніми, бібліотечними, науковими та дослідницькими системами.

Одним із технологічних засобів реалізації таких вимог є хмарні обчислення. Їх використання дозволяє переносити значну частину обчислювальних операцій, програмних компонентів і систем

зберігання даних із локальної інфраструктури закладу освіти до розподіленого обчислювального середовища. Завдяки цьому забезпечуються масштабованість, централізоване керування, резервування та можливість оперативної зміни обсягу доступних ресурсів.

Актуальність застосування хмарних технологій особливо зростає для відкритих платформ, кількість користувачів яких неможливо точно визначити заздалегідь. Після публікації відкритого курсу, проведення масового освітнього заходу або надання доступу до нового інформаційного ресурсу навантаження на систему може багаторазово збільшуватися протягом короткого проміжку часу. Традиційна локальна серверна інфраструктура для підтримання такого навантаження потребує резервування значних обчислювальних потужностей, які в інший час можуть використовуватися неефективно.

Хмарні технології дають змогу реалізувати принцип еластичності ресурсів, відповідно до якого їх кількість збільшується або зменшується залежно від поточного навантаження. Це дозволяє розглядати хмарне середовище не тільки як альтернативне місце розміщення програмного забезпечення, а як функціональну основу побудови масштабованих інформаційних систем.

Дослідження використання цифрових навчальних платформ підтверджують зростання їх значення у збиранні, обробленні та застосуванні освітніх даних (Hase & Kuhl, 2024). Використання хмарного й периферійного оброблення даних розглядається також як один із засобів підвищення ефективності інтеграції та спільного використання розподілених освітніх ресурсів (Wang & Wang, 2023).

Поряд із технологічними перевагами хмарного середовища залишаються невирішеними питання оптимального розподілу функцій між його рівнями, забезпечення інтероперабельності, запобігання залежності від окремого постачальника хмарних послуг, організації захисту даних та вибору критеріїв оцінювання архітектури відкритої цифрової платформи.

Особливого значення набуває розмежування понять «доступність ресурсу» та «відкритість ресурсу». Матеріал може бути доступним через мережу Інтернет, але його повторне використання може обмежуватися ліцензією, форматом або технічною неможливістю експорту. Відкрита платформа повинна забезпечувати не лише фізичний доступ до інформації, а й технологічні та правові умови для її легітимного повторного застосування.

Метою роботи є визначення ролі хмарних технологій у побудові відкритих цифрових освітніх платформ і формування структурно-функціональної моделі їх хмарної інфраструктури. Для досягнення поставленої мети необхідно визначити основні функціональні вимоги до відкритої цифрової освітньої платформи; дослідити можливості різних моделей надання хмарних ресурсів; сформувати багаторівневу архітектуру платформи; визначити критерії її оцінювання та встановити переваги й обмеження використання хмарного підходу.

МЕТОДИ. Дослідження має теоретико-прикладний характер. Для його проведення застосовано системний аналіз, порівняльний аналіз, структурну декомпозицію, узагальнення та функціональне моделювання.

Метод системного аналізу використано для представлення відкритої цифрової освітньої платформи як сукупності взаємопов'язаних компонентів. На відміну від підходу, за якого платформа розглядається лише як вебсайт або система управління навчанням, у роботі враховано серверну інфраструктуру, системи зберігання, прикладні сервіси, програмні інтерфейси, засоби ідентифікації користувачів та механізми інформаційного обміну.

Метод структурної декомпозиції застосовано для розподілу загальної інформаційної системи на функціональні рівні. Основним критерієм декомпозиції визначено тип функцій, які виконує відповідний компонент: надання обчислювальних ресурсів, створення програмного середовища, надання освітніх сервісів, організація інформаційної взаємодії або забезпечення взаємодії з кінцевим користувачем.

Порівняльний аналіз використано для дослідження трьох основних моделей хмарних послуг: інфраструктура як послуга — Infrastructure as a Service (IaaS), платформа як послуга — Platform as a Service (PaaS) та програмне забезпечення як послуга — Software as a Service (SaaS). Порівняння здійснювалося за функціональним призначенням, рівнем контролю над ресурсами, можливостями масштабування та складністю адміністрування.

Для комплексного оцінювання платформи запропоновано використовувати сукупність критеріїв $K = \{A, S, I, O, R, P, E\}$, де A — доступність; S — масштабованість; I — інтероперабельність; O — відкритість; R — відмовостійкість; P — захищеність інформації; E — економічна ефективність.

Доступність характеризує можливість отримання користувачем необхідного ресурсу або сервісу в потрібний момент. Масштабованість визначає здатність системи адаптуватися до збільшення або зменшення кількості користувачів і обсягів даних. Інтероперабельність характеризує можливість взаємодії з іншими інформаційними системами без необхідності суттєвої зміни їх внутрішньої структури.

Відкритість оцінюється через підтримання відкритих форматів, ліцензій, стандартів і механізмів експорту. Відмовостійкість характеризує здатність продовжувати надання основних сервісів у разі відмови окремого компонента. Захищеність передбачає забезпечення конфіденційності, цілісності й доступності інформації. Економічна ефективність відображає співвідношення функціональних можливостей платформи та витрат на її створення, підтримку, модернізацію і масштабування.

Під час формування вимог до інформаційних ресурсів ураховано принципи знаходжуваності, доступності, інтероперабельності та повторного використання даних. Для освітньої платформи це передбачає необхідність збереження разом із цифровим об'єктом структурованих метаданих про автора, назву, тип матеріалу, предметну область, версію, мову та умови використання.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ. У результаті структурно-функціонального аналізу запропоновано п'ятирівневу модель відкритої цифрової освітньої платформи, яка включає інфраструктурний, платформний, сервісний, інтеграційний та користувацький рівні.

Інфраструктурний рівень є базовим і містить обчислювальні ресурси, віртуальні сервери, мережеві компоненти, системи зберігання даних, засоби резервного копіювання та балансування навантаження. Для реалізації цього рівня найбільш характерним є використання IaaS.

Перевагою IaaS для освітньої платформи є можливість змінювати конфігурацію обчислювального середовища без фізичної модернізації локального обладнання. У разі збільшення кількості користувачів можуть додатково виділятися віртуальні процесори, оперативна пам'ять або сховища. Після зменшення навантаження надлишкові ресурси можуть бути вивільнені.

Це особливо важливо для відкритих курсів і цифрових репозитаріїв, оскільки навантаження на них може бути нерівномірним. Використання виключно локальних серверів вимагає розраховувати апаратну конфігурацію на максимальну кількість одночасних користувачів. Хмарне середовище дозволяє частково усунути таку необхідність завдяки динамічному масштабуванню.

Платформний рівень включає програмні середовища виконання, системи керування базами даних, засоби контейнеризації, сервіси моніторингу, черги повідомлень, механізми автентифікації та інші компоненти, які використовуються для створення та функціонування прикладних сервісів.

Для цього рівня доцільним є використання PaaS. Його застосування дозволяє розробникам концентруватися на функціональності освітньої системи без необхідності безпосередньо керувати значною частиною базової серверної інфраструктури.

Використання контейнеризації додатково підвищує переносимість програмних компонентів. Сервіс, розгорнутий у контейнері, значно менше залежить від конфігурації конкретного фізичного або

віртуального сервера. Це важливо для відкритих платформ, що потенційно можуть розгортатися в декількох організаціях або переноситися між хмарними середовищами.

Сервісний рівень містить програмні засоби, з якими безпосередньо пов'язана реалізація освітніх функцій. Це системи керування навчанням, репозитарії, електронні бібліотеки, сервіси тестування, засоби організації відеозв'язку, інструменти спільної роботи, навчальна аналітика, пошукові системи та засоби управління цифровим контентом.

Для окремих компонентів цього рівня може використовуватися модель SaaS. Якщо певна функція є типовою і не потребує спеціальної адаптації, її використання у вигляді готового хмарного сервісу дозволяє скоротити витрати на створення та обслуговування власного програмного рішення.

Важливим компонентом відкритої цифрової освітньої платформи визначено репозитарій відкритих освітніх ресурсів. Для кожного цифрового об'єкта доцільно зберігати не тільки сам файл, але й метадані. Відсутність метаданих різко знижує можливість знаходження та повторного використання ресурсів, навіть якщо вони фізично перебувають у відкритому доступі.

Інтеграційний рівень забезпечує інформаційну взаємодію між внутрішніми компонентами платформи та зовнішніми системами. Він повинен містити прикладні програмні інтерфейси, механізми імпорту та експорту, засоби єдиної ідентифікації, стандартизовані формати обміну та механізми передавання метаданих.

Інтеграційний рівень безпосередньо визначає рівень технологічної відкритості системи. Платформа, яка дозволяє користувачам лише переглядати контент через власний вебінтерфейс, але не підтримує експорт і автоматизовану взаємодію з іншими системами, має обмежену інтероперабельність.

Тому доцільно передбачити документовані програмні інтерфейси, відкриті формати даних та можливість отримання метаданих цифрових об'єктів. Це дає змогу інтегрувати освітню платформу з інституційними репозитаріями, електронними бібліотеками, інформаційними системами закладів освіти та дослідницькими платформами.

Користувацький рівень формує середовище безпосередньої взаємодії людини з платформою. До нього належать вебінтерфейс, мобільний інтерфейс, особисті кабінети та засоби пошуку й навігації.

Важливою характеристикою цього рівня є незалежність від типу пристрою. Відкрита цифрова платформа повинна забезпечувати роботу не тільки на персональному комп'ютері, але й на планшетах і мобільних пристроях. Необхідно також враховувати ситуації обмеженої пропускну здатності мережі, тому оптимізація обсягів даних і можливість завантаження ресурсів для автономного використання є важливими елементами доступності.

Результати аналізу дозволили встановити, що використання лише однієї моделі хмарних послуг для всієї платформи не є оптимальним. Доцільним є комбінування IaaS, PaaS і SaaS залежно від призначення відповідного компонента. Як показано в таблиці 1, моделі хмарних послуг виконують різні функції та можуть використовуватися як взаємодоповнювальні технологічні засоби.

Таблиця 1. Функціональне використання моделей хмарних послуг у цифровій освітній платформі

Модель	Основне призначення	Застосування в освітній платформі	Основна перевага
IaaS	Обчислювальна інфраструктура	Віртуальні сервери, сховища, резервне копіювання	Масштабованість і контроль ресурсів
PaaS	Середовище виконання та розроблення	Бази даних, контейнери, програмні інтерфейси	Спрощення розроблення та розгортання
SaaS	Готові програмні функції	Відеозв'язок, спільна робота, окремі навчальні сервіси	Швидкість упровадження

Поєднання декількох моделей дозволяє сформувати гібридну архітектуру. Наприклад, базу даних і репозитарій освітніх ресурсів заклад освіти може контролювати самостійно, розміщуючи їх у власному сегменті хмарної інфраструктури, а засоби відеоконференцій використовувати у вигляді готової програмної послуги.

Однією з основних переваг запропонованої моделі є масштабованість. У традиційній архітектурі збільшення кількості користувачів може потребувати придбання нового обладнання та перенесення частини сервісів. У хмарному середовищі масштабування може виконуватися шляхом створення додаткових екземплярів сервісу та розподілу вхідних запитів між ними.

Важливою характеристикою є також відмовостійкість. Критично важливі дані не повинні зберігатися лише на одному фізичному вузлі. Реплікація, резервні копії та географічне розподілення ресурсів дозволяють знизити ризик повної недоступності платформи внаслідок окремої апаратної відмови.

Хмарне середовище створює передумови для централізованого моніторингу. Доцільно контролювати завантаження процесорів, обсяг використаної пам'яті, кількість запитів, час відповіді сервісів, частоту помилок і заповнення сховищ. На основі отриманих показників можуть прийматися рішення щодо автоматичного масштабування.

Водночас використання хмарної інфраструктури не гарантує відкритості платформи автоматично. Якщо застосовуються закриті формати даних, недокументовані інтерфейси або технології, які не дозволяють перенести цифрові ресурси до іншого середовища, виникає залежність від конкретного постачальника.

Тому запропонована модель передбачає пріоритет відкритих форматів та стандартизованих механізмів інтеграції. Необхідно забезпечувати періодичний експорт критично важливих даних та можливість їх відновлення в іншому середовищі.

Окремого розгляду потребує інформаційна безпека. Відкритість освітнього контенту не означає відкритого доступу до всіх інформаційних ресурсів системи. Необхідно розмежувати загальнодоступний контент, службову інформацію та персональні дані користувачів.

Для загальнодоступного освітнього ресурсу може не вимагатися автентифікація. Водночас операції його редагування повинні виконуватися лише користувачами з відповідними повноваженнями. Персональні результати навчання, облікові записи та журнали активності мають бути доступними лише визначеним категоріям користувачів.

З метою порівняння можливих архітектурних рішень запропоновано використовувати інтегральний показник $Q = w_1A + w_2S + w_3I + w_4O + w_5R + w_6P + w_7E$, де w_1 – w_7 — вагові коефіцієнти відповідних критеріїв, сума яких дорівнює одиниці.

Вагові коефіцієнти пропонується встановлювати залежно від призначення конкретної системи. Для платформи масових відкритих онлайн-курсів найбільші значення можуть надаватися доступності та масштабованості. Для інституційного репозитарію першочергового значення набувають відкритість, збереження інформації та інтеоперабельність. Для системи, що містить персональні результати навчання, підвищується вагомість критерію захищеності.

Таким чином, запропонований підхід не передбачає існування єдиної конфігурації, оптимальної для всіх освітніх платформ, а формує набір критеріїв, за якими може оцінюватися конкретне архітектурне рішення.

Результати дослідження узгоджуються з підходом до відкритої науки, відповідно до якого інформаційні ресурси мають бути максимально відкритими за умови дотримання правових, етичних і безпекових обмежень (Lindemann & Häberlein, 2023). Це положення є особливо важливим для освітніх платформ, оскільки вони одночасно можуть містити відкритий навчальний контент та інформацію обмеженого доступу.

Використання хмарного середовища також впливає на економічну модель функціонування цифрової платформи. Замість одноразового придбання серверного обладнання витрати можуть залежати від фактичного використання обчислювальних ресурсів. Це підвищує гнучкість, але одночасно вимагає постійного контролю споживання ресурсів, оскільки нераціонально налаштовані сервіси можуть призводити до збільшення експлуатаційних витрат.

Ще одним фактором є цифрова нерівність. Хмарна платформа формально робить ресурс доступним із будь-якого місця, де є мережеве з'єднання, однак реальна можливість використання залежить від якості доступу до мережі та характеристик пристрою користувача. Тому під час проєктування необхідно передбачати оптимізоване передавання інформації, адаптивні інтерфейси та можливість роботи з матеріалами в автономному режимі.

Отже, хмарні технології доцільно розглядати не лише як засіб розміщення програмного забезпечення, а як комплексну технологічну основу для зберігання, оброблення, інтеграції та поширення відкритих цифрових освітніх ресурсів.

ВИСНОВКИ. У результаті проведеного дослідження встановлено, що хмарні технології створюють технологічну основу для побудови масштабованих відкритих цифрових освітніх платформ. Їх використання дозволяє перейти від жорстко визначеної локальної серверної інфраструктури до моделі динамічного виділення обчислювальних ресурсів відповідно до фактичної потреби.

Запропоновано п'ятирівневу структурно-функціональну модель відкритої цифрової освітньої платформи, що включає інфраструктурний, платформний, сервісний, інтеграційний та користувацький рівні. Запропонована декомпозиція забезпечує розмежування функцій зберігання та оброблення даних, виконання програмних компонентів, реалізації освітніх сервісів, інформаційної інтеграції та взаємодії з користувачем.

Обґрунтовано доцільність комбінованого використання моделей IaaS, PaaS та SaaS. IaaS доцільно використовувати для керування базовою обчислювальною інфраструктурою, PaaS — для розроблення та виконання прикладних компонентів, SaaS — для типових завершених функцій, створення власних аналогів яких є економічно недоцільним.

Сформовано систему критеріїв оцінювання хмарної освітньої платформи, яка включає доступність, масштабованість, інтероперабельність, відкритість, відмовостійкість, захищеність та економічну ефективність. Запропоновано інтегральний показник, який дає змогу врахувати значущість кожного критерію для конкретного типу освітньої системи.

Встановлено, що технологічна відкритість платформи має передбачати не тільки вільний доступ до частини навчальних матеріалів, але й використання відкритих форматів, метаданих, стандартних програмних інтерфейсів та механізмів експорту. Водночас відкритість контенту повинна поєднуватися із захистом персональних і службових даних.

Перспективою подальшого дослідження є розроблення експериментального прототипу запропонованої хмарної платформи та кількісне визначення залежності часу відповіді системи, пропускну здатності, вартості експлуатації та використання обчислювальних ресурсів від кількості одночасних користувачів. Практичне експериментальне дослідження також дозволить обґрунтувати значення вагових коефіцієнтів запропонованого інтегрального критерію.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Hase, A., & Kuhl, P. (2024). Teachers' use of data from digital learning platforms for instructional design: A systematic review. *Educational Technology Research and Development*, 72, 1925–1945. <https://doi.org/10.1007/s11423-024-10356-y>

- Lindemann, T., & Häberlein, L. (2023). Contours of a research ethics and integrity perspective on open science. *Frontiers in Research Metrics and Analytics*, 8, 1052353. <https://doi.org/10.3389/frma.2023.1052353>
- UNESCO. (2019). Recommendation on Open Educational Resources (OER). UNESCO. <https://www.unesco.org/en/legal-affairs/recommendation-open-educational-resources-oer>
- UNESCO. (2021). UNESCO Recommendation on Open Science. UNESCO.
- Wang, C., & Wang, D. (2023). Managing the integration of teaching resources for college physical education using intelligent edge-cloud computing. *Journal of Cloud Computing*, 12, 82. <https://doi.org/10.1186/s13677-023-00455-1>

Romanyuk Oleksandr,

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine,
ORCID: 0000-0002-2245-3364, e-mail: rom8591@gmail.com

Maydanyuk Volodymyr,

Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, Ukraine,
ORCID: 0000-0002-2386-6603, e-mail: maidaniuk2000@gmail.com

CLOUD TECHNOLOGIES AS A BASIS FOR THE FUNCTIONING OF OPEN DIGITAL EDUCATIONAL PLATFORMS

ABSTRACT. *The purpose of the study is to determine the role of cloud technologies in the operation of open digital educational platforms and to develop a structural and functional model for their implementation. The research applies system and comparative analysis, generalization, structural decomposition, and functional modelling. A five-layer model of a cloud-based educational platform is proposed, including infrastructure, platform, service, integration, and user layers. A set of platform evaluation criteria is formulated, covering availability, scalability, interoperability, openness, fault tolerance, data protection, and economic efficiency. The combined use of IaaS, PaaS, and SaaS cloud service models for different functional components is substantiated. The results demonstrate that cloud architecture provides technological conditions for scalable access to open educational resources, integration of distributed information systems, reliable data storage, and reduction of educational institutions' dependence on local computing infrastructure.*

KEYWORDS: *cloud technologies; digital education; educational platform; open educational resources; interoperability; scalability.*