

УДК 004.42:37.018.43

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2025.2.19>

**Артем МОІСЕЄНКО**

аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення,

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», [a.m.moiseienko@khai.edu](mailto:a.m.moiseienko@khai.edu)

ORCID: 0009-0001-7852-4993

**Юлія КУЗНЕЦОВА**

кандидат технічних наук, доцент,

доцент кафедри інженерії програмного забезпечення,

Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», [y.kuznetsova@khai.edu](mailto:y.kuznetsova@khai.edu)

ORCID: 0000-0001-9416-6981

**АНАЛІЗ ПРОБЛЕМНИХ ПИТАНЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
У СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НАВЧАННЯМ**

**Анотація.** Стаття присвячена огляду поточного стану розвитку СУН та використання хмарних технологій у цій сфері. Проаналізовано глобальні тенденції росту ринку СУН і впровадження хмарних сервісів, зокрема прискорення цифрової трансформації освіти під впливом пандемії та воєнних умов. Визначено основні переваги використання хмарних обчислень в освітніх платформах, а також окреслено проблемні аспекти та виклики, що виникають при впровадженні СУН.

**Мета.** Узагальнити сучасні підходи та рішення у галузі СУН та хмарних технологій, виявити актуальні проблеми їх впровадження й експлуатації, особливо у контексті оптимального розгортання сервісів СУН в хмарному середовищі.

**Методологія.** Застосовано методи аналізу та синтезу наукових публікацій останніх років, статистичних даних ринку освітніх технологій і досвіду впровадження СУН в Україні та світі. Виконано порівняльний аналіз можливостей традиційних та хмарних СУН-рішень, а також контент-аналіз досліджень щодо продуктивності, безпеки та архітектури цих систем.

**Наукова новизна.** Уточнено сучасний стан розвитку СУН з урахуванням хмарних трендів, систематизовано актуальні виклики (від відсутності уніфікованих методик оцінювання ефективності СУН до питань безпеки та оптимального використання ресурсів). Вперше виокремлено проблему оптимального розгортання сервісів СУН у хмарній інфраструктурі як одну з ключових для підвищення ефективності e-learning.

**Висновки.** Сучасні СУН активно зростають за популярністю та функціональністю, інтегруючи хмарні сервіси для масштабованості й доступності. Водночас існують недоліки, зокрема труднощі з вибором і впровадженням оптимальної платформи, забезпеченням безпеки й продуктивності при зростанні навантаження. Аналіз показав, що для вирішення цих проблем перспективним є застосування математичних моделей оптимізації. Подальше дослідження буде спрямоване на розроблення ILP-моделі оптимального розгортання сервісів СУН у хмарному середовищі як інструменту для підвищення ефективності та надійності електронних навчальних систем.

**Ключові слова:** система управління навчанням, СУН, електронне навчання, хмарні технології, дистанційна освіта, оптимізація розгортання, хмарна інфраструктура.

**Artem MOISEIENKO. Yuliia KUZNETSOVA. ANALYSIS OF IMPLEMENTATION CHALLENGES OF MODERN  
CLOUD TECHNOLOGIES IN LEARNING MANAGEMENT SYSTEMS**

**Abstract.** This article provides a review of the current state of LMS development and the use of cloud technologies in this domain. Global trends in the growth of the LMS market and the adoption of cloud services are analyzed, including the acceleration of digital transformation in education under the influence of the pandemic and wartime conditions. The key advantages of using cloud computing in educational platforms are identified, as well as the problematic aspects and challenges that arise in the implementation of LMS.

**The aim of study** is to summarize modern approaches and solutions in the field of LMS and cloud technologies, and to identify current issues in their implementation and operation, especially in the context of optimal deployment of LMS services in cloud environments.

**Methodology.** The study employs analysis and synthesis of recent scientific publications, statistical data on the educational technology market, and the experience of LMS deployment in Ukraine and globally. A comparative analysis of the capabilities of traditional versus cloud-based LMS solutions was conducted, along with content analysis of research on performance, security, and architecture of these systems.

**Scientific novelty.** The current state of LMS development is clarified with regard to cloud trends; the prevailing challenges are systematized (ranging from the lack of unified methods for evaluating LMS effectiveness to issues of security and optimal resource utilization). The problem of optimal deployment of LMS services in cloud infrastructure is highlighted for the first time as one of the key issues for increasing the efficiency of e-learning.

© A. Моїсеєнко, Ю. Кузнецова, 2025

Стаття поширюється на умовах ліцензії CC BY 4.0

**Conclusions.** Modern LMS are rapidly expanding in popularity and functionality, integrating cloud services for scalability and accessibility. At the same time, there are drawbacks, including difficulties in selecting and implementing an optimal platform, and ensuring security and performance under increasing loads. The analysis shows that applying mathematical optimization models is a promising approach to solving these issues. Further research will focus on developing an ILP model for optimal deployment of LMS services in a cloud environment as a tool to enhance the efficiency and reliability of electronic learning systems.

**Key words:** learning management system, LMS, e-learning, cloud technologies, distance education, deployment optimization, cloud infrastructure.

**Постановка проблеми.** Інформатизація освіти та бізнесу в останні роки супроводжується стрімким зростанням використання систем управління навчанням (СУН). Ці платформи дозволяють створювати єдиний цифровий навчальний простір, де здійснюється розробка та поширення освітніх матеріалів, управління навчальним процесом, моніторинг успішності тощо. Попит на СУН неухильно зростає в глобальному масштабі. Так, за оцінками аналітиків, обсяг європейського ринку СУН у 2025 р. сягне близько 395,9 млрд грн (10,7 млрд доларів США) при середньорічному темпі зростання 19,2 % у період 2025–2034 рр. [9]. Понад 83 % компаній впроваджують СУН для навчання та підвищення кваліфікації співробітників, що підкреслює універсальність цих систем не лише в освіті, а й у корпоративному секторі [6]. Додатковим стимулом до масового впровадження цифрових платформ стали пандемія COVID-19 та вимушений перехід на дистанційний формат у 2020 році, коли багато закладів освіти по всьому світу були змушені оперативно адаптувати навчання під онлайн-режим [10]. В Україні критичну необхідність надійних СУН загострили наслідки війни: лише станом на липень 2023 року було зруйновано понад 330 і пошкоджено понад 3200 закладів освіти [4, с. 4], що змусило шукати стійкі дистанційні рішення. Отже, сучасні реалії підтверджують актуальність розвитку СУН та переходу до хмарних технологій, які забезпечують безперервність навчання навіть у надзвичайних умовах.

Водночас зростання використання СУН виявило низку проблем. Необхідно не лише впровадити електронну систему навчання, але й забезпечити її ефективну роботу та масштабованість. Багато традиційних СУН розгорнуті як монолітні програмні комплекси на локальних серверах навчальних закладів. Такий підхід може супроводжуватися труднощами у підтримці та оновленні системи, обмеженнями продуктивності при збільшенні кількості користувачів, а також значними витратами на інфраструктуру. Постає проблема оптимального розгортання сервісів СУН: як організувати компоненти системи на доступних обчислювальних ресурсах (зокрема хмарних), щоб досягти найкращого співвідношення між вартістю, швидкістю та надійністю роботи. Вирішення цього завдання має вагомий практичний значення для закладів освіти, що прагнуть максимально ефективно використовувати сучасні цифрові технології в навчальному процесі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання розвитку та впровадження СУН активно досліджується як зарубіжними, так і вітчизняними науковцями. Огляд наукової літератури свідчить, що за останні роки сформувалися різні підходи до використання СУН в освіті залежно від умов та потреб. У розвинених країнах СУН стали невід'ємним інструментом навчального процесу, сприяючи інтерактивності й персоналізації навчання [6]. Дослідження відзначають, що найпоширенішою платформою є Moodle – відкрита СУН, яка завдяки гнучкості набула глобального визнання [6]. Станом на червень 2025 року за даними офіційної статистики на сайті кількість зареєстрованих користувачів Moodle перевищує 455 млн осіб (проти 294 млн у 2021 р.), що підтверджує понад майже двократне зростання аудиторії за останні роки [10]. Такі системи, як Blackboard та Google Classroom, також належать до найбільш уживаних у світі, проте використовуються переважно у корпоративному сегменті та для окремих освітніх сценаріїв [6]. Водночас існує ціла низка інших платформ, популярних у певних регіонах (Canvas, Schoology тощо), що відображає різноманітність ринку СУН [6].

Науковці приділяють увагу як педагогічним аспектам використання СУН, так і технічним питанням їх удосконалення. Значна кількість праць присвячена оцінці впливу СУН на успішність та залученість студентів, порівнянню ефективності різних електронних середовищ навчання. Наприклад, узагальнено позитивний вплив використання СУН на мотивацію та результати навчання студентів STEM-напрямів [10]. Інша група досліджень фокусується на проблемах впровадження СУН у країнах, що розвиваються, де виокремлюються питання матеріально-технічного забезпечення та підготовки кадрів. Зокрема, дослідження відзначають, що впровадження СУН у таких країнах часто стикається з викликами щодо інфраструктури та доступу до інтернету [6]. Окремо досліджуються питання безпеки та збереження даних у хмарних платформах навчання. З ростом використання хмарних рішень виникла потреба гарантувати конфіденційність навчальної інформації та захист персональних даних користувачів. У 2023 році запропоновано низку удосконалень криптографічних засобів для підвищення безпеки хмарних СУН [8]. Наприклад, розроблено покращений протокол шифрування (Enhanced Schmidt-Samoa), орієнтований

на системи електронного навчання, що дозволяє підвищити стійкість до несанкціонованого доступу [8]. Таким чином, питання кібербезпеки є одним із пріоритетних у сучасних дослідженнях СУН.

Технічна еволюція СУН пов'язана і з архітектурними змінами. Традиційні монолітні застосунки поступово трансформуються на основі мікросервісного підходу. Це відображено в роботах, де запропоновано впроваджувати мікросервісну архітектуру в СУН для спрощення підтримки та масштабування системи [11]. Згідно з досвідом розробників, розбиття СУН на дрібні веб-сервіси покращує гнучкість оновлень і дозволяє різним модулям (курси, тести, журнали тощо) розгортатися та масштабуватися незалежно один від одного [11]. Такий підхід також сприяє більш ефективному використанню хмарних ресурсів, оскільки кожен сервіс може бути розміщений на окремих віртуальних машинах або контейнерах відповідно до навантаження.

В українському освітньому просторі тематика СУН та дистанційного навчання набуває особливої актуальності в останні роки. Низка робіт присвячена вибору та впровадженню цифрових платформ у закладах середньої та вищої освіти України. Так, у дослідженні [3] проаналізовано критерії добору платформ електронного навчання для шкіл в умовах пандемії та воєнного стану. Результати опитувань педагогів свідчать про цікаву тенденцію: якщо у 2020 році надзвичайно популярним інструментом був Google Classroom, то вже у 2021 році спостерігалось зменшення частки його користувачів (~ на 9 %) та перехід до вітчизняних розробок – систем Human, «Єдина школа» та інших (сумарне зростання ~ на 13 %) [3, с. 24–25]. Це пояснюється як прагненням до більшої автономності і врахування локальних потреб, так і розширенням функціоналу українських СУН. У закладах вищої освіти України домінує СУН Moodle, яка впроваджена в більшості університетів. В умовах нестабільного інтернет-зв'язку (особливо під час війни) корисним виявилось використання мобільного додатку Moodle з офлайн-режимом роботи: завдяки цьому студенти можуть завантажувати матеріали та виконувати завдання без постійного підключення до мережі [6]. Таким чином, навіть на національному рівні спостерігаємо тенденцію до адаптації СУН під специфічні умови (відсутність стійкого інтернету, вимоги локального законодавства щодо зберігання даних тощо) та активний пошук оптимальних рішень.

**Формулювання мети статті.** Проаналізувавши стан досліджень, можна констатувати наявність кількох не вирішених питань, пов'язаних із впровадженням СУН і хмарних технологій. Таким чином, метою даної статті є узагальнення сучасного досвіду розробки та використання систем управління навчанням, визначення основних переваг і недоліків інтеграції СУН із хмарними сервісами, а також виокремлення проблеми оптимального розгортання СУН-сервісів. Досягнення поставленої мети передбачає вирішення таких завдань: (1) проаналізувати ключові тенденції розвитку СУН у світі та в Україні; (2) дослідити вплив хмарних технологій на ефективність і масштабованість СУН; (3) визначити основні проблеми, з якими стикаються організації при впровадженні та експлуатації СУН, включно з аспектами продуктивності, безпеки та витрат; (4) обґрунтувати необхідність і напрямки подальших досліджень для оптимізації розгортання СУН у хмарній інфраструктурі.

**Виклад основного матеріалу дослідження. Матеріали та методи дослідження.** Для досягнення поставленої мети було здійснено огляд наукових статей, аналітичних звітів та статистичних матеріалів. Використано метод контент-аналізу літератури з тематики електронного навчання та хмарних обчислень. Зокрема, проаналізовано дані ринку СУН (розмір, темпи росту) та результати впровадження цих систем у закладах освіти. Порівняльним аналізом зіставлено можливості різних платформ (відкритих і комерційних, хмарних і локальних). Методом систематизації узагальнено відомі проблеми та виклики, описані в дослідженнях.

**Результати дослідження.** Системи управління навчанням забезпечують централізоване керування освітнім процесом у цифровому середовищі. Базовий функціонал типової СУН включає засоби публікації навчальних матеріалів, проведення онлайн-занять і тестувань, облік успішності, комунікацію між учасниками навчання тощо. У поєднанні з хмарними технологіями такі системи отримують низку додаткових переваг. Хмарна інфраструктура (моделі SaaS, PaaS) дозволяє розгорнути СУН без необхідності придбання та підтримки власних серверів, що особливо вигідно для закладів із обмеженими ІТ-ресурсами. За рахунок розподілених дата-центрів забезпечується високий рівень доступності: користувачі можуть отримати доступ до навчальної платформи з будь-якого місця та пристрою, достатньо підключення до інтернету [6]. Крім того, ефективно спільне використання ресурсів (потужностей серверів, пам'яті, мережі) у хмарі дозволяє одночасно обслуговувати значну кількість користувачів без помітного погіршення швидкодії, а масштабування відбувається динамічно за потреби. Це сприяє економії часу та коштів на обслуговування системи [6]. Наприклад, використання хмарних сервісів зменшує витрати на початкове розгортання СУН, переводячи їх із капітальних (CAPEX) у операційні (OPEX), тобто установи сплачують лише за фактично спожиті ресурси. Усе це робить хмарні платформи привабливими для впровадження сучасного e-learning.

Водночас інтеграція СУН із хмарними технологіями породжує і нові виклики. Одним із головних є забезпечення інформаційної безпеки та конфіденційності даних. Використання зовнішніх хмарних сервісів означає, що чутлива навчальна інформація (дані студентів, результати, навчальний контент) передається та зберігається на сторонніх серверах. Це вимагає впровадження надійних механізмів шифрування і контролю доступу. Як показано у дослідженнях, присвячених безпеці хмарних СУН, існує потреба в удосконаленні криптографічних протоколів саме під специфіку освітніх систем [8]. Крім технічних заходів, важливими є також юридичні аспекти – відповідність зберігання даних вимогам законодавства про захист персональних даних, що може обмежувати використання зарубіжних хмарних рішень (особливо це актуально для державних навчальних закладів України).

Ще однією проблемою є залежність якості роботи СУН від якості інтернет-з'єднання. Для віддалених регіонів або в умовах надзвичайних ситуацій (відключення електропостачання, перебої зв'язку) навіть найкраща хмарна платформа може стати тимчасово недоступною. Тому розробники впроваджують рішення для автономної роботи: офлайн-режими, синхронізацію даних при відновленні зв'язку тощо [6]. З огляду на це, при виборі СУН користувачі часто звертають увагу не лише на функціонал, а й на можливість працювати офлайн або розгортатися у гібридній архітектурі (частково на власних серверах, частково в хмарі).

Аналіз останніх публікацій також виявив іншу перешкоду ефективного використання СУН через відсутність уніфікованих критеріїв оцінювання їхньої результативності та методичних рекомендацій щодо впровадження. Існування великої кількості різних платформ ускладнює вибір оптимального рішення для конкретної організації [6]. Дослідники відзначають брак стандартизованих методик, які б дозволяли порівнювати СУН між собою за показниками успішності навчання, взаємодії користувачів, економічної доцільності тощо [6]. Це призводить до того, що впровадження СУН часто відбувається шляхом проб і помилок, а накопичений досвід важко узагальнити і передати іншим закладам.

Однак, ключовим технічним викликом залишається оптимальне розгортання СУН у хмарному середовищі. Попри широкий вибір хмарних провайдерів та сервісів (Amazon Web Services, Google Cloud, Microsoft Azure тощо), адміністраторам СУН складно визначити, яка конфігурація ресурсів потрібна для їх системи при заданому числі користувачів і активності. Надлишкове резервування ресурсів призведе до зайвих витрат, а недостатнє – до перевантажень і збоїв у роботі системи. Балансування цих аспектів є нетривіальним завданням, що потребує застосування формальних моделей оптимізації. На сьогодні в літературі майже не представлено готових рішень для автоматизованого планування розгортання СУН-сервісів. У наукових працях [7, 12] виділяється кілька перспективних підходів до вирішення цієї проблеми, які можна згрупувати за певними критеріями (таблиця 1).

Таблиця 1

## Класифікація підходів до оптимального розгортання СУН у хмарі

| Критерій класифікації                      | Тип підходу                                | Коротка характеристика                                                                                       |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| За методом оптимізації                     | Евристичні методи                          | Швидко, хоча й не завжди оптимальне рішення, засноване на емпіричних правилах                                |
|                                            | Метаевристичні алгоритми                   | Використовують генетичні алгоритми, алгоритми рою частинок для ефективного пошуку у великому просторі рішень |
|                                            | Математичні моделі оптимізації (ЦЛП, ЦНЛП) | Дають точні та теоретично обґрунтовані оптимальні рішення, підходять для задач середнього масштабу           |
| За ступенем автоматизації                  | Ручний підбір                              | Базується виключно на досвіді адміністратора, трудомісткий і менш ефективний                                 |
|                                            | Напівавтоматизоване планування             | Рекомендуючі системи пропонують оптимальні конфігурації на основі історичних даних і прогнозних моделей      |
|                                            | Повністю автоматизоване розгортання        | Динамічно розподіляє ресурси, повністю автоматизує процес адаптації до змін у навантаженні                   |
| За рівнем врахування динаміки навантаження | Статичні моделі                            | Планування ресурсів на основі фіксованих або середніх значень активності користувачів                        |
|                                            | Динамічні моделі                           | Використовують прогнозні моделі (наприклад, машинне навчання) для адаптивного масштабування ресурсів         |

Згідно наведеного порівняння, можна зробити висновки, що перспективними є підходи, що поєднують переваги математичних моделей і адаптивних алгоритмів прогнозування, дозволяючи знаходити

баланс між вартістю та продуктивністю. Одним з таких перспективних напрямів є використання цілочисельних лінійних програм (ILP-моделей) [7], які надають можливість точного розрахунку оптимальної конфігурації ресурсів з урахуванням заданих обмежень, що і планується реалізувати у подальших дослідженнях.

**Основні недоліки та виклики.** На основі проведеного аналізу можна виокремити низку основних проблем та недоліків, притаманних сучасним системам управління навчанням, особливо у контексті їх функціонування в хмарному середовищі:

- відсутність стандартів та методик оцінювання. Наразі не існує загальноовизнаних підходів для об'єктивного порівняння ефективності різних СУН та вимірювання їхнього впливу на якість навчання. Це ускладнює вибір платформи і оцінку результатів її впровадження [6];

- різноманітність та сумісність платформ. Велика кількість доступних СУН (від відкритих до комерційних) призводить до фрагментації: різні заклади використовують різні системи, що створює бар'єри для обміну контентом і спільних курсів. Інтеграція СУН з іншими освітніми сервісами (електронними бібліотеками, реєстрами тощо) також може бути проблемною через відмінності в стандартах;

- технічна підтримка і ресурси. Для розгортання та підтримки СУН потрібні кваліфіковані ІТ-фахівці та фінансові ресурси. У багатьох випадках (особливо для невеликих закладів освіти) спостерігається нестача ресурсів для придбання і підтримки сучасних технологій [1], що призводить до використання застарілих або обмежених за функціоналом систем;

- безпека та конфіденційність. Як зазначалося, захист даних є критичним питанням. Будь-які вразливості в СУН або хмарній інфраструктурі можуть поставити під загрозу великі обсяги персональної інформації. Забезпечення кібербезпеки потребує постійного вдосконалення засобів автентифікації, авторизації, шифрування, моніторингу активності тощо [8];

- масштабованість та продуктивність. Під час пікових навантажень (наприклад, одночасне проходження тестування великою кількістю студентів) СУН може суттєво втрачати швидкодію. Забезпечення належної масштабованості вимагає ретельного планування інфраструктури або використання автоматизованого масштабування в хмарі, що не завжди налаштовано оптимально. Необхідно враховувати баланс навантаження між компонентами системи (база даних, сервер застосунків, сервери файлів тощо);

- оптимальне розгортання сервісів. Більшість існуючих впроваджень СУН у хмарі виконується за спрощеними сценаріями (наприклад, розміщення цілого серверу СУН на одній віртуальній машині). Такий підхід не використовує повною мірою переваг хмарної архітектури. Оптимальне розподілення окремих сервісів СУН (модуль тестування, модуль форумів, сховище контенту тощо) між різними ресурсами могло б підвищити стійкість та ефективність системи, але це завдання потребує рішення задачі оптимізації. Це являє собою науково-технічний виклик, який досі мало висвітлений у літературі та наразі відсутні інструменти, що автоматично підказують, як краще розгорнути СУН у хмарі з урахуванням множини обмежень (вартість, кількість користувачів, географія, надійність). Виявлена прогалина підтверджує необхідність дослідження методів оптимізації, спроможних вирішити цю задачу.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших досліджень.** Сучасні системи управління навчанням у поєднанні з хмарними технологіями відкривають нові можливості для організації освітнього процесу – від гнучкого доступу до навчальних ресурсів до персоналізації навчання та аналізу даних про успішність. Проведений огляд показав, що за останні роки ринок СУН суттєво зріс, а технологічні рішення еволюціонували в напрямі хмарних сервісів і мікросервісної архітектури. СУН на кшталт Moodle, Canvas, Google Classroom та інших стали звичним інструментом в університетах і компаніях, а їх використання набуло стратегічного характеру для забезпечення безперервної освіти, особливо у кризових ситуаціях. Разом із тим, впровадження СУН супроводжується низкою проблем: від методичних (як ефективно інтегрувати платформу в освітній процес) до технічних (як забезпечити її надійну та масштабовану роботу). Одним з найважливіших практичних завдань є оптимізація розгортання СУН у хмарному середовищі з метою підвищення ефективності використання ресурсів і зниження витрат. Поки що це завдання вирішується переважно вручну або емпірично, що залишає простір для покращень. Перспективою подальших досліджень є розроблення формалізованої моделі та інструментальних засобів для оптимального розподілу компонентів СУН на хмарній інфраструктурі. Запропоновано зосередитися на побудові моделі цілочислового лінійного програмування (ILP), яка врахує параметри продуктивності сервісів, вимоги до надійності, обмеження вартості хмарних ресурсів та інші критерії. Така ILP-модель дозволить автоматично знаходити найкращий варіант розгортання – зокрема, визначити, скільки і яких віртуальних машин або контейнерів потрібно, як розподілити між ними функціональні модулі СУН, щоб при мінімальних витратах забезпечити заданий рівень якості обслуговування користувачів. Реалізація даного підходу сприятиме вирішенню озвучених у статті проблем і стане наступним кроком у розвитку ефективних хмароорієнтованих систем управління навчанням.

**Список використаних джерел:**

1. Бабак О. А., Ісак Л. М. Хмарні технології в освіті. *Міжнар. наук. журнал «Грааль науки»*. 2023. № 27 (травень). С. 485–489.
2. Дистанційне навчання замість заочного: зміни для якості. *Освіта.UA*. 2023. URL: <https://osvita.ua/vnz/90312/> (дата звернення: 11.11.2023).
3. Олійник В. В., Грабовський П. П., Коновал О. А. Критерії та показники добору цифрової платформи електронного навчання для закладу загальної середньої освіти. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2022. № 90 (4). С. 19–31. DOI: 10.33407/itlt.v90i4.5010.
4. Освіта і наука України в умовах воєнного стану: інформ.-аналіт. збірник / М-во освіти і науки України, Ін-т освітньої аналітики. Київ, 2023. 64 с.
5. Що таке LMS: типи, можливості та переваги систем управління навчанням. *Cases.media*. 2023. URL: <https://cases.media/article/sho-take-lms-tipi-mozhливosti-ta-perevagi-sistem-upravlinnya-navchannnyam> (дата звернення: 11.06.2025).
6. Aljad R. R. Analysis of Development Trends and Experience of using LMS in Modern Education. *E-Learning Innovations Journal*. 2023. Vol. 1, No. 2. P. 86–104. DOI: 10.57125/ELIJ.2023.09.25.05.
7. Apat H. K., Goswami V., Sahoo B., Barik R. K., Saikia M. J. Fog service placement optimization: a survey of state-of-the-art strategies and techniques. *Computers*. 2025. Vol. 14(3), № 99. P. 1000–1045. DOI: 10.3390/computers14030099.
8. Chatterjee P., Bose R., Banerjee S., Roy S. Enhancing Data Security of Cloud Based LMS. *Wireless Personal Communications*. 2023. Vol. 130, No. 2. P. 1123–1139. DOI: 10.1007/s11277-023-10323-5.
9. Europe Learning Management Systems Market is projected to grow from USD 10.70 Billion in 2025 to USD 51.99 Billion by 2034, exhibiting a CAGR of 19.20 % during 2025. 2034. Secondary Research, Primary Research, MRFR Database and Analyst Review (Market Research Future, 2024). URL: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/europe-learning-management-systems-market-21601> (дата звернення: 12.06.2025).
10. Gamage S. H. P. W., Ayres J. R., Behrend M. B. A systematic review on trends in using Moodle for teaching and learning. *International Journal of STEM Education*. 2022. Vol. 9, Article 9. DOI: 10.1186/s40594-021-00323-x.
11. Handoko D., Nur W. Implementation of Microservices Architecture in Learning Management System E-Course Using Web Service Method. *Sinkron: Jurnal dan Penelitian Teknik Informatika*. 2022. Vol. 7, No. 1. P. 76–82. DOI: 10.33395/sinkron.v7i1.11229.
12. Santoyo-González A., Cervelló-Pastor C. Latency-aware cost optimization of the service infrastructure placement in 5G networks. *Journal of Network and Computer Applications*. 2018. Vol. 114. P. 29–37. DOI: 10.1016/j.jnca.2018.04.009.

Дата надходження статті: 24.06.2025

Дата прийняття статті: 30.06.2025

Опубліковано: 23.09.2025