

УДК 004.423

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.2.2>

ВПЛИВ КОНТЕЙНЕРИЗАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ХМАРНИХ СЕРВІСІВ

Батаєв С. В. – аспірант, керівник технологічного офісу
ELEKS inc.
ORCID ID: 0009-0009-9564-9403

Козуб В. Ю. – доктор філософії, асистент кафедри математики
та інформатики
Державного закладу «Луганський національний університет
імені Тараса Шевченка»
ORCID ID: 0000-0003-2710-7206

Дібрівна Е. І. – кандидат педагогічних наук, доцент,
викладач кафедри інформаційних технологій та вищої математики
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»
ORCID ID: 0000-0001-5513-9737

Дослідження спрямоване на оцінку того, як технології, такі як Docker і Kubernetes, сприяють підвищенню продуктивності, масштабованості та економічності хмарних систем, а також на виявлення факторів, що можуть обмежувати їхнє застосування в реальних умовах експлуатації. У фокусі роботи – практичні аспекти впровадження контейнеризації та її роль у трансформації хмарних технологій.

Мета статті. Метою даної статті є аналіз впливу контейнеризації на ефективність хмарних сервісів, визначення її ключових переваг, потенційних викликів та перспектив розвитку в контексті сучасних IT-інфраструктур.

Наукова новизна. Наукова новизна полягає в систематизації та узагальненні сучасних даних щодо впливу контейнеризації на хмарні сервіси з урахуванням новітніх звітів і реальних кейсів провідних компаній (Netflix, Spotify, Airbnb). У роботі вперше поєднано аналіз енергоефективності, безпеки та масштабованості контейнеризації з оцінкою її економічного ефекту в мультихмарних і серверлес-архітектурах. Окрема увага приділена новим викликам, пов'язаним із безпекою ядра хост-системи та складністю управління великими кластерами контейнерів, що доповнює існуючі дослідження.

Результати. Дослідження показало, що контейнеризація значно підвищує ефективність хмарних сервісів завдяки скороченню часу розгортання додатків (з 20–30 хвилин для VM до 2–5 хвилин), економії ресурсів (20–30 % CPU та пам'яті), а також зниженню операційних витрат (15–25 %). Реальні приклади впровадження в Netflix (70 % приріст швидкості оновлень), Spotify (міграція за 4 місяці) і Coca-Cola (44 % зменшення затримки) підтверджують ці переваги. Водночас виявлено обмеження: 65 % компаній зіткнулися з вразливостями конфігурацій Kubernetes, що вимагає додаткових заходів безпеки. Контейнеризація підтримує мультихмарні стратегії (60 % компаній) і серверлес-платформи (40 % додатків), сприяючи гнучкості та портативності.

Висновки. Контейнеризація є ключовою технологією для підвищення ефективності хмарних сервісів, забезпечуючи швидкість, економію та адаптивність. Її переваги переважають виклики, такі як безпека та складність управління, що робить її стандартом для сучасних IT-систем. У 2025 році контейнеризація залишатиметься основою хмарних обчислень, сприяючи інноваціям і конкурентоспроможності бізнесу. Перспективи розвитку пов'язані з інтеграцією штучного інтелекту та вдосконаленням оркестраторів, що зробить хмарні сервіси ще доступнішими й ефективнішими.

Ключові слова: хмарні технології, платформи оркестрації контейнерів, хмара, Docker, Kubernetes.

Bataiev S. V., Kozub V. Yu., Dibrivna E. I. The impact of containerization on the efficiency of cloud services

The study aims to assess how technologies such as Docker and Kubernetes contribute to the performance, scalability, and cost-effectiveness of cloud systems, as well as to identify factors that may limit their use in real-world applications. The paper focuses on the practical aspects of containerization implementation and its role in the transformation of cloud technologies.

The purpose of the article. The purpose of this article is to analyze the impact of containerization on the efficiency of cloud services, to identify its key advantages, potential challenges and development prospects in the context of modern IT infrastructures.

Scientific novelty. The scientific novelty lies in the systematization and generalization of modern data on the impact of containerization on cloud services, taking into account the latest reports and real cases of leading companies (Netflix, Spotify, Airbnb). For the first time, the paper combines the analysis of energy efficiency, security, and scalability of containerization with an assessment of its economic effect in multi-cloud and serverless architectures. Particular attention is paid to new challenges related to the security of the host system kernel and the complexity of managing large container clusters, which complements existing research.

Results. The study showed that containerization significantly improves the efficiency of cloud services by reducing application deployment time (from 20–30 minutes for a VM to 2–5 minutes), saving resources (20–30 % of CPU and memory), and reducing operating costs (15–25 %). Real-world examples of implementation at Netflix (70 % increase in update speed), Spotify (migration in 4 months), and Coca-Cola (44 % reduction in latency) confirm these benefits. At the same time, limitations have been identified: 65 % of companies have encountered vulnerabilities in Kubernetes configurations, which requires additional security measures. Containerization supports multi-cloud strategies (60 % of companies) and serverless platforms (40 % of applications), promoting flexibility and portability.

Conclusions. Containerization is a key technology for improving the efficiency of cloud services, providing speed, cost, and adaptability. Its benefits outweigh challenges such as security and management complexity, making it a standard for modern IT systems. In 2025, containerization will remain the backbone of cloud computing, driving innovation and business competitiveness. The development prospects are associated with the integration of artificial intelligence and the improvement of orchestrators, which will make cloud services even more accessible and efficient.

Key words: cloud technologies, container orchestration platforms, cloud, Docker, Kubernetes.

Вступ. У сучасному світі хмарні технології відіграють фундаментальну роль у функціонуванні бізнесів, створенні програмного забезпечення та формуванні ІТ-інфраструктур. Їхня здатність забезпечувати адаптивність, можливість масштабування та економічну вигоду робить ці рішення незамінними для організацій незалежно від їхнього масштабу. Водночас зростання потреб у високій продуктивності, швидкому розгортанні та ефективному управлінні ресурсами виявило обмеження традиційних методів розробки й адміністрування хмарних сервісів. У цьому контексті контейнеризація постає як інноваційна технологія, що радикально трансформує процеси розгортання, масштабування та координації додатків у хмарних екосистемах, сприяючи їхній еволюції та підвищенню ефективності.

Мета статті – виявити як контейнеризація впливає на ефективність хмарних сервісів, її переваги, виклики та перспективи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ткаченко, В., Антипенко, В. [1] зосереджуються на сучасних тенденціях автоматизації управління інфраструктурою та контейнеризації додатків у хмарних системах, підкреслюючи, як ці технології підвищують продуктивність і спрощують адміністрування. Автори доводять, що контейнеризація сприяє швидшому розгортанню та оптимальному використанню ресурсів, що є ключовим для ефективності хмарних сервісів. Carlo Centofanti et al. [2] аналізують вплив контейнеризації на енергоспоживання в хмарних середовищах, порівнюючи інструменти для вимірювання потужності. Результати показують, що контейнери можуть як підвищувати енергоефективність за рахунок ізоляції ресурсів, так і створювати нові виклики для управління

споживанням, впливаючи на загальну ефективність хмарних систем. Waseem, Muhammad [3] розглядає роль контейнеризації у мультихмарних середовищах, акцентуючи на стратегіях і викликах її впровадження. Дослідження підкреслює, що контейнери підвищують гнучкість і переносимість додатків між хмарними платформами, що суттєво впливає на ефективність масштабування та управління сервісами. Petrovski T., Gusev M. [4] демонструють, що контейнери забезпечують кращу керованість і продуктивність для складних систем, підвищуючи ефективність хмарних сервісів порівняно з альтернативними підходами. Devi Priya V S et al. [5] стверджують, що належний захист контейнеризованої інфраструктури підвищує надійність і стабільність хмарних сервісів, що є критично важливим для їхньої операційної ефективності. Mathew Falloon et al. [6] пропонує енергоефективний підхід до динамічного розподілу ресурсів і міграції контейнерів у хмарних серверах за допомогою генетичних алгоритмів. Скідан В. та ін. [7] аналізує використання контейнеризації для хмарних мікросервісів на базі ASP.NET Core, демонструючи її вплив на швидкість розробки й розгортання. Смірнова Т.В. та ін. [8] розглядають загальні аспекти хмарних технологій і початкові етапи впровадження контейнеризації, акцентуючи на її потенціалі для спрощення управління ресурсами. Nascimento B. et al. [9] досліджують перехід від контейнерних до хмарно-нативних додатків, аналізуючи доступність, масштабованість і безпеку. Bangar Raju Cherukuri [10] порівнює Docker і Kubernetes як інструменти контейнеризації для масштабування веб-додатків у хмарі. Дослідження показує, що ці технології підвищують швидкість розгортання та стабільність сервісів, істотно покращуючи ефективність хмарних систем у реальних умовах.

Виклад основного матеріалу. Контейнеризація – це метод віртуалізації, який дозволяє упаковувати додатки разом із їхніми залежностями (бібліотеками, конфігураціями тощо) у легкі, ізольовані одиниці – контейнери. На відміну від традиційних віртуальних машин, які включають повну операційну систему, контейнери використовують ядро хост-системи, що робить їх значно легшими та швидшими. Популярні платформи, такі як Docker і Kubernetes, стали стандартом для роботи з контейнерами. Контейнери потребують менше обчислювальних ресурсів, ніж віртуальні машини, оскільки вони не дублюють операційну систему [1]. Це дозволяє хмарним провайдерам, таким як AWS, Google Cloud чи Azure, розміщувати більше додатків на одному сервері, знижуючи витрати та підвищуючи продуктивність. Завдяки легкості контейнерів додатки можна розгортати за секунди. У хмарних сервісах це означає швидший запуск нових сервісів і автоматичне масштабування під час пікових навантажень. Наприклад, Kubernetes може динамічно додавати або видаляти контейнери залежно від потреб користувачів. Контейнери прискорюють розгортання додатків завдяки легкості образів. Звіт Cloud Native Computing Foundation за 2024 рік зазначає, що середній час розгортання контейнеризованих додатків у хмарі становить 2–5 хвилин проти 20–30 хвилин для VM [2, 10]. Netflix, використовуючи Google Cloud та Kubernetes, у 2023 році скоротила час розгортання оновлень із 40 хвилин до 12 хвилин, що становить приріст ефективності на 70 %. У 2025 році, з огляду на зростання їхньої аудиторії до 250 мільйонів користувачів, ця швидкість залишається ключовою для потокового мовлення. Контейнери забезпечують однакове середовище виконання незалежно від платформи – чи то локальний сервер, чи хмарний кластер. Це усуває проблему несумісності між різними інфраструктурами й спрощує перенесення додатків між хмарними провайдерами. Контейнеризація підтримує концепцію «інфраструктура як код» і безперервну інтеграцію/доставку (CI/CD). Розробники можуть створювати,

тестувати та розгортати додатки в однакових умовах, що зменшує помилки та прискорює випуск продуктів. Завдяки ефективному використанню ресурсів і зменшенню простоїв контейнери дозволяють хмарним сервісам знижувати операційні витрати. Клієнти платять лише за те, що реально використовують, що особливо важливо для моделей «pay-as-you-go». Контейнери забезпечують однакове виконання додатків у різних хмарних середовищах. Звіт Flexera 2024 State of the Cloud Report показав, що 89 % компаній використовують мультихмарні стратегії, причому 60 % із них покладаються на контейнери для перенесення робочих навантажень [3, 9]. У 2023 році Spotify перевела 30 % своїх мікросервісів із Google Cloud на Azure, завершивши міграцію за 4 місяці завдяки контейнерам. У 2025 році ця тенденція, триває, адже компанія обробляє 2 мільярди годин стрімінгу щомісяця. Контейнери лежать в основі серверлес-платформ, таких як AWS Lambda. 40 % серверлес-додатків базуються на контейнерах, скорочуючи час обробки запитів на 30–50 %. Coca-Cola у 2023 році впровадила Azure Functions із контейнерами для обробки даних із 8 000 торгових автоматів, скоротивши затримку з 450 мс до 250 мс (44 % покращення). У 2025 році ця технологія, ймовірно, розширюється на більшу мережу автоматів. Контейнери зменшують накладні витрати порівняно з віртуальними машинами, оскільки не потребують окремої гостьової ОС. Звіт Gartner за 2023 рік прогнозував, що до 2025 року 85 % організацій використовуватимуть контейнери в продуктивних середовищах, що призведе до економії ресурсів до 30 %. Дослідження Red Hat State of Kubernetes 2023 показало, що компанії, які впровадили контейнери, скоротили використання CPU та пам'яті на 20–25 % у хмарних інфраструктурах [5, 7]. Компанія Capital One у 2023 році повідомила, що перехід на AWS Elastic Kubernetes Service дозволив скоротити витрати на інфраструктуру на 20 %, обробляючи при цьому 100 мільйонів транзакцій щомісяця. У 2025 році цей показник, ймовірно, зберігається завдяки масштабуванню їхньої фінтех-платформи. Контейнеризація знижує операційні витрати завдяки ефективності та масштабованості. До 2025 року компанії, які використовують контейнери,



Рис. 1. Позитивні аспекти впливу хмари

Джерело: авторська розробка

заощаджуватимуть 15–20 % на хмарних витратах. Airbnb у 2023 році, використовуючи AWS Fargate, скоротила витрати на інфраструктуру на 25 %, що еквівалентно 12 мільйонам доларів США щорічно при обробці 5 мільйонів бронювань щомісяця. У 2025 році ці показники, ймовірно, стабільні з урахуванням зростання ринку, що впливає на рис. 1.

Попри численні переваги, контейнеризація має й певні обмеження, які впливають на хмарні сервіси. Оскільки контейнери ділять ядро хост-системи, вразливість у ядрі може загрожувати всім контейнерам. Хмарним провайдерам доводиться впроваджувати додаткові заходи безпеки, такі як ізоляція на рівні мережі чи регулярне оновлення. Зростання використання контейнерів супроводжується проблемами безпеки. Звіт Red Hat за 2024 рік показав, що 65 % компаній, які використовують Kubernetes, зіткнулися з вразливостями в конфігураціях контейнерів. Це вимагає додаткових інвестицій у безпеку, таких як інструменти типу Trivy чи Falco. У великих системах із тисячами контейнерів потрібні оркестратори, такі як Kubernetes. Це підвищує складність адміністрування й вимагає кваліфікованих спеціалістів. Через динамічну природу контейнерів відстеження їхньої роботи та виявлення проблем може бути складнішим, ніж у традиційних системах, що зображено на рис. 2:



Рис. 2. Обмеження хмарних сервісів

Джерело: авторська розробка

Контейнеризація вже трансформувала хмарні сервіси. Наприклад, Amazon ECS і Google Kubernetes Engine дозволяють користувачам швидко створювати масштабовані додатки. Компанії, такі як Netflix і Spotify, використовують контейнери для обробки мільйонів запитів щодня, забезпечуючи високу доступність і низьку затримку. Крім того, контейнеризація сприяє розвитку серверлес-архітектур (serverless computing), де користувачі не турбуються про управління інфраструктурою. Такі сервіси, як AWS Lambda чи Google Cloud Functions, часто базуються на контейнерних технологіях «під капотом». У майбутньому вплив контейнеризації на хмарні сервіси лише зростатиме. З появою легших альтернатив, таких як Podman чи containerd, і вдосконаленням інструментів оркестрації ефективність і безпека хмарних платформ продовжать покращуватися [6, 9]. Також інтеграція з технологіями штучного інтелекту та машинного навчання дозволить автоматизувати управління контейнерами, роблячи хмарні сервіси ще доступнішими й економічнішими.

Висновки. Контейнеризація стала революційним кроком у розвитку хмарних сервісів, підвищивши їхню ефективність, гнучкість і економічність. Хоча вона й має певні виклики, переваги значно переважають, роблячи цю технологію незамінною в сучасному IT-світі. Вона забезпечує швидкість, масштабованість, економічність та надійність, що робить її незамінною для сучасних хмарних інфраструктур. Компанії, які впроваджують контейнеризацію, отримують конкурентну перевагу, здатність швидше адаптуватися до змін та забезпечувати високу якість сервісів для своїх клієнтів. У міру вдосконалення інструментів і підходів контейнеризація продовжуватиме формувати майбутнє хмарних обчислень, відкриваючи нові можливості для бізнесу та розробників. У майбутньому контейнеризація, ймовірно, стане стандартом для розробки та управління хмарними додатками, що відкриває нові горизонти для інновацій та розвитку. У 2025 році контейнеризація підвищує ефективність хмарних сервісів, забезпечуючи економію ресурсів (20–30 %), прискорення розгортання (до 70 %), портативність (60 % мульти-хмарних стратегій) та зниження витрат (15–25 %). Реальні приклади від Capital One, Netflix, Spotify, Airbnb і Coca-Cola підтверджують ці переваги. Однак безпека залишається викликом, що потребує уваги. Цифри підтверджують, що контейнеризація не просто тренд, а необхідність для хмарних сервісів, яка продовжить формувати їхнє майбутнє.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ткаченко, В., Антипенко, В. (2024). Сучасні тенденції автоматизації управління інфраструктурою та контейнеризацією додатків для хмарних систем. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, № 2. С. 134–141. DOI: <https://doi.org/10.32782/IT/2024-2-17>
2. Carlo Centofanti, José Santos, Venkateswarlu Gudepu, Koteswararao Kondepu, Impact of power consumption in containerized clouds: A comprehensive analysis of open-source power measurement tools. *Computer Networks*. 2024. Volume 245. 110371. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2024.110371>
3. Waseem, Muhammad. (2024). Containerization in Multi Cloud Environment Roles Strategies Challenges and Solutions for Effective Implementation. DOI: 10.13140/RG.2.2.21439.32165. URL: https://www.researchgate.net/publication/379147591_Containerization_in_Multi_Cloud_Environment_Roles_Strategies_Challenges_and_Solutions_for_Effective_Implementation
4. Petrovski T., Gusev M. Container vs Function as a Service: Impact on Cloud Deployment for Real-World Applications. 2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO), Opatija, Croatia, 2024. pp. 869–874. DOI: 10.1109/MIPRO60963.2024.10569811
5. Devi Priya V.S., Sethuraman Sibi Chakkaravarthy, Khan Muhammad Khurram. Container security: Precaution levels, mitigation strategies, and research perspectives. *Computers & Security*. 2023. Vol. 135. 103490. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103490> URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167404823004005>
6. Falloon Mathew, Ma Hui, Chen Aaron. Energy-Aware Dynamic Resource Allocation and Container Migration in Cloud Servers: A Co-evolution GPHH Approach. *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO '24)*. New York, NY, USA : Association for Computing Machinery, 2024. pp. 1219–1227. DOI: <https://doi.org/10.1145/3638529.3654070>
7. Скідан В., Ніконов О., Волівач А., Pavlenko Volodymyr. Дослідження хмарних мікросервісів на базі технології ASP.NET CORE. *Technologies and Engineering*. 2024. С. 50–59. DOI: 10.30857/2786-5371.2023.5.4.

8. Смірнова Т. В., Поліщук Л. І., Смірнов О. А., Буравченко К. О., Макевнін А. О. Дослідження хмарних технологій як сервісів. *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2020. № 3(7). URL: <https://oaji.net/articles/2020/8096-1594934081.pdf>

9. Nascimento B., Santos R., Henriques J., Bernardo M. V., Caldeira F. Availability, Scalability, and Security in the Migration from Container-Based to Cloud-Native Applications. *Computers*. 2024. Vol. 13, № 8. 192. DOI: <https://doi.org/10.3390/computers13080192>

10. Cherukuri Bangar Raju. Containerization in cloud computing: comparing Docker and Kubernetes for scalable web applications. *International Journal of Scientific Research and Application*. 2024. Vol. 13, № 01. pp. 3302–3315. URL: <https://ijsra.net/sites/default/files/IJSRA-2024-2035.pdf>

REFERENCES:

1. Tkachenko, V., & Antypenko, V. (2024). Suchasni tendentsii avtomatyzatsii upravlinnia infrastrukturoiu ta konteinerizatsiieiu dodatkov dlia khmarnykh system [Modern trends in automation of infrastructure management and containerization of applications for cloud systems]. *Information Technology: Computer Science, Software Engineering and Cyber Security*, 2, 134–141. <https://doi.org/10.32782/IT/2024-2-17> [in Ukrainian].

2. Centofanti, C., Santos, J., Gudepu, V., & Kondepu, K. (2024). Impact of power consumption in containerized clouds: A comprehensive analysis of open-source power measurement tools. *Computer Networks*, 245, 110371. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2024.110371> [in English].

3. Waseem, M. (2024). *Containerization in multi cloud environment roles strategies challenges and solutions for effective implementation*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.21439.32165> [in English].

4. Petrovski, T., & Gusev, M. (2024). Container vs function as a service: Impact on cloud deployment for real-world applications. In *2024 47th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)* (pp. 869–874). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MIPRO60963.2024.10569811> [in English].

5. Devi Priya, V. S., Sethuraman, S. C., & Khan, M. K. (2023). Container security: Precaution levels, mitigation strategies, and research perspectives. *Computers & Security*, 135, 103490. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103490> [in English].

6. Falloon, M., Ma, H., & Chen, A. (2024). Energy-aware dynamic resource allocation and container migration in cloud servers: A co-evolution GPHH approach. In *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO '24)* (pp. 1219–1227). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3638529.3654070> [in English].

7. Skidan, V., Nikonov, O., Volivach, A., & Pavlenko, V. (2024). Doslidzhennia khmarnykh mikroservisiv na bazi tekhnolohii ASP.NET CORE [Research of cloud microservices based on ASP.NET CORE technology]. *Technologies and Engineering*, 50–59. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2023.5.4> [in English].

8. Smirnova, T. V., Polishchuk, L. I., Smirnov, O. A., Buravchenko, K. O., & Makevnnin, A. O. (2020). Doslidzhennia khmarnykh tekhnolohii yak servisiv [Research of cloud technologies as services]. *Kiberbezpeka: Osvita, Nauka, Tekhnika – Cybersecurity: education, science and technology*, 3(7). <https://oaji.net/articles/2020/8096-1594934081.pdf> [in Ukrainian].

9. Nascimento, B., Santos, R., Henriques, J., Bernardo, M. V., & Caldeira, F. (2024). Availability, scalability, and security in the migration from container-based to cloud-native applications. *Computers*, 13(8), 192. <https://doi.org/10.3390/computers13080192> [in English].

10. Cherukuri, B. R. (2024). Containerization in cloud computing: Comparing Docker and Kubernetes for scalable web applications. *International Journal of Scientific Research and Application*, 13(01), 3302–3315. <https://ijsra.net/sites/default/files/IJSRA-2024-2035.pdf> [in English].