

М. О. Волк, М. М. Поповкін

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, Україна

## МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ МАСШТАБОВАНИХ ХМАРНИХ РЕСУРСІВ

**Анотація.** В епоху стрімкого розвитку хмарних технологій основною задачею є не лише дослідження існуючих можливостей, але й практичне впровадження рішень, спрямованих на оптимізацію використання хмарних ресурсів. Метою статті є виявлення найбільш ефективних підходів до моделювання хмарних ресурсів, що дозволить організації досягти значного зниження витрат на використання хмарних ресурсів при одночасному забезпеченні високого рівня продуктивності та надійності хмарних сервісів. В роботі пропонуються ефективні стратегії автоматизації розгортання та управління хмарною інфраструктурою на основі платформи Azure Cloud та інструменту Terraform. Сучасні дослідження, підкреслюють важливість інтеграції автоматизованих інструментів управління для підвищення ефективності використання хмарних ресурсів, що включає аналіз поточних викликів у масштабованих хмарних ресурсах, таких як балансування навантаження, забезпечення неперервної доступності сервісів та оптимізація використання ресурсів. Огляд методів оптимізації демонструє стратегії зниження витрат та покращення продуктивності в хмарних середовищах. Результати дослідження призначені для широкого кола фахівців у галузі.

**Ключові слова:** хмарні обчислення, масштабовані хмарні ресурси, методи моделювання, terraform, azurecloud, оптимізація інфраструктури, ефективне використання ресурсів, аналіз та оцінка, продуктивність, стабільність, ефективність витрат, інтеграція ресурсів, моделювання інфраструктури.

### Вступ

У сучасному світі хмарні технології стають все більш важливими для управління та розгортання інфраструктури в інформаційних системах [1]. Хмарні обчислення відкривають нові можливості для динамічного аналізу та обробки великих обсягів даних та послуг в Інтернеті. Ці системи забезпечують доступ до розподілених ресурсів, таких як хости, пристрої зберігання даних, процесорні модулі та інші, за запитом користувачів.

Згідно з дослідженням [2], використання хмарних обчислень приносить передові технології в обробку та аналіз інформації, що охоплює широкий спектр від робочого столу користувача до великих систем обробки даних.

Зазвичай доступ до такої інформації реалізується через веб-додатки на основі хмарної моделі надання послуг.

Хмарні системи представляють собою глобальні мережі датацентрів, що об'єднуються в єдину інфраструктуру високошвидкісними комп'ютерними мережами. Вони можуть ефективно забезпечувати збір, обробку та зберігання інформації.

В [3] наголошують, що послуги хмарних систем розподіляються між користувачами з використанням віддалених ресурсів у конкретний момент часу через Інтернет. Для ефективного використання ресурсів хмарних систем необхідно вирішити проблему розподілу ресурсів, що полягає у динамічному перерозподілі програмних завдань та потоків даних в реальному часі.

Розподіл ресурсів у хмарних системах [4] - це процес розподілу віддалених ресурсів через комп'ютерну мережу для виконання відповідних хмарних програм. На високому рівні абстракції такий механізм розподілу отримав назву

Інфраструктура як послуга (IaaS), яка надає комп'ютерні ресурси за запитами користувачів завдяки попередньо визначеному або динамічному механізму розподілу ресурсів. **Аналіз публікацій та**

**постановка проблеми.** Останніми роками хмарні технології зазнали значних трансформацій, що спонукало наукову спільноту до інтенсивних досліджень у сфері ефективності використання хмарних ресурсів.

Широкий спектр публікацій в області інформаційних технологій [5] охоплює різні аспекти хмарних обчислень, включаючи архітектуру хмарних систем, управління даними, безпеку та приватність, а також оптимізацію ресурсів. Важливим напрямком досліджень є розробка алгоритмів і методів для забезпечення адаптивного масштабування хмарних ресурсів, що реагують на змінні потреби використання без зайвих затрат.

За даними [6], алгоритми масштабування мають критичне значення для підтримки високої доступності та ефективності хмарних сервісів.

Паралельно, робота [7] акцентує увагу на використанні машинного навчання для автоматизації рішень щодо розподілу ресурсів, вказуючи на можливість значного підвищення продуктивності хмарних систем.

Однак, існуючі дослідження часто обмежуються теоретичними моделями або специфічними випадками використання, не враховуючи складності реальних хмарних середовищ [8]. Проблема оптимізації розподілу ресурсів у хмарних системах залишається актуальною, особливо у контексті забезпечення високої продуктивності та економічної ефективності. Ключовим викликом є знайти баланс між потребами додатків у ресурсах та доступними обчислювальними потужностями [9], щоб мінімізувати витрати без шкоди для якості обслуговування.

В контексті цього дослідження, особлива увага приділяється інтеграції та використанню таких інструментів, як Azure Cloud та Terraform, які надають можливості для гнучкого управління хмарними ресурсами. Azure Cloud з його обширним набором сервісів та Terraform як потужний інструмент для "інфраструктури як коду" відкривають нові перспективи для оптимізації розподілу ресурсів.

## Методи оптимізації розподілу ресурсів у масштабованих хмарних середовищах на основі Azure Cloud та Terraform

У даній статті осліджуємо методи моделювання та оптимізації розподілу ресурсів у масштабованих хмарних середовищах, використовуючи платформу Azure Cloud та інструмент Terraform. Основною метою є забезпечення ефективного використання ресурсів та підвищення продуктивності системи.

Першим кроком у нашому дослідженні є аналіз існуючих методів розподілу ресурсів у хмарних середовищах. Розглядаємо різноманітні підходи, включаючи алгоритми планування та оптимізації, що застосовуються у відкритій літературі.

Далі пропонуємо гібридний підхід, який поєднує можливості Azure Cloud та Terraform. На першому етапі використовується Terraform для моделювання та автоматизації інфраструктури хмарного середовища. Детально розглядаємо процес створення та конфігурування інфраструктури за допомогою Terraform, зосереджуючись на можливостях автоматизації та масштабованості.

На другому етапі розглядаємо методи оптимізації розподілу ресурсів у масштабованих хмарних середовищах. Вивчаємо різні підходи до розподілу віртуальних машин, контейнерів та мікросервісів, а також вплив різних критеріїв, таких як продуктивність, ефективність використання ресурсів та вартість.

У наступних розділах представляємо практичні експерименти, в яких застосовується розроблений підхід до оптимізації розподілу ресурсів у хмарних середовищах на базі Azure Cloud та Terraform. Оцінюємо ефективність розроблених методів за різними критеріями та проводимо порівняння з існуючими рішеннями.

Загалом, робота спрямована на розробку та впровадження ефективних методів розподілу ресурсів у масштабованих хмарних середовищах з використанням передових технологій, що дозволяють підвищити продуктивність та знизити витрати.

Подальше дослідження у цій області може включати розширення підходу на інші хмарні платформи та вдосконалення методів оптимізації з метою підвищення надійності та ефективності хмарних середовищ.

Оптимізація розподілу ресурсів у хмарних середовищах вимагає комплексного підходу [10], що поєднує в собі передові технології та інноваційні методики. Azure Cloud і Terraform стали ключовими інструментами у цьому процесі, дозволяючи ефективно управляти ресурсами та автоматизувати розгортання інфраструктури.

**Використання Azure Cloud для оптимізації.** Azure Cloud пропонує ряд послуг та інструментів [11], що допомагають оптимізувати розподіл ресурсів. Одним із таких інструментів є Azure Autoscale, який дозволяє автоматично масштабувати кількість віртуальних машин відповідно до поточного навантаження, забезпечуючи таким чином ефективне ви-

користання ресурсів та оптимальну продуктивність за мінімальних витрат.

Крім того, Azure Cost Management [12] допомагає відстежувати та аналізувати витрати на хмарні ресурси, дозволяючи ідентифікувати можливості для зниження вартості.

Azure Autoscale – це потужний інструмент для автоматичного масштабування кількості віртуальних машин або інших ресурсів на основі поточного навантаження або запланованих параметрів. Використовуючи Azure Autoscale, можна:

1. Адаптувати ресурси до поточного навантаження. Гарантувати, що додатки завжди мають достатньо ресурсів для оптимальної роботи, без надмірного резервування ресурсів.

2. Мінімізувати витрати. Автоматичне зменшення кількості ресурсів у періоди низького навантаження допомагає знизити витрати на хмарні сервіси.

3. Покращити доступність та продуктивність. Забезпечується швидке масштабування ресурсів у відповідь на сплески навантаження, підтримуючи високий рівень продуктивності.

Terraform як інструмент для управління інфраструктурою

Terraform використовується для опису інфраструктури за допомогою коду, що дозволяє автоматизувати розгортання, зміни та версіонування хмарних ресурсів. Це забезпечує високий рівень гнучкості та контролю над хмарною інфраструктурою. За допомогою Terraform можна легко інтегрувати різні хмарні платформи, включаючи Azure, та ефективно управляти розподілом ресурсів, знижуючи витрати та покращуючи доступність сервісів.

Terraform дозволяє описати інфраструктуру у вигляді коду (Infrastructure as Code, IaC), що значно спрощує процеси розгортання, управління та масштабування хмарних ресурсів. Використовуючи Terraform для оптимізації розподілу ресурсів, можна:

1. Декларативно моделювати інфраструктуру. Описуючи потрібні ресурси та їх конфігурації у вигляді коду, можна легко реплікувати та масштабувати інфраструктуру відповідно до потреб.

2. Використовувати модулі Terraform. Модулі дозволяють групувати ресурси та перевикористовувати конфігурації, забезпечуючи краще управління інфраструктурою та зниження можливості помилок.

3. Автоматизувати зміни інфраструктури. Terraform підтримує планування змін та безпечно застосування цих змін до хмарної інфраструктури, дозволяючи динамічно адаптувати ресурси під змінні потреби.

Для представлення процесу оптимізації розподілу ресурсів у хмарних середовищах, можна використати графік (рис. 1), який ілюструє принципи роботи Azure Autoscale та ефективність використання Terraform для управління інфраструктурою.

Для представлення впливу оптимізаційних стратегій на економічну ефективність та продуктивність хмарних ресурсів, ми зробили порівняльний аналіз.

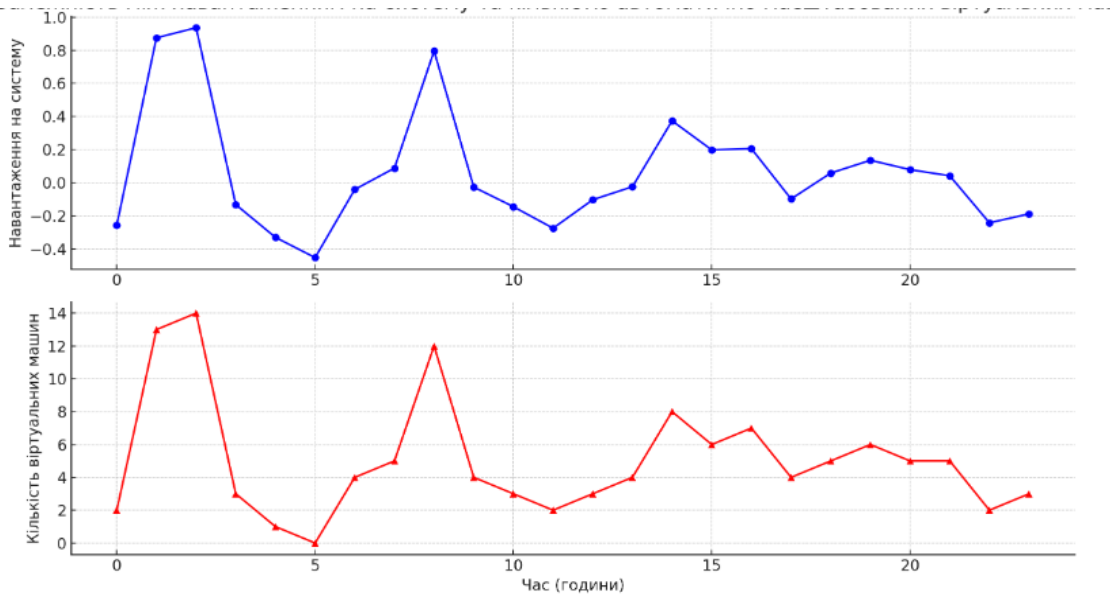


Рис. 1. Залежність між навантаженням на систему та кількістю автоматично масштабованих віртуальних машин в Azure Cloud

Цей аналіз візуалізується за допомогою графіку (рис. 2), який відображає зміни в загальних витратах на хмарні ресурси та продуктивності хмарних сервісів до та після впровадження інструментів автоматизації та оптимізації, таких як Terraform і

Azure Autoscale. Графік демонструє не лише фінансові вигоди, але й поліпшення у якості обслуговування, що є критично важливим для забезпечення високого рівня задоволеності користувачів та ефективності бізнес-операцій.

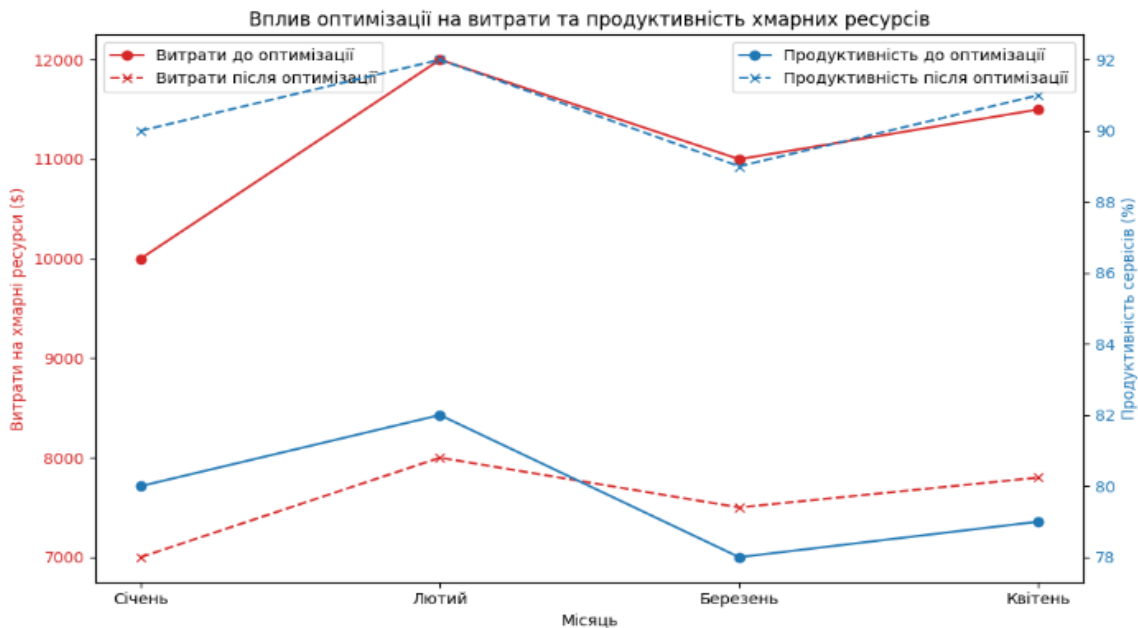


Рис. 2. Вплив оптимізації хмарних ресурсів на витрати та продуктивність сервісів

Цей графік ілюструє, як застосування вдосконалених методів управління інфраструктурою може призвести до суттєвого зниження операційних витрат на хмарні ресурси та одночасного підвищення продуктивності сервісів, гарантуючи таким чином більш ефективне та економічно вигідне використання хмарних технологій.

**Висновки**

Дослідження методів оптимізації розподілу ресурсів у масштабованих хмарних середовищах, з осо-

бливим акцентом на використанні Azure Cloud та Terraform, відкрило нові перспективи для покращення ефективності, надійності та економічності хмарних інфраструктур. Розроблені та проаналізовані методики демонструють важливість автоматизації, декларативного опису інфраструктури та впровадження інтелектуального масштабування для задоволення змінних потреб сучасних додатків та сервісів.

Основні висновки роботи:

1. Автоматизація інфраструктури за допомогою Terraform значно спрощує управління хмарними

ресурсами, забезпечує високу швидкість внесення змін та підтримку великої кількості середовищ і конфігурацій, водночас знижуючи ризик людських помилок.

2. Динамічне масштабування в Azure Cloud, зокрема використання Azure Autoscale, дозволяє ефективно реагувати на зміни навантаження, оптимізуючи використання ресурсів і витрати на хмарні послуги, при цьому підтримуючи необхідний рівень продуктивності та доступності сервісів.

3. Інтеграція інструментів і платформ, таких як Terraform і Azure, відкриває додаткові можливості для більш гнучкого управління хмарною інфраструктурою, дозволяючи компаніям швидко адаптуватися до змін на ринку та технологічних інновацій.

Вплив оптимізації на економічну ефективність та продуктивність. Аналіз витрат і продуктивності до та після оптимізації яскраво демонструє, що ефективне управління хмарними ресурсами призводить

до значного зниження витрат – приблизно на 30-35% від початкових значень, а також до підвищення продуктивності сервісів на 10-15%. Це підтверджує важливість впровадження автоматизованих інструментів управління та оптимізації, таких як Terraform і Azure Autoscale. Використання цих інструментів для досягнення більш ефективного розподілу ресурсів не тільки забезпечує суттєве зниження витрат, але й сприяє збільшенню рентабельності інвестицій у хмарну інфраструктуру, забезпечуючи водночас вищу якість наданих хмарних сервісів.

Загалом, застосування сучасних підходів до управління хмарними ресурсами, таких як Terraform для декларативного опису інфраструктури та інструментів автомасштабування в Azure, є ключем до побудови ефективних, гнучких та економічно вигідних хмарних рішень. Отже, компанії, які активно впроваджують та оптимізують такі рішення, отримують зниження витрат.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Wang, D., Zhong, D. and Li, L. "A comprehensive study of the role of cloud computing on the information technology infrastructure library (ITIL) processes", *Library Hi Tech*, (2022), Vol. 40 No. 6, pp. 1954-1975. DOI: <https://doi.org/10.1108/LHT-01-2021-0031>
- Omar Alzakholi, Lailan M. Haij, Hanan M. Shukur, Rizgar R. Zebari, Shakir M. Abas, Mohammad A. M. Sadeeq Comparison Among Cloud Technologies and Cloud Performance (2020) Vol. 1 No. 1 DOI: <https://doi.org/10.38094/jastt1219>
- Рудь Л. І. Войцеховська О. В. Використання хмарних технологій в методології devops та CI/CD процесі. 2021 DOI: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/34093/89359.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Коломицев М. В. Підхід до побудови системи безпеки хмарних баз даних Johnson та Smith 2020 No УДК 004.7. 2-3 URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/d740a6c4-936d-4d95-a2e5-b41c5686a75e/content>
- Sururah A. Bello, Lukumon O. Oyedele, Olugbenga O. Akinade, Muhammad Bilal, Juan Manuel Davila Delgado, Lukman A. Akanbi, Anuoluwapo O. Ajayi, Hakeem A. Owolabi Review Cloud computing in construction industry: Use cases, benefits and challenges 2020 Vol. 6 No. 3, pp. 54-60 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103441>
- Mohammad S., Sukhpal S., Adel N. Performance evaluation metrics for cloud, fog and edge computing: A review, taxonomy, benchmarks and standards for future research, 2020 Vol. 40 No. 6, pp. 54-75. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100273>
- Кулик В.В. Дослідження методів оптимізації обчислень у хмарних технологіях 2020 12 – 15 DOI: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/c0243f1e-34a0-42e0-b127-d87f104e6c43/content>
- Kuchuk, H. and Malokhvii, E. (2024), "Integration of IOT with Cloud, Fog, and Edge Computing: A Review", *Advanced Information Systems*, vol. 8(2), pp. 65–78, doi: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.2.08>
- Petrovska, I., Kuchuk, H., Kuchuk, N., Mozhaiev, O., Pochebut, M., Onishchenko, Yu. (2023), "Sequential Series-Based Prediction Model in Adaptive Cloud Resource Allocation for Data Processing and Security", *2023 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2023*, 13–15 October, Athens, Greece, code 197136, doi: <https://doi.org/10.1109/DESSERT61349.2023.10416496>
- Гуржій В. В. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УПРАВЛІННІ ПРОЕКТАМИ 2023 No УДК 005:004.8 4 - 5 DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105.2023.12.73>
- Огляд служб оптимізації виконання й повернення замовлень. 2024. URL: <https://learn.microsoft.com/uk-ua>
- Microsoft Cost Management 2024. URL: <https://azure.microsoft.com/en-us/products/cost-management>

Received (Надійшла) 12.03.2024

Accepted for publication (Прийнята до друку) 29.05.2024

#### Methods of modelling scaled cloud resources

Maksym Volk, Maksym Popovkin

**Abstract.** In the era of rapid development of cloud technologies, the main task is not only the research of existing opportunities, but also the practical implementation of solutions aimed at optimizing the use of cloud resources. The purpose of the article is to identify the most effective approaches to modeling cloud resources, which will allow organizations to achieve a significant reduction in the costs of using cloud resources while simultaneously ensuring a high level of performance and reliability of cloud services. The work offers effective strategies for automating the deployment and management of cloud infrastructure based on the Azure Cloud platform and the Terraform tool. Modern research emphasizes the importance of integrating automated management tools to increase the efficiency of cloud resource use, which includes the analysis of current challenges in scalable cloud resources, such as load balancing, ensuring continuous availability of services and optimization of resource use. An overview of optimization techniques demonstrates strategies for reducing costs and improving performance in cloud environments. The results of the study are intended for a wide range of specialists in the field.

**Keywords:** cloud computing, scalable cloud resources, modeling methods, terraform, azurecloud, infrastructure optimization, efficient use of resources, analysis and evaluation, performance, stability, cost effectiveness, resource integration, infrastructure modeling.