УДК 004.72:004.75

АНАЛІЗ АРХІТЕКТУРНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ БЛОКЧЕЙН-ОРІЄНТОВАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМ ДЛЯ РОЗГОРТАННЯ В МУЛЬТИХМАРНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Чепурна І.С.
Харківський національний університет радіоелектроніки
Україна, Харків
iryna.chepurna@nure.ua

Анотація. *В роботі проведено аналіз архітектурних особливостей розподілених систем, в тому числі блокчейн-орієнтованих розподілених систем, для розгортання в мультихмарному середовищі. Основну увагу зосереджено на доступних технологіях, що застосовуються для організації блокчейн-орієнтованих розподілених систем в мультихмарному середовищі.*
Ключові слова: *інформаційна технологія; розподілені системи; архітектура; контейнеризація; блокчейн.*

Вступна частина. Сучасні вимоги до ефективності бізнес-процесів актуалізують розгортання або міграцію корпоративних інфраструктур у хмарне середовище. Такий підхід дозволяє забезпечити масштабованість корпоративної інфраструктури в разі динамічної зміни навантаження [1]. Однак використання послуг одного хмарного вендора створює ризики монополізації ним ресурсу, збоїв інфраструктури та обмеженого доступу до різноманітних сервісів і моделей надання послуг [2]. Саме тому розгортання корпоративної інфраструктури в мультихмарному середовищі є актуальною підходом для забезпечення стабільного функціонування корпоративних систем. Варто врахувати, що при цьому більшість хмарних вендорів підтримують технологію контейнеризації для організації сучасних розподілених корпоративних систем [3]. Застосування технології контейнеризації забезпечує розгортання корпоративної інфраструктури з розподілом обчислювальних вузлів між хмарними середовищами різних вендорів, забезпечуючи динамічну масштабованість та вирішення проблеми монополізації ресурсу одним вендором. При цьому існує технологія розподілу інформаційних систем за принципом блокчейну [4]. Ця технологія забезпечує розподілене зберігання, перевірку та узгодження даних між незалежними вузлами без централізованого механізму управління вузлами.

Метою роботи є аналіз архітектурних особливостей для розгортання блокчейн-орієнтованих розподілених систем в мультихмарному середовищі.

Основна частина. Мультихмарне середовище C дозволяє об’єднати обчислювальні ресурси, які надаються різними хмарними вендорами, в єдиний простір для розгортання та управління корпоративною інфраструктурою. В межах такого середовища корпоративна інфраструктура представлена як розподілена система, що складається з множини взаємопов’язаних віртуальних вузлів $n_i \in N$. Кожне хмарне середовище $c_j \in C$ надає частину обчислювальних ресурсів, формуючи власну множину вузлів N_c цієї розподіленої системи, для забезпечення сумісного зберігання, обробки та передачі даних. Кожен вузол n_i в межах окремого хмарного середовища c_j взаємодіє з іншими вузлами через мережні з’єднання. Водночас, різні хмарні середовища поєднані між собою логічними зв'язками, що

забезпечує узгоджену передачу даних між вузлами розподіленої системи. Така організація взаємодії між вузлами різних середовищ забезпечує їх розподіл на декілька рівнів відповідно до виконуваних функцій та формування багаторівневої архітектури розподіленої системи. Таким чином архітектуру розподіленої системи можна формалізувати у вигляді графа $G = (N, I)$, де ребра I відображають логічні зв'язки між вузлами. На рис.1 наведено схему графа багаторівневої архітектури корпоративної інфраструктури, де вузли розподілені між різними хмарними середовищами.

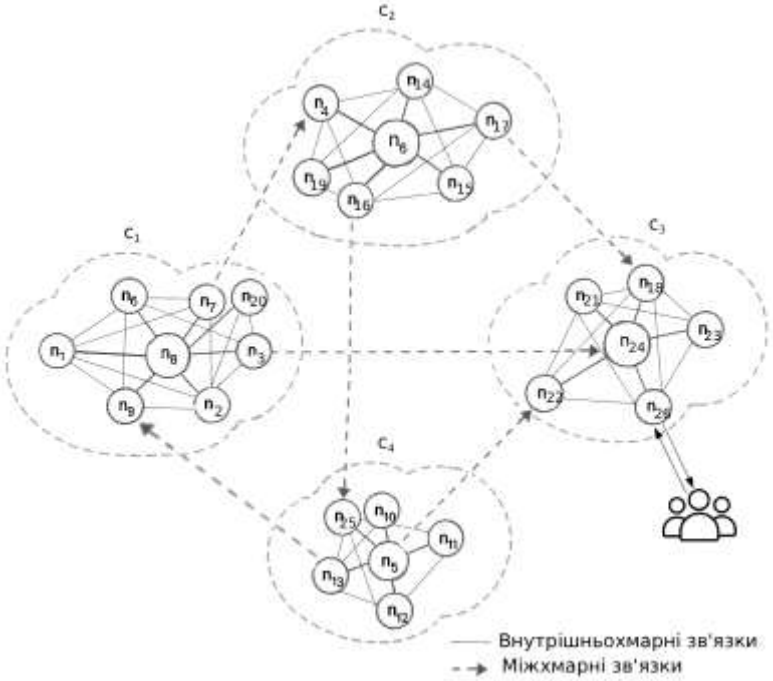

Рисунок 1 – Схема графа багаторівневої архітектури в мультихмарному середовищі

Архітектура блокчейн-орієнтованих розподілених систем формується з множини взаємопов'язаних обчислювальних вузлів, що складають однорангову мережу з децентралізованою топологією [5]. Для такої топології характерна відсутність єдиного центру управління, що підвищує надійність системи та знижує ризик відмови окремих вузлів. Децентралізація блокчейн-орієнтованих розподілених систем дозволяє реалізувати механізми узгодження та управління взаємодії між вузлами. Водночас логічна організація вузлів та розподіл функцій між ними відповідають концепції багаторівневої архітектури. В межах такої архітектури окремі рівні відповідають за зберігання, обробку та передачу даних. Це забезпечує сумісність і масштабованість при інтеграції блокчейн-орієнтованих розподілених систем в мультихмарне середовище.

Технологія контейнеризації дозволяє розгортати вузли розподіленої системи у вигляді ізольованих контейнерів. В межах кожного хмарного середовища вузлам-контейнерам виділяються обчислювальні ресурси, зокрема обчислювальна потужність центрального процесора (CPU), оперативна пам'ять (RAM), дисковий простір тощо, відповідно до конфігурації сервісу. В цьому випадку контейнеризація дозволяє забезпечити уніфікований підхід до розгортання вузлів розподіленої системи, зокрема ідентичність обчислювального середовища, конфігурації та доступні образи сервісів [6]. Використання контейнеризації дозволяє застосовувати різні інструменти управління контейнерами, їх об'єднання та оркестрацію в єдину віртуальну мережу з узгодженим адресним простором. Уніфікацію процесу розгортання багаторівневої архітектури розподіленої системи за технологією

контейнеризації можна формалізувати як умову ідентичності хмарних середовищ в межах мультихмарного простору

$$\forall c_i, c_j \in C : R(c_i) = R(c_j) \wedge F(c_i) = F(c_j), \quad (1)$$

де R – множина виділених ресурсів (CPU, RAM тощо) для розгортання вузлів в межах одного хмарного середовища; F – множина сервісів, які реалізовані на кожному вузлі окремого хмарного середовища.

Взаємодія між контейнерами здійснюється через логічну віртуальну мережу [7]. Завдяки уніфікації процесів розгортання та конфігурації контейнерів (1) така віртуальна мережа дозволяє поєднати в єдиний адресний простір контейнери-вузли розподіленої системи, незалежно від хмарного вендора. Це забезпечує організацію багаторівневої архітектури розподіленої системи та узгоджену взаємодію між вузлами системи.

В межах обраної моделі надання послуг одного хмарного середовища масштабованість розподіленої системи забезпечується шляхом горизонтального збільшення кількості вузлів. Таке розширення обчислювальних ресурсів дозволяє системі стабільно функціонувати та забезпечувати необхідну продуктивність в умовах підвищеного навантаження. Кожний хмарний вендор надає обсяг обчислювальних ресурсів R_c (CPU, RAM тощо), який визначається умовами моделі надання послуг. Тоді умову масштабованості розподіленої системи в межах одного вендора можна формалізувати як:

$$N_c = \frac{R_c}{R_n}, \; N_c \le N_{\max}, \quad (2)$$

де N_c – кількість вузлів в межах одного хмарного середовища; R_c – сукупність доступних ресурсів, наданих хмарним вендором; R_n – середній обсяг ресурсів, необхідних для функціонування одного вузла; $N_{\max}$ – максимально можлива кількість вузлів, яку можна розгорнути в межах заданого обсягу ресурсів хмарного середовища.

В межах виділених ресурсів ефективну пропускну здатність B' одного вендора можна представити як функцію від кількості розгорнутих вузлів та обсягу доступних ресурсів:

$$B' = f(N_c, R_c), \; N_c = \frac{R_c}{R_n}, \; N_c \le N_{\max}. \quad (3)$$

Таким чином, збільшення ефективної пропускної здатності в межах хмарного середовища пропорційно зростає або зберігається зі збільшенням кількості вузлів до вичерпання ресурсів в межах обраної моделі наданні послуг:

$$\frac{\partial B'}{\partial N} \le B_c, \; N_c \le N_{\max}, \quad (4)$$

де B_c – пропускна здатність, що забезпечується хмарним вендором в межах обраної тарифної моделі.

Для блокчейн-орієнтованих розподілених систем характерно горизонтальне масштабування. Це масштабування досягається шляхом додавання нових ідентичних вузлів, що відповідає принципам масштабованості багаторівневій архітектурі, побудованій на уніфікованих вузлах-контейнерах у мультихмарному середовищі.

Висновки. На основі проведеного аналізу встановлено, що контейнеризація є основним інструментом інтеграції блокчейн-орієнтованих розподілених систем в мультихмарне

середовище. Контейнеризація забезпечує уніфікований підхід до розгортання вузлів та динамічну масштабованість вузлів розподіленої системи.

Результати цього аналізу можуть бути використані у подальшому при розробці моделей, методів та інформаційних технологій для управління блокчейн-орієнтованими розподіленими системами в мультихмарних інфраструктурах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Kansara, M. (2023). A Framework for Automation of Cloud Migrations for Efficiency, Scalability, and Robust Security Across Diverse Infrastructures. *Quarterly Journal of Emerging Technologies and Innovations*, *8*(2), 173–189.

[2] Malempati, M. (2025). Leveraging cloud computing architectures to enhance scalability and security in modern financial services and payment infrastructure. *European Advanced Journal for Science & Engineering (EAJSE)*, *1*(1), 1-15. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5231358

[3] Ravichandra Mulpuri. (2025). Comprehensive Review of Multi-cloud Architecture for Salesforce in Enterprise Environments. *International Journal of Science and Research Archive*, *15*(3), 1825–1838.

[4] Dong, S., Abbas, K., Li, M., & Kamruzzaman, J. (2023). Blockchain technology and application: an overview. *PeerJ. Computer science*, *9*, e1705. https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1705

[5] Deng, W., Huang, T., & Wang, H. (2023). A Review of the Key Technology in a Blockchain Building Decentralized Trust Platform. *Mathematics*, *11*(1), 101.

[6] Er.Vishesh Narendra Pamadi, Dr.Shakeb Khan, & Er.Om Goel. (2024). A Comparative Study on Enhancing Container Management with Kubernetes. *International Journal of Advanced Research and Interdisciplinary Scientific Endeavours*, *1*(3), 116–133.

[7] Lei J., Munikar M., Suo K., Lu H., & Rao J. (2021). Parallelizing packet processing in container overlay networks. In *EuroSys '21: Proceedings of the sixteenth European conference on computer systems : April 26-28, 2021, online* (pp. 261 - 276). Retrieved from https://doi.org/10.1145/3447786.3456241

Chepurna I. S.

Analysis of Architectural Features of Blockchain-Oriented Distributed Systems for Deployment in a Multi-Cloud Environment

Abstract. *The paper analyzes the architectural features of distributed systems, including blockchain-oriented distributed systems, for deployment in a multi-cloud environment. The main focus is on available technologies used to organize blockchain-oriented distributed systems in a multi-cloud environment.*

Keywords: *information technology; distributed systems; architecture; containerization; blockchain.*