

УДК 004.75:004.453.3

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.5.1/15>

**Волк М.О.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Бугрій А.М.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Ковтун Є.І.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Брестовицький Р.М.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Соробей Б.В.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

**Лобач Я.В.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

## **ОПТИМІЗАЦІЯ РЕСУРСІВ У ХМАРНИХ ОБЧИСЛЕННЯХ: ГІБРИДНИЙ ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗАЦІЇ ОПЕРАЦІЙ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

*У статті досліджено методи управління ресурсами в хмарних системах з акцентом на оптимізацію обчислювальних процесів і автоматизацію операцій. Основна мета дослідження полягає в розробці ефективних підходів до управління ресурсами, які забезпечать надійність, масштабованість та мінімізацію енергоспоживання в умовах зростаючого навантаження на інформаційні системи. Хмарні обчислення на сьогодні є важливою технологією, яка надає організаціям можливість динамічного менеджменту ресурсів для досягнення максимального результату з мінімальними витратами. У роботі описано сучасні архітектурні рішення, що дозволяють впроваджувати хмарні технології та використовувати багаторівневі стратегії для оптимізації роботи систем. Запропоновано нові підходи до управління віртуальними машинами та розподілу ресурсів, які ґрунтуються на принципах балансування навантаження та динамічного масштабування ресурсів відповідно до обчислювальних потреб. Також проведено порівняння різних моделей управління розподіленими обчисленнями, таких як централізована та децентралізована архітектури.*

*Експериментальне моделювання показало високу ефективність запропонованих підходів у реальних хмарних системах, зокрема в умовах різного навантаження, гетерогенних структур та обмеженості ресурсів. Результати симуляцій продемонстрували, що запропоновані алгоритми розподілу ресурсів знижують затримки, покращують продуктивність та зменшують витрати енергії. Отримані результати підтверджують, що запропоновані методи та архітектурні рішення можуть бути використані для розгортання масштабованих хмарних систем, які забезпечують високу ефективність та надійність. У висновках роботи визначено перспективні напрями подальших досліджень, зокрема впровадження нових алгоритмів для покращення управління ресурсами в багатохмарних середовищах.*

**Ключові слова:** інформаційна система, комп'ютерні ресурси, хмарні обчислення, розподілені завдання, програма, продуктивність.

**Постановка проблеми.** За минулі десятиріччя в інформаційно-комунікаційних технологіях відбулися значні зміни парадигми від ізольованих і обмежених комп'ютерів та локальних мереж до середовищ хмарних обчислень. З розвитком інформаційно-комунікаційних технологій, обсяг даних,

що обробляється в хмарних системах, невпинно зростає. Це призводить до значного навантаження на хмарні ресурси та підвищує вимоги до продуктивності, масштабованості та надійності обчислень. Хмарні системи стали ключовим елементом інфраструктури в багатьох сферах, включаючи

науку, медицину, фінанси та бізнес. Однак збільшення кількості користувачів і запитів на обчислювальні потужності створює нові виклики для ефективного управління ресурсами.

Традиційні підходи до управління ресурсами, які використовують статичне розподілення ресурсів, не можуть забезпечити достатньої гнучкості для вирішення задач динамічного балансування навантаження в умовах постійних змін у мережі. Зокрема, проблема полягає в тому, що при збільшенні кількості запитів зростає ймовірність затримок, що призводить до зниження якості обслуговування та зростання енергоспоживання.

Таким чином, постає завдання розробки нових моделей і підходів до управління ресурсами, які зможуть вирішити проблему динамічного розподілу обчислювальних потужностей з урахуванням навантаження на систему, енергетичних витрат та вимог до якості обслуговування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження в галузі хмарних обчислень за останні роки значно просунулися вперед, зосереджуючись на розробці більш гнучких та масштабованих архітектур для розподілу ресурсів. Багато авторів [1] підкреслюють важливість централізованих систем управління, де головний контролер відповідає за розподіл ресурсів між вузлами. Однак такі системи мають обмеження з точки зору масштабованості та стійкості до збоїв.

Інші дослідники [2] розглядають децентралізовані підходи, в яких кожен вузол автономно вирішує, як використовувати свої ресурси. Це дає змогу значно підвищити масштабованість системи, однак виникає проблема координації між вузлами, що може призвести до неефективного розподілу ресурсів. У дослідженнях [3] зроблено спробу об'єднати обидва підходи, пропонуючи гібридні системи управління, які поєднують переваги централізації та децентралізації.

Також слід зазначити, що важливе місце у сучасних дослідженнях займають питання енергозбереження. Використання ресурсів із низьким енергоспоживанням стало одним із ключових напрямків оптимізації хмарних систем. У роботах [4] пропонуються алгоритми управління ресурсами, що враховують енергетичну ефективність системи та намагаються зменшити енергоспоживання без втрати продуктивності.

**Постановка завдання.** Метою цієї статті є аналіз сучасних підходів до управління ресурсами у хмарних системах та розробка нового гібридного підходу, що дозволяє поєднувати переваги централізованого і децентралізованого

управління. Це допоможе вирішити проблему масштабованості і ефективного розподілу ресурсів в умовах високого навантаження на систему.

Крім того, стаття спрямована на розробку методів автоматичного балансування навантаження і оптимізації енергоспоживання в хмарних середовищах. У результаті буде запропоновано новий алгоритм, який дозволить зменшити затримки в обробці запитів, підвищити продуктивність системи та зменшити енергетичні витрати.

**Виклад основного матеріалу.** Гібридний підхід, запропонований у цій статті, поєднує централізоване та децентралізоване управління ресурсами, забезпечуючи більш гнучкий та адаптивний розподіл обчислювальних завдань. Централізоване управління забезпечує загальну координацію і балансування навантаження в системі, тоді як децентралізовані вузли приймають локальні рішення про розподіл ресурсів залежно від поточного навантаження.

Зокрема, центральний контролер відповідає за розподіл великих обчислювальних завдань між основними вузлами системи, тоді як менші завдання можуть бути оброблені децентралізованими вузлами. Це дозволяє зберігати гнучкість системи і мінімізувати затримки. Також було впроваджено механізм передачі завдань між вузлами, що дозволяє ефективно управляти навантаженням навіть при великій кількості запитів.

Пропонуємо структуру, яка складається з трьох сегментів у хмарі (декількох хмар) для розподілу та управління ресурсами. В процесі роботи докато, що мультихмарне середовище може бути розширене на рівні провайдерів хмарних послуг для надання спеціалізованих сервісів, пов'язаних з управлінням хмарними середовищами. Провайдер хмарних сервісів переважно надає ресурси в конкретній конфігурації, наприклад, приватній, загальнодоступній або гібридній. Інший постачальник ресурсів, в той же час, може мати фізичні ресурси та розширює об'єкти для інших провайдерів ресурсів. Кінцевий користувач – це третій учасник процесу, який, за замовчуванням, працює в багатохмарному середовищі.

Провайдер ресурсів має обчислювальні потужності, сховища даних та комунікаційну мережу. Ці три типу ресурсів надаються користувачеві через віртуалізоване середовище, віртуальні машини, контейнери та інші засоби, якими володіють провайдери хмарних сервісів. Сервіси надаються на фізичних та віртуальних ресурсах відповідно до певної стратегії.

Згідно нашої структури існує дев'ять кроків для забезпечення параметрів якості обслуговування

щодо ефективного розподілу ресурсів у хмарній системі. На першому кроці запит від клієнта надсилається на сервер у віртуальному середовищі. Задасться конфігурація та налаштування програм тестування згідно з цілями якості обслуговування у віртуальному середовищі. На другому кроці сформований запит надсилається до брокера кластера для виконання службами хмари через різні конфігурації з параметрами якості обслуговування, як показано на рис. 1. Параметри якості обслуговування включають початкову конфігурацію, тестові логічні програми та реалізують одну з стратегій управління. На етапах 4, 5 і 6 модель тестового варіанту аналізуються при умовах різних конфігурацій. Виконується перевірка виконання умов якості обслуговування. На сьомому кроці, якщо параметри якості обслуговування задовільні, виконується надання ресурсу з пулу ресурсів. Починаючи з восьмого кроку, виконується моніторинг та реалізується бізнес-логіка передачі завдання у віртуальне середовище. Після виконання, всі результати та витрати передаються клієнту.

Запропонована вище структура враховує три основні параметри для забезпечення якості обслуговування і розподілу ресурсів у хмарному середовищі. Ці параметри прийнято по результатам аналізу літератури та різних хмарних моделей, зокрема варіантів комерційних хмарних середовищ. Ця архітектура базується на використанні трьох параметрах для забезпечення процесів та логіки динамічного та швидкого розподілу ресурсів із покращенням якості обслуговування у багатохмарному середовищі.

Відзначимо, що описана структура сконцентрована на трьох параметрах, які необхідні для

проективання будь-якої мультихмари. Перший параметр – це співпраця, яка є ключовим елементом оптимізації та спільного використання ресурсів. Багатохмарність – це взаємодія різних сервісів від базових провайдерів хмарних сервісів. Високий рівень неоднорідності від архітектурного до сервісного рівня робить цей параметр основним, а в деяких випадках – вирішальним. Цей параметр може комплексно використовувати такі підпараметри, як стимули та стратегії. Остання деталізація цих параметрів пов'язана з вартістю, соціальними та публічними факторами життєдіяльності та ефективністю угод по наданню послуг. До речі, ці ключові параметри є критично важливими для розподілу ресурсів із очевидним порогом якості надання послуг.

Для оцінки ефективності цього підходу було проведено експериментальне моделювання за кількома сценаріями навантаження. Під час тестування було використано такі показники, як затримка обробки запитів, використання процесорів, енергоспоживання та масштабованість системи. Результати показали, що запропонована модель дозволяє досягти значного зменшення затримок у порівнянні з іншими підходами, зокрема завдяки більш ефективному управлінню ресурсами.

Запропоновану архітектуру було промодельоване за допомогою симулятора з відкритим кодом CloudSim. Він надає набір різноманітних інструментів для моделювання середовищ хмарних обчислень з різними параметрами якості обслуговування, оптимізації та конфігурування. Під час проведення експериментів було створено три компоненти середовища, а саме мультихмару з децен-

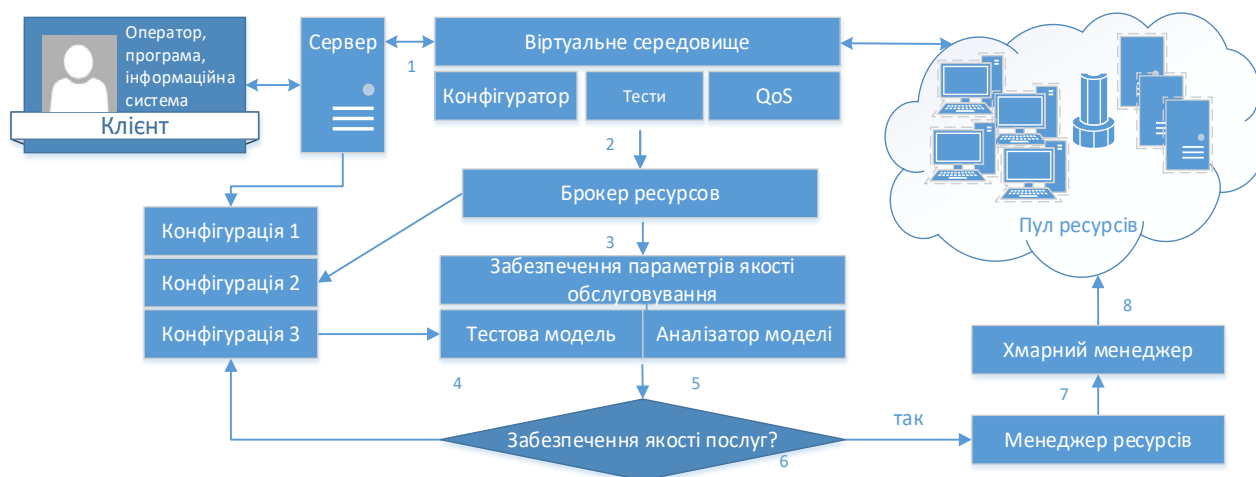


Рис. 1. Структура та порядок надання послуг у хмарній системі

тралізованим управлінням, брокер ресурсів та менеджер хмарних ресурсів. Децентралізована система управління була спрямована на імітацію віртуального середовища, віртуальних машин та спільного використання комунікаційного віртуального простору. Брокер ресурсів розподіляє робоче навантаження за віртуальними машинами та запитує динамічний перерозподіл ресурсів для забезпечення якості обслуговування. Децентралізований менеджер хмарних ресурсів виконує запити та повертає результати обчислень відповідно до кінцевого користувача, використовуючи комунікаційні засоби віртуального середовища.

Провайдери хмарних послуг стягують з користувачів плату, по стратегії за використання, за оказані послуги, тому оцінити вартість використання хмари для безкоштовних експериментів складно. Тому експериментальні дослідження, які проводилися для хмари, в основному виконувалися за допомогою симуляторів хмари. В цьому дослідженні для моделювання великомасштабних хмарних обчислень за допомогою віртуального сервера та створення індивідуальної віртуальної машини використовувалось середовище CloudSim. Також, це програмне забезпечення використовувалось для оцінки моделей із стратегіями зі змінами робочого навантаження та розподіленими центрами обробки даних.

Програмне забезпечення CloudSim не містить графічний інтерфейс користувача (GUI), але надає можливість взаємодії з різноманітними інтегрованими середовищами розробки (IDE), наприклад, з Eclipse та NetBeans. В наших експериментах для симуляції було використано CloudSim з Eclipse. Конфігурація середовища CloudSim використо-

вує хмарні програми, хости, віртуальні машини і дозволяє створювати рандомні умови для імітації різних стратегій та конфігурацій на різних віртуальних машинах. У якості додаткового програмного забезпечення було використано Apache Tomcat 9.0.95, DSpace 6.3, PostgreSQL 13.16.

В процесі симуляції було оцінено різні конфігурації в умовах різних налаштувань хмари, щоб переконатися в достовірності параметрів, які згадані у структурі, що запропонована, а саме оптимізації, співпраці та спільного використання. Усі параметри представляють якість обслуговування. Віртуальні машини було рандомізовано з наявними п'ятьма пристроями для забезпечення різних конфігурацій. Процес моделювання активувався з мінімальними параметрами замість використання великої кількості обчислювальних ресурсів. Це було зроблено для зрозуміння умов робочого навантаження та ймовірностей збоїв. Віртуальні машини мали 1 ГБ пам'яті.

Було реалізовано безперервне моделювання, в процесі якого реалізовано сплеск параметрів якості обслуговування, який досяг максимального значення та знову почав знижуватися, як показано на рис. 2 а). На графіку представлено нормовані значення параметрів якості обслуговування (QoS). Експеримент показав, що параметри децентралізованої мультихмари з використанням звичайного брокера та стандартною конфігурацією коливаються щодо якості обслуговування та ресурсної потужності. В випадку, коли ємність ресурсів хмари починає вичерпуватися, якість обслуговування починає знижуватися, і жодні вбудовані протоколи оптимізації не виправляють ситуацію. Симулятор використовував динамічну зміну пара-

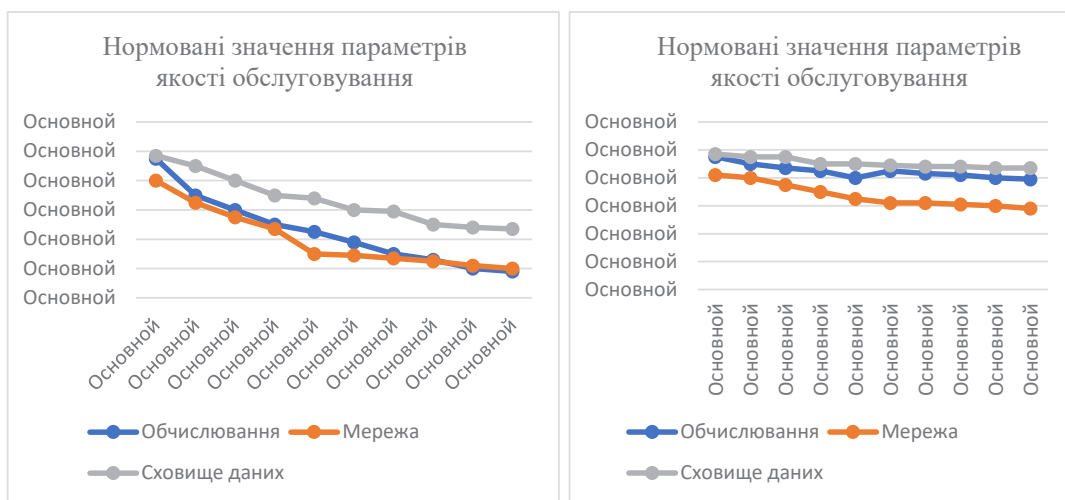


Рис. 2. Забезпечення QoS а) без оптимізації, б) з оптимізацією



метрів для створення децентралізованої мульти-хмари при різних сценаріях управління.

В процесі другого циклу моделювання з параметрами попереднього експерименту, але з використанням запропонованої структури та аналізу моделей відповідних параметрів якості обслуговування, які обговорювались раніше, було отримано результати, що представлені на рисунку на рис. 2 б). В процесі симуляції було використано ті ж самі три модулі, тобто децентралізовану мультихмару, брокера та менеджера навантаження. З результатів можна зробити висновки, що запропоновані рішення забезпечують стабільну підтримку параметрів якості обслуговування з збільшенням навантаження на хмарну систему.

Вплив запропонованої оптимізації також було проаналізовано за параметрами відмови від обслуговування, фінансової співпраці, продуктивністю. Вплив оптимізації, який спостерігався в попередньому експерименті на розподіл ресурсів, також відобразився на збільшенні співпраці з різними стратегіями управління, трафіку взаємодії розподілених модулів, що забезпечують постачальники ресурсів.

Крім того, було встановлено, що система демонструє високу стійкість до перевантажень, оскільки здатна автоматично перенаправляти

запити між вузлами залежно від їхньої поточної завантаженості. Це дозволило досягти значного зменшення енергоспоживання, оскільки завдання автоматично перенаправлялися до вузлів із нижчим енергоспоживанням у випадках, коли не було необхідності використовувати високопродуктивні процесори.

**Висновки.** Запропонований у статті гібридний підхід до управління ресурсами у хмарних системах дозволяє значно підвищити ефективність використання обчислювальних потужностей, мінімізувати затримки та оптимізувати енергоспоживання. Використання поєднання централізованого і децентралізованого управління забезпечує гнучкість і надійність системи, дозволяючи швидко адаптуватися до зміни умов навантаження.

Результати експериментального моделювання підтвердили, що запропонований підхід є перспективним для застосування в умовах високих навантажень, де важливо забезпечити баланс між ефективністю роботи та енергозбереженням. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку нових алгоритмів балансування навантаження, зокрема для багатохмарних середовищ, а також на вдосконалення механізмів автоматизації управління операціями у хмарних інфраструктурах.

#### Список літератури:

1. Shi, Dustdar S. The promise of edge computing. *Computer*, vol. 49. no. 5. 2016. pp. 78–81. DOI: 10.1109/MC.2016.145
2. Bonomi F., Milito R., Zhu J., Addepalli S. Fog computing and its role in the Internet of things. *Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing*. ACM, 2012, pp. 13–16. <https://doi.org/10.1145/2342509.234251>
3. Bellavista P., Foschini L., Scotece D. Converging mobile edge computing, fog computing, and IoT quality requirements. *Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, 2017 IEEE 5th International Conference on. IEEE, 2017, pp. 313–320. DOI: 10.1109/FiCloud.2017.55
4. Han S. N., Lee G. M., Crespi N., Van Luong N., Heo K., Brut M., Gatellier P. Dpwsim: A simulation toolkit for IoT applications using devices profile for web services. *Internet of Things (WF-IoT)*, 2014 IEEE World Forum on. IEEE, 2014, pp. 544–547. DOI: 10.1109/WF-IoT.2014.6803226
5. Mamchych O., Volk M. A unified model and method for forecasting energy consumption in distributed computing systems based on stationary and mobile devices. *Radioelectronic and Computer Systems*, [S.l.], v. 2024, n. 2, p. 120-135. DOI: <https://doi.org/10.32620/reks.2024.2.10>.
6. Heilig L., Lalla-Ruiz E., Vob S. Modeling and solving cloud service purchasing in multi-cloud environments. *Expert System Application*, vol. 147, no. 3. 2020. pp. 113165. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.113165>
7. Filimonchuk T., Volk M., Ruban I., Tkachov V. Development of information technology of tasks distribution for grid-systems using the GRASS simulation environment. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Information and controlling system*, 2016. Vol. 3/9 (81). pp. 45–53. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.71892
8. Волк М.О., Курочкін В. С., Запорожченко А.П., Паронікян П.А. Гібридний метод розподілу ресурсів в хмарних системах. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2024, випуск 2(76), с. 70–83. DOI:10.26906/SUNZ.2024.2.070.
9. Волк М.О., Поповкін М. М. Методи моделювання масштабованих хмарних ресурсів. *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2024, випуск 3(77), с. 56–59. DOI:10.26906/SUNZ.2024.2.070.

**Volk M.O., Buhrii A.M., Kovtun Ye.I., Brestovytskyi R.M., Sorobey B.V., Lobach Ya.V.**  
**MODELS OPTIMIZATION OF RESOURCES IN CLOUD COMPUTING: A HYBRID  
APPROACH TO AUTOMATION OF OPERATIONS AND ENERGY SAVING**

*The article examines resource management methods in cloud systems, emphasising optimising computing processes and automating operations. The main goal of the research is to develop practical approaches to resource management that will ensure reliability, scalability and minimisation of energy consumption in conditions of increasing load on information systems. Today's cloud computing is an important technology that allows organisations to manage resources dynamically to achieve maximum results with minimum costs. The work describes modern architectural solutions that will enable the implementation of cloud technologies and the use of multi-level strategies to optimise the operation of systems. New approaches to virtual machine management and resource allocation are proposed based on load-balancing principles and dynamic scaling of resources according to computing needs. A comparison of different management models of distributed computing, such as centralised and decentralised architectures, is also made.*

*Experimental simulations have shown the high efficiency of the proposed approaches in natural cloud systems, particularly in conditions of different loads, heterogeneous structures and limited resources. Experiments were conducted using open-source software. Simulation results demonstrated that the proposed resource allocation algorithms reduce delays, improve performance, and reduce energy consumption. The results confirm that the proposed methods and architectural solutions can be used to deploy scalable cloud systems, particularly heterogeneous ones, which provide high efficiency and reliability under static and dynamic loads. The conclusions of the work identify promising directions for further research, particularly the introduction of new algorithms to improve resource management in multi-cloud environments.*

**Key words:** *information system, computer resources, cloud computing, distributed tasks, program, performance.*