

Пасєка М.С.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ХМАРНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНИХ ДОДАТКІВ

У статті розглянуто теоретичні та практичні засади створення програмних додатків як складників великих інформаційних систем із використанням хмарних технологій, які забезпечують прискорення розробки та мінімізацію фінансових витрат на програмний проект. Проаналізовано наукові публікації в розрізі надання та використання хмарних технологій. Акцентовано на таких основних напрямках досліджень, як системний аналіз та класифікація сучасного стану інформаційних технологій в області використання хмарних ресурсів, вивчення відомих хмарних схем розподілу ресурсів на основі розроблених характеристик електронної тематичної таксономії, аналіз наукової літератури, у якій викладено інформацію щодо оптимізації розробки схем розподілу хмарних ресурсів.

Ключові слова: програмний додаток, хмарна технологія, інноваційна модель, системний аналіз, бізнес-логіка.

Постановка проблем. Хмарні технології з'явилися як популярна обчислювальна модель для опрацювання даних і реалізації обчислювальних інтенсивних програм за принципом «плати лише за те, що використав» (pay-as-you-go). Через усе більший попит на хмарні додатки стає вкрай важко ефективно розподіляти обчислювальні ресурси відповідно до потреб користувачів, одночасно дотримуватись балансу обслуговування між постачальниками послуг та різноманітними споживачами. Крім того, неоднорідність ресурсів у хмарі та непередбачуваність навантаження у ній і різноманітні цілі дійових осіб за її використання у геометричній прогресії ускладнюють розподіл та нормування навантаження у середовищі хмарних обчислень. Отже, як промисловість, так і наукові організації почали докладати значних зусиль до вивчення вказаної теми, щоб ефективно розв'язувати вищезгадані багатопланові завдання з розподілом ресурсів хмар. Відсутність ґрунтовних досліджень, що охоплюють різноманітні аспекти ефективного розподілу інформаційних ресурсів для їх оптимізації, розробки підходів, методів оптимізації, цільових ресурсів та типів використання мотивувало огляд відомих схем розподілу хмарних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хмарні системи обчислюють інформаційні ресурси за потребою та відповідно до рахунків за використаний ресурс і водночас як мультиплексування багатьох споживачів на тій самій фізичній і програмній інфраструктурі. Ці середовища для хмарних обчислень створюють ілюзію для кінцевого споживача про теоретично необмежені обчис-

лювальні хмарні ресурси, що свого часу дає змогу користувачам збільшити або зменшити їхній рівень використання ресурсів відповідно до обчислювальних вимог та вимог бюджету. Хмарне обчислення розподіляє завдання на пул обчислювальних ресурсів, який складається із численних комп'ютерів, і це дозволяє кінцевим користувачам отримати доступ до потужностей, зберігання та послуг інформації відповідно до їхніх вимог. З погляду використання технологій, хмарні обчислення розвиваються паралельно з комп'ютерними моделями, такими як сіткові, паралельні та розподілені обчислення. По суті, хмарне обчислення є поєднанням технології віртуалізації ресурсів і серверів разом з іншими інформаційними технологіями [1; 2].

Хмарне обчислення – це інноваційна бізнес-модель, основною частиною якої є надання користувачам платних послуг за умови використання її ресурсів в одному або декількох центрах обробки даних. Як інноваційна модель для хмарних обчислень вона продовжує стикатися з багатьма новими проблемами, які потребують чіткого опису відносин та діяльності усіх суб'єктів, щоб полегшити технічну розробку. Застосування хмарних обчислень, як інформаційної моделі, орієнтованої на користувачів, стає сучасною переконливою парадигмою, і багато організацій приймають та використовують її у своїх бізнес-моделях, оскільки такі обчислення розширюють спектр бізнес-можливостей, особливо у частині фінансових інвестицій та людського капіталу.

За допомогою хмарних сервісів організація може вибрати центр обробки даних для своєї ІТ-інфраструктури або придбати апаратне та про-

грамне забезпечення для своїх бізнес-додатків, оскільки вони можуть орендувати ресурси від постачальника послуг хмарної служби. Іншою перевагою використання хмарних ресурсів є їх об'єднання для обслуговування декількох абонентів. Провайдер застосовує модель багаторазового використання, у якій ресурси (фізичні та віртуальні) мультиплекуються динамічно, виходячи з вимог замовника. Виділення необхідного обсягу ресурсів для обчислювальної системи буде ґрунтуватися на угоді про оренду та SLA (Service level agreement), згідно з якими для різних клієнтів та їхніх потреб потрібні різні обсяги віртуальних ресурсів. Згодом зростання попиту на використання хмарних сервісів спричинило для постачальників додаткові проблеми зі збільшення кількості та можливостей хмарних ресурсів для ефективного управління потребами.

Наскільки нам відомо, не існує всеосяжного наукового дослідження, яке конкретно охоплювало би схеми розподілу хмарних ресурсів, використовуючи тематичну систематику з такими атрибутами, як цілі оптимізації, підходи до проектування, методи оптимізації та корисні функції. Отже, виділені аспекти можуть допомогти дослідникам і науковцям краще зрозуміти проблематику в цій галузі досліджень. Здійснивши системний аналіз наукових публікацій та прикладних статей, пов'язаних зі згаданою темою, можемо констатувати, що більшість авторів зосередили свою увагу на розподілі ресурсів у хмарному середовищі з різними обсягами та перспективами. У Таблиці 1 наведено перелік цих пов'язаних статей разом з описом відмінностей від нашого дослідження. На підставі останніх та обмежень, наведених у Таблиці 1, і року наукової публікації статті можемо написати новий огляд, метою якого є відображення і класифікація останньої наявної літератури на основі тематичної таксонометрії.

Постановка завдання. Головний напрям цього дослідження включає:

Системний аналіз та класифікацію сучасного стану інформаційних технологій в області використання хмарних ресурсів та їх розподілу згідно з тематичною систематикою.

Системний аналіз відомих хмарних схем розподілу ресурсів на основі розроблених характеристик електронної тематичної таксономії.

Системний аналіз наукової літератури, у якій викладена необхідна інформація, для оптимізації розробки схем розподілу хмарних ресурсів.

Виклад основного матеріалу дослідження. У доступній розглянутій літературі виявлено ряд

можливостей для оптимізації дизайну схем розподілу ресурсів хмар, щоб розробити програмні додатки. З моменту появи хмарних сервісів було запропоновано велику кількість схем розподілу та використання хмарних ресурсів. Щоб забезпечити коректний вибір відповідних документів, ми сформулювали такий рядок пошуку: [((((“ Хмарні обчислення “) & (“ розподіл ресурсів “)) & (схеми OR алгоритми OR техніки OR методи OR архітектури OR структури))].

У подальших дослідженнях ми використали вказану сигнатуру запиту у вибраних базах даних пошуку (наприклад, Scopus, ACM DL, IEEE Xplore, ScienceDirect і SpringerLink). Наступним етапом дослідження було виокремлення лише тих потенційних документів, які задовольняють такі критерії:

1. Опубліковані у рецензованих наукометричних журналах, написаних англійською мовою та виданих у 2009–2018 рр.

2. Ключові слова «розподіл ресурсів» та «хмара» (обчислень) мають бути у заголовку статті.

Хмарні обчислення. Основна ідея хмарних обчислень полягає в тому, щоб використати обчислювальні ресурси як служби у всьому просторі Інтернету. Користувачам не потрібно вкладати капітал в обчислювальну інфраструктуру для своїх бізнес-потреб. Замість цього вони можуть орендувати послуги хмарних обчислень. Обчислювальний вузол лежить в основі апаратного забезпечення, як правило, розміщується у центрах обробки даних, оснащених різноманітними інформаційними технологіями віртуалізації, щоб досягти високого рівня масштабованості, швидкості та доступності. Отже, технологія використання віртуальних машин стає все більш актуальною для створення систем підприємств на платформі хмарних обчислень, на відміну від звичайної локальної обчислювальної системи, в яку користувач повинен інвестувати значні фінансові ресурси у спеціальне обладнання та програмне забезпечення, яке автоматично виділяє система хмарних обчислень у вигляді віртуалізованих апаратних та програмних ресурсів користувачам на вимогу поставленого бізнес-завдання через Інтернет. Такий підхід значно знижує витрати на розміщення та обслуговування під час розв'язання бізнес-завдання.

Сервісні моделі хмарних обчислень визначені Національним інститутом науки і техніки як технології (NIST), а програмне забезпечення – як сервіс (SaaS). Споживач отримує доступ до програм

від різноманітних пристроїв клієнтів через Веб-браузер або Інтернет-програму. Остання лежить в основі хмарної інфраструктури, що складається з мережі, серверів, операційних систем, сховищ даних або індивідуальних можливостей програм, які не управляються або не контролюються споживачем цих послуг, за винятком користувачів специфічних програм та параметрів конфігурації.

Платформа як служба (PaaS). Потужність, надана споживачеві, – це розгорнута хмарна інфраструктура, створена користувачем або придбаним

додатком, яка використовує мови програмування, бібліотеки, служби та інструменти, підтримувані провайдером. Споживач не керує та не контролює базову хмарну інфраструктуру, включаючи мережу, сервери, операційні системи або сховище, але має контроль над розгортанням програми та, можливо, конфігураційними параметрами для хостингу додатків у навколишньому середовищі.

Інфраструктура як служба (IaaS). Потужність, надана споживачеві, полягає у забезпеченні обробки, зберігання, мереж та інших основних

Таблиця 1

Таксонометрія тематичної літератури з використання хмарних технологій

Література	Рік публікації	Класифікація тематики
[4; 5; 17]	2014, 2010, 2014	Література узагальнена на підставі енергоефективної таксономії дослідження, тоді як у нашому дослідженні таксономія базується на різних цілях оптимізації.
[6]	2013	Зосереджені лише на проблемах із моніторингу ресурсів, запропонованих для систем хмарних обчислень, хоча цей огляд, як правило, охоплює рішення щодо розподілу ресурсів для систем хмарних обчислень.
[7]	2014	Описує концептуальну основу для керування хмарними ресурсами та використовує її для структурування сучасного огляду, тоді як у нашому дослідженні огляд охоплює літературу з поглядом тематичної систематики.
[8; 9]	2012	Обмежений вибір літератури разом із відсутністю таксономічної класифікації та порівняння.
[11]	2011	Орієнтоване лише на аналіз загроз безпеки у системах хмарних обчислень.
[12]	2011	Акцент зроблено на вивченні мережевих рішень для розробки архітектур хмарних обчислень.
[13]	2009	Використовує архітектурну таксономію для виявлення подібностей та відмінностей архітектур хмарних рішень, тоді як ми зосереджуємося на таких аспектах, як ціль оптимізації, метод проектування та методи оптимізації.
[14]	2013	Досліджувався робочий механізм постачальників комерційних хмарних сервісів і рішень для розробки хмарних технологій із відкритим кодом, тоді як наш огляд зосереджувався на літературному внеску, спрямованому на розподіл ресурсів у системі хмарних обчислень.
[15]	2013	Зосереджені лише на рішеннях, запропонованих для функцій управління ресурсами в середовищі IaaS.
[16]	2013	Розглянуто стратегії розподілу базових ресурсів та планування завдань з огляду на те, що комунальні системи хмарних обчислень, які базуються на SaaS, є основною інфраструктурою, тоді як наше дослідження охоплює переважно механізми розподілу ресурсів, пов'язані із системами обласного обчислення IaaS у програмах.
[18; 19]	2015	Розглядаються лише методи вивчення оптимізації міграції віртуальної машини для центрів обробки даних у хмарі, при цьому наше дослідження зосереджується на більш широкому аспекті цілей оптимізації, що застосовуються в механізмах розподілу ресурсів для програмної інженерії.
[10]	2018	У цьому документі розглядається ієрархічна структура контролю, яка має на меті скомпрометувати антагоністичні цілі всередині центру обробки даних. Місцевий контрольний рівень одночасно вирішує проблеми розподілу ресурсів та контролю доступу віртуальних машин, тоді як верхній рівень враховує балансування завантаження вхідних запитів і розміщення віртуальних машин у кластері фізичних серверів. Числові результати показують, що співпраця двох контрольних шарів гарантує задоволення обмежень системи та вимог користувача до коливань вхідних запитів.

обчислювальних ресурсів, де споживач може розгорнути та запустити будь-яке програмне забезпечення. Останній не керує та не контролює основну хмару інфраструктури, але має контроль над операційними системами, сховищами та розгорнутими додатками, а також над вибраними мережевими компонентами.

Останніми роками спостерігається різке зростання доступності та попиту на хмарний сервіс. Так, EC2 Amazon є однією з найбільш використовуваних хмарних служб. Вона пропонує різні типи віртуальної машини (VM) з різними можливостями. Користувачі орендують кілька віртуальних екземплярів, щоб запускати свої програми, та оплачують лише час роботи додатку. Сервіси Rackspace та Joyent пропонують схожі послуги. Оскільки такі служби доступні всім, їх часто називають «публічними» хмарами. А «приватна» хмара, навпаки, відноситься до інфраструктури, яка функціонує виключно для однієї організації. Наприклад, Eucalyptus є програмним сервісом для розгортання приватного обчислювального середовища, сумісного з EC2 Amazon. Політика розподілу ресурсів є модульною та розширюваною.

Користувачі хмар орендують обчислювальні ресурси, місце зберігання та пропускну здатність із мінімальним розрахунком часу (годину або менше) із практично миттєвим наданням цих ресурсів (протягом хвилини або кількох секунд). Такі системи контрастують із традиційним дата-центром, у якому орендувати обладнання можливо на декілька місяців, а надання резервних ресурсів відбувається протягом кількох днів. Використовуючи контейнерні механізми, такі як віртуальні машини, більшість хмарних систем здатні безпечно мультиплексувати багатьох клієнтів на тій самій фізичній інфраструктурі та забезпечувати економічно ефективну послугу. Водночас, щоб розмістити велику кількість клієнтів одночасно, хмарна система повинна бути великою. У такому разі вона складається із серверів, що поширюються на багато стійок, і навіть центрів обробки даних. Це дозволяє хмарним системам забезпечити економію у масштабі, який раніше був доступний лише найбільшим підприємствам.

Розподіл хмарних ресурсів як сервісів. Концепція розподілу ресурсів – це розподіл послуг постачальником для клієнта. Розподіл ресурсів – це процес економічного поділу ресурсів між конкурентними групами програм або користувачів. Ресурси планування – це графік розподілу ресурсів, у якому останні є спільними і доступними у певні проміжки часу, для ефективності обчис-

лювальної події, запланованої на певний момент. Інакше кажучи, це визначення часу, коли обчислювальна діяльність повинна починатися. Крім того, розподіл хмарних ресурсів – це процес пошуку, виділення, забезпечення, планування додатків та управління ресурсами. Він передбачає прийняття рішень стосовно того, як багато, що, коли і де виділити користувачеві. Як правило, споживачі визначають кількість та тип ресурсів для запитів, а у відповідь постачальники послуг виділяють запитовані контейнери ресурсів і центри обробки даних. Для ефективного виконання прикладних програм ресурсні контейнери повинні бути достатніми для задоволення потреб і мають відповідати характеристикам робочого навантаження. Адаптивність у хмарному обчислювальному середовищі дає змогу користувачам запитувати або повертати ресурси динамічно. Основним елементом механізму розподілу хмарних ресурсів є його керівний потік.

Середовище хмарних обчислень складається із двох «гравців»: постачальників хмарних сервісів (CSP) та їхніх користувачів (CSC). З одного боку, постачальники теоретично зберігають необмежені обчислювальні ресурси у своїх центрах обробки даних, а орендують ці ресурси користувачі. З іншого боку, споживачі мають різні варіанти застосування, робочі навантаження й різні умови оренди обчислювальних ресурсів для запуску своїх програм у хмарі. Так, користувач надсилає запит на ресурси, після його отримання постачальник шукає ресурс для задоволення запиту і призначає його цьому споживачеві. Тоді користувач застосовує призначений ресурс для запуску програм із подальшою його оплатою. Коли користувач закінчив із виділеними ресурсами, останні повертаються провайдеру.

Висновки. У нашому дослідженні абстрактно розкрито основні поняття виділення та використання хмарних ресурсів. Крім того, воно допоможе нам ефективно проаналізувати прогалини, які вже утворилися у відомих схемах розподілу хмарних ресурсів, та окреслити коло важливих питань для подальшого вивчення.

На сьогодні запропоновано численні механізми розподілу ресурсів для хмарних обчислень. Однак є проблеми, які потребують дослідження для розвитку більш економічно вигідних схем розподілу. Основну увагу щодо аналізованої теми слід приділити підвищенню продуктивності, безпеці, безперервній міграції віртуальної машини, сумісності, відновленню, стійкості до невдач і зниженню експлуатаційних витрат центрів обробки даних разом зі зменшенням суми накладних витрат, сплачених споживачам.

Список літератури:

1. Aceto G., Botta A., de Donato W., Pescapè A. Cloud monitoring: a survey. *Computer Network*. 2013. № 57(9). P. 2093–2115.
2. Ahmad R.W., Gani A., Hamid S.H.A., Shiraz M., Yousafzai A., Xia F. A survey on virtual machine migration and server consolidation frameworks for cloud data centers. *Journal of Network and Computer Applications*. 2015. № 52. P. 11–25.
3. Ahmad R.W., Gani A., Hamid S.H.A., Shiraz M., Xia F., Madani S.A. Virtual machine migration in cloud data centers: a review, taxonomy, and open research issues. *The Journal of Supercomputing*. 2015. № 71(7). P. 2473–2515.
4. Ahmed M., Chowdhury A. An advanced survey on cloud computing and state-of-the-art research issues. *International Journal of Computer Science Issues*. 2012. № 9(1). P. 1694–1814.
5. Atzori L., Granelli F., Pescapè A. A network-oriented survey and open issues in cloud computing. *Cloud Computing: Methodology, Systems, and Applications*. Florida: CRC Press, 2011. P. 91–108.
6. Beloglazov A., Buyya R., Lee Y.C., Zomaya A. A taxonomy and survey of energy-efficient data centers and cloud computing systems. *Advanced Computing*. 2011. № 82(2). P. 47–111.
7. Buyya R., Yeo C.S., Venugopal S., Broberg J., Brandic I. Cloud computing and emerging IT platforms: vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility. *Future Generation Computer Systems*. 2009. № 25(6). P. 599–616.
8. Choubey R., Dubey R., Bhattacharjee J. A survey on cloud computing security, challenges and threats. *International Journal on Computer Science and Engineering*. 2011. № 3(3). P. 1227–1231.
9. Dillon T., Wu C., Chang E. Cloud computing: issues and challenges. 24th IEEE international conference on advanced information networking and applications. 2010. P. 27–33.
10. Foster I., Zhao Y., Raicu I., Lu S. Cloud computing and grid computing 360-degree compared. *Grid computing environments workshop*. 2008. № 4. P. 1–10.
11. Goyal A., Dadizadeh S. A survey on cloud computing. *University of British Columbia Technical Report for CS*. 2009. № 508. P. 55–58.
12. Hameed A., Khoshkbarforousha A., Ranjan R., Jayaraman P. A survey and taxonomy on energy efficient resource allocation techniques for cloud computing systems. *Computing*. 2014. DOI: 10.1007/s00607-014-0407-8.
13. Huang L., Chen H., Hu T. Survey on resource allocation policy and job scheduling algorithms of cloud computing. *Journal of Statistical Software*. 2013. № 8(2). P. 480–487.
14. Hussain H., Malik S.U.R., Hameed A. A survey on resource allocation in high performance distributed computing systems. *Parallel Computing*. 2013. № 39(11). P. 709–736.
15. Jennings B., Stadler R. Resource management in clouds: Survey and research challenges. *Journal of Network and Systems Management*. 2015. № 23(3). P. 567–619.
16. Manvi S.S., Shyam G.K. Resource management for infrastructure as a service (IaaS) in cloud computing: a survey. *Journal of Network and Computer Applications*. 2013. № 41. P. 424–440.
17. Leontioua N., Dechouniotis D., Denazisa S., Papavassilioub S. A hierarchical control framework of load balancing and resource allocation of cloud computing services. *Computers & Electrical Engineering*. 2018. № 67. P. 235–251.
18. Shuja J., Bilal K., Madani S.A., Othman M., Ranjan R., Balaji P., Khan S.U. Survey of techniques and architectures for designing energy-efficient data centers. *IEEE Systems Journal*. 2014. № 99. P. 1–13.
19. Vinothina V., Sridaran R., Ganapathi P. A survey on resource allocation strategies in cloud computing. *International Journal of Advanced Computer Science & Applications*. 2012. № 3(6). P. 97–104.

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

В статье рассмотрены теоретические и практические основы разработки приложений как составляющих больших информационных систем с использованием облачных технологий для обеспечения ускорения разработки и минимизации финансовых затрат на программный проект. Проведен системный анализ научных публикаций в разрезе предоставления и использования облачных технологий. Акцентировано на таких основных направлениях исследования, как системный анализ и классификация современного состояния информационных технологий в области использования облачных ресурсов, изучение существующих облачных схем распределения ресурсов на базе разработанной характеристики электронной тематической таксономии, анализ научной литературы, в которой изложена информация по оптимизации разработки схем распределения облачных ресурсов.

Ключевые слова: программное приложение, облачная технология, инновационная модель, системный анализ, бизнес-логика.

**SYSTEM ANALYSIS OF CLOUD TECHNOLOGY
FOR THE DEVELOPMENT OF SOFTWARE APPLICATIONS**

The theoretical and practical principles of development of software applications as the components of large information systems with the use of cloud technologies that provide acceleration of development and minimization of financial expenses for a software project are considered. System analysis of scientific publications in the context of the provision and use of cloud technologies has been carried out. The main areas of research are focused such as system analysis and classification of the current state of information technologies in the use of cloud resources, system analysis of existing cloud resource allocation schemes based on the developed characteristics of the electronic thematic taxonomy, systematic analysis of scientific literature, which outlines the information, to optimize the development of schemes for the distribution of cloud resources.

Key words: *software application, cloud technology, innovative model, system analysis, business logic.*