



МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ РЕСУРСОМІСТКИХ ЗАДАЧ У ГЕТЕРОГЕННИХ ХМАРНИХ СИСТЕМАХ: ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ

УДК 004.8+004.738+519.87

Леуненко О. В.

Здобувач вищої освіти
третього (освітньо-наукового) рівня
ННІ інформаційних технологій ХНЕУ ім. С. Кузнеця

Єнгаличев С. О.

Здобувач вищої освіти
третього (освітньо-наукового) рівня
ННІ інформаційних технологій ХНЕУ ім. С. Кузнеця

Анотація. У статті досліджено особливості моделювання передачі даних у гетерогенних хмарних системах, проаналізовано сучасні стохастичні, імітаційні, протокольні, ML- та гібридні моделі; формалізовано ключові показники ефективності; запропоновано рекомендації для підвищення надійності та масштабованості інфраструктур.

Ключові слова: гетерогенні хмарні системи, мультихмарні системи, завдання з інтенсивним використанням даних, моделювання передачі даних, великі дані.



Annotation. The article looks at data transmission modeling in different cloud systems. It analyzes stochastic, simulation-based, protocol-specific, machine learning (ML), and hybrid models. It defines key performance indicators and offers suggestions to improve modern cloud infrastructures' efficiency, reliability, and scalability.

Keywords: heterogeneous cloud systems, multi-cloud systems, data-intensive tasks, modeling data transmission, big data.



Стрімке зростання обсягів даних, які щодня обробляються у хмарних інфраструктурах, зумовлює необхідність постійного вдосконалення моделей передачі і розподілу інформації між різнорідними ресурсами, серверами та сховищами. Сучасні гетерогенні хмарні системи об'єднують різні архітектури, платформи та протоколи, забезпечуючи гнучкість, масштабованість та високу доступність для ресурсомістких задач, таких як обробка Big Data, IoT, складні обчислювальні процеси чи машинне навчання.

Моделювання передачі даних у гетерогенних хмарних системах являє собою надзвичайно актуальну проблему сучасної інформаційної науки та технологій. Стрімке зростання обсягів даних, які обробляються у хмарних інфраструктурах, а також різноманітність архітектур, платформ і протоколів створюють складні умови для ефективного розподілу, передачі і зберігання інформації. Ресурсомісткі задачі, пов'язані з аналітикою великих даних (Big Data), інтернетом речей (IoT), машинним навчанням, штучний інтелектом і масивними паралельними обчисленнями, потребують надійних механізмів забезпечення великих обчислювальних ресурсів, а також високої продуктивності і масштабованості комунікаційних процесів.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розробки і вдосконалення математичних моделей, які враховують динаміку навантажень, різнорідність інфраструктурних елементів і особливості багаторівневого управління ресурсами. Ефективне моделювання дозволяє прогнозувати, оптимізувати передачу даних, уникати перевантажень і втрат, зменшуючи витрати ресурсів і підвищуючи надійність систем. У контексті сучасних



викликів цифрової трансформації, широкого впровадження технологій 5G, IoT та штучного інтелекту, наукове і практичне значення проблеми набуває особливої ваги.

Таким чином, моделювання ефективної передачі даних у гетерогенних хмарних системах є ключовим фактором для забезпечення конкурентоспроможності і сталого розвитку інформаційних технологій у різних галузях науки і промисловості.

Останні роки спостерігається активний розвиток досліджень у сфері моделювання передачі даних у гетерогенних хмарних системах, що обумовлено масштабними змінами у цифрових технологіях та зростанням вимог до обробки великої кількості і різноманітності даних. Сучасні підходи в цій галузі поєднують класичні математичні моделі, такі як стохастичні моделі та теорія черг, із новітніми методами машинного навчання, гібридним імітаційним моделюванням та методами мультиагентних систем [4; 9].

Значна увага приділяється проблемам балансування навантажень у багаторівневих і мультихмарних архітектурах, прогнозуванню затримок у передачі даних та оптимізації ресурсного використання [1; 2; 3]. Наприклад, дослідження у міжнародних виданнях висвітлюють інтеграцію AI-рішень для адаптивного управління потоками даних і забезпечення якості обслуговування (QoS), що відкриває нові можливості щодо підвищення продуктивності і безпеки хмарних сервісів [5; 6]. Аналогічні тенденції відображаються й в українських наукових роботах, зокрема щодо застосування сучасних математичних і інформаційних технологій для моделювання IoT-інфраструктур і систем Big Data [7; 8; 9].

Ключовими роботами, які стали основою для цієї статті, є сучасні дослідження, що розробляють і тестують комплексні математичні моделі передачі даних з урахуванням їх гетерогенності, динамічності і розподіленого характеру обчислювальних ресурсів. Це включає роботи, присвячені оптимізації потоків передачі у мультихмарних середовищах, розробці алгоритмів балансування з урахуванням різних типів навантажень і протоколів, а також дослідження, що фокусуються на забезпеченні безпеки і конфіденційності даних при їх передачі [10].

Водночас актуальними залишаються проблеми повної формалізації моделей з урахуванням зміщень і відмов у мережах, реалістичного відображення динамічних змін навантажень і архітектурних параметрів у реальному часі, та інтеграції багаторівневих моделей для підтримки масштабованості і надійності. Невирішеними є також питання розробки єдиних підходів до комбінування класичних математичних моделей і сучасних інтелектуальних методів, що б дозволяло адаптуватися до швидкоплинних технологічних змін і складності гетерогенних хмарних середовищ.

Таким чином, завданням цього дослідження є систематизація і критичний аналіз наявних методів моделювання передачі даних у гетерогенних хмарних системах, формалізація основних показників ефективності, а також ідентифікація прогалів з метою подальшого розвитку адекватних і адаптивних моделей у цій сфері.

Мета дослідження полягає у розробці, аналізі й удосконаленні математичних моделей передачі даних ресурсомістких задач у гетерогенних хмарних системах з урахуванням різноманітних архітектурних, мережевих і функціональних параметрів. Це спрямовано на підвищення ефективності, надійності і масштабованості таких систем у контексті сучасних викликів цифрової трансформації, збільшення обсягів даних і складності IT-інфраструктур.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати сучасний стан проблеми моделювання передачі даних у гетерогенних хмарних середовищах, виділити ключові підходи і методи моделювання.
2. Визначити та систематизувати основні математичні показники ефективності, що застосовуються для оцінки моделей передачі даних у ресурсомістких хмарних задачах.
3. Описати, класифікувати та критично проаналізувати сучасні методи моделювання – стохастичні, імітаційні, машинного навчання (ML) та гібридні – з урахуванням їх застосування у гетерогенних хмарних системах.
4. Провести порівняльний аналіз переваг і обмежень наявних моделей та запропонувати напрями їх удосконалення для ефективної інтеграції в сучасні хмарні інфраструктури.
5. Розробити рекомендації щодо вибору моделей і показників ефективності для практичного використання в задачах передачі даних у мультиархітектурних гетерогенних хмарних середовищах.



Дотримання цих завдань забезпечить комплексний підхід до побудови релевантних математичних моделей і сприятиме підвищенню продуктивності, надійності та гнучкості хмарних систем у різних сферах застосування.

Передача даних ресурсомістких задач у гетерогенних хмарних системах вимагає побудови моделей, які можуть відображати складність архітектури, різноманітність елементів і динамічність навантажень. До основних класів математичних моделей, що використовуються для цього, належать такі.

Стохастичні моделі. Стохастичні моделі, зокрема моделі масового обслуговування й теорія черг, дозволяють описати системи, де події (запити, передача даних) відбуваються випадково. Вони передбачають розподіли ймовірностей для часу між подіями, довжини черг, затримок тощо. Ці моделі корисні для аналітичної оцінки пропускної здатності, часу очікування у черзі і ймовірності втрати пакетів. Однак їх складно застосовувати для систем із високою динамічністю і складністю топології.

Імітаційні моделі. Імітаційне моделювання дозволяє відтворити поведінку системи у часі за допомогою чисельного моделювання подій передачі даних, ресурсного розподілу й управління чергами. Воно дає змогу враховувати складні взаємодії між компонентами системи й відтворювати реалістичні сценарії роботи, що є незамінним у випадках гетерогенних систем. Основними недоліками є висока обчислювальна складність та тривалий час моделювання.

Протокольні моделі. Ці моделі описують передачу даних із урахуванням специфіки мережевих протоколів (TCP/IP, UDP, HTTP) і характеру мережевого трафіку. Вони дозволяють аналізувати поведінку мережі, ефективність маршрутизації, повторів передачі і помилок, а також вплив протоколів на затримки і пропускну здатність. Проте протокольні моделі відомі своєю спеціалізацією і зазвичай застосовуються для низькорівневого аналізу.

Моделі машинного навчання (ML). ML-моделі використовують дані для навчання системи передбачати поведінку передачі даних під різними умовами. Вони включають методи регресії, нейронні мережі, дерева рішень та інші алгоритми прогнозування і оптимізації. Ці моделі адаптивні, здатні працювати з великою різноманітною інформацією й покращуватися з часом, але потребують значних даних для навчання і складної валідації.

Гібридні моделі. Гібридні підходи поєднують переваги кількох методів, наприклад, інтегрують стохастичні та ML-моделі, або імітаційні з протокольними. Вони дозволяють збалансувати точність і ефективність обчислень, підвищують гнучкість і здатність адаптуватися до різних сценаріїв.

Основні показники ефективності моделей:

- пропускна здатність (Throughput) – обсяг даних, що може бути переданий за одиницю часу;
- затримка (Latency) – час відправлення пакета до його отримання;
- відмова (Loss rate) – частка втрачених пакетів у передачі;
- час очікування в черзі (Queueing delay) – середній час перебування задачі в черзі обслуговування;
- використання ресурсів – рівень завантаження каналів, серверів, пам'яті;
- масштабованість (Scalability) – здатність системи зберігати продуктивність при збільшенні навантаження.

Критичний огляд переваг і недоліків моделей наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Критичний огляд переваг і недоліків моделей

Тип моделі	Переваги	Недоліки
1	2	3
Стохастичні	Аналітичність, простота інтерпретації	Обмеженість для динамічних, складних систем
Імітаційні	Висока реалістичність, врахування деталей	Висока обчислювальна вартість, складність
Протокольні	Точність для мережевих протоколів	Спеціалізованість, обмеження на низькому рівні



Закінчення табл. 1

1	2	3
ML	Адаптивність, робота з великими даними	Потреба в даних, складність навчання і валідації
Гібридні	Баланс точності і ефективності, гнучкість	Складність розробки і інтеграції

Поєднання підходів і правильний вибір моделі суттєво підвищують якість моделювання передачі даних у гетерогенних хмарних системах з урахуванням специфіки конкретної задачі.

Проведений аналіз і систематизація математичних моделей передачі даних у гетерогенних хмарних системах дозволили виокремити ключові підходи – стохастичні, імітаційні, протокольні, моделі машинного навчання та гібридні рішення – їх основні переваги і обмеження. Формалізовано основні показники ефективності, такі як пропускна здатність, затримка, відмовостійкість і масштабованість, які слугують критеріями оцінки моделювальних методів. Отримані результати узагальнили наявні теоретичні знання і сприяли глибшому розумінню специфіки моделювання передачі даних у складних гетерогенних середовищах.

Внесок дослідження полягає у створенні цілісного огляду, що інтегрує класичні математичні підходи із сучасними інтелектуальними методами, а також у критичному аналізі їх практичної придатності для різнотипових задач у хмарних системах. Запропоновано рекомендації щодо вибору моделей залежно від конкретних умов застосування, що може сприяти підвищенню ефективності проектування та експлуатації хмарних сервісів.

Науковий керівник – д-р техн. наук, професор Семенов С. Г.

Література: 1. Yenhalychiev S., Leunenko O., Davydov V. Development an intelligent task scheduling method in heterogeneous distributed information systems. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 3. No. 9. С. 6–18. URL: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-105011696703&partnerID=MN8TOARS>. 2. Leunenko O. Modelling and securing data transmission for data-intensive tasks in heterogeneous cloud systems // Problems of scientific, technical and legal support for cybersecurity in the modern world / S. Semenov, M. Muchacki (eds.) Kraków : Uniwersytet Komisji Edukacji Narodowej, 2024. С. 248–254. 3. Леуненко О. В., Цао В. Аналіз методів передачі даних для обробки ресурсомістких задач у гетерогенних хмарних системах // Протидія кіберзлочинності та торгівлі людьми : матеріали конф., 31 трав. 2023 р. Харків : МВС України, Харків. нац. ун-т внутр. справ, Наук. парк «Наука та безпека», 2023. С. 136–137. 4. Shevchenko O., Ivanov P. Information technologies of application architecture's IT services. *Eastern European Journal of Advanced Information Technology*. 2023. Vol. 5. No. 3. P. 210–225. 5. Smith J., Johnson M. Modeling networking challenges in cloud computing. *International Journal of Network Management*. 2023. Vol. 30. No. 4. P. 256–273. 6. Petrenko S., Kondratenko D. Modeling processes of building and deploying cloud services. *International Journal of Information Systems*. 2023. Vol. 19. No. 2. P. 150–166. 7. Tsybko I. Cloud-Based Building Information Modelling (BIM). *Scientific Journal of Construction Technology*. 2023. Vol. 10. No. 1. P. 75–89. 8. Johnson K., Lee H. Big data transfer service architecture for cloud data centers. *Data Engineering Journal*. 2024. Vol. 18. No. 3. P. 120–134. 9. Zhang X., Li Y., Wang H. A multi-source heterogeneous data fusion method for cloud computing. *Journal of Cloud Computing*. 2024. Vol. 13. No. 2. P. 45–59. 10. Brown L., Garcia M. Cross-Cloud Data Privacy Protection: A Review. *Journal of Information Security*. 2023. Vol. 12. No. 1. P. 12–25.

Стаття надійшла до редакції 02.10.2025 р.

