

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Божухи Даніїла Ігоровича

на тему: «Розроблення методів аналізу та побудови структури хмарних систем», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення

Актуальність теми дисертації

Тема дисертації є надзвичайно актуальною в умовах глобальної цифрової трансформації, що супроводжується суттєвим зростанням навантаження на IT-інфраструктуру та підвищеними вимогами до її стійкості й адаптивності. Автор обґрунтовано підкреслює, що традиційні підходи до масштабування хмарних систем вичерпали свій потенціал і вже не забезпечують необхідної гнучкості та ефективності.

У роботі порушено ключову науково-практичну проблему – нездатність класичних архітектур хмарних систем оперативно реагувати на зміну структури та інтенсивності навантаження, що проявляється у різких сплесках вхідних запитів, перевантаженні окремих компонентів та, як наслідок, зниженні продуктивності й якості надання послуг. Дисертаційна робота Д.І. Божухи спрямована на вирішення цієї проблеми через побудову чотирирівневої архітектури з включенням парадигм Edge/Fog, формалізацію моделей масового обслуговування та розроблення методів балансування навантаження. У дисертаційному дослідженні запропоновано методи аналізу та моделювання, що дозволяють виявляти «вузькі місця» та підвищувати ефективність системи. Дисертація є комплексним дослідженням, у якому узагальнено методи аналізу складності хмарних систем, розроблено алгоритми балансування та створено програмні рішення для оцінки продуктивності різних архітектурних конфігурацій.

Оцінка змісту та завершеності дисертації

Дисертаційна робота має обсяг 189 сторінок, з яких основний текст займає 132 сторінки. Робота містить такі складові частини: анотація, список опублікованих праць за темою дисертації, зміст, перелік умовних скорочень, вступ, основна частина (4 розділи), висновки, список використаних джерел із 117 найменувань на 16 сторінках та додатки. Дисертація є завершеним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальну науково-практичну задачу з побудови та управління багаторівневими хмарними системами, що полягає в розробці методів та моделей для підвищення їхньої масштабованості, стійкості й продуктивності шляхом адаптивного балансування навантаження між рівнями Dev, Edge, Fog та Cloud.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, а також наукову новизну та практичне значення роботи. Наведено відомості щодо апробації результатів та публікацій за темою дисертації.

У першому розділі проаналізовано наукову літературу та сучасні інформаційні технології за темою роботи, визначено архітектурні характеристики хмарних систем (масштабованість, стійкість, гнучкість) і формалізовано задачу побудови їхньої багаторівневої архітектури.

Другий розділ присвячено дослідженню надійності та взаємозв'язків у хмарній системі на основі чотирирівневої Edge/Fog-ієрархії. Розроблено її формалізовану модель (з урахуванням кількості користувачів, граничних серверів, туманних вузлів і віртуальних машин) за допомогою теорії мереж масового обслуговування, а також визначено умови розміщення ресурсів і контролю складності архітектури.

У третьому розділі досліджено принципи побудови та методологію розвантаження чотирирівневої системи (Dev-Edge-Fog-Cloud). Описано три модифікації архітектури з різними комбінаціями зв'язків і правилами перенесення запитів, для однієї з яких проведено детальний аналіз на обмеженому проміжку часу $[0, T]$.

Четвертий розділ містить результати тестування розроблених програмних модулів для оцінки ефективності системи та її оптимізації. Сформовано тестові набори даних для апробації рішень, а також проаналізовано відкриті дані про навантаження хмарних ресурсів для імітаційного моделювання потоку запитів.

У висновках підбито підсумки дослідження. Наголошено на актуальності розроблених методів для контролю складності та динаміки навантаження хмарних систем. Визначено практичне значення роботи, зокрема впровадження результатів в освітній процес та їхній потенціал для подальших наукових досліджень.

У додатках наведено список публікацій здобувача за темою дисертації, частину програмного коду побудови моделей чотирівневої хмарної системи, а також акт впровадження результатів роботи в освітній процес кафедри інженерії програмного забезпечення та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

При виконанні досліджень використано комплекс сучасних та апробованих методів, зокрема математичне імітаційне моделювання, теорію масового обслуговування, методи оптимізації, аналізу даних та машинного навчання, що дозволило з високою точністю дослідити процеси розвантаження та забезпечення надійності хмарних систем. Отримані практичні результати демонструють високу точність та ефективність розроблених програмних модулів під час апробації на великих наборах даних. Коректність теоретичних висновків підтверджується успішним моделюванням понад 810000 різноманітних структур і повною узгодженістю між теоретичними припущеннями та поведінкою системи під час моделювання, що доводить практичну цінність і готовність розроблених рішень до впровадження.

Наукові положення, висновки та рекомендації, представлені у дисертації, обґрунтовані, базуються на аналізі спеціалізованої профільної літератури, інформаційних технологій та підтверджуються результатами експериментальних досліджень.

Основні наукові результати та їх наукова новизна

Серед результатів, які отримані при виконанні досліджень, слід зазначити наступні, які мають наукову новизну:

1. Вперше здійснено системний аналіз архітектур хмарних систем з включенням додаткових рівнів Edge та Fog крізь призму теорії масового обслуговування.
2. Сформовано підхід до проєктування багаторівневих хмарних архітектур з критеріями оптимізації, зокрема для чотирирівневої хмарної системи створено програмне рішення для перевірки цих умов.
3. Визначено три модифікації чотирирівневих архітектур із різними схемами зв'язків між вузлами, що дозволило автору запропонувати два типи вузлів та розробити програмне рішення для відокремленого аналізу їхньої роботи та дослідження поведінки складних структур в імітаційному режимі.
4. Розроблено програмне рішення для моделювання різних структур хмарної системи та вперше сформовано набори різних комбінацій чотирирівневих систем, які стали основою для масштабних експериментів та аналізу архітектурної складності.
5. Для проведення експериментів моделювання чотирирівневої системи використано набори даних великого обсягу (як згенерованих за визначеним розподілом, так і з відкритих джерел з меншою кількістю параметрів), що надало автору можливість підтвердити існування «вузького місця» на першому рівні, яке залежить від взаємозв'язку між інтенсивністю надходження і швидкістю обробки запитів/завдань, та дослідити інтеграцію агентів-додатків у хмарну систему.

Практичне значення одержаних результатів

Практична цінність дисертації полягає у розробці методів аналізу та побудови структури хмарних систем, які забезпечують проектування та аналіз багаторівневих хмарних систем при оцінюванні їхньої структурної складності, поведінки під навантаженням та ефективності використання ресурсів, що дозволяє адаптувати отримані результати та програмні рішення до наявних алгоритмів у галузі управління хмарними системами. Зокрема:

1. Створено два типи функціональних вузлів, які дозволяють досліджувати критичні точки хмарної системи та визначати ефективні конфігурації її побудови.
2. Розроблено програмне рішення та сформовано набори різних комбінацій чотирирівневих архітектур, що забезпечують проведення широкомасштабних імітаційних експериментів і дозволяють порівнювати різні структури за їхньою поведінкою під навантаженням.
3. Виконано моделювання роботи хмарних систем у різних конфігураціях, що підтвердило дієвість запропонованих методів аналізу складності та продемонструвало їхню здатність виявляти неефективні архітектурні конфігурації.
4. Підготовлено набори даних, які використовуються для генерації динамічних потоків запитів із різними характеристиками, що дозволяє моделювати реалістичні сценарії навантаження.
5. Розроблено набір програмних рішень для моделювання чотирирівневої хмарної системи, які враховують умови розміщення ресурсів, споживання послуг та дозволяють обчислювати ключові показники продуктивності й навантаження.
6. Реалізація програмних рішень виконана мовою Python з використанням хмарних SaaS-платформ, що забезпечило можливість обробки

задач із високою обчислювальною складністю та масштабування експериментів.

7. Результати дисертаційного дослідження впроваджено в освітній процес кафедри інженерії програмного забезпечення та інформаційних технологій факультету прикладної математики та інформаційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара під час викладання освітніх компонент «Інженерія надійності систем» та «Імітаційне моделювання» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Інженерія програмного забезпечення» спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення. Окремі теоретичні нароби та результати використано при викладанні освітньої компоненти «Методи теорії масового обслуговування» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти та при виконанні кваліфікаційних робіт здобувачами факультету прикладної математики та інформаційних технологій.

8. Отримані наукові результати становлять практичний внесок у розвиток архітектур хмарних систем, зокрема в аспектах контролю складності та управління навантаженням, і можуть слугувати основою для подальших досліджень у сфері оптимізації та автоматизації хмарних інфраструктур.

Розроблені методи сприяють суттєвому підвищенню масштабованості, стійкості, продуктивності та ефективності управління хмарними системами, що досягається завдяки адаптивному балансуванню навантаження між рівнями, оптимізації потоків запитів із мінімізацією затримок, своєчасному виявленню критичних вузлів для забезпечення відмовостійкості, а також впровадженню моделей прогнозування динаміки навантаження. Отримані напрацювання формують методологічну основу для подальших досліджень і розробок у сфері управління хмарними інфраструктурами та оптимізації їх роботи.

Зауваження до викладеного у дисертації

Незважаючи на високий рівень дослідження, є декілька зауважень, які не знижують наукової та практичної цінності роботи, але можуть бути враховані для подальшого вдосконалення:

1. Недостатньо наведено порівнянь із альтернативними підходами (наприклад, узагальненими мережами масового обслуговування з вузлами типу G/G/1), що могло б посилити аргументацію вибору моделі.

2. У підрозділах 1.1–1.3 спостерігається часткове дублювання описів компонентів хмарної архітектури. Наприклад, терміни «вузол», «сервер», «маршрутизатор», «рівень» інколи використовуються як взаємозамінні, що може ускладнювати розуміння структури системи. Варто було б чіткіше розмежувати поняття «рівень» та «компонент» для уникнення термінологічної неоднозначності.

3. У розділі 2 формалізація моделей масового обслуговування виконана якісно, але окремі припущення (наприклад, про найпростіший потік) не обговорюють можливі відхилення у реальних системах, де потоки мають bursty-структуру (від англ. *burst* — спалах, вибух, порив), тобто тип організації даних або процесів, за якого активність відбувається нерівномірно, короткими інтенсивними сплесками, що чергуються з тривалими періодами спокою.

4. У моделі використано припущення про сталий режим роботи, але не розглянуто сценарії деградації системи при перевищенні порогу навантаження.

5. Результати експериментів подані детально, але окремі висновки потребують ширшого узагальнення, зокрема щодо впливу різних конфігурацій вузлів на стабільність системи.

Ці зауваження носять рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Повнота викладу результатів дисертації в публікаціях

За темою дисертації опубліковано 12 робіт: 4 статті у наукових фахових виданнях України категорії Б та 8 тез доповідей у збірниках матеріалів наукових конференцій. Результати досліджень автора пройшли апробацію і

дістали позитивну оцінку на конференціях та інших науково-практичних заходах.

Загальний висновок

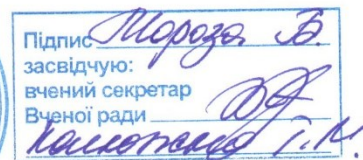
Дисертаційна робота Божухи Даніїла Ігоровича є завершеним науковим дослідженням, у якому отримано нові та достовірні результати, що забезпечують ефективне розв'язання актуальної науково-прикладної задачі побудови, аналізу та оптимізації багаторівневих хмарних систем у умовах динамічного навантаження.

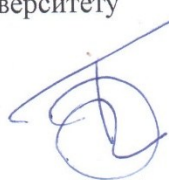
Робота відповідає спеціальності 121 Інженерія програмного забезпечення, оскільки присвячена розробці методів аналізу та побудови структури хмарних систем, які є внеском у розвиток сучасних підходів до проектування, оптимізації та управління складними програмними інфраструктурами.

Враховуючи обсяг виконаних досліджень, наукову новизну, обґрунтованість і практичну цінність отриманих результатів, дисертація повністю відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 р. та Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. зі змінами. Божуха Даніїл Ігорович заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 Інженерія програмного забезпечення.

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем
факультету інформаційних технологій
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»
МОН України



 
Борис МОРОЗ