

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Київського національного університету
будівництва і архітектури
доктору технічних наук, професору
Веренич Олені Володимирівні

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук, доцента,
доцента кафедри системного аналізу та теорії оптимізації ДВНЗ «Ужгородський
національний університет» Андрашка Юрія Васильовича на дисертаційну
роботу Бугрова Анатолія Анатолійовича «Моделі і методи вдосконалення
високонавантажених розподілених систем» що представлена на здобуття
ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та
технології» галузі знань 12 «Інформаційні технології»

Актуальність теми дисертації

Сучасні високонавантажені розподілені системи все частіше стикаються з викликами, що пов'язані з динамічними змінами навантаження, необхідністю швидкої адаптації до нових умов експлуатації та ефективним управлінням ресурсами. Особливо важливими ці проблеми є для хмарних сервісів, мікросервісних архітектур і систем обробки потокових даних, які мають у режимі реального часу забезпечувати високу продуктивність, масштабованість і економічну ефективність. Розподілені системи з адаптивним керуванням ресурсами здатні ефективно використовувати апаратні та програмні ресурси, забезпечуючи їх масштабованість та надійність. Проте ефективне управління цими ресурсами в умовах постійно зростаючого обсягу даних, що обробляються цими системами, потребує розробки і впровадження передових методів адаптивного керування, які здатні своєчасно реагувати на різноманітні зміни навантаження.

Таким чином, дослідження спрямоване на створення гібридних адаптивних методів автоматичного масштабування, здатних вирішувати завдання оптимізації ресурсів і забезпечувати стабільну роботу високонавантажених розподілених систем, є актуальним.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Результати, представлені в даній дисертації, належним чином підтверджені та аргументовані, відображаючи всебічний процес дослідження. Основні результати дослідження ефективно ілюструються через авторські публікації, які пройшли рецензування, та підтверджені офіційними довідками про їхнє впровадження і апробацію, що свідчить про високий рівень наукової значущості та практичної цінності положень і рекомендацій, сформованих в дослідженні. Ці результати також були представлені на міжнародних наукових конференціях та семінарах, де вони пройшли апробацію і отримали визнання вченої спільноти. Загалом, рівень наукового дослідження в дисертації відповідає сучасним стандартам у галузі інформаційних технологій, а отримані наукові положення, висновки та рекомендації заслуговують на визнання та подальше вивчення.

Наукова новизна отриманих автором результатів

У дослідженні Бугрова Анатолія Анатолійовича «Моделі і методи вдосконалення високонавантажених розподілених систем» автором розроблено математичну модель динамічного масштабування ресурсів, яка поєднує експоненційне згладжування для прогнозу із нечітким агрегуванням лінгвістичних оцінок, і методи, що дозволяють ефективно керувати ресурсами, адаптуючи їх до динамічних змін у навантаженні. Запропоновані модель і методи забезпечують зниження витрат і стабілізацію роботи високонавантажених систем. В роботі набула подальшого розвитку концепція створення гібридних методів масштабування, що ґрунтується на поєднанні статистичних і адаптивних підходів, спрямованих на підвищення продуктивності та надійності високонавантажених інформаційних систем.

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів

Результати, отримані в результаті дослідження, як з теоретичної, так і з практичної точки зору, створюють основу для подальших розвідок, націлених на вирішення важливої прикладної задачі проактивного розподілу ресурсів у хмарній мікросервісній інфраструктурі з нерегулярними і важкопрогнозованими піками навантаження. Наукові результати дисертації забезпечують застосування

адаптивних методів прогнозування і автоматичного масштабування високонавантажених систем, а теоретичне значення дослідження полягає у розвитку концептуальних підходів до ефективного управління ресурсами в динамічних стохастичних умовах. Апробація результатів дослідження відділом досліджень обсягів, якості та вартості будівельних робіт Лабораторії інженерно-технічних видів досліджень Київського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України і впровадження результатів дослідження в навчальний процес Київським національним університетом будівництва і архітектури підтверджує практичне значення цих результатів як для користувачів, так і для розробників сучасних інформаційних систем.

Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях

Ознайомлення з дисертацією та науковими публікаціями Бугрова Анатолія Анатолійовича дозволяє зробити висновок, що основні положення дисертаційної роботи в основному висвітлені в 7 наукових публікаціях, у тому числі: 1 статті у науковому періодичному виданні інших держав, що індексуються в наукометричній базі даних SCOPUS, 3 статтях у фахових виданнях України категорії «Б», що входять до переліку МОН України; 2 працях у збірниках матеріалів міжнародних конференцій, що індексуються в наукометричній базі даних Scopus, і 1 тезі доповіді апробаційного характеру у збірках матеріалів конференцій.

Основні наукові результати дисертаційної роботи здобувача належним чином висвітлено у фахових публікаціях, що відповідає чинним вимогам МОН України щодо апробації матеріалів на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Водночас, з огляду на наукову й практичну значущість розробленої системи нечіткого виведення (розділи 3.2.4 та 3.2.5), доцільно було б присвятити їй окрему публікацію у фаховому журналі, орієнтованому на застосування математичних моделей в автоматизованих системах керування. Такий підхід дозволив би більш повно розкрити методичні й прикладні аспекти побудови цієї системи, а також підкреслити її потенціал для впровадження у високонавантажених інформаційних системах як відкритої, доступної

альтернативи дорогим комерційним механізмам масштабування, що особливо актуально для державного та освітнього секторів.

Зміст дисертації

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Анотація в повній мірі розкриває зміст дисертаційної роботи, а основні положення, що наведені в анотації, ідентичні основним положенням дисертаційної роботи.

У першому розділі проведено огляд основних сучасних підходів проектування найбільш відомих високонавантажених систем, і на основі аналізу сучасних методів масштабування й управління ресурсами, критеріїв надійності і ефективності цих систем визначено основне завдання дисертаційного дослідження, що полягає в розробці методу адаптивного управління ресурсами високонавантажених розподілених систем, який дозволить ефективно реагувати на динамічні зміни навантаження та зменшити витрати ресурсів забезпечивши стабільну продуктивність системи.

У другому розділі систематизовано сучасні методи аномальних навантажень і автоматичного масштабування; встановлено, що автоматичне масштабування ресурсів сучасних високонавантажених систем повинно враховувати аномальні та непередбачувані зміни навантаження різного характеру; обґрунтовано необхідність поєднання реактивних і проактивних методів для своєчасного і гнучкого розподілу ресурсів на основі передбачення навантаження. Також в цьому розділі показано, що використання проактивних методів дозволяє передбачати майбутні навантаження та ініціювати масштабування завчасно, що зменшує ризик перевантаження системи.

У третьому розділі запропоновано адаптивну нечітку регресивну модель динамічного масштабування ресурсів високонавантажених розподілених систем, що інтегрує експоненційне згладжування з подвійною корекцією (похибки прогнозу та тренду). На основі цієї моделі розроблено адаптивний нечіткий регресивний метод, який дозволяє ефективно коригувати параметри прогнозування без використання складних алгоритмів і методів, забезпечуючи

гнучке керування ресурсами без жорстких порогових значень. У межах методу побудовано систему нечіткого виведення, сформовано матрицю ваг термів і доведено, що використання домінуючого терма знижує обчислювальну складність і підвищує стабільність роботи системи. Запропоновано метод коригування часу масштабування, що підвищує ефективність управління ресурсами без залучення складних моделей машинного навчання, що, у підсумку, знижує витрати на обчислювальні ресурси. Також в цьому розділі показано, що запропоновані модель і методи не тільки дозволяють оптимізувати баланс між вартістю та продуктивністю, а й надають користувачам повний контроль над вибором інфраструктури, що робить їх економічно вигіднішими порівняно з прив'язаними до конкретних платформ комерційними рішеннями.

У четвертому розділі проаналізовано результати експериментальних досліджень, які підтвердили ефективність запропонованого адаптивного нечіткого регресивного методу динамічного масштабування ресурсів в задачах адаптивного регулювання виділенням оперативної пам'яті у реальному часі в системах: підтримки процесу відновлення будівель, споруд і об'єктів інфраструктури; керування транспортними потоками у великих містах; аналізу постів у соціальних мережах. Показано, що запропонований метод забезпечує адаптивне, економічно ефективне та стабільне масштабування ресурсів при різких пікових, періодичних пікових і трендовому зростанні навантаження.

У висновках перелічені отримані наукові результати, які повністю відповідають меті дисертаційного дослідження і окреслюють можливу перспективу подальших досліджень.

Зауваження

У цілому позитивно оцінюючи подану до захисту дисертацію, водночас, варто звернути увагу на окремі дискусійні положення дисертаційної роботи:

1. У другому розділі дисертації наведено опис основних реактивних та проактивних методів масштабування, зокрема метод порогових правил, алгоритми на основі теорії черг, нечіткої логіки та аналізу часових рядів. Формули (2.1)–(2.5) описують ключові принципи реалізації цих підходів. Водночас у тексті недостатньо деталізовано критерії вибору конкретних методів

для інтеграції в комбіновану стратегію, а саме: не вказано як характеристики навантаження, архітектурні обмеження чи вимоги до QoS впливають на доцільність використання того чи іншого поєднання реактивних і проактивних механізмів. Крім того, у роботі відсутні результати експериментального порівняння різних комбінацій зазначених методів, які могли б кількісно підтвердити ефективність комбінованого підходу. Було б доцільно включити такі результати або принаймні запропонувати формальні критерії їх порівняння, наприклад: за середнім часом реакції, рівнем надлишкового використання ресурсів чи стабільністю QoS у пікові моменти.

2. У третьому розділі дисертації запропоновано адаптивний нечіткий регресивний метод, який використовує нечітке представлення навантаження для формування керуючих впливів на основі регресивної оцінки. Водночас вибір конфігураційних параметрів нечіткої моделі, зокрема кількості термів лінгвістичних змінних та типу функцій належності не має достатнього аналітичного або емпіричного обґрунтування. Крім того, доцільно було б доповнити розділ аналізом чутливості результатів масштабування до варіації цих параметрів, зокрема, оцінити вплив кількості термів та форми функцій належності на точність прогнозування навантаження, стабільність вихідних керуючих сигналів і загальну ефективність масштабування. Такий аналіз дозволив би визначити оптимальні конфігурації нечіткої системи для різних типів навантажувальних профілів.

3. У четвертому розділі дисертації представлено результати експериментального дослідження ефективності запропонованого методу на прикладах трьох систем: геоінформаційного модуля, інтелектуальної транспортної системи та високонавантаженої платформи аналітики соціальних мереж. Водночас, тестові умови, в яких проводилася оцінка, описано загальними словами без достатньої формалізації параметрів сценаріїв навантаження. Зокрема, не подано докладної інформації щодо частоти та характеру змін навантаження, тривалості пікових періодів, амплітуди коливань та обмежень ресурсів у досліджуваних середовищах. Відсутність цих даних ускладнює відтворення результатів і кількісне порівняння з альтернативними підходами.

Більш детальне уточнення характеристик тестових сценаріїв дозволило б не лише повніше оцінити переваги запропонованого методу, а й істотно підвищити його практичну цінність для розробників і користувачів систем з високодинамічним навантаженням, оскільки дає змогу адаптувати підхід до конкретних умов застосування.

4. У висновках роботи обґрунтовано досягнення мети дослідження. Однак недостатньо чітко виражено кількісну оцінку покращення показників масштабування та стабільності роботи систем порівняно з традиційними методами. Бажано було б надати конкретні числові порівняння для більш чіткої інтерпретації результатів. Окрім того, хоча вирішення деяких задач відображено у висновках до розділів, бажано було б узгодити загальні висновки з задачами дослідження.

5. У тексті дисертації простежується певна термінологічна неузгодженість, зокрема при позначенні ключових понять, пов'язаних із запропонованою математичною моделлю. Наприклад, у розділі 3 модель позначається як «адаптивна нечітка регресивна модель», проте в інших розділах трапляються варіанти на кшталт «нечітка регресивна модель», «модель нечіткого масштабування», «метод адаптивного масштабування» тощо. Така синонімія у вживанні термінів створює змістову розмитість і може ускладнювати ідентифікацію центрального наукового внеску автора. Для підвищення цілісності викладу та чіткості сприйняття рекомендується уніфікувати вживання основних термінів, передусім у частинах, що описують запропоновану модель, її компоненти та результати її застосування. Також в роботі наявні деякі інші синтаксичні та пунктуаційні помилки, описки, а також надмірне використання англomовних пояснень.

Водночас, висловлені зауваження та пропозиції мають, в основному, рекомендаційний і дискусійний характер, впливають із складності й багатогранності теми дослідження та окреслюють перспективні напрями подальших наукових розробок. Саме тому вони не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційного дослідження, його наукової та практичної цінності.

Висновок

Зазначені зауваження не впливають на високий науковий та прикладний рівень поданої дисертації. Вважаю, що дисертація Бугрова Анатолія Анатолійовича «Моделі і методи вдосконалення високонавантажених розподілених систем» є завершеною науковою працею, в якій отримані обґрунтовані наукові результати.

Дисертація відповідає вимогам, які висуваються до дисертаційних робіт, зокрема зміст дисертації загалом відповідає галузі знань 12 «Інформаційні технології», спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», та «Вимогам до оформлення дисертації», затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки України від 31.05.2019 № 759) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затверджену Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 03 травня 2024 р. № 507), а її автор, – Бугров Анатолій Анатолійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 "Інформаційні технології" зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології».

Офіційний опонент,

доцент кафедри системного аналізу та теорії оптимізації

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

кандидат технічних наук, доцент

21.07.2025

Юрій АНДРАШКО

