

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, доктора технічних наук, професора кафедри інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури **Поплавського Олександра Анатолійовича** на дисертаційну **Бугрова Анатолія Анатолійовича** «Моделі і методи вдосконалення високонавантажених розподілених систем», що представлена до захисту на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні системи та технології» галузі знань 12 «Інформаційні технології»

Актуальність теми дисертації

Систематичне, експоненційне зростання потоків різномірних даних, які генерують та обробляють сучасні інформаційні інфраструктури – особливо ресурсоемні системи штучного інтелекту з великими мовними й мультимодальними моделями – детермінує безперервну еволюцію методів управління обчислювальними ресурсами та механізмів їх еластичного масштабування. Для високонавантажених розподілених середовищ критичною залишається задача досягнення оптимального компромісу між продуктивністю, масштабованістю, відмовостійкістю й економічною доцільністю, що ускладнюється динамікою навантажень і вимогою реагувати у реальному часі. У таких умовах актуальності набувають гібридні адаптивні підходи до автоматизованого масштабування, здатні забезпечити проактивне, енерго- та ресурсоефективне використання обчислювального потенціалу у високонавантажених розподілених системах.

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

Сформульовані у дисертаційному дослідженні наукові положення, висновки та рекомендації характеризуються необхідним рівнем

методологічної обґрунтованості; їх коректність підтверджена репрезентативною емпіричною базою експериментальних даних і результатами практичної апробації. Структура викладу відповідає академічним стандартам: етапи роботи подано достатньо послідовно, логічно та з належною аргументацією.

Достовірність одержаних результатів підтверджена зовнішньою фаховою верифікацією: ключові положення доповідалися та обговорювалися на трьох міжнародних наукових конференціях і оприлюднені у чотирьох статтях у спеціалізованих виданнях, в т.ч., що індексуються провідними наукометричними базами.

Практичну значущість і перспективність результатів демонструє їх успішне впровадження у навчальний процес Київського національного університету будівництва і архітектури, а також апробація у відділі досліджень обсягів, якості та вартості будівельних робіт Лабораторії інженерно-технічних видів досліджень Київського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України.

Наукова новизна отриманих автором результатів.

Наукову складову дисертаційного дослідження становить математична модель динамічного масштабування обчислювальних ресурсів у високонавантажених розподілених системах, що інтегрує метод експоненційного згладжування прогнозованих навантажень із процедурою нечіткого агрегування лінгвістичних оцінок. Запропонований підхід дає змогу відмовитися від фіксованих порогових значень та забезпечує оперативне реагування системи на зміну інтенсивності навантаження.

На базі вказаної моделі розроблено адаптивний нечіткий регресивний метод, призначений для безперервного коригування конфігурації обчислювальних ресурсів відповідно до поточного стану системи.

Крім того, сформульовано метод визначення моменту масштабування, який, аналізуючи результуючі показники адаптивного методу, встановлює доцільний час зміни конфігурації ресурсів, забезпечуючи погоджений баланс між продуктивністю системи та експлуатаційними витратами.

Експериментальне порівняння запропонованих рішень з наявними підходами засвідчило їхню ефективність і підтвердило доцільність подальших досліджень у сфері адаптивного управління ресурсами високонавантажених розподілених систем.

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів

Теоретичний внесок дисертаційної роботи полягає у розвитку підходів до адаптивного управління обчислювальними ресурсами у високонавантажених розподілених системах. У дослідженні запропоновано метод масштабування, побудований на нечіткій регресивній моделі, що інтегрує прогностні та реактивні механізми й дозволяє відмовитися від фіксованих порогових величин. Описаний підхід деталізує умови досягнення збалансованого співвідношення між продуктивністю системи та витратами на її експлуатацію. Окремі положення роботи впроваджено у навчальні дисципліни з інформаційних технологій у Київському національному університеті будівництва і архітектури, що підтверджує їх методичну цінність.

Практичну придатність запропонованих рішень продемонстровано на кількох прикладних системах із нерівномірним характером навантаження. Зокрема, методику протестовано у геоінформаційному сервісі, який підтримує обстеження та відновлення пошкоджених об'єктів нерухомості, у підсистемі керування транспортними потоками великого міста та у платформі аналізу даних із соціальних мереж. Експлуатаційні випробування підтверджені довідкою від Відділу досліджень обсягів, якості та вартості будівельних робіт Київського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України.

З огляду на одержані результати можна вважати, що наукові та прикладні положення дисертації є достатніми для подальшого використання у галузі розроблення та експлуатації високонавантажених інформаційних систем.

Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях.

Основні результати дослідження викладені у **семи** наукових працях: три статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, одна праця у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, а також у трьох наукових працях, що представлені як тези доповіді на міжнародних науково-технічних конференціях. Особистий внесок здобувача в роботах, що опубліковані у співавторстві, наведено у списку опублікованих робіт за темою дисертації. Обсяг та рівень публікацій здобувача відповідають вимогам, встановленим «Порядком присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженим постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року.

Структура і зміст дисертації

Дисертаційне дослідження Бугрова Анатолія Анатолійовича «Моделі і методи вдосконалення високонавантажених розподілених систем» присвячено розробці інтелектуальних методів адаптивного керування ресурсами у високонавантажених розподілених системах.

Робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та додатків, у яких представлено довідки про впровадження та апробацію наукових результатів

дисертаційної роботи. Загальний обсяг роботи становить 152 сторінки, у тому числі основна частина складає 123 сторінки. Основна частина, крім тексту, включає 11 таблиць, 25 рисунків.

Анотація розкриває зміст дисертації, основні положення наведені українською та англійською мовами та ідентичні основним положенням дисертаційної роботи.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету роботи, визначено об'єкт, предмет, методи, завдання і наукову новизну дослідження, показано практичне значення і апробацію результатів дисертації, надано відомості щодо публікацій результатів дисертації та її структуру.

У першому розділі проведено аналіз сучасних викликів у сфері високонавантажених розподілених систем, зокрема питань масштабування ресурсів, продуктивності, відмовостійкості та економічної ефективності. Досліджено архітектурні рішення і показано, що автоматичне масштабування ресурсів у високонавантажених системах є ключовим механізмом управління, який дозволяє підтримувати стабільну продуктивність при змінному робочому навантаженні, мінімізуючи витрати на обчислювальні ресурси. Окреслено основні підходи до вирішення проблеми балансування між високою продуктивністю, стійкістю до відмов і використанням ресурсів.

У другому розділі здійснено огляд сучасних моделей і методів автоматизованого масштабування обчислювальних ресурсів за умов змінного робочого навантаження. Обґрунтовано доцільність інтеграції традиційних алгоритмів прогнозування попиту з механізмами автоматизованого прийняття рішень щодо коригування конфігурації інфраструктури, де моделі машинного навчання, ґрунтуючись на прогнозованих значеннях, визначають раціональний рівень обчислювальних потужностей. На підставі проведеного аналізу запропоновано концепцію адаптивного методу масштабування, який

синтезує реактивні й проактивні стратегії задля підвищення ефективності використання ресурсів.

У **третьому розділі** викладено розроблення адаптивної нечіткої регресивної моделі та відповідного методу автоматизованого масштабування обчислювальних ресурсів. Запропонований підхід інтегрує часові прогностичні алгоритми, інструменти нечіткої логіки та процедуру експоненційного згладжування з метою узгодженого досягнення необхідних показників продуктивності, економічної доцільності та операційної гнучкості. Також сформульовано метод оцінювання доцільного моменту масштабування, що, спираючись на вихідні параметри адаптивного нечіткого регресивного методу, кількісно враховує потенційні наслідки запізнілої або передчасної реакції системи.

У **четвертому розділі** наведено результати експериментальної перевірки запропонованих методів масштабування на трьох типових прикладах інформаційних систем із різною динамікою навантажень. Дослідження охоплює геоінформаційний сервіс системи підтримки процесу відновлення об'єктів нерухомості, інтелектуальну систему керування транспортними потоками великого міста та високонавантажену розподілену платформу оброблення даних соціальних мереж. Особливу увагу приділено зміні споживання оперативної пам'яті за умов імпульсних сплесків, періодичних піків і довготривалих трендових коливань навантаження. Показано, що інтегроване використання реактивних і проактивних стратегій забезпечує своєчасну адаптацію ресурсів, стабілізує продуктивність і запобігає надмірному резервуванню потужностей.

У висновках зазначені отримані наукові результати, які відповідають поставленим задачам дисертаційного дослідження.

Зауваження

Попри загалом позитивну оцінку дисертації, залишаються окремі аспекти, які потребують уваги:

1. У вступі слід чіткіше окреслити актуальність дослідження, а в частині, присвяченій науковій новизні, уточнити, чим запропонована адаптивна нечітка регресивна модель динамічного масштабування ресурсів відрізняється від існуючих підходів.

2. Необхідно показати, як оптимізація систем та скорочення використання ресурсів позначаються на споживанні енергії й екологічній ефективності.

3. Слід описати потенційні ризики інтеграції модуля керування масштабуванням системи, що реалізує запропонований метод, зокрема ризики розподілених атак типу «відмова в обслуговуванні», маніпулювання навантаженням та порушення автентифікації між компонентами, а також запропонувати заходи щодо їх мінімізації.

4. Бажано надати кількісну оцінку переваг запропонованого підходу порівняно з базовими методами: відсотки економії ресурсів чи зростання швидкодії. Крім того, бажано переконатися, що ці поліпшення не випадкові, для цього варто провести базову статистичну перевірку.

5. Доцільно розширити обґрунтування вибору параметрів нечітких множин і коефіцієнтів експоненційного згладжування, а також проаналізувати, як різні типи функцій належності впливають на ефективність масштабування.

6. Потрібно усунути стилістичні, граматичні та друкарські помилки і впорядкувати термінологію, зокрема щодо назви системи підтримки процесу відновлення об'єктів нерухомості та назви адаптивної нечіткої регресивної моделі динамічного масштабування ресурсів.

Висновок

Незважаючи на окреслені зауваження, вважаю, що дисертаційна робота Бугрова Анатолія Анатолійовича «Моделі і методи вдосконалення високонавантажених розподілених систем» є завершеною науковою працею, яка має теоретичне та практичне значення. Сформульована в дисертації мета дослідження досягнута, а зроблені зауваження мають переважно рекомендаційний характер і не зменшують цінність результатів роботи в цілому.

Робота 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», затверджені Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 (в редакції постанови Кабінету Міністрів України від 19 травня 2023 р. № 502), а її автор – Бугров Анатолій Анатолійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – «Інформаційні технології» спеціальності 126 – «Інформаційні системи та технології».

Офіційний рецензент,
професор кафедри інформаційних технологій
Київського національного університету
будівництва і архітектури
доктор технічних наук, доцент



Олександр ПОПЛАВСЬКИЙ

Особистий підпис професора кафедри інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури, доктора технічних наук, Поплавського Олександра Анатолійовича засвідчую.

Вчений секретар Вченої ради
Київського національного
університету будівництва і архітектури
кандидат технічних наук, доцент



Микола КЛИМЕНКО