

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, доктора технічних наук, професора,
в.о. завідувача кафедри інформаційних технологій проектування та
прикладної математики Київського національного університету
будівництва і архітектури Бородавки Євгенія Володимировича 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

Аналіз сучасних тенденцій у сфері інформаційних технологій свідчить про значну актуальність проблеми адаптивного керування ресурсами у високонавантажених розподілених системах, у яких особливо важливими є питання ефективності, стабільності та масштабованості. Необхідність динамічного масштабування, що відповідає змінам навантаження, та раціонального використання ресурсів визначає потребу в створенні ефективних методів адаптивного керування. Таким чином, актуальність дослідження Бугрова Анатолія Анатолійовича зумовлена нагальною потребою підвищення продуктивності та економічної ефективності високонавантажених розподілених систем різного призначення.

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

Обґрунтованість наукових положень і висновків, сформульованих у дисертації, підтверджується публікаціями 4 статей у науковому фаховому виданні України категорії «Б» і періодичному науковому виданні іншої

держави, що індексуються в наукометричній базі даних SCOPUS, де подані матеріали проходять рецензування і перевірку на відсоток запозичень і плагіату. Окрім того, матеріали дослідження доповідались на 3 міжнародних конференціях, де пройшли ретельну апробацію та отримали підтвердження у вигляді рецензій і висновків фахівців галузі інформаційних технологій.

Таким чином, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, відповідає сучасним стандартам галузі.

Наукова новизна отриманих автором результатів.

У дисертаційному дослідженні автора розроблено математичну модель динамічного масштабування ресурсів, яка поєднує методи експоненційного згладжування для прогнозу навантаження з нечітким агрегуванням лінгвістичних оцінок. Запропонована модель дозволяє уникнути використання фіксованих порогових значень, що забезпечує швидшу реакцію системи на зміни навантаження та підвищує ефективність керування ресурсами.

Запропонований в роботі адаптивний нечіткий регресивний метод реалізує ефективне та безперервне масштабування ресурсів шляхом постійного формування керуючих впливів за допомогою нечіткої регресивної оцінки параметрів масштабування. Це дозволяє досягти оптимального балансу між продуктивністю та ефективністю використання ресурсів. Також у дисертації вперше розроблено метод коригування моменту масштабування, який, аналізуючи вихідні параметри адаптивного нечіткого регресивного методу, визначає найкращий час для зміни конфігурації ресурсів, підвищуючи стабільність функціонування системи.

Удосконалено метод оцінювання ефективності масштабування, що включає комплексний багатокритеріальний аналіз технічних і економічних

показників, таких як пропускна здатність, хвостові затримки, рівень відмов і вартість запиту. Це дозволяє забезпечити всебічну та об'єктивну оцінку ефективності управління ресурсами високонавантажених систем.

Подальший розвиток у роботі отримала концепція комбінованих стратегій керування ресурсами, яка інтегрує проактивні методи прогнозування навантаження з реактивними механізмами на основі нечіткої логіки, що підвищує гнучкість і своєчасність адаптації ресурсів системи. Також розширено методи аналізу впливу динаміки навантаження на ефективність масштабування, що дозволяє уточнювати критерії ініціювання процесу масштабування залежно від швидкості та амплітуди змін навантаження.

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів

Розроблена математична модель та адаптивний нечіткий регресивний метод формалізують інтеграцію прогнозних і реактивних підходів, що суттєво розширюють теоретичні основи адаптивного керування ресурсами високонавантажених розподілених систем і забезпечують перспективу подальших розробок у сфері автоматичного масштабування та керування ресурсами.

Практичне значення роботи підтверджується результатами тестування запропонованих методів на даних реальних високонавантажених систем, які мають такі типи навантаження, як короткочасні сплески, періодичні піки і трендові довготривалі зміни.

Теоретичне та практичне значення одержаних в роботі результатів засвідчене довідкою про впровадження результатів дослідження в навчальний процес факультету автоматизації і інформаційних технологій Київського національного університету будівництва і архітектури та довідкою про апробацію наукових результатів дисертаційної роботи фахівцями Лабораторії інженерно-технічних видів досліджень Київського

науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України і підтверджує практичне значення одержаних результатів.

Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати дослідження викладено у 7 публікаціях, а саме: 4 статтях з яких 3 опубліковані у виданнях України, які включено до міжнародних наукометричних баз (з них одна одноосібна), 1 статті у виданні інших держав, що індексується у базі даних SCOPUS, та в 3 наукових працях, що представлені як тези доповіді у міжнародних науково-технічних конференціях (2 з яких проіндексовані у наукометричній базі даних SCOPUS).

Публікації здобувача відповідають вимогам, що встановлені «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

Дисертацію присвячено вивченню проблем, що характерні сучасним високонавантаженим розподіленим системам: забезпечення їх високої продуктивності, стабільності та економічної ефективності.

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

Анотація повністю відображає основні положення, що ідентичні основним положенням дисертаційної роботи, і зміст дисертації українською та англійською мовами.

У *вступі* дисертації наведено стислий огляд предметної області, обґрунтовано актуальність теми адаптивного керування ресурсами у

високонавантажених розподілених системах, сформульовано мету дослідження, основні завдання, наукову новизну й практичну значущість отриманих результатів та надано перелік публікацій автора за темою дисертації.

У *першому розділі* здійснено критичний аналіз сучасних високонавантажених розподілених систем, який показав, що їх ефективність і стійкість залежать від архітектурних рішень, механізмів управління ресурсами та вибору технологічного стеку. Проведений аналіз став основою для рішення автора зосередити дослідження на оптимізації обробки просторових даних і розробці адаптивних методів прогнозування навантаження та масштабування, які потрібні для формування теоретичної бази під час подальшої розробки методів підвищення продуктивності та надійності високонавантажених систем спеціального призначення.

У *другому розділі* автором проведені дослідження існуючих моделей, методів і стратегій автоматичного масштабування ресурсів, на основі якого обґрунтовано потребу в розробці адаптивних підходів, що поєднують прогнозні та негайні реактивні механізми. Водночас проаналізовано можливості застосування машинного навчання для побудови моделей попиту, нечіткої логіки для розмитого оцінювання стану системи та класичних методів аналізу часових рядів для пролонгованих прогнозів.

У *третьому розділі* автором запропоновано адаптивну нечітку регресивну модель для динамічного масштабування, що базується на поєднанні нечіткої логіки та експоненціального згладжування з двома рівнями корекції. Таке поєднання дозволяє гнучко налаштовувати час і обсяг масштабування, що мінімізує кількість зайвих перемикань між станами масштабування та забезпечує стійкість системи під час швидкої зміни навантаження. Водночас надано рекомендації щодо вибору значень коефіцієнтів, які визначають поведінку механізму прогнозування систем для різних типів. На основі запропонованої моделі розроблено адаптивний

нечіткий регресивний метод, що забезпечує гнучке керування ресурсами без жорстких порогових значень.

У четвертому розділі описано інтеграцію запропонованих методів динамічного масштабування ресурсів і коригування моменту масштабування у високонавантажених системи, де висока варіативність навантаження вимагає гнучкого й своєчасного розподілу обчислювальних потужностей та проаналізовано результати експериментальних досліджень, які підтвердили ефективність запропонованих методів у забезпеченні стабільної роботи системи і своєчасного виділення додаткових ресурсів.

У висновках перелічені отримані наукові результати проведеного дослідження, що відповідають меті дисертації.

Список використаних джерел налічує 125 найменувань.

У додатках розміщено акт впровадження результатів дисертаційного дослідження в навчальний процес Київського національного університету будівництва і архітектури та довідку про апробацію наукових результатів дослідження у Відділі досліджень обсягів, якості та вартості будівельних робіт Лабораторії інженерно-технічних видів досліджень Київського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України.

Зауваження

Загалом позитивно оцінюючи цю роботу в цілому, слід звернути увагу на окремі дискусійні положення, які потребують роз'яснення і уточнення, а саме наступні.

1. У третьому розділі подано адаптивний нечіткий регресивний метод масштабування, але недостатньо чітко описано процес його адаптації для різних типів навантажень, що може ускладнювати застосування цього методу у системах з варіативним характером навантаження. Потребує уточнення питання щодо інтеграції цього методу у середовища з частим

додаванням чи вилученням серверів або контейнерів, адже це обмежує застосовність моделі в умовах хмарних кластерів із змінною архітектурою.

2. Доцільно було б надати порівняння запропонованого підходу не тільки з найпопулярнішим рішенням від Google, а й з іншими альтернативними підходами. Без цього складно оцінити реальні переваги чи обмеження методу.

3. У четвертому розділі експерименти проведені лише на обмеженій кількості типових сценаріїв навантаження, що не дає повної картини ефективності методу в інших реальних умовах.

4. Дисертаційне дослідження сконцентроване на роботі лише з високонавантаженими системами. Бракує навіть короткого аналізу корисності запропонованого методу в звичайних, не високонавантажених системах.

Висновок

Вважаю, що дисертаційна робота Бугрова Анатолія Анатолійовича «Моделі і методи вдосконалення високонавантажених розподілених систем» є повністю завершеним науковим дослідженням, що виконане на високому професійному рівні та не порушує принципів академічної доброчесності. Результати, отримані в роботі, є новими, відповідають поставленим цілям і завданням та мають як теоретичне, так і практичне значення. Усі наведені зауваження орієнтовані на перспективу подальших науково-практичних розробок і не зменшують цінність результатів роботи.

Дисертаційна робота відповідає вимогам, які висуваються до дисертаційних робіт, зокрема зміст дисертації загалом відповідає галузі знань 12 «Інформаційні технології», спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», «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», затвердженому 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,

в.о. завідувача кафедри інформаційних технологій

проектування та прикладної математики

Київського національного університету

будівництва і архітектури

доктор технічних наук, професор



Євгеній БОРОДАВКА

Особистий підпис в.о. завідувача кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики, доктора технічних наук, професора Євгенія БОРОДАВКИ засвідчую.

Вчений секретар Вченої ради

Київського національного

університету будівництва і архітектури

кандидат технічних наук, доцент



Микола КЛИМЕНКО