

Рішення
разової спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії

Здобувач ступеня доктора філософії Бугров Анатолій Анатолійович, 1997 року народження, громадянин України, освіта вища: закінчив у 2021 році Київський національний університет імені Тараса Шевченка за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», виконав акредитовану освітньо-наукову програму «Комп'ютерні науки».

Разова спеціалізована вчена рада, утворена наказом Київського національного університету будівництва і архітектури від «28» травня 2025 року № 30, у складі:

Голови разової спеціалізованої вченої ради - Веренич Олена Володимирівна, доктор технічних наук, професор, виконуюча обов'язки завідувача кафедри управління проектами Київського національного університету будівництва і архітектури;

Рецензент - Бородавка Євгеній Володимирович, доктор технічних наук, професор, виконуючий обов'язки завідувача кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури;

Рецензент - Поплавський Олександр Анатолійович, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційних технологій, Київського національного університету будівництва і архітектури;

Офіційний опонент - Гнатушенко Вікторія Володимирівна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій і систем Дніпровського металургійного інституту Українського державного університету науки і технологій;

Офіційний опонент - Андрашко Юрій Васильович, кандидат технічних наук, доцент кафедри системного аналізу та теорії оптимізації Ужгородського національного університету.

На засіданні «12» серпня 2025 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 12 – Інформаційні технології Бугрову Анатолію Анатолійовичу на підставі публічного захисту дисертації «Моделі і методи вдосконалення високонавантажених розподілених систем» за спеціальністю 126 – «Інформаційні системи та технології».

Дисертацію виконано в Київському національному університеті будівництва і архітектури, м. Київ.

Науковий керівник Єременко Богдан Михайлович, кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає в тому що, вперше розроблено:

- математичну модель динамічного масштабування ресурсів, що поєднує експоненційне згладжування для прогнозу із нечітким агрегуванням лінгвістичних оцінок та дозволяє уникнути фіксованих порогів, скорочуючи час реакції високонавантажених розподілених систем;

- адаптивний нечіткий регресивний метод (АНРМ) застосування зазначеної моделі, що забезпечує безперервне формування керуючих впливів шляхом

нечіткої регресивної оцінки параметрів масштабування ресурсів;

- метод коригування моменту масштабування, який, аналізуючи вихідні величини АНРМ, визначає найкращий час зміни конфігурації ресурсів і забезпечує баланс між продуктивністю та експлуатаційними витратами;

удосконалено:

- метод оцінювання ефективності масштабування ресурсів, доповнений багатокритеріальним аналізом технічних і економічних показників, що забезпечує комплексну оцінку результативності керування ресурсами;

набули подальшого розвитку:

- концепція комбінованих стратегій управління ресурсами, у межах якої прогнозні процедури експоненційного згладжування інтегровано з нечіткими реактивними механізмами, що підвищує гнучкість і своєчасність адаптації системи;

- методи аналізу впливу динаміки навантаження на результативність масштабування, що уточнюють критерії ініціювання процесу залежно від швидкості та амплітуди зміни навантаження

Здобувач має 7 наукових праць, у тому числі: 3 статті в науковому фаховому виданні України категорії «Б»; 1 статтю в періодичних наукових фахових виданнях інших держав, які входять до ЄС; 3 – тез наукових доповідей в збірниках матеріалів міжнародних конференцій.

1. Terenchuk S., Pasko R., Buhrov A., Ploskyi V., Panko O., Zapryvoda V. (2022). Computerization of the process of reconstruction of damaged or destroyed real estate. 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2022 - Conference Proceedings. DOI: <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916470> (Scopus)

2. Buhrov A., Pasko R., Yeremenko B. Computerization of the Process of Assessing the Technical Condition of Buildings and Infrastructure. ACeSYRI - International Workshop on Modern Experience for PhD students and Young Researchers, November 14-18, 2022, p. 17, book of abstract, Zilina, Slovakia. <https://ki.fri.uniza.sk/ACeSYRI2022/Abstracts.pdf>

3. Бугров, А., Теренчук, С. (2023). Принципи і методи автоматичного масштабування високонавантажених систем. Шляхи підвищення ефективності будівництва. No52(3). С. 217-226. DOI: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52\(3\).217-226](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2023.52(3).217-226) (Index Copernicus)

4. Yeremenko B., Mazurenko R., Stetsyk O., Buhrov A. (2023) Intelligent Management of Traffic Flows in Large Cities. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure, Part F1379, 33-42. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-25863-3_4 (Scopus)

5. Terenchuk S., Buhrov A., Pasko R., Yaschenko A., Bosenko I., Volokh B. (2023). Ontology Formation of Support System for Restoration of Buildings, Property and Infrastructure Objects. 2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology, KhPI Week 2023 - Conference Proceedings. DOI: <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek61412.2023.10313006> (Scopus)

6. Бугров, А., Волох, Б., Босенко, І., Теренчук, С. (2024). Система підтримки процесу відновлення об'єктів нерухомості: обробка і збереження даних. Управління розвитком складних систем, (60), 136–145. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2024.60.136-145> (Index Copernicus)

7. Бугров, А. Оптимізація геоінформаційного сервісу в системі підтримки процесу відновлення об'єктів нерухомості. Управління розвитком складних систем. Київ, 2025. № 61. DOI: <https://doi.org/10.32347/2412-9933.2025.61.187-192> (Index Copernicus)

У дискусії взяли участь голова і члени спеціалізованої вченої ради:

- **Веренич Олена Володимирівна**, доктор технічних наук, професор кафедри управління проектами Київського національного університету будівництва і архітектури. Оцінка позитивна без зауважень.

- **Бородавка Євгеній Володимирович**, доктор технічних наук, професор, виконуючий обов'язки завідувача кафедри інформаційних технологій проектування та прикладної математики Київського національного університету будівництва і архітектури. Оцінка позитивна із зауваженнями:

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.

- **Поплавський Олександр Анатолійович**, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційних технологій, Київського національного університету будівництва і архітектури. Оцінка позитивна із зауваженнями:

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.

- **Гнатушенко Вікторія Володимирівна**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій і систем Дніпровського металургійного інституту Українського державного університету науки і технологій. Оцінка позитивна із зауваженнями:

1. Матеріали дисертації переобтяжені необов'язковою англомовною термінологією, яку можна було вилучити або винести у глосарій.

2. У першому розділі простежується нечітке використання окремих термінів автором, що можливо пов'язане з перекладом. Ця нечіткість ускладнює розуміння логіки формування мети дослідження і, хоча чітка постановка задачі в кінці розділу знімає більшість питань, автору слід коректніше оперувати термінологією. Це зауваження стосується назв і змісту другого та третього розділів, в яких автору слід чіткіше розмежувати існуючі і розроблені моделі і методи масштабування.

3. В третьому розділі бракує аналізу обчислювальної складності адаптивної нечіткої регресивної моделі та методу коригування моменту масштабування. Також відсутні рекомендації щодо апаратних вимог в режимі експлуатації.

4. Четвертий розділ слід було б доповнити інформацією щодо систем, в які планується інтегрувати чи уже інтегровано запропоновані автором адаптивні нечіткі регресивні модель і метод.

5. Є зауваження і питання до рисунків, так: на рис. 3.6 не зрозуміло, яким чином оцінюється ефективність Google Autoscaler (необхідно додати відповідні джерела або власні розрахунки ефективності роботи існуючого рішення).

6. У висновках викладено не всі важливі наукові та практичні результати, а саме: не акцентовано увагу на тому, що запропонована математична модель динамічного масштабування ресурсів і адаптивний нечіткий регресивний метод фактично вирішують прикладну задачу проактивного розподілу ресурсів у хмарній мікросервісній інфраструктурі з нерегулярними піковими навантаженнями. Доцільно чітко сформулювати це як основний практичний результат. При цьому автором розроблено, але не зазначено ані в розділі наукової новизни, ані в описі практичного значення, нечітку систему прийняття рішень, яка враховує поточний стан навантаження та дозволяє уникати недоліків традиційного порогового масштабування. Рекомендую автору переглянути представлені наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

- **Андрашко Юрій Васильович**, кандидат технічних наук, доцент кафедри системного аналізу та теорії оптимізації Ужгородського національного університету. Оцінка позитивна із зауваженнями:

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.

Результати відкритого голосування:

«За» 5 членів ради,

«Проти» немає членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує Бугрову Анатолію Анатолійовичу ступінь доктора філософії з галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології.

Відеозапис трансляції захисту дисертації додається.

Голова разової спеціалізованої
вченої ради


(підпис)

Олена ВЕРЕНИЧ

Підпис голови разової спеціалізованої
вченої ради Олени Веренич засвідчую:

Проректор
з наукової роботи
та інноваційного
розвитку ЖНУБА



Ю. Ковальчук