

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

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора, професора кафедри програмних засобів
Національного університету «Запорізька політехніка» **Олійника Андрія
Олександровича** на дисертаційну роботу **Волоха Богдана Юрійовича**
**«Інтелектуальне кешування даних в системі підтримки процесу
відновлення пошкоджених об'єктів нерухомості»**, що представлена на
здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 126 «Інформаційні
системи та технології» галузі знань 12 «Інформаційні технології»

Актуальність дослідження

З перших днів повномасштабного вторгнення російської федерації на територію України особливо гостро постала потреба у швидкому та якісному відновленні пошкоджених внаслідок бойових дій об'єктів нерухомості. Інформаційна підтримка цього процесу в умовах масштабних руйнувань передбачає застосування інформаційних систем, що забезпечують обробку, зберігання й аналіз великої кількості даних. Високе навантаження на такі системи зумовлює потребу в ефективному управлінні ресурсами, зокрема шляхом інтелектуального управління кешем.

Таким чином, дослідження, що відповідає цілям Плану повоєнного відновлення України (2023-2032 рр.) і може бути інтегрованим у програму «Цифрова Україна», є актуальним як з прикладної точки зору, що важливо для розробників і користувачів системи підтримки процесу відновлення пошкоджених об'єктів нерухомості, так і з наукової, оскільки сфокусоване на інтеграції моделей машинного навчання у процеси управління даними. Запропонований в роботі гібридний метод інтелектуального управління кешем поєднує моделі машинного навчання з існуючими технологіями зберігання даних і дозволяє не лише підвищити ефективність роботи з інформацією в системі підтримки процесу відновлення пошкоджених об'єктів нерухомості, а й

забезпечити гнучке та контрольоване управління ресурсами, необхідне для практичного застосування в проєктах відбудови України.

Наукова новизна отриманих автором результатів.

Наукова новизна отриманих Волохом Б. Ю. результатів пов'язана з розробкою моделей, алгоритмів і архітектури інформаційної системи з інтелектуальним управлінням кешем.

Новизна результатів полягає в тому, що:

- вперше розроблено гібридний метод інтелектуального управління кешем, що базується на моделях машинного навчання і вирішує три ключові задачі кешування;
- удосконалено модель інформаційної системи підтримки процесу відновлення шляхом інтеграції модуля інтелектуального кешування, що забезпечує оперативний доступ до актуальних даних;
- удосконалено процес інформаційної підтримки користувачів шляхом структурування та розширення колекцій документів у нереляційній базі даних системи;
- набули подальшого розвитку підходи до обробки і зберігання даних в інформаційній інфраструктурі галузі архітектури і будівництва через поєднання технологій інтелектуального кешування з нереляційними базами даних.

Вважаю, що винесені на захист положення мають теоретичну та прикладну новизну у галузі інформаційних технологій.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертації

Усі представлені у дисертаційній роботі наукові положення, висновки та рекомендації достатньо повно підтверджені коректним використанням сучасних методів дослідження, включаючи методи системного аналізу, моделювання систем і формалізації процесу прийняття рішень. Наукові результати дисертаційного дослідження пройшли ґрунтовну апробацію, доповідались на міжнародних конференціях і засвідчені довідками про впровадження та апробацію. Експериментальні дослідження, що проведені автором, показали здатність запропонованого гібридного методу інтелектуального управління кешем забезпечити значно кращу продуктивність системи порівняно з класичними стратегіями, зокрема дозволяє частіше

отримувати необхідні дані без повторних звернень до бази даних. Це підтверджує доцільність і ефективність запропонованого підходу.

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів

Теоретичне значення дисертаційної роботи полягає у використанні моделей машинного навчання для вирішення комплексу основних задач управління кешем: визначення доцільності додавання нових даних у кеш, вибору об'єкта для видалення з кешу (у разі переповнення) та інвалідації інформації, що втратила актуальність. Запропонований метод формує теоретичне підґрунтя для застосування моделей машинного навчання до керування даними у високонавантажених інформаційних системах.

Практичне значення результатів дослідження полягає в можливості впровадження запропонованого методу інтелектуального управління кешем у систему підтримки процесу відновлення пошкоджених об'єктів нерухомості, що наразі відіграє ключову роль у плануванні та реалізації відбудови України. Особливу практичну значимість, на думку експертів Київського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції, має запропонована в роботі модель документів, що надасть можливість зменшити навантаження на експертів і підвищити зручність та ефективність їх роботи. Саме тому структурована модель документів у MongoDB, орієнтована на облік запитів, стану об'єктів нерухомості та статистики пошкоджень. Проте, на мою думку, результати дослідження можуть бути адаптовані і до потреб інших галузей, де необхідне використання високонавантажених інформаційних систем та інтелектуальне кешування найбільш актуальних даних.

Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях

Дисертація містить важливі наукові результати, які були представлені в наукових публікаціях та пройшли апробацію на міжнародних наукових конференціях. За матеріалами дисертації опубліковано 7 наукових праць, у тому числі: 2 статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б» (1 з яких опублікована одноосібно); 2 статті у періодичних фахових виданнях, що проіндексовані в наукометричній базі даних Scopus; 2 роботи – у збірниках матеріалів міжнародних наукових конференцій, що проіндексовані у наукометричній базі даних Scopus і 1 праця представлена як тези доповідей на міжнародній науково-практичній конференції. Опубліковані роботи повністю

відображають основний зміст дисертації і отримані наукові результати. Кількість та якість публікацій відповідає вимогам МОН України щодо висвітлення результатів дисертаційних досліджень на здобуття ступеня доктора філософії.

Структура і зміст дисертації

Загальний обсяг дисертації складає 160 сторінок. Основна частина становить 125 сторінок, включаючи 25 рисунків, 18 таблиць і список використаних джерел із 121 найменувань.

Основна частина дисертації складається з вступу, чотирьох розділів, висновків до розділів, загальних висновків і списку використаних джерел.

У *вступі* обґрунтовано актуальність використання методів машинного навчання для підвищення ефективності обробки даних у сфері відновлення пошкоджених об'єктів нерухомості⁴ сформульовано мету і завдання дослідження наукову новизну і практичне значення роботи; надано коротку характеристику результатів дослідження, відомості про апробації і публікації результатів дисертації та її структуру.

У *першому* розділі дисертаційної роботи проведено аналіз сучасних умов організації і проведення будівельно-технічної експертизи в Україні, зокрема з урахуванням масштабних руйнувань, спричинених бойовими діями, який виявив низку проблеми, пов'язаних з неефективною обробкою, зберіганням і повторним використанням даних. Для усунення виявлених проблем масштабованості, швидкого доступу до інформації і гнучкої адаптації до змін у структурі даних в інформаційній системі підтримки процесу відновлення пошкоджених об'єктів нерухомості запропоновано використовувати нереляційні бази даних і технології кешування як інструмент підвищення швидкості доступу до актуальних даних. Результатом аналізу стали висновок щодо доцільності розробки методу інтелектуального управління кешем і проектування бази даних, що дозволить підвищити зручність доступу до релевантної інформації і скоротити час обробки даних в системі підтримки процесу відновлення пошкоджених об'єктів нерухомості.

У *другому* розділі дисертаційної роботи сформульовано вимоги до бази даних інформаційної системи підтримки процесу відновлення пошкоджених об'єктів нерухомості. При цьому визначено основні типи запитів, які надходитимуть від користувачів з різними рівнями доступу, а також структурні

й технічні вимоги, що необхідні для обробки таких запитів. На основі аналізу CAP-теореми та порівняння різних типів нереляційних баз даних, обґрунтовано вибір СУБД MongoDB як основної технології зберігання даних, що найкраще відповідає вимогам системи; спроектовано структуру колекцій документів «Пошкоджені будівлі», «Міська статистика», «Користувачі» та «Історія запитів» та побудовано схему логічних взаємозв'язків між ними, яка стала основою для розробки гібридного методу інтелектуального управління кешем. В цьому розділі також обґрунтовано доцільність використання інтелектуального кешування як ефективного інструмента для подолання обмежень існуючих методів кешування.

У *третьому* розділі дисертаційної роботи запропоновано гібридний метод інтелектуального управління кешем, який вирішує ключові задачі кешування: визначення доцільності додавання нового об'єкта в кеш, вибір об'єкта для видалення у разі переповнення кешу та періодичне видалення застарілих об'єктів через фіксований інтервал часу. При цьому обґрунтовано вибір моделей машинного навчання – табличного Q-Learning для задачі прийняття рішення про доцільність кешування нового об'єкта та логістичної регресії для вибору об'єктів на видалення й інвалідацію. В розділі формалізовано стан об'єкта у вигляді вектора ознак, на основі якого здійснюється навчання і прийняття рішень; спроектовано додаткові колекції документів у базі даних MongoDB, що потрібні для збереження статистичних і навчальних даних, які використовуються моделями; обґрунтовано використання Redis, як основної технології кешування в системі, та показано модель системи, інтегровану з модулем інтелектуального кешування; описано алгоритм роботи запропонованого методу і блок-схему, що ілюструє взаємодію моделей на основі Q-Learning і логістичної регресії та бази даних MongoDB і кешу Redis.

У *четвертому* розділі роботи детально описано архітектуру системи, яка призначена для експериментального тестування ефективності гібридного методу інтелектуального управління кешем, та її основні компоненти. Систему реалізовано з урахуванням асинхронного оновлення параметрів моделей, синхронізації з базою даних і кешем, взаємодії агентів і збереження нових прикладів для навчання моделей. Результати проведених експериментів (одноразовий запуск системи з фіксованими вхідними даними та серія запусків із поступовим накопиченням навчальних прикладів і знань моделей про

поточний контекст і характер запитів, що згенеровані псевдовипадковим чином) підтвердили здатність гібридного методу інтелектуального управління кешем адаптуватися до характеру і динаміки запитів підвищуючи ефективність кешування. Показники ефективності показано у вигляді графіків частки успішних звернень до кешу, що відповідають кількості кеш-хітів.

У висновках узагальнено основні наукові результати, які повністю відповідають меті та завданням дисертації.

Окрім того в додатках містяться таблиці з описом: переваг MongoDB та пропозицій щодо їх застосування в системі підтримки процесу відновлення пошкоджених об'єктів нерухомості; структури документа в колекції «Пошкоджені будівлі»; основних існуючих методів кешування і результатів порівняльного аналізу основних технологій кешування; довідки про апробацію і впровадження результатів дослідження.

Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності.

Оформлення дисертації повністю відповідає всім необхідним вимогам МОН України.

Представлена дисертаційна робота має чітку, логічно структуровану побудову. Основні висновки та рекомендації випливають із результатів дослідження, які узгоджено викладені в розділах. Зміст і стиль викладення засвідчують індивідуальність проведеної наукової роботи, самостійність здобувача та оригінальність застосованого підходу до вирішення поставлених завдань. Увесь текст дисертації написаний у науковому стилі з дотриманням принципів академічної доброчесності. Всі посилання в списку використаних джерел відповідають темі дисертації та правильно оформлені.

Ідентичність анотації та основних положень дисертаційної роботи.

Анотація повністю розкриває зміст дисертаційної роботи, а основні положення, наведені в анотації українською та англійською мовами, ідентичні основним положенням дисертаційної роботи.

Зауваження

У цілому робота оцінюється позитивно, але варто звернути увагу на наступні зауваження та рекомендації, які могли б підвищити її якість:

1. У підрозділі 1.1, на мій погляд, не вистачає аналізу нормативно-правових актів, що регламентують фіксацію пошкоджень і звітність про

виконані дослідження. Їх залучення підсилило б обґрунтування задачі та практичну цінність дослідження.

2. У підрозділі 1.4 викладено загальну характеристику системи підтримки процесу відновлення пошкоджених об'єктів нерухомості, однак доцільно було б чіткіше розмежувати функціональні блоки системи, які відповідають за організаційні, аналітичні та технічні аспекти виявлених проблем обробки, зберігання та доступу до даних. Це допомогло б краще зрозуміти, як окремі частини системи вирішують конкретні задачі.

3. У підрозділі 2.1 було б доречно додати таблицю, в якій зіставлено типи користувачів, характер їхніх запитів і відповідні вимоги до обробки даних. Це дозволило б краще пояснити, вибір саме такої технології бази даних, яка була вибрана.

4. У підрозділі 2.3 описано колекції документів у MongoDB, проте не подано оцінки очікуваних типів об'єктів, частоти запитів і змін для кожної з них. Це ускладнює визначення оптимальних налаштувань індексації, реплікації і політики зберігання даних.

5. У підрозділі 3.2 подано таблицю ознак стану для моделі Q-Learning, однак не наведено аналізу їх взаємозалежності або можливої надмірності. Додатковий опис про вплив кожної ознаки на прийняття рішень допоміг би краще оцінити стабільність та інтерпретованість моделі.

6. У розділі 3 варто було б додатково навести аналіз стійкості запропонованих моделей до змін параметрів системи, зокрема розміру кешу, частоти запитів чи налаштувань навчання. Відсутність такої оцінки не дозволяє повною мірою оцінити адаптивність гібридного підходу до різних сценаріїв навантаження, що є критичним для практичного впровадження.

7. Розділ 4 демонструє успішне тестування системи на фіксованому наборі даних, однак, на мій погляд, не вистачає аналізу продуктивності за змінних умов. Такий аналіз дозволив би глибше оцінити масштабованість і витривалість запропонованого рішення.

8. У підрозділі 4.2 представлено реалізацію моделей машинного навчання, однак не наведено опису процесу валідації або тестування моделей перед їх інтеграцією в систему. Це ускладнює оцінку початкової якості моделей і їх готовності до розгортання.

9. У роботі присутні незначні друкарські, граматичні, стилістичні помилки, відсутні посилання на джерела інформації під деякими рисунками.

Вищезазначені зауваження не є принциповими, не знижують наукової та практичної цінності дисертаційного дослідження і суттєво не впливають на високу оцінку роботи в цілому.

Загальні висновки щодо дисертації

Вважаю, що дисертація Волоха Богдана Юрійовича «Інтелектуальне кешування даних в системі підтримки процесу відновлення пошкоджених об'єктів нерухомості», є завершеною науковою працею, в якій отримані обґрунтовані наукові результати, що мають суттєве теоретичне та практичне значення для розвитку інформаційних технологій.

Дисертація відповідає вимогам, які висуваються до дисертаційних робіт, зокрема зміст дисертації загалом відповідає галузі знань 12 «Інформаційні технології», спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», і «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) «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 03 травня 2024 р. № 507), а її автор, – Волох Богдан Юрійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри програмних засобів
Національного університету
«Запорізька політехніка»

