

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, доцента **Кудерметова Равіля Каміловича** на дисертаційну роботу Білого Віталія Вікторовича «Підтримка прийняття рішень щодо відновлення пошкоджених об'єктів за умов невизначеності на основі інтелектуальних технологій», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 124 – Системний аналіз.

Актуальність теми

Внаслідок збройної агресії російської федерації проти України пошкоджено значну кількість об'єктів житлового, нежитлового фондів та критичної інфраструктури в усіх регіонах держави. Прийняття рішень щодо їх відбудови ускладнюється істотною невизначеністю: дані про пошкодження часто неповні, а фактична вартість робіт залежить від багатьох взаємопов'язаних чинників. У такій ситуації ручне експертне оцінювання вартості відновлення для кожного об'єкта окремо потребує значних ресурсів і стає вузьким місцем процесу відбудови.

За таких умов нагальною стає потреба в автоматизованому прогнозуванні вартості відновлення на основі даних про вже виконані аналогічні роботи. Водночас саме прогнозування є лише частиною задачі: обґрунтований вибір варіанта відбудови потребує цілісного інформаційного контуру, що поєднує фіксацію пошкоджень, багатовимірну аналітику, прогнозування вартості та сценарне моделювання альтернатив, з інтерпретованим поясненням впливу окремих характеристик об'єкта на результат. Саме на розробку такої інформаційно-аналітичної системи спрямована дисертаційна робота В. В. Білого, що і визначає її актуальність.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Робота виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт Національного університету «Запорізька політехніка» у межах тем: «Математичне моделювання соціально-економічних процесів та систем» (номер реєстрації – 05038), «Розвиток методів дослідження складних соціально-економічних систем на основі інтелектуальних технологій» (номер державної реєстрації – 0121U113264) та «Прийняття ефективних рішень на основі інтелектуальних технологій та відкритих даних» (номер реєстрації – 05014).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і наукова новизна одержаних результатів

Обґрунтованість результатів роботи підтверджується використанням загальнонаукових та спеціальних методів дослідження: методи теорії прийняття рішень в умовах невизначеності – для формалізації багатокритеріальної задачі вибору альтернативи відбудови; методи машинного навчання, зокрема градієнтний бустинг на деревах рішень (XGBoost) – для прогнозування вартості відновлення; методи фазифікації з трикутними функціями належності – для кодування порядкових категоріальних ознак; метод SHAP на основі значень Шеплі – для інтерпретації результатів прогнозування; методи архітектурного проєктування програмних систем – для побудови гібридної архітектури з відокремленим ML-мікросервісом.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розробці інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень щодо відновлення пошкоджених об'єктів за умов невизначеності на основі інтелектуальних технологій. Найбільш вагомими, на мою думку, результатами, що визначають наукову новизну, є такі:

- вперше запропоновано концепцію інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень щодо відбудови на основі гібридної архітектури, що поєднує монолітний веб-застосунок (фіксація пошкоджень, OLAP-аналітика) з відокремленим ML-мікросервісом (прогнозування вартості, сценарне моделювання) та забезпечує наскрізний цикл прийняття рішень в умовах невизначеності;
- вперше розроблено цифровий двійник пошкодженого об'єкта, що поєднує його цифровий профіль з прогностичним шаром на основі XGBoost та механізмом сценарного перерахунку вартості з SHAP-інтерпретацією, дозволяючи порівнювати альтернативні варіанти відбудови;
- набув подальшого розвитку підхід до прийняття рішень щодо відбудови за рахунок формалізації багатокритеріальної задачі вибору альтернативи з урахуванням належності об'єкта до культурної спадщини;
- набув подальшого розвитку підхід до прогнозування вартості відновлення за рахунок комбінованого кодування категоріальних ознак, що підвищує точність прогнозу.

Винесені на захист положення відображають нові наукові результати автора та є належним чином обґрунтованими.

Структура та зміст дисертації

Дисертація складається з анотації, переліку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, об'єкт, предмет та задачі дослідження, охарактеризовано методи дослідження, розкрито наукову новизну й практичне значення одержаних результатів, наведено відомості про апробацію та публікації за темою дисертації.

У першому розділі «Роль інформаційно-аналітичних систем у підтримці прийняття рішень щодо відновлення пошкоджених об'єктів» проаналізовано стан проблеми фіксації руйнувань та відбудови, виконано огляд існуючих ІАС підтримки прийняття рішень, підходів до побудови цифрових двійників та методів машинного навчання для прогнозування вартості відновлення. Обґрунтовано доцільність створення комплексної системи, що інтегрує функції обліку, аналітики, прогнозування та сценарного моделювання в єдиному інформаційному середовищі.

У другому розділі «Концептуальні основи побудови інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень щодо відновлення пошкоджених об'єктів» розроблено концепцію системи на основі гібридної архітектури, що поєднує монолітний веб-застосунок з відокремленим ML-мікросервісом. Формалізовано багатокритеріальну задачу вибору альтернативи відбудови в умовах невизначеності та задачу прогнозування вартості відновлення як регресійну задачу машинного навчання.

У третьому розділі «Розробка аналітичного та прогнозного забезпечення підтримки прийняття рішень щодо відновлення пошкоджених об'єктів у межах інформаційно-аналітичної системи» описано реалізацію системи: модулі обліку пошкоджених об'єктів, інтерактивну карту, OLAP-куб та модуль віртуальних турів для збереження пам'яті про об'єкти культурної спадщини. Розглянуто цифровий двійник пошкодженого об'єкта, що інтегрує цифровий профіль з прогностичним шаром на основі моделі XGBoost та механізмом сценарного перерахунку вартості з SHAP-інтерпретацією.

У четвертому розділі «Тестування системи та експериментальна верифікація моделей прогнозування» проведено порівняльний аналіз моделей машинного навчання на даних публічних закупівель системи Prozorro. Здійснено тестування системи на трьох рівнях: модульне тестування серверної частини, модульне тестування ML-мікросервісу та інтеграційне тестування взаємодії між ними. Експериментальні результати підтверджують працездатність розробленого програмного комплексу.

Викладений матеріал засвідчує, що структура дисертації побудована послідовно і логічно, а кожен розділ продовжує попередній та є необхідним для розв'язання поставлених завдань.

Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення результатів дисертації підтверджується впровадженням розробленого програмного комплексу в роботу Запорізької районної ради Запорізької області, де він забезпечує аналітичну підтримку при формуванні програм відбудови. Зокрема, модуль обліку пошкоджень з фотофіксацією формує систематизовану інформаційну базу, підсистема OLAP-аналітики надає зведення за періодом, категорією та типом об'єктів, а ML-мікросервіс прогнозує орієнтовну вартість відновлення на основі цифрового профілю об'єкта. У сукупності ці функції дають змогу обґрунтовано визначати пріоритетність включення об'єктів до переліків відновлення та оцінювати орієнтовну потребу у фінансуванні ще до розробки проєктно-кошторисної документації, що особливо важливо в умовах обмеженості бюджетних ресурсів та неповноти вхідних даних.

Дотримання академічної доброчесності

У дисертаційній роботі та наукових публікаціях В. В. Білого відсутні порушення академічної доброчесності.

Зауваження до змісту та оформлення дисертації

До рецензованої роботи є деякі зауваження:

1. Процедура перевірки результатів SHAP-інтерпретації було б доречно винести в окремий пункт із розгорнутим описом.
2. В описі гібридної архітектури основну увагу приділено функціональним аспектам взаємодії вебзастосунку та ML-мікросервісу. Доцільно було б додатково навести й нефункціональні характеристики, наприклад: час відгуку мікросервісу та можливості його масштабування.

Висловлені зауваження не знижують загальної високої оцінки дисертаційного дослідження та можуть бути предметом подальших досліджень автора.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам

Дисертаційна робота Білого Віталія Вікторовича «Підтримка прийняття рішень щодо відновлення пошкоджених об'єктів за умов невизначеності на основі інтелектуальних технологій» є завершеною самостійною науковою

працею, яка містить нові, актуальні наукові результати, що в сукупності забезпечують розв'язання важливої науково-практичної проблеми підтримки прийняття рішень щодо відбудови пошкоджених об'єктів інфраструктури в умовах невизначеності.

Дисертація повністю відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року, а її автор Білий Віталій Вікторович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 124 «Системний аналіз».

Завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж
Національного університету «Запорізька політехніка»,

к.т.н. доцент



Равіль КУДЕРМЕТОВ

Підпис Кудерметова Р. К. засвідчую:
Учений секретар вченої ради
Національного університету «Запорізька політехніка»,

к.соц.н. доцент



Віктор КУЗЬМІН