

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата фізико-математичних наук, доцента **Хом'як Тетяни Валеріївни** 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 обраної теми дисертації

Системи підтримки прийняття рішень є одним з ключових напрямів сучасного системного аналізу. Їх побудова поєднує методи теорії прийняття рішень, інтелектуального аналізу даних та засоби візуалізації результатів. На сучасному етапі особливість таких систем полягає в тому, що поряд із класичним аналітичним інструментарієм у них дедалі ширше застосовуються методи машинного навчання. Це дозволяє автоматизувати отримання оцінок, які раніше формувалися виключно експертним шляхом. Таким чином, розробка інтегрованих СППР з інтелектуальною складовою є актуальним напрямом наукових досліджень.

Збройна агресія російської федерації проти України спричинила пошкодження значної кількості будівель та споруд. Планування їх відбудови є однією з прикладних задач, що потребує саме такого класу систем. Великий обсяг пошкоджених об'єктів, неповнота даних про їх стан та необхідність оперативно ухвалювати рішення в умовах обмеженого фінансування роблять ручне опрацювання кожного випадку нерациональним. Ефективному розв'язанню таких задач значно сприятиме інформаційно-аналітична система, що інтегрує облік пошкоджених об'єктів, аналітику даних та прогнозування вартості відновлення засобами машинного навчання.

Саме на побудову такої системи спрямована дисертаційна робота В. В. Білого. Запропонована автором інформаційно-аналітична система підтримки прийняття рішень щодо відновлення пошкоджених об'єктів поєднує зазначені вище функції в єдиному програмному рішенні, що визначає актуальність обраної теми та її повну відповідність спеціальності 124 «Системний аналіз».

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

Відповідно до мети, поставлених завдань, визначених об'єкта та предмета дослідження структура дисертації побудована послідовно і логічно. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У першому розділі «Роль інформаційно-аналітичних систем у підтримці прийняття рішень щодо відновлення пошкоджених об'єктів» здійснено аналіз сучасного стану проблеми, виконано огляд наявних інформаційно-аналітичних систем, підходів до побудови цифрових двійників та методів машинного навчання, що застосовуються для прогнозування вартості відновлення.

У другому розділі «Концептуальні основи побудови інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень щодо відновлення пошкоджених об'єктів» формалізовано задачу прийняття рішення щодо відбудови у вигляді кортежу D , що дозволяє системно представити множину альтернатив відбудови, критерії їх оцінювання та обмеження, пов'язані з належністю об'єкта до культурної спадщини. Окремо сформульовано задачу прогнозування вартості як регресійну задачу машинного навчання з використанням комбінованого кодування категоріальних ознак.

У третьому розділі «Розробка аналітичного та прогнозного забезпечення підтримки прийняття рішень щодо відновлення пошкоджених об'єктів у межах інформаційно-аналітичної системи» описано реалізацію системи, що включає модуль обліку, аналітичний блок (інтерактивну карту, графічну аналітику, OLAP-куб), цифровий двійник пошкодженого об'єкта з механізмом сценарного перерахунку вартості й SHAP-інтерпретацією та модуль віртуальних турів для збереження пам'яті про об'єкти культурної спадщини.

У четвертому розділі «Тестування системи та експериментальна верифікація моделей прогнозування» проведено порівняння алгоритмів машинного навчання на навчальній вибірці, сформованій з даних публічних закупівель системи Prozorro. Серед розглянутих алгоритмів найкращі показники точності за метрикою середньої абсолютної похибки (MAE) продемонстрував XGBoost, який і обрано як основну прогнозну модель. Окремо представлено результати функціонального тестування програмного коду, що підтверджують працездатність розробленого рішення.

Висунуті дисертантом пропозиції слід вважати раціональними, такими, що сприятимуть впровадженню сучасних інформаційних технологій у процеси планування відбудови та створять основу для обґрунтованого ухвалення управлінських рішень в умовах невизначеності.

Наукова новизна результатів дослідження

До найважливіших результатів дисертаційної роботи можуть бути віднесені:

- вперше запропоновано концепцію інформаційно-аналітичної системи підтримки прийняття рішень щодо відбудови, яка побудована на основі гібридної архітектури (веб-застосунок з відокремленим мікросервісом машинного навчання) 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: для номінальних застосовано one-hot, а для порядкових – фазифікацію з трикутними функціями належності, що забезпечує коректну передачу їх внутрішньої градації та підвищує точність прогнозування.

Достовірність досліджень, повнота відображення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих автором дисертацій працях

Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані в дисертації, є достовірними. Це підтверджується аналізом наукових праць та програмних рішень вітчизняних і зарубіжних авторів у сфері підтримки прийняття рішень, машинного навчання та інформаційних технологій, використанням реальних даних публічних закупівель системи Prozorro для побудови та валідації моделей прогнозування, а також впровадженням теоретичних результатів дисертаційного дослідження у діяльність Запорізької районної ради.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 8 наукових працях, з яких 3 статті у наукових фахових виданнях України (1 з них – у виданні, що індексується в базі Scopus), 1 публікація у матеріалах міжнародної наукової конференції, індексованої в Scopus, та 4 тези доповідей наукових конференцій. Кількість та обсяг друкованих робіт відповідають вимогам до публікації основного змісту дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення результатів дослідження підтверджується впровадженням теоретичних результатів дисертаційного дослідження у діяльність Запорізької районної ради Запорізької області. Розроблена інформаційно-аналітична система забезпечує підтримку управлінських рішень щодо фіксації пошкоджень та планування відновлення об'єктів. Зокрема, вона дозволяє вести систематизовану інформаційну базу з фотофіксацією та отримувати орієнтовні оцінки вартості відновлення на етапах попередньої оцінки потреби у фінансуванні.

Дисертаційне дослідження виконано в межах планів науково-дослідних робіт кафедри системного аналізу та обчислювальної математики Національного університету «Запорізька політехніка» за темами: «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).

Відповідність роботи вимогам МОН України

Дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, виконана на достатньо високому науково-теоретичному рівні, оформлена у повній відповідності з нормами і правилами Міністерства освіти і науки України щодо написання та оформлення дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Зауваження та пропозиції до дисертаційної роботи:

1. Модель прогнозування вартості відновлення навчена на обмеженій за обсягом вибірці даних публічних закупівель системи Prozorro. Доцільно було б розглянути можливість розширення вибірки за рахунок інших джерел даних або застосування методів аугментації, що могло б додатково підвищити точність моделі.

2. У роботі обробка та підготовка даних для навчання моделі виконуються засобами Python. Доцільно було б детальніше описати цей процес – зокрема зазначити, який саме підхід застосовано (ETL чи ELT), та більше розкрити основні етапи: очищення, валідації та трансформації даних з системи Prozorro перед подачею до моделі прогнозування.

3. OLAP-куб реалізовано на основі основної реляційної бази даних MySQL з агрегацією засобами SQL-запитів. Доцільно було б розглянути

можливість виокремлення спеціалізованого сховища даних зі схемою «зірка» або іншою, а також застосування спеціалізованих OLAP-інструментів (наприклад, Power BI), що могло б підвищити продуктивність аналітичного блоку при зростанні обсягу даних.

Вказані зауваження мають рекомендаційний характер і не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної дисертаційної роботи. Наукова новизна, практичне значення результатів та їх апробація аргументовані, кількість публікацій цілком достатня.

Загальний висновок

Дисертація Білого Віталія Вікторовича на тему «Підтримка прийняття рішень щодо відновлення пошкоджених об'єктів за умов невизначеності на основі інтелектуальних технологій» є самостійною та завершеною науково-дослідною роботою, а отримані наукові результати характеризуються новизною та мають практичну цінність.

Тема, зміст, об'єкт та предмет виконаного дослідження відповідають напрямку 124 – Системний аналіз.

Дисертація є завершеним науковим дослідженням, за своїм змістом і якістю відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України, що висуваються до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії, 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 від 12 січня 2022 р. № 44. Це дає можливість зробити висновок про те, що Білий Віталій Вікторович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 124 «Системний аналіз».

Офіційний опонент,
кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри
системного аналізу та управління
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

Тетяна ХОМ'ЯК

