

## ВІДГУК

офіційного опонента

професора кафедри комп'ютерної інженерії та програмування Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», доктора технічних наук, професора Кучука Георгія Анатолійовича на дисертаційну роботу Зарецького Миколи Олександровича «Моделі та методи інтелектуальної інформаційної технології оцінювання функціонального стану труб водовідведення», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 – інформаційні технології за спеціальністю 122 – комп'ютерні науки

**Ступінь актуальності теми дисертаційної роботи.** Застосування інформаційних технологій відеоінспекції забезпечує найкраще співвідношення ціни та інформативності щодо оцінювання функціонального стану інфраструктури водопостачання і водовідведення. Традиційним підходом до автоматизації аналізу даних є використання інтелектуальних інформаційних технологій, які моделюють когнітивні процеси, що притаманні людині під час прийняття рішень. Проведений дисертантом аналіз наукових джерел показав, що візуальні спостереження в інспекції труб водовідведення досить сильно відрізняються від зображень відкритих наборів даних, що знижує ефективність використання техніки переносу знань (transfer learning) для початкової ініціалізації моделі аналізу даних. При цьому неоднозначність кодування дефектів складної конфігурації, висока варіативність візуальних спостережень, рутинність і дороговартісність розмітки даних, обумовлюють обмеженість обсягу і високу незбалансованість розмічених навчальних даних, що обмежує ефективність традиційних методів навчання з учителем. Залежність кодування функціонального стану труби від зміни рівня води, орієнтації камери і дефектів під час відеоінспекції, наявності значної кількості артефактів та шумів обумовлюють необхідність врахування просторово-часової контекстної інформації. Тому одним із складних завдань, на дослідження якого спрямована дисертаційна робота, є створення інтелектуальної інформаційної технології машинного навчання для автоматичного аналізу даних відеоінспекції труб водовідведення за умов обмеженого обсягу навчальних даних та ресурсів, доступних для навчання та обслуговування системи. Водночас вирішення цього завдання полягає в необхідності аналізу просторово-часової контекстної інформації. Таким чином, врахування просторово-часового контексту і впливу шумових факторів під час формування ознакового опису спостережень, а також забезпечення ефективності машинного навчання за умов обмеженого і незбалансованого обсягу розмічених даних є надзвичайно актуальною проблематикою для автоматизації оцінювання функціонального стану труб водовідведення. Наукові задачі, розв'язання яких відображено у дисертаційній роботі, присвячені автоматизації процесу оцінювання функціонального стану труб водовідведення за даними відеоінспекції через розроблення інформаційної



технології інтелектуального аналізу даних, є актуальними та затребуваними в практичній діяльності.

З огляду на вищевказане, можна стверджувати, що тема дисертаційного дослідження «Моделі та методи інтелектуальної інформаційної технології оцінювання функціонального стану труб водовідведення» є **актуальною**.

**Зв'язок теми дисертаційної роботи з науковими планами, програмами, фундаментальними та прикладними дослідженнями.** Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки в Україні на період до 2022 року з розділу «Інформаційні та комунікаційні технології» і стратегічним пріоритетним напрямкам інноваційної діяльності в Україні на 2011–2022 рр. «Розвиток сучасних інформаційних, комунікаційних технологій, робототехніки». Дисертаційна робота була виконана у межах науково-дослідних робіт кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету, за темами «Інтелектуальна автономна бортова система безпілотного літального апарату для ідентифікації об'єктів на місцевості» (ДР № 0117U003934), «Методи та математичні моделі сучасних інформаційно-комунікаційних технологій» (ДР № 0112U006083), «Інформаційна технологія забезпечення резильєнтності систем штучного інтелекту для захисту кіберфізичних систем» (ДР № 0122U000782) згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України. У цих науково-дослідних роботах автор брав активну участь як виконавець.

**Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі.** Ґрунтовно проаналізувавши дисертаційну роботу можна відмітити, що наукові положення, висновки та рекомендації, що висвітлені в роботі, є достатніми, повними, а також належними чином повністю обґрунтованими. Для їх отримання та підтвердження автором було проведено як теоретичні, так і емпіричні, експериментальні дослідження, при цьому використовувалися вітчизняні та міжнародні вузькопрофільні та актуальні джерела. Достовірність положень і висновків зроблених автором підтверджується використанням класичних і сучасних методів досліджень, зокрема глибокого логічного аналізу літературних джерел, коректністю поставлених актуальних завдань, що потребують розв'язання та вирішення, методів технології штучних нейронних мереж, теорії інформації і кодування. Результати експериментальних та теоретичних досліджень доповідались та обговорювались на міжнародних науково-технічних конференціях, а також опубліковані в наукових фахових виданнях. Крім того про достовірність отриманих результатів свідчить їх взаємоузгодженість, відповідність літературним даним і позитивні результати впровадження. У результаті проведення дисертаційного дослідження дисертанту вдалось розкрити та вирішити в повному обсязі мету та завдання, що були сформульовані на початку. До кожного пункту роботи приведені логічні висновки, які дозволяють коротко та повно зрозуміти суть кожного етапу дослідження та практичну значущість отриманих результатів. Наприкінці дисертаційної роботи також наводяться загальні висновки, що в повній мірі



відображають та логічно поєднують отримані результати та дають можливість їх використання на практиці.

Вищевикладене свідчить про обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, що викладено у дисертаційній роботі Зарецького Миколи Олександровича.

**Наукова новизна положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації. Наукова та практична цінність.** Наукова новизна отриманих результатів обумовлена теоретичним узагальненням і новим рішенням важливого наукового завдання, сутність якого полягає в автоматизації процесу оцінювання функціонального стану трубопроводу водовідведення за даними відеоінспекції через розроблення інформаційної технології інтелектуального аналізу даних. У дисертаційній роботі Зарецький Микола Олександрович отримав такі основні науково обґрунтовані результати:

вперше розроблено метод навчання ієрархічного екстрактора ознак, що на відміну від відомих, забезпечує підвищення функціональної ефективності вирішувальних правил за умов зашумленості та незбалансованості навчальних даних шляхом поєднання принципів переносу знань, сіамських мереж, контрастного самонавчання та самокоректуючих двійкових кодів;

удосконалено моделі екстракції ознакового опису спостережень шляхом поєднання локальної і просторово-часової візуальної контекстної інформації, що дозволяє підвищити інформативність ознакового опису відеоспостережень інспекції трубопроводу водовідведення за умов неповної визначеності;

одержали подальшого розвитку моделі і алгоритми синтезу вирішувальних правил для класифікаційного аналізу спостережень, які ґрунтуються на композиції моделей та оптимізації параметрів класифікаційних вирішувальних правил та гіперпараметрів екстрактора ознак за інформаційним критерієм.

Робота має чітку послідовність постановки задач та отриманих рішень, достатню доказову базу та аргументованість результатів. Використано сучасний математичний апарат для реалізації сформованої мети. Порівняльні оцінки запропонованих автором нових рішень щодо результатів, які отримані провідними вченими та дослідниками в галузі, достатньо аргументовані та відповідають списку приведених першоджерел. Висновки та рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі, враховують сутність та актуальність наукового завдання роботи та її мету, вони є придатними для практичного використання.

Усі теоретичні розробки дисертації автор довів до конкретних інженерних методик та алгоритмів. На основі запропонованих моделей, методів та алгоритмів реалізовано хмарний сервіс аналізу даних відеоінспекції труб водовідведення, що дозволяє підвищити достовірність рішень і відповідно рівень автоматизації формування звітів про функціональний стан інфраструктурних об'єктів водовідведення.

**Значення результатів дисертаційної роботи для науки та практики, шляхи використання.** Практичне значення та подальша реалізація результатів дисертаційної роботи щодо інтелектуальної інформаційної технології



оцінювання функціонального стану труб водовідведення, якій присвячені наукові дослідження, дозволяє підвищити точність та зменшити вартість автоматичного формування звітів. Практичне значення одержаних результатів роботи підтверджується: розробленими моделями і методом машинного навчання, що забезпечує точність 98% для класифікаційного аналізу дефектів у контексті спостереження з орієнтацією камери вперед вздовж труби, що перевищує на 11% результат традиційного підходу до навчання з кінця-в-кінець з повнозв'язним шаром класифікації. При цьому отримана точність класифікації дефектів в рамках запропонованого підходу перевищує на 6% результати отримані іншими авторами, і дозволяє отримати більшу точність звітів про функціональний стан труб водовідведення. Як зазначено у четвертому розділі дисертаційної роботи, за результатами перевірки 100 звітів про інспекцію, які не брали участь у формуванні навчальної вибірки, було отримано оцінку повної ймовірності помилкових рішень під час формування звітів, яка не перевищує 3%, що свідчить про прийнятний для практичного використання рівень точності. Практична значущість отриманих результатів дослідження підтверджується наявністю конкретних висновків, рекомендацій, а також актами впровадження результатів дисертаційної роботи у практичній діяльності підприємств: КП "Міськводоканал" СМР (м. Суми) у вигляді інформаційного та програмного забезпечення для підготовки персоналу та проведення інспекції каналізаційної мережі (довідка про впровадження від 26.11.2021 р.), ТОВ "РОЗУМНІ ТЕХНОЛОГІЇ «ТИТУТУЛ»" (м. Суми) у вигляді програмного забезпечення з запропонованим методом навчання ієрархічного екстрактора ознак кадрів відеомоніторингу (акт впровадження від 21.09.2021), ТОВ "НОРД ТРЕК" (м. Шостка, Сумська область) у вигляді моделі екстракції ознакового опису даних відеоінспекції інфраструктури водовідведення (акт впровадження від 05.05.2023 р.) та компанії Molfar.AI sp. z o.o., (місто Гданськ, Польща) у вигляді алгоритму синтезу вирішувальних правил для класифікаційного аналізу дефектів труб водовідведення (акт впровадження від 21.09.2021 р.). Одержані результати дослідження впроваджено в навчальний процес кафедри комп'ютерних наук Сумського державного університету в рамках викладання дисципліни «Introduction to data science» (акт впровадження від 21.09.2021).

**Повнота викладення наукових і прикладних результатів дисертації в опублікованих працях.** За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 17 наукових праць, з яких 7 статей у періодичних фахових виданнях ВАК України категорії А, 4 статті у періодичних фахових виданнях ВАК України категорії Б, 1 стаття у закордонному періодичному виданнях, що індексується наукометричною базою Scopus, 5 публікацій у збірниках матеріалів міжнародних конференцій (зокрема, 3 у виданнях, що індексуються наукометричною базою Scopus). Крім того, отримано 4 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір (комп'ютерна програма), що відповідає реалізації складових інформаційного забезпечення. Основні результати дисертаційної роботи у цих публікаціях відображено достатньо повно.



**Оцінка змісту дисертації, її завершеності й оформлення.** Побудова дисертації відповідає прийнятим для наукового дослідження нормам. Усі положення, винесені на захист, висвітлені в тексті дисертації. Зміст дисертаційної роботи відповідає її назві.

Дисертація написана грамотною науковою мовою та оформлена відповідно до існуючих нормативних документів, текст і графічний матеріал виконані акуратно з використанням комп'ютерної техніки.

Дисертація складається з анотацій, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел і 2 додатків. Обсяг основного тексту дисертації (без анотацій, змісту, списку використаних джерел і додатків) становить 140 сторінок, що відповідає встановленим вимогам.

У **вступі** автором представлена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність наукової теми, сформульовані мета і задачі дослідження, відображено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів і висновків, наведено дані щодо їх апробації та впровадження.

У **першому розділі** дисертації проведений аналіз сучасних напрямків підвищення ефективності процесу інспекції труб водовідведення. Зокрема, проаналізовані сучасний стан та тенденція розвитку технологій інспекції труб водовідведення, існуючі методи, моделі та алгоритми екстракції ознакового опису відеозображень та ідентифікації об'єктів інтересу на зображеннях відеоінспекції.

У **другому розділі** роботи проаналізовано особливості процесу відеоінспекції труб водовідведення та питання синтезу моделі інтелектуального аналізу даних для підвищення достовірності звітів про інспекцію, наведені моделі та методи навчання нейронної мережі для оцінювання функціонального стану труб водовідведення. Проведений аналіз слабо формалізованого процесу оцінювання функціонального стану труб водовідведення та обґрунтований вибір методу досліджень. Формалізована постановка задачі моделі відображення множин для опису процесу навчання. Обрані критерії оцінювання ефективності моделі класифікаційного аналізу даних. Запропоновані моделі екстракції ознакового опису спостережень.

У **третьому розділі** роботи запропоновані алгоритми оптимізації параметрів функціонування здатної навчатися системи відеомоніторингу труб водовідведення, досліджено вплив архітектурних рішень і гіперпараметрів на функціональну ефективність машинного навчання та розроблені методи оптимізації параметрів моделі аналізу даних відеоінспекції труб водовідведення. Зокрема, запропонований метод оптимізації параметрів моделі класифікаційного аналізу зображень з використання нерозмічених та розмічених даних, проведена оптимізація параметрів моделі розпізнавання контекстів спостереження, моделі оцінки рівня води в трубопроводі водовідведення, моделей розпізнавання дефектів труб водовідведення.

**Четвертий розділ** роботи присвячений інформаційному та програмному забезпеченню інтелектуальної системи оцінювання функціонального стану трубопроводу водовідведення. Автором розроблені структурні та функціональні



схеми, представлено деталі реалізації інформаційного та програмного забезпечення інформаційної технології аналізу даних відеоінспекції водовідведення, що функціонує за умов інформаційних та ресурсних обмежень. Запропоновано структуру і програмну реалізацію хмарного сервісу для аналізу даних відеоінспекції з автоматичним формуванням звітів.

**Зауваження до дисертаційної роботи.** В процесі ознайомлення з роботою позитивне враження справила практична спрямованість роботи, докладне обґрунтування усіх висунутих у роботі положень.

Але при цьому виникли такі зауваження та недоліки:

1. Постановочна частина дисертації виглядала б краще, якби у першому підрозділі першого розділу більш наглядно (у вигляді діаграм та графіків) були б наведені результати аналітичного огляду сучасних засобів аналізу зібраних даних відеоінспекції на основі інтелектуальних технологій. Це підвищило б ступінь обґрунтованості зробленого автором висновку, що дані технології не забезпечують високий рівень автоматизації внаслідок недостатньої достовірності сформованих звітів.

2. У другому розділі роботи при розробці моделі для оцінювання функціонального стану труб водовідведення не деталізовано, як враховувати зміну матеріалу труб. Виникає питання: чи є різниця у підході до побудови моделі і методу навчання залежно від матеріалу труб водовідведення?

3. У третьому розділі було б доцільно привести порівняння ефективності моделей при різних значеннях гіперпараметрів.

4. У третьому підрозділі четвертого розділу автор пропонує для зберігання початкових та оброблених системою відеофайлів інспекцій сервіс Amazon S3. Без сумніву, даний сервіс має багато переваг, особливо при проведенні автоматичного масштабування, використанні функцій безпеки, забезпеченні надійності та стійкості збереження даних. Бажано було б ще провести вартісний аналіз даного сервісу для різних обсягів зберігання даних та трафіку переносу даних.

5. За текстом дисертації недостатньо зрозуміло за рахунок чого комбінування методів покращує результат навчання. Виникає питання: чи має автор, окрім експериментального, теоретичне пояснення отриманому покращенню результатів, якщо кількість параметрів моделі суттєво не змінюється порівняно з традиційними підходами?

6. Результати наукових досліджень автора отримали широке впровадження у відповідних виробничих компаніях та організаціях українських міст Суми та Шостка і польського міста Краків. Без сумніву, це вражаючі результати, але на мою думку, робота ще б виграла, якщо б були більш детально розкриті результати проведеної реалізації, наприклад, наприкінці четвертого розділу. Це ще б підсилило висновки автора щодо практичної цінності дисертаційного дослідження.

**Відповідність дисертації встановленим вимогам і загальні висновки.** Зазначені недоліки суттєво не впливають на загальне позитивне враження від роботи, не зменшують її якості, а також наукової та практичної цінності. Вони не є



визначальними і можуть бути враховані як напрямки подальших досліджень. Під час вивчення та аналізу дисертаційної роботи **випадків порушення академічної доброчесності** виявлено не було.

За змістом, актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною значимістю одержаних результатів дисертаційна робота “ Моделі та методи інтелектуальної інформаційної технології оцінювання функціонального стану труб водовідведення ” відповідає вимогам п.п. 6–9 “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, із змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 341 від 21.03.2022, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор, Зарецький Микола Олександрович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – комп’ютерні науки.

Професор кафедри комп’ютерної інженерії та програмування  
Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»  
доктор технічних наук, професор

Георгій КУЧУК

“ 14 ” серпня 2023 р.

Підпис *проф. Георгій Кучук*  
ЗАСВІДЧУЮ:  
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР  
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”  
14 08  
" "

ЗАЙЦЕВ Ю. І.

