

ВІДГУК

офіційного опонента

Бушуєвої Наталії Сергіївни

на дисертаційну роботу

Буренка Володимира Олександровича

«Математичні моделі для обробки інформації в комп'ютерних системах

енергонезалежних інформаційно-вимірювальних мереж»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 «Інформаційні технології»

за спеціальністю 122 – «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дисертаційного дослідження. У сучасних умовах масштабованої гнучкої розробки комп'ютерних систем (КС) «Розумного міста» значно зростають ризики, пов'язані з високою складністю проєктів, швидкою зміною вимог, розподіленістю команд, які приймають рішення щодо поточної роботи КС, і впровадженням новітніх технологій, зокрема, пов'язаних з необхідністю забезпечити енергонезалежність складових інфраструктури «Розумного міста». Особливу актуальність набувають ризики, пов'язані з необхідністю прийняття рішень у режимі реального часу задля забезпечення стабільної роботи підсистем КС «Розумного міста», наприклад, таких як підсистема міського пасажирського транспорту (МПТ), які характеризуються високим рівнем невизначеності, етичними та безпековими викликами. Традиційні підходи до управління ризиками виявляються недостатньо ефективними, оскільки не забезпечують необхідного рівня гнучкості, не враховують приховані залежності між ризиками та не адаптуються до змін оточуючих умов та виникаючих додаткових проблем.

Тому виникає потреба в інтегрованих математичних моделях, які поєднують якісні й кількісні методи оцінки ризиків, здатні підтримувати процес прийняття рішень в умовах багатофакторної невизначеності.

Запропоновані в роботі математичні моделі та вдосконалені методи, на відміну від відомих з використанням нейромереж, мають значно меншу обчислювальну складність та не потребують апаратного прискорення, що дозволяє ефективно оцінювати ризики, оптимізувати стратегії реагування та формувати обґрунтовані управлінські рішення у режимі реального часу.

Дисертаційне дослідження Буренка В. О. присвячено підвищенню ефективності використання зображень з камер відеоспостереження у складі інформаційно-вимірювальних мереж (ІВМ) за рахунок розробки математичних моделей, які забезпечують виділення ознак образів, методів аналізу отриманої інформації та прийняття рішення для оптимізації функціонування прикладних КС при реалізації концепції «Розумного міста». Це зумовлює як наукову, так і прикладну значущість теми, що відповідає актуальним викликам у сфері прикладних інформаційних технологій.

Проблематика дисертаційного дослідження відповідає Програмі ООН «Перетворення нашого світу: порядок денний у сфері сталого розвитку до 2030 року», зокрема Цілі 11 «Сталий розвиток міст і громад», та Програмі ЄС «Цифрова Європа» (DIGITAL), результати роботи використано у науково-дослідних роботах з № держреєстрації 0118U000193 та 0117U007144, в яких здобувач приймав участь як виконавець.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Дисертаційне дослідження Буренка В. О. відзначається належною теоретико-методологічною обґрунтованістю та базується на сучасних підходах системного аналізу, моделювання цілей, багатокритеріального оцінювання, а також на ефективному застосуванні та подальшому розвитку методу аналізу ієрархій Т. Сааті. Шляхом поєднання зазначеного методу з перевагами моделі BOCR підвищено ефективність групових рішень для розв'язання задачі вибору транспортних засобів при логістичному забезпеченні міських пасажироперевезень. Усі наукові

положення, висновки та рекомендації логічно випливають із результатів дослідження, є взаємопов'язаними та методично обґрунтованими.

Достовірність результатів підтверджується як теоретичними, так і експериментальними методами: імітаційним моделюванням, сценарними обчисленнями, а також узгодженістю запропонованих моделей з актуальними проблемами управління МПТ у масштабованих проєктах розвитку «Розумних міст» в Україні, зокрема, на прикладі м. Миколаїв.

Основні результати дослідження опубліковано у 5 фахових наукових виданнях України. Матеріали дисертаційної роботи представлені на 1 міжнародній науково-практичній конференції, матеріали якої індексуються у міжнародній наукометричній базі Scopus, та пройшли апробацію через участь у міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях. Усі положення, висновки й рекомендації дисертаційної роботи відповідають поставленій меті, підтверджують досягнення науково-прикладного результату та є обґрунтованими з позицій теорії, методології й практики управління ризиками в масштабованих інформаційно-вимірювальних мережах (ІВМ).

Наукова новизна. Дисертаційна робота Буренка В. О. становить вагомий науковий внесок у галузі управління ризиками в масштабованій гнучкій розробці підсистем КС «Розумне місто». Вперше у межах дослідження запропоновано математичну модель оброблення RGB-гістограм зображень з ІР-камер КС «розумне місто», яка, на відміну від існуючих моделей обробки зображень, забезпечує визначення рівня наповненості зупинок МПТ пасажирями на основі запропонованих інтегрального та нормованого індексів наповненості кадрів. Автор розробив багаторівневу структуру моделі, що дозволяє оптимізувати у реальному часі систему подачі МПТ без ідентифікації об'єктів та розпізнавання облич із залученням складних нейромережових алгоритмів, в умовах обмежених обчислювальних ресурсів обладнання КС «Розумне місто» та у складних умовах енергопостачання. Також уперше створена математична модель управління невизначеностями у системі підтримки прийняття рішень щодо вибору транспортних засобів для подачі на

завантажені пасажирами зупинки міського транспорту, за рахунок розщеплення критеріїв моделі BOCR на низку підкритеріїв з урахуванням особливостей побудови та функціонування підсистеми МПТ у складі КС «Розумне місто».

У межах роботи набув подальшого розвитку метод аналізу ієрархій шляхом урахування переваг моделі BOCR у процесі синтезу групових рішень, представлених у шкалах об'єктів нечислового характеру для розв'язання задачі вибору транспортних засобів при логістичному забезпеченні міських пасажироперевезень. Запропонований підхід дозволяє коректно працювати з експертними свідченнями, сформованими в умовах багатокритеріальності та складних форм невизначеності.

Крім того, удосконалено математичну модель оптимізованого енергоспоживання у локальних пунктах оброблення зображень експертами перевізників засобами IoT-пристроїв шляхом розподілу виконуваних процесором IoT-пристрою обчислень у розрізі ядер, що дозволяє зменшити коефіцієнт завантаженості процесора та збільшити час енергонезалежності хостів IBM КС «Розумне місто».

Практичне значення отриманих результатів полягає у підвищенні результативності процесу управління ризиками за рахунок впровадження розробленої інформаційно-комп'ютерної технології (ІКТ), яка поєднує:

- процес оброблення RGB-гістограм зображень з IP-камер КС «Розумне місто» на основі запропонованого інтегрального індексу наповненості зупинок;
- багатфакторний аналіз вибору ТЗ для подачі на визначені зупинки;
- підтримку прийняття рішень підгрупами експертів на основі узгодженості оціночних суджень;
- візуалізацію актуальної інформації про наповненість зупинок міського транспорту на вебінтерфейсі, у єдиній архітектурі підсистеми МПТ.

Розроблена ІКТ, інтегрована у підсистему МПТ комп'ютерної системи «Розумне місто», спрямована на синтез консолідованих експертних рішень щодо диспетчеризації пасажирських транспортних засобів у режимі реального часу, з урахуванням факторів невизначеності та нечіткості вхідної інформації, для підтримки прийняття рішень з організації бізнес-процесу пасажирських перевезень міським автотранспортом на основі аналізу рівня наповненості зупинок за даними з ІР-камер ІВМ КС «Розумне місто» м. Миколаєва.

Розроблені моделі та методи є придатними для застосування як у малих, так і в масштабних ІТ-проектах, забезпечуючи універсальність їх практичного використання в організаціях різного масштабу. Це значно підвищує цінність результатів дослідження для впровадження у практику сучасних ІТ-компаній та міського господарства, що підтверджено відповідними актами впровадження, наведеними у додатку Б.

Повнота викладу результатів роботи. Результати дисертаційного дослідження Буренка В. О. належно відображені в опублікованих наукових працях. За темою дисертації автором опубліковано 17 наукових робіт, які всебічно охоплюють основні положення та результати дослідження. Серед них 5 статей у періодичних фахових наукових виданнях України, 8 тез доповідей на наукових конференціях різного рівня, 1 стаття у зарубіжному періодичному науковому виданні держави ЄС, 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір, 1 патент на корисну модель, що засвідчує ґрунтовність теоретичної бази досліджень та їх прикладну спрямованість.

У публікаціях, створених у співавторстві, внесок здобувача чітко зазначено в тексті дисертаційної роботи, що свідчить про дотримання норм академічної доброчесності та відповідальності у здійсненні наукової діяльності.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 «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 12.01.2022 № 44 з урахуванням змін.

Оцінка змісту дисертації. Дисертаційна робота викладена на 190 сторінках комп'ютерного друку, складається з анотації (українською та англійською мовами), вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (після кожного з розділів) та шести додатків. За структурою, мовою та стилем викладення дисертаційна робота відповідає вимогам МОН України.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету та завдання роботи, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проаналізовано сучасні підходи до актуальності проблематики та рівня її опрацювання, що стосується виявлення людей і визначення ступеня наповненості просторових об'єктів на основі оброблення візуальних даних. Виявлено обмеження традиційних моделей, які не враховують специфіку гнучких методологій та обґрунтовано необхідність створення адаптивних математичних моделей для обробки інформації в КС енергонезалежних ІВМ. Виокремлено основні чинники ризику, зокрема складність координації команд, нестабільність вимог і технічні обмеження у процесі прийняття рішень при вирішенні не тільки стратегічних, але й поточних проблем організації функціонування підсистем «Розумного міста» (зокрема й транспортної підсистеми пасажирських перевезень), сформульовано узагальнені основні напрями дослідження.

У другому розділі розглянуто системний підхід до класифікації та моделювання основних компонентів ІВМ КС «Розумне місто». Запропоновано математичну модель аналізу RGB-зображень з IP-камер ІВМ КС «Розумне місто» з введенням інтегрального та нормованого індексів наповненості кадру для розроблення системи визначення рівня наповненості пасажирами зупинок

міського автотранспорту та математичну модель оптимізованого енергоспоживання для підвищення часу енергонезалежності локальних пунктів оброблення зображень експертами перевізників засобами IoT-пристроїв.

У третьому розділі розглянуто процеси побудови та прийняття рішень на основі концептуальних ієрархічних, маргінальних (з обмеженнями за двома критеріями) і багатокритеріальних математичних моделей; розроблено вдосконалену модель, в якій виконується розщеплення основних критеріїв на підкритерії, кількість та зміст яких може варіюватись в залежності від зміни оточуючих умов та виникаючих додаткових проблем. Виконано подальший розвиток методу аналізу ієрархій шляхом поєднання з перевагами моделі BOCR у процесі синтезу групових рішень для розв'язання задачі вибору транспортних засобів при логістичному забезпеченні міських пасажироперевезень.

Четвертий розділ присвячено розробленню програмних засобів реалізації ІКТ на основі математичних моделей та методів, розглянутих у попередніх розділах. Реалізовано механізм хмарного резервування даних, отриманих з IP-камер, з їх подальшою трансляцією до диспетчерського центру. Це забезпечує можливість оперативного планування перевезень на основі інтерактивної карти з актуальними маршрутами та зупинками. Серія проведених випробувань на МПТ м. Миколаїв підтвердила надійність роботи алгоритмів у різних умовах експлуатації.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Таким чином, у дисертаційній роботі наукове завдання було виконано в повному обсязі, і здобувач глибоко осягнув методологію наукових досліджень.

Академічна доброчесність. Поршень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові

результати роботи, не виявлено. Наукові результати, які винесено здобувачем на захист, отримано самостійно і висвітлено в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використано тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

Зауваження до змісту дисертаційної роботи

1. Автор справедливо критикує сучасні deep learning архітектури за їхню високу енергоємність. Проте у аналітичному огляді літератури (Розділ 1) поза увагою здобувача залишилися сучасні методи оптимізації самих нейромереж (такі як квантування моделей до INT8 або прунінг), які також дозволяють запускати легкі архітектури на IoT-пристроях.

2. Метод обробки RGB-гістограм для визначення індексу SFI передбачає використання еталонного зображення порожньої зупинки. У другому розділі варто було б чіткіше описати алгоритм автоматичного оновлення цього еталону у випадку зміни зовнішніх умов (наприклад, появи на зупинці постійного стороннього об'єкта — сміттевого бака, рекламного банера тощо).

3. У третьому розділі, при описі багатокритеріальної моделі підтримки прийняття рішень щодо виділення додаткового транспорту, автор використовує експертні оцінки. Проте в роботі бракує аналізу чутливості матриць попарних порівнянь до суб'єктивних помилок експертів підгрупи.

4. Запропонована модель підтримки прийняття рішень (Розділ 3) оперує поняттям «підгрупи експертів». Проте в роботі відсутній чіткий математичний критерій виключення з розрахунків думок тих експертів, чії оціночні судження демонструють критично низький рівень узгодженості (наприклад, за коефіцієнтом конкордації).

5. У третьому розділі при описі багатокритеріального вибору транспортного засобу (ТЗ) для подачі на зупинку автор оперує критеріями місткості, часу прибуття та поточного навантаження мережі. Проте в роботі недостатньо чітко розкрита математична процедура нормування

(масштабування) цих критеріїв, оскільки вони мають різну розмірність (пасажери, хвилини, відсотки), що може призвести до зміщення пріоритетів при розрахунку глобального вектора.

6. У підрозділі 3.2 автор описує багатокритеріальну модель підтримки прийняття рішень для оперативного керування пасажирськими перевезеннями в м. Миколаєві. Проте у роботі детально не обґрунтовано, за якою саме математичною закономірністю (лінійною, експоненціальною чи ступінчастою) змінюються вагові коефіцієнти критеріїв оптимізації при зміні інтегрального індексу наповненості зупинок SFI від 0 до 1. Відсутність формалізації цієї динаміки ускладнює оцінку плавності перемикання режимів роботи транспортної мережі.

Зазначені зауваження не є принциповими, носять дискусійний характер і жодним чином не применшують наукової новизни, рівня обґрунтованості та прикладної значущості отриманих результатів.

Висновки. Дисертаційна робота Буренка Володимира Олександровича є завершеною кваліфікаційною науковою роботою, яка містить науково-обґрунтовані результати, має наукову новизну та дає перспективи подальших досліджень. Тематика проведених досліджень за змістом відповідає галузі знань 12 «Інформаційні технології» та спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

Враховуючи актуальність теми, отримані результати та практичну значущість, вважаю, що дисертаційна робота Буренка Володимира Олександровича «Математичні моделі для обробки інформації в комп'ютерних системах енергонезалежних інформаційно-вимірювальних мереж» відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пп. 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою КМУ від 12 січня 2022 року № 44 зі змінами від 21.03.2022, 19.05.2023 та 03.05.2024 (відповідно до Постанов КМУ № 341, 502 та 507), та вимогам до

оформлення дисертації, затвердженим Наказом МОН України від 12.01.2017 № 40 зі змінами від 31.05.2019 (відповідно до Наказу МОН України № 759), а сам автор, Буренко Володимир Олександрович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» в галузі знань 12 «Інформаційні технології».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри управління проектами
Київського національного університету
будівництва та архітектури



Наталія БУШУЄВА