

ВІДГУК

доктора технічних наук, професора

Данченко Олени Борисівни

на дисертацію *Буренка Володимира Олександровича*

за темою «**Математичні моделі для обробки інформації в комп'ютерних системах енергонезалежних інформаційно-вимірювальних мереж**»,

яку подано на здобуття ступеня доктора філософії

за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

галузі знань 12 Інформаційні технології

1. Актуальність теми дослідження.

На сьогодні рівень конкурентоспроможності компаній значною мірою залежить від її здатності оперативно та обґрунтовано приймати управлінські рішення в різних галузях. У зв'язку з цим зростає необхідність виявлення системних проблем і факторів упередженості, що стримують сталий розвиток, наприклад, транспортної інфраструктури загалом і сфери пасажирських перевезень, зокрема в межах концепції «розумного міста» (англ. Smart City). Для вирішення актуальної науково-прикладної задачі необхідна розробка моделей та розвиток методів інформаційно-комп'ютерної технології (ІКТ) оптимізації транспортної підсистеми пасажирських перевезень у складі системи «розумного міста». Така задача є також актуальною, оскільки її вирішення сприяє автоматизації та оптимізації діяльності підприємств, які забезпечують роботу міського пасажирського транспорту (МПТ), полегшує аналіз можливих варіантів і забезпечує обґрунтований вибір найкращих рішень за заданими критеріями.

Актуальність задач багатокритеріального прийняття рішень також полягає в тому, що в реальних умовах управління, планування та аналізу доводиться враховувати множину суперечливих критеріїв, які впливають на вибір найкращого рішення. Це особливо важливо у випадках, коли необхідно знаходити компроміс між різними показниками ефективності, такими як витрати, ризики, можливості та вигоди системи.

Особливої актуальності набуває розробка ІКТ прийняття рішень для галузей, де помилки у прийнятті рішень можуть мати серйозні економічні або соціальні наслідки. Враховуючи це, тема дисертаційної роботи, яка спрямована на розробку ІКТ на основі побудованих математичних моделей для розв'язання задач багатокритеріального прийняття рішень в умовах ризику, невизначеності та нечіткої інформації в комп'ютерних системах (КС) енергонезалежних інформаційно-вимірювальних мереж (ІВМ) Smart City, є актуальною як з наукової, так і з практичної точки зору.

2. Наукова новизна одержаних результатів.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у наступному:

Вперше:

- розроблена математична модель оброблення RGB-гістограм зображень з IP-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, 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;
- розроблена математична модель управління невизначеностями у системі підтримки прийняття рішень щодо вибору ТЗ для подачі на завантажені пасажирями 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», що дозволяє полегшити побудову трудомістких експертних рішень для великомасштабних інформаційно-вимірювальних мереж КС «розумне місто».

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, що дозволяє коректно працювати з експертними свідцтвами, сформованими в умовах багатокритеріальності та складних форм невизначеності.

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».

3. Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення одержаних результатів підтверджується їх впровадженням у процес прийняття рішень комерційного та комунального підприємств, а також використанням матеріалів дисертаційного дослідження в освітньому процесі Національного університету кораблебудування імені адмірала С. О. Макарова при підготовці майбутніх фахівців у галузі інформаційних технологій. Відповідні акти впровадження наведені в додатку А кваліфікаційної роботи.

Дисертаційне дослідження демонструє значний позитивний ефект від впровадження нової ІКТ, заснованої на розроблених математичних моделях та удосконаленому методу аналізу ієрархій. Це суттєво покращує результативність моніторингу й аналітичного опрацювання у реальному часі даних, що надходять до КС Smart City з транспортних зупинок МПТ. Це свідчить про підвищення якості, оперативності та адаптивності управлінських рішень, що є критично важливим для успішного ведення сучасних ІТ-проектів.

Отримані результати можуть бути впроваджені в практичну діяльність підприємств незалежно від форми власності чи сфери діяльності, зокрема в процесах прийняття управлінських рішень як в ІТ-сфері, так і при розгортанні концепції SmartCity в територіальних громадах різного рівня масштабованості, а також в інших галузях.

4. Структура роботи, оцінка змісту дисертації та її завершеність.

Дисертація включає вступ, чотири розділи, висновки, списки використаних джерел за кожним з чотирьох розділів та шість додатків. Загальний обсяг дисертації становить 190 сторінок. Основний текст дисертації викладено на 154 сторінках. Робота містить 33 рисунки, 18 таблиць в основному тексті та посилання на 137 використаних джерел.

Анотація дисертації містить стислий огляд основного змісту дослідження, в якому акцентовано увагу на використанні сучасних математичних моделей та методів прийняття в умовах ризику, невизначеності та нечіткості мації. Представлено основні результати дослідження із зазначенням наукової новизни та практичного значення. Анотацію подано державною та англійською мовами.

У *вступі* наведено обґрунтування вибору теми дослідження, описано зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету та завдання дослідження, наведено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів роботи, особистий внесок здобувача та інформацію щодо апробації результатів дослідження.

Перший розділ дисертації присвячений аналізу напрямків розвитку європейської парадигми «розумного міста», сучасних підходів до визначення обсягу пасажиропотоку із застосуванням технологій обробки зображень з ІР-камер інформаційно-вимірювальної мережі КС «розумне місто». Доведено, що обробка даних з систем ІР-відеоспостереження ІВМ у режимі реального часу є перспективним напрямком для створення та оптимізації інтелектуального транспортного середовища «розумного міста», що відповідає Цілі 11 «Сталий розвиток міст і громад» програми ООН до 2030 р.

Другий розділ зосереджено на розробленні математичних моделей для обробки інформації в КС енергонезалежних ІВМ, використання яких дозволить

автоматизувати моніторинг в реальному часі та планування подачі міського транспорту шляхом обробки даних, отриманих із IP-камер.

Запропоновано інтегральний та нормований індекси наповненості кадру кожної зупинки у реальному часі на основі аналізу інформаційної складності сцени за допомогою ентропії Шеннона, контрастної складової RGB-гістограми зображення та міжкадрової відмінності зображення наповненої пасажирами та порожньої зупинки МПТ. Використовуючи запропоновану систему показників, можна оцінювати рівень наповненості зупинок пасажирами на різних маршрутах.

Для збільшення часу енергонезалежності диспетчерських пунктів перевізників як осіб, що приймають рішення щодо подачі ТЗ на маршрут, розроблено математичну модель оптимізованого енергоспоживання у локальних пунктах IoT-пристроями як хостами IBM для оброблення зображень експертами перевізників.

На відміну від відомих результатів з використанням нейромережових методів, дослідження показало, що запропоновані моделі мають значно меншу обчислювальну складність та не потребують апаратного прискорення.

У *третьому розділі* розглядається процес побудування ієрархічних, маргінальних та математичних моделей для задачі вибору ТЗ для подачі на заповнені зупинки МПТ. Для прийняття рішення побудовано концептуальні ієрархічні моделі вигод та витрат, розглянуто можливість та необхідність побудування додаткових ієрархічних моделей за критеріями, обраними відповідно до методології BOCR (Benefits–Opportunities–Costs–Risks).

Запропоновано 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.

Для об'єднання групових експертних оцінок (ЕО) запропонований метод, що дозволяє синтезувати колективне рішення різних підгруп експертів, враховуючи різні способи представлення вподобань експертів (нечіткі, точкові та ін. оцінки).

У *четвертому розділі* розроблені програмні засоби реалізації математичних моделей та методів інформаційно-комп'ютерної технології, розглянутих у попередніх розділах. Висвітлено етапи проєктування та конфігурації програмного забезпечення (ПЗ), призначеного для моніторингу пасажиропотоку визначенні рівня завантаженості зупинок громадського транспорту. Представлено розробку користувацького вебінтерфейсу для роботи з даними IBM КС «розумне місто». Проведено тестування ПЗ та доведено, що використання результатів дослідження дозволить покращити якість обслуговування громадян та оптимізувати рух міського пасажирського транспорту.

За результатами досліджень розроблена ІКТ, яка може бути інтегрована у підсистему МПТ КС «розумне місто», спрямована на синтез консолідованих експертних рішень щодо диспетчеризації МПТ 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 IP-камер.

5. Відсутність (наявність) порушень принципів академічної доброчесності.

Ознак порушень принципів академічної доброчесності не виявлено.

6. Повнота викладення дисертації в опублікованих працях.

Результати, отримані в дисертаційній роботі, відображено у 17 наукових працях, з яких 5 статей – у періодичних наукових фахових виданнях України; 8 робіт апробаційного характеру у форматі тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях (у т. ч. 1 працю проіндексовано у наукометричній базі Scopus). Додатково відображають наукові результати дисертації: 1 стаття – в зарубіжному періодичному науковому виданні іншої держави, яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) та Європейського Союзу; 2 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір; 1 патент на корисну модель.

Вважаю, що рівень та кількість наукових здобувача є достатнім.

7. Зауваження та недоліки дисертації щодо її оформлення та змісту.

Варто відзначити деякі недоліки дисертаційної роботи:

1. У першому розділі при формулюванні вимог до інформаційно-вимірювальних мереж «розумного міста» автор детально не аналізує питання кібербезпеки та захисту персональних даних при зборі та обробці відеопотоків з публічних IP-камер, хоча й зазначає, що використовувані методи не передбачають ідентифікацію конкретних облич та персон.

2. Оцінка наповненості зупинок МПТ комплексів за допомогою індексу SFI використовує нормовані гістограми. Бажано було б ширше пояснити, як автор вирішує проблему геометричного перекриття пасажирів на передньому та задньому планах сцени (ефект оклюзії) при фіксованому ракурсі IP-камери.

3. Розроблена ІКТ інтегрована з NoSQL базою даних Firestore. Проте у третьому розділі недостатньо уваги приділено математичному моделюванню структури документів та колекцій з точки зору мінімізації кількості операцій читання/запису, що безпосередньо впливає на трафік та енергоспоживання IoT-пристроїв.

4. У четвертому розділі, де демонструються результати експериментів у реальному часі на транспортній мережі м. Миколаєва, недостатньо детально описано технічні характеристики використаних IP-камер (роздільна здатність, частота кадрів FPS тощо), які є базовими для визначення мінімальних системних вимог до обчислювальних хостів.

5. У підрозділі 3.2 запропоновано багатокритеріальну модель підтримки прийняття рішень для вибору оптимального типу транспортного засобу (ТЗ), що базується на зважуванні локальних критеріїв (місткість, енергоефективність тощо). Проте автор не наводить аналізу поведінки цільової функції в крайових (екстремальних) ситуаціях. Наприклад, коли значення індексу SFI вказує на критичне перевантаження зупинки (SFI 1), а доступні одиниці транспорту мають мінімальний запас ходу або критично низьку місткість. Необхідно було чіткіше визначити пріоритетність критеріїв у таких пограничних станах.

6. Серед матеріалів апробації та актів впровадження (зокрема КП «МІОЦ» ММР) йдеться про високі показники енергонезалежності вузлів, проте в тексті дисертації відсутня розгорнута методика оцінювання економічного ефекту від масштабування розробленої комп'ютерної технології на всю транспортну мережу міста.

Незважаючи на вказані недоліки, дана дисертаційна робота є важливим науковим дослідженням та заслуговує на позитивну оцінку.

8. Висновок щодо відповідності дисертації вимогам, які висуваються до ступеня доктора філософії.

Розглянуте дисертаційне дослідження здобувача Буренка В. О. на тему «Математичні моделі для обробки інформації в комп'ютерних системах енергонезалежних інформаційно-вимірювальних мереж» цілком відповідає вимогам до дисертаційного дослідження на здобуття ступеня доктора філософії, наведеним у Постанові Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» (у Редакції від 08.05.2024). Автор дисертації Буренко В.О. заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки галузі знань 12 Інформаційні технології.

Офіційний опонент

д-р техн. наук, професор, професор кафедри
комп'ютерних наук та системного аналізу
Черкаського державного

технологічного університету



Олена ДАНЧЕНКО