

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Тернопільського національного технічного
університету імені Івана Пулюя
д.т.н., професору Литвиненко
Ярославу Володимировичу

РЕЦЕНЗІЯ

доктора технічних наук, професора **Пастуха Олега Анатолійовича**
на дисертаційну роботу **Станька Андрія Андрійовича**
«Мережева інформаційно-технологічна платформа супроводу об'єктів
кіберфізичних систем «розумних міст»», подану до захисту на здобуття
наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології»
зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

Актуальність теми дисертаційної роботи та зв'язок з науковими напрямками, темами.

На даний момент часу інформаційні та комунікаційні технології знаходяться на черговому етапі трансформації. У сучасних містах активно розгортаються інфраструктурні системи, які збирають, передають, зберігають та обробляють дані з різних джерел, а використання кіберфізичних систем дає змогу підняти на принципово новий рівень якість цифрових послуг та сервісів різнопланового призначення. Водночас зростає складність та взаємозалежність між різними системами та процесами. Мережеві інформаційно-технологічні платформи дозволяють об'єднувати та координувати ці системи, підвищуючи ефективність управління та якість послуг. Завдяки зростанню обсягів інформації щодо об'єктів кіберфізичних систем, постає задача вибору набору інформаційних та комунікаційних технологій залежно від вимог конкретної прикладної задачі. Це зумовлено універсальністю характеристик IoT-пристроїв, мережевих протоколів і розвитком інформаційних та комунікаційних технологій загалом.

Актуальність дисертаційної роботи Станька Андрія Андрійовича зумовлена необхідністю розробки мережевої інформаційно-технологічної платформи для супроводу процесів функціонування та управління кіберфізичними системами

«розумних міст». Інформаційно-технологічна платформа покликана надавати можливості ефективно збирати, зберігати, обробляти та аналізувати дані з різних джерел, що в свою чергу сприятиме вирішенню актуальних задач створення високоефективних та масштабованих міських послуг та сервісів на основі кіберфізичних систем.

Тема дисертації Станька А.А. відповідає науковим напрямкам кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та науково-дослідної лабораторії «Розумне місто Тернопіль». Подані в дисертаційній роботі результати отримано, згідно пріоритетних напрямків досліджень Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, в процесі виконання науково-дослідної теми «Моделі і методи захисту інформаційних процесів у корпоративних системах та освітніх середовищах» (№ держреєстрації 0121U114176).

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи.

У дисертаційній роботі Станька А. А. отримано такі основні наукові результати:

– розроблено метод формування інформаційно-технологічних наборів, що враховує різнотипову природу міських комунікаційних мереж та дає можливість формувати та впроваджувати множини цифрових послуг.

– розроблено інформаційну технологію багатовимірного аналізу метаданих в міських озерах сховищ даних, що сформована на основі гіперкубів для опису процесів супроводу об'єктів кіберфізичних систем спостереження та керування параметрами міського повітряного середовища.

– отримала подальший розвиток функціональна модель «розумних міст», що розширена набором кіберфізичних систем для спостереження та регулювання показників якості повітряного середовища і міських умовах.

– отримала подальший розвиток модель обчислювальної архітектури мережевої інформаційно-технологічної платформи, що сформована на базі хмарних, туманних і периферійних обчислювальних підходів для наближення процесів опрацювання даних до місць їх відбору.

– отримала подальший розвиток модель надання послуг Data as a Service, що сформована на базі NDN-архітектури засобами мережі IoT-пристроїв.

Практична цінність одержаних результатів.

Використання розробленого методу дало змогу сформуванню інформаційно-технологічний набір для мережевої платформи супроводу кіберфізичних систем та провести розгортання обчислювальної інфраструктури цифрових послуг спостереження та регулювання показників якості повітряного середовища. Застосування інформаційної технології багатовимірного аналізу метаданих супроводу об'єктів кіберфізичних систем «розумних міст» забезпечило можливість формування прототипів сховищ озер даних. Результати дисертаційної роботи впроваджені: в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя для супроводу процесів спостереження та регулювання показників якості повітря серверних і навчальних приміщень та у навчальному процесі двох кафедр; для супроводу процесів проектування та впровадження систем кондиціонування та вентиляції «розумних» будівель та приміщень ТОВ «Сахара».

Повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях, дотримання вимог академічної доброчесності.

Основні положення та результати дисертаційного дослідження відображено у 15 наукових працях: з яких 5 статей у наукових фахових виданнях України та одна стаття у науковому виданні іншої держави, 9 матеріалів міжнародних, наукових, науково-практичних та науково-технічних конференцій. Таким чином щодо кількості та якості публікацій виконано вимоги «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії». Здійснена автором публікація результатів дисертаційних досліджень у рецензованих виданнях, що проводять перевірку матеріалів на відсутність запозичень, є елементом підтвердження відсутності порушень академічної доброчесності. Вся інформація в дисертаційній роботі, що отримана з використанням опублікованих результатів інших дослідників, оформлена

належним чином та містить посилання на джерела. В цілому у дисертаційній роботі Станька А. А. порушень академічної доброчесності не виявлено.

Ступінь обґрунтованості та достовірність сформульованих в дисертації наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Станька А. А., впливають із достовірності отриманих дисертантом результатів, засвідчених відповідними актами впровадження, обговоренням матеріалів дисертації на міжнародних наукових, науково-практичних та науково-технічних конференціях, а також наукових семінарах кафедри комп'ютерних наук і науково-дослідних лабораторій «Розумне місто Тернопіль» та кіберфізичних систем ТНТУ ім. І. Пулюя, де отримали позитивну оцінку.

Оцінка змісту дисертації.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 173 сторінках, включаючи 128 сторінок основного тексту. Перелік використаних джерел містить 159 найменувань.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, зазначено зв'язок з науковими напрямками та програмами, сформульовані мета і завдання дослідження, об'єкт та предмет дослідження, викладені наукова новизна та практичне значення отриманих дисертантом результатів, подано дані про особистий внесок здобувача, апробацію наукових результатів та публікації.

У *першому розділі* проведено аналіз літературних джерел, де виділено, що нинішнє забезпечення комунікаційними засобами супроводу цифрових процесів кіберфізичних систем «розумних міст» здебільшого фрагментарне та неповне з чітко вираженими нерівномірностями. Показано, що перспективним дослідженням є розроблення мережевої платформи супроводу об'єктів складних кіберфізичних систем «розумних міст» та формування її компонентів і засобів на основі множини сучасних інформаційних та комунікаційних технологій.

У *другому розділі* на базі кіберфізичного, мережевого та хмарного рівнів, розроблено модель інформаційно-технологічної архітектури мережевої платформи супроводу об'єктів кіберфізичних систем «розумних міст», що завдяки інтеграції периферійних, туманних та хмарних підходів дає можливість рівномірно розподіляти обчислювальне навантаження. На основі кіберфізичних систем «розумних міст» розроблено метод формування інформаційно-технологічних наборів для цифрових послуг та сервісів, що забезпечує узгодженість процесів створення та впровадження «розумних» застосунків.

У *третьому розділі* на основі розробленого формалізованого опису озер даних для супроводу об'єктів, з використанням гіперкубів розроблено модель управління метаданими кіберфізичних систем «розумних міст», для яких подано класифікацію множини категорій та атрибутів. Завдяки цьому створено інформаційну технологію багатовимірного аналізу метаданих в міських озерах сховищ даних, яка використана для опису процесів спостереження та керування параметрами міського повітряного середовища. В результаті дослідження запропонованих рішень досягнуто зменшення тривалості процесів ідентифікації наборів та колекцій в озерах сховищ даних та підвищення швидкості аналітичних процесів загалом.

В *четвертому розділі*, на основі створеного інформаційно-технологічного набору, змодельовано процес функціонування туманного кластера та здійснено розгортання хмарної інфраструктури для супроводу об'єктів кіберфізичних систем та впровадження цифрових послуг. На туманному рівні, з використанням методу К-найближчих сусідів, забезпечено обробку зібраних засобами NDN-мережі IoT-пристроїв даних спостереження показників якості повітря без необхідності використання для цього хмарних обчислень. При цьому сформовано два цілісних програмно-алгоритмічних комплекси супроводу процесів спостереження та регулювання показників якості повітряного середовища.

Висновки по дисертаційній роботі підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень. В процесі яких було проаналізовано сучасні наукові результати, опубліковані провідними вітчизняними та

закордонними ученими, про що свідчить список використаних джерел і посилання на них у тексті дисертації. Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи висвітлені в публікаціях у наукових фахових виданнях та апробовані на міжнародних, науково-практичних та науково-технічних конференціях.

У додатках до дисертаційної роботи подано акти впровадження її результатів та інформацію щодо апробації одержаних практичних результатів.

Відповідність дисертаційної роботи вимогам МОН України.

Матеріал дисертації викладено досить логічно, зв'язно, обґрунтовано та структуровано. Кожен з чотирьох розділів має свою специфіку та, водночас, пов'язаний з рештою розділів, що в сукупності свідчить про цілісність та завершеність дисертаційної роботи. Дисертація написана з використанням оригінального авторського стилю подання інформації, а висновки та рекомендації логічно випливають з поданих у розділах результатів досліджень. Таким чином, дисертаційна робота є завершеною науковою працею, яка написана науковою мовою з використанням термінології галузі знань 12 «Інформаційні технології». Зміст дисертації, її структура, послідовність та повнота розв'язаних задач повністю відповідають темі роботи. Тема, зміст та отримані наукові результати дисертації Станька А. А. відповідають спеціальності 122 «Комп'ютерні науки», галузі знань 12 «Інформаційні технології».

Зауваження до дисертації:

1. Значна частина першого розділу присвячена поясненню аспектів використання комунікаційних мереж «розумних міст». На мою думку, доцільніше було проілюструвати основні принципи формування мережевих інформаційно-технологічних платформ «розумних міст», у тих аспектах, у яких автором запропоновані вдосконалення.

2. Доцільно було би привести обчислення складності використаних на периферійному, туманному та хмарному рівнях методів машинного навчання та провести порівняння з іншими існуючими.

3. В тексті дисертації використано терміни “кіберфізичних систем «TNTU Smart Campus»” та “озер даних «TNTU Smart Campus»”. Неоднозначно подано контекст використання назви «TNTU Smart Campus».

4. У процесі формування туманного кластера для цифрових послуг спостереження та регулювання повітряного середовища використовувались шість персональних комп'ютерів. Варто детальніше описати особливості балансування навантаження, зокрема, додавання та вивільнення ресурсів при збільшенні та зменшенні обчислювальних потреб на туманному рівні мережевої інформаційно-технологічної платформи.

5. З поданого тексту не зрозуміло яким чином враховується вплив шумів у даних на оцінювання показників якості повітряного середовища серверних приміщень за допомогою використаного в параграфі 4.2.2 методу KNN.

6. Для кращого розуміння роботи, варто чіткіше описати особливості використаної на хмарному рівні (в параграфі 4.2.3) моделі логістичної регресії, окреслити вхідні та вихідні дані, область адекватності. Подати алгоритм використання моделі логістичної регресії.

7. У висновках, на мою думку, доцільно додати кількісні показники переваг розроблених моделей, методу та інформаційної технології.

Наведені зауваження не вплинули на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та можуть розглядатись як рекомендації для продовження подальших досліджень.

Висновки щодо дисертації в цілому:

1. Дисертаційна робота Станька Андрія Андрійовича «Мережева інформаційно-технологічна платформа супроводу об'єктів кіберфізичних систем «розумних міст»», що подана на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій розв'язано наукову задачу розроблення інформаційних та комунікаційних архітектур, моделей та методів спостереження, комунікації, зберігання та опрацювання даних кіберфізичних систем в єдиному інформаційно-аналітичному середовищі мережевої інформаційно-технологічної платформи

«розумного міста» для супроводу процесів широкомасштабного розгортання та запровадження інноваційних цифрових послуг та застосунків.

2. За темою та змістом дисертаційна робота відповідає спеціальності 122 «Комп'ютерні науки».

3. Вважаю, що дисертаційна робота “Мережева інформаційно-технологічна платформа супроводу об'єктів кіберфізичних систем «розумних міст»” відповідає чинним вимогам наказу МОН України №40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства освіти і науки № 759 від 31.05.2019 р., 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 р., а її автор, Станько Андрій Андрійович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки», галузь знань 12 «Інформаційні технології».

Рецензент – доктор технічних наук,
професор, професор кафедри програмної
інженерії Тернопільського національного
технічного університету
імені Івана Пулюя

О.А. Пастух