

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

## **РЕЦЕНЗІЯ**

кандидата технічних наук, доцента **Боднарчука Ігора Орестовича**  
на дисертаційну роботу **Палки Олега Вікторовича**  
«Побудова гіперскладної системи «Розумне місто»: інформаційно-технологічні  
інструменти», подану до захисту на здобуття  
наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні  
технології» зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»

### **Актуальність теми дисертації.**

Широке запровадження інформаційних технологій в усі сфери діяльності людського суспільства вимагає нових методів та підходів для вироблення рекомендацій щодо використання цих технологій. З цією метою актуальною є задача оцінювання поточного стану інформатизації діяльності громад та міст, узгодження процесів цифровізації в різних галузях. Загалом йдеться про функціонування та розвиток так званих "розумних" міст, громад, регіонів.

За результатами досліджень у дисертаційній роботі пропонуються методи та інструменти оцінювання рівня "розумності" міст, уніфікація показників оцінювання та програмні інструменти автоматизованого вироблення рекомендацій щодо розвитку "розумних" міст. Тому робота є актуальною і має практичне значення.

### **Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 122 Комп'ютерні науки та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми освітнього рівня "Доктор філософії".

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям в галузі інформаційних технологій.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету і основні задачі дисертаційного дослідження, визначено наукову новизну роботи та практичне значення отриманих результатів, описано методи, які були використані у дослідженнях і особистий внесок здобувача.

У першому розділі було проведено аналіз поняття "розумне місто", який підтвердив актуальність цієї концепції в контексті міських проблем, таких як

зростання населення, енергетика, екологія та транспорт. Також було визначено різноманітні інформаційні та комунікаційні технології, які дозволяють впроваджувати інформаційно-технологічні інструменти у розумних містах. Була сформована структура інформаційних потоків і узагальнена модель "потоків даних" у розумних містах. Також було відзначено, що наразі вже існує широкий спектр стандартів для інфраструктурних секторів, зокрема у сфері комунікаційних мереж та протоколів, а також реалізовано різноманітні ініціативи стосовно розробки стандартів у цих секторах та міському середовищі. Були описані характеристики, фактори та критерії, що використовуються для оцінки "розумних міст".

Другий розділ містить аналіз інформаційно-технологічних платформ "розумного міста", який визначив, що ефективне управління даними у "розумному місті" потребує розробки комплексної інформаційно-технологічної платформи. Була визначена множина характеристик інформаційно-технологічних платформ "розумних міст" шляхом порівняння п'яти платформ цього типу. Була розроблена формалізована множина моделей інформаційно-технологічних архітектур "розумного міста" та їх характеристик. Зокрема, були представлені доменно-орієнтована модель інформаційно-технологічної архітектури управління даними "розумного міста", територіально-розподілена модель інформаційно-технологічної архітектури для управління даними "розумного міста", територіально-розподілена модель управління ресурсами "розумних міст" на основі даних, а також сервіс-орієнтована архітектура в "розумному місті".

У третьому розділі було використано метод Байєса для вирішення багатокритеріальної задачі вибору моделі інформаційно-технологічної архітектури "розумного міста". Це дозволило запропонувати використання моделі сервіс-орієнтованої архітектури для реалізації інформаційно-технологічної архітектури "розумного міста" в українських містах. Був розроблений метод вибору інформаційно-технологічної платформи "розумного міста" за допомогою методу Сааті для вирішення багатокритеріальної задачі на основі узагальненої множини критеріїв. Рекомендовано використання інформаційно-технологічної платформи Microsoft Azure IoT Central для українських міст.

Крім того, було створено підхід щодо використання інформаційно-технологічних інструментів для супроводу процесів консолідації, аналізу та візуалізації даних в гіперскладних системах "розумних міст". З використанням інформаційних панелей з рекомендаційними функціями на прикладі виявлення проблемних локацій водопровідної мережі на основі аналітичного опрацювання "відкритих даних" щодо запитів до КП "Тернопільводоканал".

У четвертому викладено процес розробки методу вибору засобів оцінювання інформаційно-технологічних платформ для "розумних міст". Використання методу Парето для вирішення цієї задачі дало можливість сформулювати комплексну множину засобів та інструментів для оцінювання практичної реалізації інформаційно-технологічних платформ. На основі вибору методом критеріальних обмежень з множини Парето для оцінювання впровадження інформаційно-технологічних платформ "розумного міста" було

рекомендовано застосовувати індекс "розумності" міста. Також був розроблений оригінальний метод оцінювання показників "розумності" гіперскладних міських систем, що враховує різні характеристики елементів таких систем. Цей метод був використаний для оцінювання показників "розумності" українських міст. Також був розроблений прототип програмно-алгоритмічного комплексу "Визначення розумності міста", який дозволяє оцінити показники "розумності" гіперскладних систем "розумних міст" за розширеними наборами характеристик та множинами критеріїв.

У висновках наведені результати дослідження, котрі підтверджують актуальність роботи та її наукову новизну.

Після ознайомлення зі змістом дисертаційної роботи можна стверджувати, що вона є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків.**

Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечено коректним використанням методів багатокритерійної оптимізації методу Байєса, методів машинного навчання, відповідних інструментів та принципів програмування.

Достовірність отриманих результатів забезпечується:

- публікацією статей в провідних фахових виданнях України і закордоном;
- апробацією отриманих наукових результатів на українських та міжнародних наукових конференціях;
- результатами виконаного автором аналізу даних по темі роботи;
- застосуванням результатів досліджень при виконанні науково-дослідної теми «Моделі і методи захисту інформаційних процесів у корпоративних системах та освітніх середовищах», № держреєстрації 0121U114176.

### **Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна.**

Основні наукові результати та висновки дисертації пройшли апробацію під час міжнародних наукових конференцій та знайшли відображення в публікаціях у фахових виданнях.

Основні наукові результати:

- вперше запропоновано метод вибору засобів оцінювання інформаційно-технологічних платформ гіперскладних систем «розумних міст» за принципом Парето, що дало можливість сформулювати комплексну множину засобів та інструментів оцінювання практичної реалізації інформаційно-технологічних платформ «розумного міста»;
- вперше розроблено метод оцінювання показників «розумності» міст, який на відміну від існуючих, враховує різні характеристики та критерії елементів гіперскладної системи «розумне місто», що дало змогу виявити сильні та слабкі сторони міста в контексті взаємодії інформаційно-технологічних інструментів;

- отримав подальший розвиток метод Байєса для вибору моделі інформаційно-технологічної архітектури «розумного міста», що дало змогу динамічно адаптувати модель для реалізації інформаційно-технологічної платформи відповідно до мінливих умов «розумного міста» на основі оновлення ймовірностей;
- був удосконалений метод вибору інформаційно-технологічної платформи з використанням методу Сааті для вирішення багатокритеріальної задачі на основі узагальненої множини критеріїв експертних оцінок. Це дозволило розширити переліки категорій та критеріїв, що використовуються при виборі платформи для гіперскладної системи "Розумне місто", у порівнянні з існуючими методами.

### **Практичне значення одержаних результатів.**

Практична цінність виконаного дисертаційного дослідження полягає в тому, що результати можуть використовуватись для покращення функціонування міської інфраструктури на основі автоматизованого вироблення рекомендацій з використанням "відкритих даних".

Практичне значення результатів роботи обумовлене також тим, що здобувачем запропоновано та розроблено методи, моделі і програмне забезпечення, які дають змогу автоматизувати оцінювання "розумності" міст та громад на основі уніфікованих показників.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. В розділі 1.3 йдеться про стандартизацію предметної області "Розумних міст" і згадано, зокрема, стандарт PAS 181. На рисунку 1.12 подано кількість стандартів у відповідних складових інфраструктури "Розумних міст". Варто було в розділі описати хоча б деякі інші стандарти, окрім PAS 181.
2. З тексту дисертації можна зробити висновок, що елементи "Розумних міст" на рисунку 1.4 та модель для оцінювання рейтингу "розумності" (1.2) описані у джерелі [11]. Проте незрозумілим є обґрунтування вибору саме такої моделі на тлі твердження про те, що "на даний час немає загальноприйнятого підходу до оцінювання показників «розумності» міст".
3. Зі змісту розділу 2.3 не є очевидним формування моделі інформаційно-технологічних архітектур (2.2). Зокрема, варто було обґрунтувати наявність у моделі (2.2) таких складових: доменно-орієнтована модель, ієрархічна модель та модель відкритих даних.
4. З тексту розділу 2.3 незрозуміло, чи є запропонована множина критеріїв (2.3) результатом власних досліджень автора, чи вона сформована на основі аналізу досліджень в галузі "розумних міст".
5. Потребує кращого обґрунтування застосування правил Баєса для вибору моделі інформаційно-технологічної архітектури «розумного міста» та методу аналізу ієрархій для вибору інформаційно-технологічної платформи «розумного міста»

5. Потребує кращого обґрунтування застосування правил Баєса для вибору моделі інформаційно-технологічної архітектури «розумного міста» та методу аналізу ієрархій для вибору інформаційно-технологічної платформи «розумного міста»
6. Очевидно, що для використання кожної конкретної архітектури існують плюси і мінуси її реалізації на кожній із платформ. Такий критерій вибору платформи для конкретної архітектури не використовується серед поданих (модель (2.3) та розділ 3.1).
7. Робота містить одруки та некоректне відображення деяких символів у формулах.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Палки Олега Вікторовича на тему «Побудова гіперскладної системи «Розумне місто»: інформаційно-технологічні інструменти» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі інформаційних технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в 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», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Палка Олег Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 Інформаційні технології за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки

### **Рецензент:**

кандидат технічних наук,  
завідувач кафедри комп'ютерних наук  
Тернопільського національного технічного  
університету ім. Івана Пулюя, доцент



*Ігор Боднарчук*  
*Олег Палка*

Ігор БОДНАРЧУК