

## **РЕЦЕНЗІЯ**

**на дисертаційну роботу Хоменка Євгенія Вікторовича «Розроблення локальної IoT-системи моніторингу й контролю стану приміщень на базі платформи Home Assistant», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення», доктора філософії, доцента Полторацького Максима Юрійовича.**

### **1. Актуальність обраної теми дисертації**

Сучасний розвиток кіберфізичних систем та Інтернету речей (IoT) супроводжується масовим переходом до хмароцентричних моделей автоматизації. Попри очевидні переваги у швидкості розгортання, такі рішення генерують критичні виклики щодо інформаційної безпеки, приватності даних, латентності обробки подій та залежності систем від стабільності зовнішніх інтернет-з'єднань.

Враховуючи зростаючу потребу в інституційних, офісних та освітніх IoT-інфраструктурах, тема дисертаційного дослідження Є.В. Хоменка, присвячена розробці автономної локальної IoT-системи на базі платформи з відкритим кодом Home Assistant, є надзвичайно актуальною. Перенесення обчислювального, аналітичного та керуючого навантаження на периферію (edge computing) дозволяє забезпечити цифровий суверенітет, відмовостійкість та високу швидкість реакції, що повністю відповідає сучасним трендам розвитку програмної інженерії.

### **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційну роботу виконано відповідно до пріоритетних напрямів наукової діяльності Херсонського державного університету. Дослідження органічно вписується в науковий напрям кафедри комп'ютерних наук та програмної інженерії, пов'язаний із розвитком інтелектуальних інформаційних та інформаційно-аналітичних технологій, систем баз даних і знань, а також технологій і засобів проектування програмних продуктів для розподілених систем управління.

### **3. Наукова новизна одержаних результатів**

Відповідно до поставленої мети в дисертаційній роботі обґрунтовано низку наукових положень, які становлять безсумнівну новизну. Серед найбільш суттєвих результатів слід виділити такі:

- Вперше запропоновано багаторівневу архітектурну модель локальної IoT-системи (7 рівнів: фізичний, комунікаційний, інформаційний,

керуючий, безпековий, сервісний, презентаційний) із відповідною математичною формалізацією процесів взаємодії компонентів через множини та відображення.

- Вперше розроблено методику багатокритеріальної оцінки ефективності локальної IoT-системи через введення інтегрованого гібридного показника  $H$ , що об'єднує метрики автономності, затримки обробки, керованості та безпеки.
- Удосконалено підхід до забезпечення кібербезпеки локальних IoT-систем (адаптація моделі STRIDE) за рахунок контейнерної ізоляції сервісів, сегментації мережі та локального виконання автоматизацій без експозиції зовнішніх API.
- Набуло подальшого розвитку комплементарне застосування візуального та програмного (YAML) підходів до побудови IoT-автоматизацій на основі подійно-орієнтованої парадигми Trigger–Condition–Action, що забезпечує масштабованість системи від етапу прототипування до промислової експлуатації.

#### **4. Теоретична та практична значимість отриманих результатів та їх упровадження в практику**

Теоретичне значення полягає у формалізації архітектури автономних IoT-середовищ та алгоритмізації процесів локальної обробки гетерогенної телеметрії (Zigbee, BLE, Wi-Fi).

Практична значимість роботи є дуже високою: автором створено та успішно впроваджено функціональний прототип системи моніторингу офісних приміщень площею 50 м<sup>2</sup>, який об'єднує понад 40 пристроїв. Експериментально доведено, що розгортання системи на x 64-архітектурі забезпечує середню затримку обробки подій  $375 \pm 42$  мс та дозволяє безперебійно обробляти понад 360 000 MQTT-повідомлень на тиждень при навантаженні на CPU менше 5%. Запропоновані алгоритми керування дозволили знизити середнє добове енергоспоживання на 28%.

#### **5. Ступінь обґрунтованості основних положень та висновків дисертації**

Основні наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи Хоменка Є.В. мають глибоке теоретичне, методологічне та емпіричне обґрунтування. Це зумовлено, зокрема, детальним опрацюванням здобувачем значної кількості вітчизняних та зарубіжних наукових джерел, актуальних стандартів кібербезпеки та специфікацій сучасних бездротових протоколів (Zigbee, BLE, MQTT), які повною мірою відповідають темі дисертації.

Дисертаційна робота має цілісну концептуальну будову, яка включає комплексне дослідження методів проектування та розгортання автономних кіберфізичних систем. Зокрема, вона охоплює системний аналіз архітектурних моделей IoT, дослідження обмежень хмароорієнтованих екосистем, а також теоретичне обґрунтування доцільності перенесення обчислювального навантаження на локальний рівень (edge computing). Дослідження включає глибокий аналіз математичної формалізації взаємодії компонентів системи через множини та відображення, а також алгоритмізацію подійно-орієнтованого керування в межах концепції Trigger–Condition–Action.

Структура дисертаційного дослідження є логічною та послідовною: від теоретичного аналізу існуючих IoT-технологій та проектування власної 7-рівневої архітектурної моделі до практичної розробки функціональних підсистем (мікроклімат, освітлення, безпека, енергоменеджмент) та їх ґрунтовної експериментальної перевірки в умовах інтенсивних потоків телеметрії. Усі складові частини роботи взаємопов'язані, доповнюють одна одну і в повному обсязі розкривають заявлену тему.

## **6. Повнота викладення наукових положень та висновків в опублікованих працях**

Основні результати дисертаційної роботи викладено у 10 наукових публікаціях. З них 3 праці опубліковано у виданнях, що індексуються у міжнародних базах Scopus/Web of Science (зокрема, у високореєтингових журналах квартиля Q1 – Sensors, IoT). Крім того, опубліковано 2 статті у фахових виданнях України (категорія Б) та 5 тез доповідей на міжнародних конференціях. Публікації повною мірою відображають зміст дисертації та відповідають вимогам МОН України.

## **7. Недоліки дисертації щодо її змісту і оформлення**

Дисертаційна робота Хоменка Є.В. складається з таких структурних елементів: анотація; зміст; вступ – де обґрунтовано актуальність обраної теми, чітко визначено мету, задачі, об'єкт, предмет, наукову новизну та практичне значення роботи, відображено зв'язок із науковими програмами кафедри; розділ перший – присвячено системному аналізу сучасного стану розвитку IoT-технологій, архітектурних моделей, а також комерційних і локальних платформ автоматизації; розділ другий – у якому запропоновано та формалізовано багаторівневу архітектуру локальної IoT-системи на базі Home Assistant; розділ третій – присвячено практичній реалізації функціональних

підсистем та розробці інтерфейсів моніторингу й керування; розділ четвертий – де наведено результати експериментальної перевірки функціональності, порівняння апаратних платформ та оцінки загальної ефективності системи; висновки; перелік використаних джерел та додатки.

Проведений здобувачем комплексний аналіз гетерогенних IoT-середовищ, розробка архітектури та її глибока експериментальна валідація в умовах інтенсивних потоків телеметрії демонструють високу ерудицію, обізнаність автора в сучасних технологіях програмної інженерії та вміння вирішувати складні архітектурні задачі. Висновки обґрунтовані, чітко викладені, відповідають меті та завданням роботи і повною мірою відображають одержані результати.

Разом з тим, під час ознайомлення з дисертаційною роботою виникли певні зауваження та побажання:

1. У розділі 2, розглядаючи багаторівневу архітектуру локальної IoT-системи, здобувач детально описує взаємодію компонентів текстом та загальними структурними схемами. Робота б значно виграла, якби автор доповнив опис формалізованими UML-діаграмами (наприклад, діаграмами послідовності – *Sequence Diagram*), що дозволило б наочно проілюструвати життєвий цикл обробки критичної події від моменту спрацювання сенсора до виконання дії актуатором.
2. У розділі 3, описуючи підсистему «Безпека» та інтеграцію відеоспостереження (ONVIF, MotionEye, Scrypted), доцільно було б навести дані щодо впливу безперервного транскодування відеопотоків на I/O-продуктивність дискової підсистеми віртуальної машини у середовищі Proxmox.
3. В експериментальній частині (розділ 4) ґрунтовно та об'єктивно проаналізовано переваги серверної платформи x64 порівняно з ARM-архітектурою щодо продуктивності та надійності обробки інтенсивних потоків MQTT. Проте, дослідження б виграло, якби автор навів додаткову кількісну оцінку різниці у базовому енергоспоживанні самих серверних платформ, оскільки архітектура x64 традиційно є більш енергоємною, що варто враховувати при проектуванні автономного живлення.
4. У тексті дисертації мають місце окремі орфографічні та стилістичні неточності, а також незначні відхилення в оформленні лістингів програмного коду (конфігурацій YAML) щодо стандарту відступів.

Висловлені зауваження мають дискусійний характер, не применшують вагомих наукових і практичних здобутків автора та не впливають на загальну високу оцінку дисертаційної роботи.

#### **8. Рекомендації щодо впровадження результатів дисертаційного дослідження в практику**

Практичні результати дослідження, зокрема розроблену архітектуру та програмну реалізацію, можна використати під час проєктування інфраструктурних рішень для закладів вищої освіти або адміністративних будівель (наприклад, для організації локального моніторингу мікроклімату та енергозбереження в навчальних аудиторіях і лабораторіях).

Запропоновані підходи також можуть бути корисними для ІТ-компаній та системних інтеграторів як технічна база для створення комерційних «коробкових» рішень для малого та середнього бізнесу, де є запит на автономність та підвищений рівень інформаційної безпеки.

Крім того, матеріали дисертації можуть знайти застосування в освітньому процесі. Їх можливо включити до навчально-методичного забезпечення для студентів спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» під час розгляду тем, пов'язаних з архітектурою розподілених систем та технологіями Інтернету речей (IoT).

#### **9. Відповідність дисертації встановленим вимогам**

Дисертаційна робота Хоменка Є.В. на тему: «Розроблення локальної IoT-системи моніторингу й контролю стану приміщень на базі платформи Home Assistant» на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення», є теоретичним узагальненням і новим вирішенням важливої науково-прикладної проблеми – розробки та обґрунтування архітектурних, методичних і технічних підходів до побудови локальних автономних IoT-систем моніторингу та керування умовами приміщень. Вирішення цієї проблеми здійснено шляхом створення багаторівневої локальної архітектури, інтеграції гетерогенних пристроїв і комунікаційних протоколів (Zigbee, BLE, Wi-Fi), розробки подійно-орієнтованих алгоритмів автоматизації з локальною обробкою даних та впровадження комплексних механізмів кібербезпеки, що дозволяє суттєво підвищити автономність, надійність та енергоефективність кіберфізичних систем незалежно від зовнішніх хмарних сервісів.

Зважаючи на вищесказане, дисертація Хоменка Є.В. за своєю актуальністю, обсягом, рівнем проведених досліджень, науковою новизною

та практичною значимістю повністю відповідає вимогам «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 р. № 44 (зі змінами), що пред'являються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення», а її автор заслуговує на присудження відповідного наукового ступеня.

Рецензент:

Доктор філософії, доцент,  
доцент кафедри комп'ютерних  
наук та програмної інженерії ХДУ

Максим ПОЛТОРАЦЬКИЙ