

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора, професора кафедри програмного
забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету

«Дніпровська політехніка»

Лактіонова Івана Сергійовича

на дисертаційну роботу **Хоменка Євгенія Вікторовича**

на тему

**«РОЗРОБЛЕННЯ ЛОКАЛЬНОЇ IoT-СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ Й
КОНТРОЛЮ СТАНУ ПРИМІЩЕНЬ НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ HOME
ASSISTANT»,**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 121 - Інженерія програмного забезпечення, галузь знань 12 -

Інформаційні технології

1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЇ

Стрімкий розвиток кіберфізичних інфраструктур та Інтернету речей (IoT) висуває нові вимоги до надійності, адаптивності та автономності систем збору і програмної обробки вимірювальних даних. Традиційні підходи, орієнтовані на централізовані хмарні сервіси, демонструють високу ефективність на етапі розгортання, проте мають суттєві концептуальні недоліки: критичну залежність від зовнішніх каналів зв'язку, високі затримки в прийнятті рішень та ризики компрометації телеметрії. В умовах, коли кіберфізичні системи інтегруються у процеси керування мікрокліматом, енергоспоживанням та безпекою (як у житлових і офісних просторах, так і в спеціалізованих комплексах), виникає гостра потреба у зміщенні обчислювального навантаження на рівень периферії. Проєктування локальних автономних IoT-систем, здатних агрегувати дані від гетерогенних сенсорних мереж та самостійно реалізовувати алгоритми керування, є складною архітектурною задачею. Дисертаційна робота Хоменка Є.В. вирішує саме цю задачу шляхом розроблення комплексної моделі та програмно-апаратного рішення на базі платформи Home Assistant. Такий підхід забезпечує не лише

технологічну незалежність і безпеку, а й створює фундамент для впровадження адаптивних алгоритмів моніторингу в режимі реального часу. Відтак тема дисертаційної роботи є актуальною та своєчасною.

2 ЗВ'ЯЗОК РОБОТИ З НАУКОВИМИ ПРОГРАМАМИ, ПЛАНАМИ, ТЕМАМИ

Дисертацію виконано відповідно до пріоритетних тематичних планів науково-дослідних робіт Херсонського державного університету. Напрямок дослідження органічно корелює з науковими програмами кафедри комп'ютерних наук та програмної інженерії, що стосуються розробки інтелектуальних інформаційно-аналітичних технологій, проектування розподілених баз даних і знань, а також створення надійних систем автоматизації та кіберфізичних комплексів.

3 ОЦІНКА ОБГРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ

Для вирішення поставлених у роботі завдань здобувач застосував сучасний методологічний апарат системного аналізу, теорії проектування програмних систем та концепцій IoT-комунікацій. Обґрунтованість наукових положень підтверджується:

- глибоким структурним аналізом наявних інфокомунікаційних протоколів (Zigbee, BLE, MQTT) та хмарних і локальних IoT-систем;
- формалізацією багаторівневої моделі взаємодії компонентів через теоретико-множинний апарат та логіку відображень;
- впровадженням інтегрованої гібридної метрики H для багатокритеріального оцінювання продуктивності, що включає показники автономності, затримок та надійності;

- успішною експериментальною апробацією системи в реальних умовах з доказовим статистичним аналізом результатів (довірчі інтервали, стандартні відхилення).

Висновки і рекомендації дисертації є закономірним результатом виконаних теоретичних і практичних досліджень та мають достатній ступінь обґрунтованості.

4 ДОСТОВІРНІСТЬ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, РЕКОМЕНДАЦІЙ ТА ВИСНОВКІВ

Достовірність результатів підтверджується тривалою експлуатацією експериментального стенда, проведенням серії натурних випробувань та статистичним аналізом отриманих даних.

5 НАУКОВА НОВИЗНА РЕЗУЛЬТАТІВ, ВИКЛАДЕНИХ У ДИСЕРТАЦІЇ

Дисертаційна робота містить нові науково обґрунтовані результати, які становлять самостійний внесок у розвиток програмної інженерії під час побудови кіберфізичних систем, а саме:

1. Розроблено багаторівневу архітектурну модель локальної автономної IoT-системи, яка забезпечує інтеграцію гетерогенних пристроїв, локальну обробку телеметричних даних та підтримку автономного функціонування сервісів.
2. Запропоновано інтегральний підхід до оцінювання ефективності локальних IoT-систем на основі сукупності показників автономності, продуктивності, безпеки та відмовостійкості.
3. Удосконалено методи інформаційної безпеки локальних сенсорних мереж шляхом адаптації моделі загроз STRIDE до специфіки середовища Home Assistant із застосуванням контейнерної ізоляції та наскрізного TLS/SSL шифрування на рівні MQTT;
4. Набули подальшого розвитку алгоритми керування гетерогенними пристроями завдяки системному поєднанню візуального (для

прототипування) та програмного YAML-орієнтованого (для складних вкладених логік) підходів на базі парадигми Trigger–Condition–Action.

6 ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Створений у межах дисертації програмно-апаратний комплекс є готовим інструментальним рішенням для розгортання автономних систем моніторингу. Запропоновані підсистеми («Клімат», «Освітлення», «Безпека», «Енергоживлення») забезпечують високу швидкість реакції та прозорість керування завдяки уніфікованому інтерфейсу та локальному MQTT-брокеру. Практична цінність роботи полягає у створенні масштабованого програмно-апаратного комплексу для побудови автономних систем моніторингу та керування, який може бути використаний в освітніх, офісних і житлових об'єктах.

7 ПОВНОТА ВИКЛАДУ РЕЗУЛЬТАТІВ У ПУБЛІКАЦІЯХ ТА ДОТРИМАННЯ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ

Основні наукові результати повною мірою висвітлено у 10 публікаціях здобувача. З них 3 статті опубліковані у провідних міжнародних виданнях, що індексуються наукометричними базами Scopus/Web of Science (квартиль Q1: Sensors, IoT), 2 статті – у вітчизняних фахових виданнях категорії Б, та 5 робіт – у збірниках матеріалів міжнародних наукових конференцій.

Опубліковані праці повністю відповідають змісту дисертації. Аналіз тексту роботи свідчить про дотримання автором принципів академічної доброчесності; ознак фабрикації, фальсифікації результатів або академічного плагіату не виявлено.

8 АНАЛІЗ ФОРМИ ТА ЗМІСТУ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

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

Вступ розкриває актуальність теми, формулює мету і завдання, визначає наукову новизну та практичну цінність роботи.

Перший розділ містить результати ретроспективного і системного аналізу щодо розвитку IoT-інфраструктур. Автор аргументовано аналізує існуючі хмарні екосистеми та обґрунтовує необхідність створення локальних автономних рішень на базі відкритих стандартів.

Другий розділ формує теоретико-архітектурне ядро дослідження. Тут розроблено 7-рівневу концептуальну модель, наведено математичний апарат взаємодії об'єктів системи, визначено інтегрований критерій ефективності та спроєктовано підходи до кібербезпеки.

Третій розділ присвячено питанням інженерної реалізації. Здобувач детально описує структуру дашбордів і логіку функціонування підсистем керування мікрокліматом, енергоспоживанням та безпекою.

Четвертий розділ фокусується на експлуатаційних та експериментальних показниках. Автор досліджує стабільність mesh-топологій Zigbee, проводить порівняльний аналіз швидкодії на ARM і x64, а також кількісно доводить ефективність гібридної метрики H.

Загалом дисертація є послідовною, логічно побудованою та завершеною науково-інженерною працею.

9 ЗАУВАЖЕННЯ ДО ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Високо оцінюючи науково-практичний рівень дисертації, слід зазначити низку дискусійних моментів та побажань:

1. У роботі недостатньо уваги приділено питанням довгострокової масштабованості програмної архітектури під час збільшення кількості вузлів і сервісів у складі IoT-екосистеми. Доцільним було б провести додатковий аналіз поведінки системи за суттєвого зростання навантаження.
2. В описі підсистеми «Клімат» (розділ 3) варто було б приділити більше уваги фізичному розміщенню кліматичних сенсорів у приміщеннях. Врахування впливу локальних джерел тепла або протягів допомогло б мінімізувати похибки вимірювань.

3. Для автономних вузлів (на базі Zigbee та BLE) було б корисно передбачити адаптивну зміну частоти опитування давачів. Зменшення частоти передачі даних у періоди, коли мікроклімат стабільний, дозволило б суттєво продовжити час автономної роботи пристроїв.
4. Експериментальні дослідження проводилися на об'єкті площею 50 м². Робота виграла б, якби автор додатково проаналізував, як вплине значне просторове масштабування (наприклад, перехід до великої офісної будівлі) на стабільність Zigbee-мережі та затримки сигналу при збільшенні відстаней між пристроями.
5. Певна частина змістовних розділів дисертації значно виграла б з точки зору інтерпретованості й відтворюваності результатів, якби автор доповнив їх формалізованим графічним матеріалом, наприклад, у вигляді блок-схем алгоритмів або UML-діаграм.
6. Під час викладення переліку публікацій, опублікованих за темою дисертації у співавторстві, дисертант не надав інформацію про авторський внесок кожного зі співавторів у відповідних роботах.
7. У роботі відсутні документи, що підтверджують практичне використання та/або впровадження результатів досліджень.

Наведені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки роботи.

10 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ОЦІНКА ДИСЕРТАЦІЇ

Дисертаційна робота Хоменка Євгенія Вікторовича є самостійною, завершеною кваліфікаційною науково-дослідною працею, в якій успішно вирішено важливу науково-прикладну задачу розроблення та обґрунтування архітектурних, методичних і технічних підходів до побудови програмно-апаратного забезпечення автономних локальних IoT-систем моніторингу та керування умовами приміщень. Дослідження відзначається актуальністю тематики, науковою новизною отриманих результатів, а також належним рівнем теоретичного та експериментального обґрунтування. Практична цінність роботи підтверджується створенням діючого програмно-апаратного комплексу з доведеною ефективністю.

Зміст дисертаційної роботи відповідає спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення», галузі знань 12 «Інформаційні технології». Враховуючи викладене, вважаю, що дисертаційна робота Хоменка Євгенія Вікторовича на тему «Розроблення локальної IoT-системи моніторингу й контролю стану приміщень на базі платформи Home Assistant» відповідає вимогам «Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261 (зі змінами), та 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). Автор дисертаційної роботи Хоменко Євгеній Вікторович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 121 «Інженерія програмного забезпечення» у галузі знань 12 «Інформаційні технології».

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, професор,
професор кафедри програмного
забезпечення комп'ютерних
систем Національного технічного
університету «Дніпровська
політехніка»



(підпис)

Іван ЛАКТИОНОВ