

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора

Голуба Сергія Васильовича

на дисертаційну роботу Шеліхова Юрія Олександровича

**на тему: «Моделі та метод контролю мікроклімату у мікросервісних
інформаційно-вимірювальних системах»**

подану до захисту на здобуття ступеня доктора філософії

з галузі знань 12 Інформаційні технології

за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія

Актуальність і постановка науково-технічної задачі

Розвиток розумних теплиць, сіті-ферм, тваринницьких комплексів і розумних будівель зумовлює потребу в розподілених комп'ютерних системах, здатних безперервно збирати телеметричні дані, обробляти їх у реальному часі та формувати керуючі дії для підтримання параметрів мікроклімату. Для таких систем принципово важливими є масштабованість, відмовостійкість, низька латентність і енергоефективність.

Дисертація Ю.О. Шеліхова спрямована на створення моделей та методу контролю мікроклімату у мікросервісних інформаційно-вимірювальних системах. Постановка задачі є актуальною, оскільки поєднує архітектурні питання розподілених систем із завданнями інтелектуального керування параметрами фізичного середовища.

Обрана тема відповідає спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія», оскільки предметом дослідження є архітектура комп'ютерної системи спеціального призначення, взаємодія Edge- та Cloud-компонентів, способи обробки даних від IoT-вузлів, механізми ізоляції збоїв і забезпечення стабільної роботи системи під навантаженням.

Обґрунтованість методів і достовірність результатів

Для розв'язання поставленої задачі здобувач застосував комплекс методів, що відповідає міждисциплінарному характеру роботи: системний аналіз, математичне моделювання, теорію розподілених обчислень, методи машинного навчання, навчання з підкріпленням, аналіз часових рядів, імітаційне моделювання та статистичне опрацювання експериментальних даних.

Достовірність результатів підсилюється тим, що архітектурні рішення, модель стану мікроклімату, алгоритмічні компоненти та експериментальні сценарії узгоджені між собою. Робота демонструє послідовний перехід від аналізу обмежень існуючих систем до побудови Edge-Cloud архітектури та перевірки її працездатності.

Експериментальна частина охоплює оцінювання точності прогнозування, контролю параметрів мікроклімату, енергоефективності та горизонтального масштабування. Отримані результати дають підстави вважати заявлені положення наукової новизни обґрунтованими.

Структура та зміст дисертації

Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Її структура відповідає логіці виконання інженерно-наукового дослідження: від аналізу предметної області та постановки задачі до розроблення моделей, архітектури, програмних прототипів і експериментального підтвердження.

Сильним боком роботи є те, що мікросервісна система розглядається не як сукупність окремих програмних модулів, а як цілісний розподілений контур, у якому сенсорний рівень, потокова обробка, прогнозування, прийняття рішень і виконання керуючих команд мають визначені інформаційні зв'язки.

Зміст розділів є достатнім для розкриття теми: у роботі розглянуто аналіз предметної області, модельну основу, архітектурну реалізацію, алгоритмічне забезпечення та результати експериментальної апробації.

Наукова новизна одержаних результатів

Основним результатом дисертації є архітектурна модель мікросервісної розподіленої інформаційно-вимірювальної системи інтелектуального контролю мікроклімату. На відміну від централізованих рішень, вона використовує функціональну ізоляцію сервісів, контейнеризацію та асинхронний обмін подіями, що створює передумови для масштабування і локалізації відмов.

Удосконалена модель представлення та прогнозування стану мікроклімату дозволяє працювати з гетерогенними сенсорними джерелами та формувати багатовимірний опис середовища. Це є важливим результатом для інформаційно-вимірювальних систем, оскільки забезпечує зв'язок між вимірювальним контуром і аналітичними модулями.

Метод адаптивного інтелектуального контролю на основі навчання з підкріпленням розвинено у напрямі багатокритеріального прийняття рішень. Його перевага полягає у можливості одночасно враховувати стабільність параметрів середовища та енергоспоживання, що є практично важливим для систем мікроклімату.

Практичне значення та експериментальна апробація

Практичне значення роботи полягає у створенні прототипу платформи, що може бути використана для систем контролю мікроклімату у розумних приміщеннях, сіті-фермах і закритому агровиробництві. Запропоноване рішення підтримує інтеграцію IoT-сенсорів, аналітичних модулів та сервісів керування актуаторами.

Експериментальна апробація підтверджує працездатність запропонованих рішень. У роботі наведено показники зменшення відхилень параметрів мікроклімату від заданих значень, підвищення енергоефективності та перевірки масштабованості мікросервісної архітектури.

Результати дослідження можуть бути використані в освітньому процесі за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія», а також у прикладних розробках, пов'язаних із IoT, мікросервісними архітектурами, обробкою телеметрії та комп'ютеризованим контролем параметрів середовища.

Повнота оприлюднення результатів і академічна доброчесність

За темою дисертації опубліковано наукові праці, які відображають ключові результати: мікросервісну архітектуру інформаційно-вимірювальної системи, модель стану мікроклімату, LSTM-прогнозування, Q-learning для адаптивного контролю, IoT-архітектуру та балансування навантаження.

За результатами ознайомлення з дисертацією підстав для висновку про порушення академічної доброчесності не встановлено. Використані положення інших авторів супроводжуються посиланнями, а особистий внесок здобувача у спільних публікаціях розкрито.

Зауваження та дискусійні положення

1. У роботі доцільно було б розширити порівняння запропонованої Edge-Cloud архітектури з альтернативними підходами, зокрема edge-only або serverless-рішеннями для задач мікроклімату.

2. Механізм ізоляції збоїв подано переконливо, однак варто було б детальніше описати сценарії відновлення після відмови окремих сервісів та показники часу відновлення.

3. З огляду на використання IoT-рівня бажано окремо розглянути питання кібербезпеки каналів передавання телеметрії та керуючих команд.

4. Для практичного впровадження варто було б розширити опис вимог до мережевої інфраструктури та допустимих затримок між Edge- і Cloud-рівнями, оскільки ці параметри істотно впливають на стабільність контуру керування.

5. Рисунок 3.1 на сторінці 67 дисертації підписаний як структурно-функціональна модель. Але на цій схемі подалі тільки елементи структури.

6. При виконанні завдання 5 «Розробити метод адаптивного інтелектуального контролю параметрів мікроклімату в межах мікросервісної архітектури на основі навчання з підкріпленням із багатокритеріальною функцією винагороди, що враховує стабільність параметрів середовища та енергоспоживання» автором отримані результати, що характеризуються науковою новизною, описаною п. 3: «Набув подальшого розвитку метод адаптивного інтелектуального контролю параметрів мікроклімату в мікросервісній розподіленій інформаційно вимірювальній системі ...». Але цей результат недостатньо чітко відображений у висновках до роботи.

7. У розділі 5 дисертації не наводяться відомості про структуру та походження масивів вхідних даних, на основі яких отримані результати моделювання. Необхідно було б також більш детально розкрити методи синтезу моделей, топологію нейромереж та описати процес побудови моделей.

8. Не зрозуміло на якому саме рисунку подана інформаційна технологія, яка розроблялась у дисертації.

Ці зауваження не зменшують наукової та практичної значущості отриманих результатів.

Підсумкова оцінка

Дисертаційна робота Ю.О. Шеліхова є завершеним самостійним дослідженням, у якому розв'язано актуальну науково-технічну задачу побудови моделей та методу контролю мікроклімату у мікросервісних інформаційно-вимірювальних системах.

За актуальністю, науковою новизною, теоретичною і практичною значущістю, обґрунтованістю висновків та повнотою оприлюднення результатів дисертація відповідає вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня

доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44.

Вважаю, що Шеліхов Юрій Олександрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія».

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Черкаського державного технологічного університету, доктор технічних наук, професор



Сергій ГОЛУБ

Підпис проф. С. В. Голуба засвідчую.

Перший проректор Черкаського державного технологічного університету, кандидат технічних наук, професор



Артем ГОНЧАРОВ