

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу  
Русінова Володимира Володимировича

на тему «Метод підвищення ефективності розгортання компонентів  
платформи вбудованих систем»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 12 – Інформаційні технології  
за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія

### **Актуальність теми дисертації.**

Стрімкий розвиток сучасних вбудованих систем та їх інтеграція у високопродуктивні платформи, здатні до обробки великих обсягів даних у реальному часі, визначають актуальність дослідження. Такі платформи знаходять широке застосування у сферах відеоспостереження, автономного управління, створення систем розумного інтелекту для безпілотних пристроїв та інших технологічно складних галузях, де особливо важливими є адаптивність, масштабованість і надійність.

Особливу роль у підвищенні ефективності створення та супроводу таких систем відіграє застосування концепції Machine Learning Operations (MLOps), яка дозволяє інтегрувати методи машинного навчання у повний цикл розробки програмного забезпечення. Використання MLOps забезпечує автоматизацію процесів навчання, тестування, розгортання та моніторингу моделей, що суттєво знижує ймовірність помилок та скорочує час виведення продукту на ринок. Водночас, актуальною залишається проблема ефективного розгортання та масштабування компонентів платформи вбудованих систем, особливо в умовах зростання їхньої кількості. Традиційні клієнт-серверні підходи, орієнтовані на хмарні сервіси, стикаються з обмеженнями пропускної здатності мережі та зниженням надійності при масштабуванні. Це підкреслює необхідність розробки нових методів, здатних забезпечити безперервність функціонування платформи навіть за умов часткових відмов компонентів.

Таким чином, актуальність дисертаційного дослідження зумовлена потребою у створенні ефективного методу розгортання компонентів платформи вбудованих систем із забезпеченням відмовостійкості, зокрема за рахунок



використання коефіцієнту посередництва як інструменту підтримки стабільності функціонування системи при її масштабуванні.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Дисертаційне дослідження містить наступні наукові результати та наукову новизну:

1. Дисертантом вперше було запропоновано та розроблено метод розгортання компонент ШІ-платформи, яка об'єднанається у ієрархічну, гетерогенну структуру, до якої застосовується модифікований спосіб MLOps. Це відрізняє наукове рішення здобувача від вже існуючих підходів. За рахунок цього реалізується впровадження конвеєру постійного обслуговування, що оновлює модель штучної нейронної мережі, й виключає необхідність реконфігурації системи за рахунок модифікованого плану розгортання.

2. Запропоновано та реалізовано метод онтології процесів для розгортання системи із застосуванням модифікованого процесу MLOps, який, на відміну від існуючих рішень, знизив час відгуку платформи при високому навантаженні..

3. Запропоновано підхід зменшення використання ресурсів системи, що забезпечує можливість більш швидкого відновлення компонент платформи, за рахунок конвеєрної зборки та прунінгу контейнерів. Це на відміну від існуючих підходів, дозволяє заощадити час розгортання компонентів платформи вбудованих систем.

Наукові результати, що отримані здобувачем, є достатньо обґрунтованими та достовірними. Це забезпечується коректним застосуванням методів і технологій штучного інтелекту, статистичного аналізу, способів розгортання та підтверджується результатами експериментів.

Таким чином дисертаційна робота Русінова В.В. є завершеним науковим дослідженням рівня PhD, яке відповідає меті та визначеним у роботі задачам дослідження. Здобувач Русінов В.В. повністю опанував методологію проведення наукових досліджень.

Отже, поставлене наукове завдання дисертаційного дослідження, а саме: підвищення швидкості та відмовостійкості розгортання компонент в платформах вбудованих систем шляхом розробки методу підвищення



ефективності їхнього розгортання, виконано повністю, а здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

Дисертаційна робота здобувача Русінова В.В. за своїм змістом повністю відповідає вимогам стандарту вищої освіти зі спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми "Комп'ютерна інженерія".

Дисертаційна робота «Метод підвищення ефективності розгортання компонентів платформи вбудованих систем», є завершеною науковою працею рівня PhD. Зміст дисертації та наведених публікацій за її тематикою, свідчить про особистий науковий та науково-прикладний внесок здобувача у науковий напрям розгортання та масштабування компонентів платформ вбудованих систем.

Проаналізувавши звіт подібності перевірки дисертаційної роботи на текстові збіги, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Русінова В.В. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів плагіату та текстових запозичень. Використані наукові результати інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела й відображають високу наукову освіченість здобувача у теоретичних та прикладних напрямках теми дисертаційного дослідження. У роботі над дисертацією здобувач дотримався принципів академічної доброчесності.

**Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 213 сторінок.

У вступі розглянуто актуальність теми та її зв'язок з науковими програмами. Результати аналізу сучасних комп'ютерних мереж підкреслюють необхідність розроблення комплексного способу побудови комп'ютерної мережі, який спрямований на вдосконалення процесів передачі даних та підвищення надійності передачі даних, що дозволить гарантувати відповідність мережі заданим параметрам якості обслуговування. Визначено об'єкт, предмет і



методи дослідження, а також сформульовано наукову новизну та практичну значимість отриманих результатів.

У вступній частині автор дослідження звертає увагу на актуальність обраної тематики та її зв'язок з сучасними науковими програмами. Проведений аналіз комп'ютерних мереж виявив потребу у створенні комплексного підходу до проектування мережевої інфраструктури. Такий підхід має забезпечити покращення якості та надійності передачі даних, а також відповідність параметрам обслуговування. У вступі описано об'єкт і предмет дослідження, визначено методи, використані під час виконання роботи, а також наведено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

Перший розділ присвячено аналізу існуючих рішень щодо розгортання компонентів платформ вбудованих систем. Сформульовано цілі та завдання дослідження та обґрунтовано потребу у розробці нового методу, який поєднує можливості процесу MLOps. На основі даного підходу можливо автоматизувати розгортання, а також впровадити ефективне управління станом компонентів системи.

Другий розділ зосереджений на запропонованому підході до розгортання з використанням MLOps. Особливістю методу є застосування онтологій для класифікації компонентів платформи вбудованих систем та формалізації їх взаємодії в межах процесу розгортання. Надано детальний опис етапів реалізації цього підходу, а також аргументацію щодо вибору онтологічної моделі як засобу представлення концепцій в рамках MLOps.

У третьому розділі розглядаються варіанти підвищення ефективності розгортання, зокрема шляхом впровадження програмно-апаратних рішень. Запропоновано використовувати технологію Infrastructure as Code (IaC) для управління інфраструктурою платформи. Окремо представлено алгоритм, який дозволяє скоротити час розгортання завдяки використанню прунінгу та конвеєрної збірки контейнерів. Крім того, автор вводить поняття коефіцієнта посередності як метрики відмовостійкості, на основі якої запропоновано механізм міграції контейнерів у разі виникнення відмов.

Четвертий розділ демонструє результати моделювання розробленого методу. Детально описане технічне середовище, в якому проводилися експерименти, та обґрунтовано вибір мережевої топології Tree-DeBruijn. Під час моделювання аналізувався час розгортання при використанні різних



нейронних мереж, а також проводилась оцінка відмовостійкості за умов інтенсивного навантаження.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 12 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 6 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базі даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 2 статті у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Змістовно наукові публікації Русінова В.В. мають достатньо високий для дисертаційних досліджень науковий рівень. Слід відмітити, що практично усі публікації пройшли відповідне рецензування. Усі публікації були написані зі внесенням до кожної здобувачем особистого внеску, який був використаний ним при підготовці дисертаційної роботи. При написанні дисертації здобувач дотримувався принципів академічної доброчесності, зміст якої відображає його власні дослідження.

Результати дисертаційного дослідження були апробовані на 4 наукових фахових конференціях, що підтверджено тезами, які були опубліковано.

Можна відзначити, що наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

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

На основі аналізу змісту дисертаційної роботи Русінова В.В., нижче наведено недоліки, які ґрунтуються на критичному огляді представленого матеріалу, зокрема на виявлених пробілах, обмеженнях методології, технічних та організаційних аспектах:

#### **1. Недостатня відмовостійкість платформи**

У роботі прямо зазначається, що запропонована система має "більш низьку відмовостійкість компонентів платформи на основі вбудованих систем", порівняно з іншими програмно-апаратними рішеннями. Це є серйозним недоліком для систем, що працюють у критичних умовах, де надійність є пріоритетом.



## **2. *Проблеми з синхронізацією стану в командній роботі***

Один із вказаних недоліків — проблеми з синхронізацією файлу стану при роботі в великій команді. Це вимагає додаткової розробки системи контролю версій та станів, яке не повністю реалізовано в роботі, що обмежує масштабованість рішення.

## **3. *Ризик виникнення помилок при використанні DSL***

Через використання доменно-спеціалізованих мов (DSL) існує ризик виконання небажаних дій під час інтерпретації коду, що може призвести до нестабільності системи. Хоча синтаксичні помилки легко виявляються, логічні помилки або небезпечні операції можуть вимагати відкату до попереднього стану, що збільшує downtime.

## **4. *Обмежена масштабованість архітектури***

У роботі згадується, що деякі підходи (зокрема, аналогічні до TinyML) мають "обмежену масштабованість за рахунок невизначеності архітектури системи". Хоча автор пропонує власне рішення, питання масштабування для великих мереж із сотнями вузлів залишається не до кінця дослідженим.

## **5. *Додаткові витрати на реалізацію та підтримку топології***

Об'єднання пристроїв у складну топологію (зокрема, на основі кодових перетворень ДеБруйна) "потягне за собою додаткові кошти на реалізацію та підтримку". Це може ускладнити впровадження рішення в умовах обмеженого бюджету, особливо для малих та середніх підприємств.

## **6. *Недостатньо опрацьований процес розгортання моделей на периферії***

Система передбачає можливість навчання на Edge, але процес розгортання оновлених моделей залишається "лімітованим" і не має чітко визначеної методики, особливо щодо прунінгу, квантизації та синхронізації між хмарою та пристроями. Це може призвести до ускладнень у CI/CD-конвеєрах.

Ці недоліки не заперечують наукової та практичної цінності роботи, але вказують на напрями для подальшого дослідження та вдосконалення запропонованого підходу. 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.**

Таким чином вважаємо, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Русінова Володимира Володимировича на тему «Метод підвищення ефективності розгортання компонентів платформи вбудованих систем» виконана на відповідному високому науковому рівні, задовольняє усім



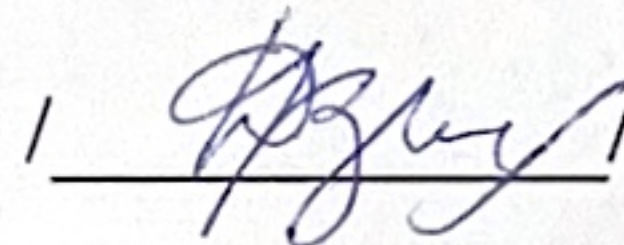
умовам, які визначають змістовність та стиль проведення дисертаційних досліджень рівня PhD. Також дисертаційна робота Русінова В.В. задовольняє усім принципам не порушення академічної доброчесності. Дисертаційне дослідження є закінченим науковим дослідженням, за сукупністю теоретичних та прикладних результатів вирішує наукове завдання, яке певним чином надає подальший розвиток інформаційних технологій у напрямку комп'ютерної інженерії.

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 Русінов Володимир Володимирович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 – Інформаційні технології за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія.

**Рецензент:**

Завідувача кафедри інформаційної безпеки  
Національного технічного  
університету України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»,  
д.т.н., проф.



Дмитро ЛАНДЕ

М.П.

«20» серпня 2025 року