

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
«Львівська політехніка»

д.т.н., проф. Івану ДЕМИДОВУ



Висновок

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
«Методи та моделі підвищення ефективності функціонування розподілених
сервісних систем»**

здобувача наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю

172 Телекомунікації та радіотехніка

Станіслава ЖУРАВЛЯ

(Ім'я та прізвище Здобувача)

**міжкафедрального наукового семінару Інституту інформаційно-
комунікаційних технологій та електронної інженерії**

1. Актуальність теми дисертації

В умовах стрімкого розвитку цифрової інфраструктури та масштабування обчислювальних ресурсів розподілені сервісні системи (РСС) стали критично важливою основою для побудови високонавантажених, масштабованих і відмовостійких інформаційно-комунікаційних сервісів. Хмарні обчислення, системи IoT, Edge- і Fog-обчислення, мікросервісні архітектури — усі ці парадигми ґрунтуються на використанні розподілених сервісних компонентів, функціонування яких повинно залишатися стабільним навіть за умов часткових збоїв або динамічних змін навантаження. Ефективне функціонування РСС вимагає вирішення низки складних задач: реалізація транзакції, виявлення та локалізація відмов, координація вузлів, гарантування унікальності значень, забезпечення консистентності даних та визначення оптимального часу відгуку вузлів. Традиційні алгоритми, такі як Paxos і Raft мають обмеження щодо адаптованості до змінних мережових умов, що робить їх менш придатними для використання у високонавантажених та масштабованих системах. Raft досягнув простоти завдяки чіткій лідер-орієнтованій структурі та простому механізму виявлення збоїв, який базується на тайм-аутах. Лідер у кластері централізує прийняття рішень, знижуючи необхідність складних координаційних механізмів, що спрощує реалізацію та обслуговування системи. У зв'язку з цим постає необхідність розробки моделей та методів, здатних не лише реагувати на поточний стан системи, а й передбачати її поведінку за умов невизначеності.

Особливої актуальності набуває впровадження інтелектуальних методів аналізу стану системи, які дозволяють не лише реагувати на поточні події, а й здійснювати прогнозування подальшої поведінки. Такі підходи включають використання моделей часових рядів, ймовірнісних механізмів оцінок, а також алгоритмів

адаптивного керування, здатних автономно приймати рішення щодо виявлення відмов, відновлення сервісів або змін у розподілі ролей між вузлами.

Зважаючи на постійне зростання обсягів даних, кількості взаємодіючих компонентів та критичну залежність бізнес-процесів від безперебійної роботи розподілених систем, підвищення їх ефективності, оптимізації та якості функціонування постає як надзвичайно актуальне завдання. У своїх роботах над його вирішенням працювали представники наукових шкіл професора Поповського В.В., професора Згуровського М.З., професора Глоби Л.С., професора Климаша М.М.. Активно долучаються до вирішення проблем узгодженості систем Золотухін О.В., Демидов І.В., Шпур О.М. Серед іноземних дослідників слід відзначити роботи F. Munoz, C. Berger, Hans P. Reiser, W.Lu, M.Raynal та інших.

Основна частина робіт згаданих авторів спрямована на покращення узгодженості роботи розподілених систем, які орієнтовані на надання композитних сервісів шляхом удосконаленого управління мережними ресурсами та їх планування. Проте недостатньо уваги приділено адаптивному та прогнозованому виявленню відмов з урахуванням поточних умов функціонування системи. Для досягнення цієї мети слід розв'язати протиріччя між мінімізацією значення часу очікування вузлом на відповідь, який дозволяє системі оперативно реагувати на потенційні збої та сприяє швидкому переобранню лідера, і підвищенням ймовірності хибнопозитивного спрацювання механізму виявлення відмов, що спричиняє зайві процедури реконфігурації, порушення узгодженості даних та загальне зниження продуктивності системи. Таким чином, необхідність балансування між швидкістю реагування на відмови та точністю функціонування механізмів виявлення збоїв потребує розв'язання науково-практичного завдання – розроблення нових методів та моделей підвищення ефективності функціонування РСС з прогнозованим адаптивним виявленням відмов, які враховуватимуть поточні характеристики мережевого середовища, динаміку затримок і поведінку вузлів у кластері та визначати їх порогові значення.

2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Тематика дисертаційного дослідження виконувалась у відповідності до наукового напряму кафедри інформаційно-комунікаційних технологій Національного університету “Львівська політехніка”..

3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Аналіз структури та змісту дисертаційної роботи та наукових праць, що опубліковані автором, дозволяє стверджувати, що усі наукові та практичні результати отримані ним особисто і повною мірою опубліковані та апробовані. Журавель С.С. розробив автономний адаптивний метод підвищення продуктивності РСС, який на основі знань про лідер-орієнтовану структуру алгоритму консенсусу, дозволяє динамічно коригувати параметри затримки між вузлами кластеру, обирати лідера в кластері, та забезпечити максимальну стабільність і продуктивність роботи системи вцілому; удосконалив метод виявлення відмов в роботі розподілених сервісних систем, який на відміну від існуючих аналізує стан функціонування системи та мінімізує кількість помилкових рішень про відмови, шляхом інтеграції ймовірнісного байесівського підходу; розробив метод адаптивного визначення порогу відмов шляхом прогнозування часу очікування повідомлень від потенційно непрацездатного вузла за допомогою моделі машинного навчання. Робота містить

теоретичні та прикладні положення й висновки, сформульовані дисертантом особисто. Ідеї, положення чи гіпотези інших авторів, які присутні в дисертації, мають відповідні посилання і використані лише для підкріплення ідей та результатів здобувача.

4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Аналіз змісту розділів, використаного інструментарію та способів його застосування дозволяє зробити висновок про належну обґрунтованість наукових результатів. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертації, повністю обґрунтовано теоретичним аналізом, результатами практичного використання та інформацією з науково-технічної літератури, підтверджено характеристиками впроваджених систем.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

За результатами виконаних теоретичних та експериментальних досліджень розв'язано актуальне наукове завдання розроблення методів та моделей прогнозованого адаптивного виявлення відмов, які враховуватимуть поточні характеристики мережевого середовища, динаміку затримок і поведінку вузлів у кластері та визначати їх порогові значення. При цьому отримано такі нові результати:

- набув подальшого розвитку метод виявлення відмов в роботі розподілених сервісних систем, який на відміну від існуючих аналізує стан функціонування системи та мінімізує кількість помилкових рішень про відмови, шляхом інтеграції ймовірнісного байєсівського підходу, що дасть змогу забезпечувати стабільне функціонування розподілених сервісних систем.
- удосконалено метод адаптивного визначення порогу відмов шляхом прогнозування часу очікування повідомлень від потенційно непрацездатного вузла за допомогою моделі машинного навчання SARIMA, що дозволяє зменшити вплив нестабільності мережевих з'єднань з 5% до 0.5% на функціонування алгоритму консистентності, і як наслідок, на працездатність роботи розподіленої сервісної системи. Ефективна інтеграція та застосування методів виявлення відмов та адаптивного визначення порогу відмов шляхом прогнозування часу очікування повідомлень від потенційно непрацездатного вузла за допомогою моделі машинного навчання SARIMA дозволила підвищити швидкість обробки повідомлень системою на 19.5%, що свідчить про здатність адаптивної системи краще утилізувати ресурси без втрати стабільності.
- вперше запропоновано автономний адаптивний метод підвищення продуктивності РСС, який на основі знань про лідер-орієнтовану структуру алгоритму консенсусу, дозволяє динамічно коригувати параметри затримки між вузлами кластеру, обирати лідера в кластері, та забезпечити максимальну стабільність і продуктивність роботи системи в цілому. Завдяки впровадженню автономного адаптивного методу вдалося зменшити стандартне відхилення затримки на 44%, що вказує на підвищену стабільність і передбачуваність роботи системи. Як наслідок, вдалося досягти зменшення ймовірності реконфігурації кластеру на 5%, що дозволить обробляти запити в моменти

пікових навантажень без переобрання нових лідерів.

6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

За результатами виконаних досліджень опубліковано 9 наукових праць, із них: 1 стаття у науковому періодичному виданні інших держав, що входять до міжнародних науково-метричних баз даних, 1 стаття у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних науково-метричних баз даних, 1 стаття у науковому періодичному виданні інших держав; 3 статті у наукових фахових виданнях України, 3 публікації у збірниках тез наукових конференцій (зокрема 2 – у виданнях, які входять до наукометричних баз даних Scopus та Web of Science)

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Стаття у науковому періодичному виданні інших держав, що входять до міжнародних науково-метричних баз даних:

1. Zhuravel S., Klymash M., Shpur O., Mrak V. “Reducing the impact of unstable connections among nodes of wireless IIoT clusters using machine learning methods”, *Lecture Notes in Electrical Engineering. Vol. 1198: Digital ecosystems: interconnecting advanced networks with AI applications*. P. 144–159, 2024. doi: 10.1007/978-3-031-61221-3_8

Особистий внесок здобувача: запропонував удосконалення методу адаптивного визначення порогу відмов, що дозволяє зменшити вплив нестабільних з'єднань між вузлами бездротових кластерів IIoT за допомогою методів машинного навчання

Стаття у науковому фаховому виданні України, що входять до міжнародних науково-метричних баз даних

2. S. Zhuravel, O. Shpur, and M. Klymash, “Adaptive consensus algorithms: Designing for durability against unstable network connections,” *International Journal of Computing*, vol. 23, no. 4, pp. 574–582, 2024. doi: 10.47839/ijc.23.4.3756.

Особистий внесок здобувача: розроблення імітаційної моделі кластеру розподіленої сервісної системи для оцінки ефективності визначення потенційного лідера

Стаття у науковому періодичному виданні інших держав:

3. N. Peleh, S. Zhuravel, O. Shpur, and O. Rybytska, “Structured and unstructured log analysis as a method to detect DDoS attacks in SDN networks,” *Internet of Things (IoT) and Engineering Applications*, vol. 6, no. 1, pp. 1–9, 2021. doi: 10.23977/iotea.2021.060101.

Особистий внесок здобувача: моделювання та оцінка ефективності функціонування хмарних систем в умовах обслуговування групових потоків запитів

Статті у наукових фахових виданнях України:

4. S. Zhuravel, “Development of network simulation model for evaluating the efficiency of distributed consensus taking into account the instability of network connections,” *Infocommunication Technologies and Electronic Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 10–19, 2024. doi: 10.23939/ict2024.01.010.

Особистий внесок здобувача: проведення дослідження та оцінки впливу параметру тайм-ауту на процес реконфігурації кластерів в розподіленій системі

5. S. Zhuravel, O. Shpur, and Y. Pyrih, "Method of achieving consensus in distributed service systems," *Infocommunication Technologies and Electronic Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 58–66, 2022. doi: 10.23939/ictee2022.02.058.

Особистий внесок здобувача: розроблення автономного адаптивного методу підвищення ефективності функціонування розподілених сервісних систем

6. Журавель С., Думич С., Шпур О. "Дослідження методів збору та обробки даних в розподілених інформаційних системах" *Infocommunication Technologies and Electronic Engineering = Інфокомунікаційні технології та електронна інженерія*. vol. 1, № 1, с. 20–38, 2021. doi: 10.23939/ictee2021.01.020

Особистий внесок здобувача: проведено порівняльний аналіз алгоритмів збору та обробки даних, їх обмеження щодо адаптивності до змінних мережеских умов.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. S. Zhuravel, "Adaptive probabilistic methods for boosting the reliability of consensus algorithms in distributed systems," in *Proc. 2024 IEEE 17th Int. Conf. on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2024, pp. 145–149. doi: 10.1109/TCSET64720.2024.10755585.

Особистий внесок здобувача: проведення імітаційного моделювання автономного адаптивного методу для дослідження ефективності функціонування розподілених сервісних систем

8. M. Klymash, O. Shpur, O. Lavriv, and S. Zhuravel, "Achieving consistency and consensus of distributed infocommunication systems," in *Proc. 2022 IEEE 16th Int. Conf. on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, Ukraine, 2022, pp. 386–389. doi: 10.1109/TCSET55632.2022.9767019.

Особистий внесок здобувача: проведення дослідження впливу нестабільних з'єднань між вузлами бездротових кластерів IIoT

9. M. Klymash, S. Zhuravel, O. Shpur "Machine learning approaches to stabilize wireless IIoT clusters facing network instabilities" Наукоємні технології в інфокомунікаціях: збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції НІСТ'2023, Харків - Кам'янець-Подільський, Україна, 2023, с. 90–92.

Особистий внесок здобувача: узагальнення та опрацювання результатів експериментальних досліджень, проведення порівняльного аналізу отриманих значень, апробація матеріалів на конференції.

У кожному розділі дисертації вказуються публікації, у яких відображено результати досліджень цього розділу. Опубліковані роботи відображають основні положення дисертації. Аналіз їх змісту свідчить, що усі результати є повністю опубліковані та апробовані.

7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозіумах, семінарах тощо

Основні наукові результати і положення дисертації представлені, доповідались та обговорені на 3-ох міжнародних науково-технічних конференціях: Міжнародна

науково-технічна конференція «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії» (м. Львів-Славське 2022, 2024 рр.); Наукоемні технології в інфокомунікаціях НІСТ'2023 (Харків - Кам'янець-Подільський, Україна, 2023 р.). Крім цього, дисертаційна робота у повному обсязі представлена на наукових семінарах кафедри інформаційно-комунікаційних технологій Національного університету «Львівська політехніка».

В опублікованих працях достатньо повно розкрито та апробовано основні результати теоретичних та експериментальних досліджень, що виконані здобувачем особисто.

8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Наукові та практичні результати виконаних досліджень використані в навчальному процесі кафедри інформаційно-комунікаційних технологій Національного університету «Львівська політехніка» для модернізації курсу лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 172 Електронні комунікації та радіотехніка ОНП «Телекомунікації та радіотехніка» з дисципліни «Розподілені сервісні системи та Cloud-технології» та лабораторних робіт з дисциплін «Розподілені інформаційно-комунікаційні мережі» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти ОПП «Інформаційно-комунікаційні системи».

9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Основні результати дисертаційної роботи використано і впроваджено з метою підвищення ефективності функціонування розподілених сервісних систем при їх інтеграції у сучасні інформаційно-комунікаційні сервісно-орієнтовані мережі, зокрема ТзОВ «Вітертек» та ТзОВ ВТФ «Контех», що підтверджено актами впровадження.

10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Зміст дисертаційної роботи «Методи та моделі підвищення ефективності функціонування розподілених сервісних систем» відповідає обраній темі, забезпечує досягнення поставленої мети та вирішення завдання дослідження, за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення про присудження ступеня доктора філософії»

У ході обговорення дисертації до неї не було висунуто жодних зауважень щодо самої суті роботи.

11. З урахуванням зазначеного, на міжкафедральному науковому семінарі Інституту інформаційно-комунікаційних технологій та електронної інженерії ухвалили:

11.1. Дисертація Журавля Станіслава Сергійовича «Методи та моделі підвищення ефективності функціонування розподілених сервісних систем» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано конкретне наукове завдання розроблення нових методів та моделей прогнозованого адаптивного виявлення

відмов, які враховуватимуть поточні характеристики мережевого середовища, динаміку затримок і поведінку вузлів у кластері та визначати їх порогові значення, що має важливе значення для галузі знань 17 *Електроніка та телекомунікації*.

11.2. Основні наукові положення, методичні розробки, висновки та практичні рекомендації, викладені у дисертаційній роботі, логічні, послідовні, аргументовані, достовірні, достатньо обґрунтовані. Дисертація характеризується єдністю змісту.

11.3. У 9 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 4 статті у наукових фахових виданнях України та 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав.

11.4. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами).

11.5. Дисертація є результатом самостійних досліджень, не містить елементів фальсифікації, компіляції, плагіату та запозичень, що констатує відсутність порушення академічної доброчесності. Використання текстів інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

11.6. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Журавля Станіслава Сергійовича дисертація «Методи та моделі підвищення ефективності функціонування розподілених сервісних систем» рекомендується для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

За	-	<u>тридцять чотири</u>
Проти	-	<u>немає</u>
утримались	-	<u>немає</u>

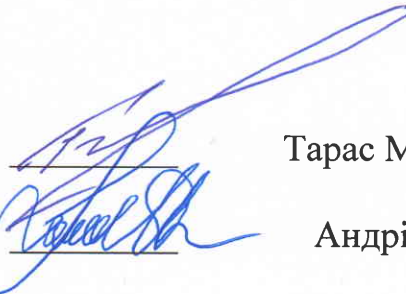
Головуючий на науковому
семінарі кафедри ІКТ,
д.т.н., професор



Богдан РУСИН

Рецензенти:

д.т.н., доцент

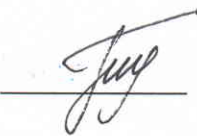


Тарас МАКСИМЮК

к.т.н., доцент каф. ІКТ

Андрій МАСЮК

Відповідальний у ННІ за
атестацію PhD, д.т.н., доцент



Микола БЕШЛЕЙ

" 4 " березня 2025 р.