

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Проректор з навчальної роботи  
Національного технічного  
університету України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”  
к.т.н., доц.  
**Тетяна ЖЕЛЯСКОВА**  
“ ” березня 2025 р.



### **ВИТЯГ**

з протоколу № 12 від 10 березня 2025 р. розширеного засідання  
кафедри інформаційних технологій в телекомунікаціях  
Національного технічного університету України  
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

#### **БУЛИ ПРИСУТНІ:**

- з кафедри інформаційних технологій в телекомунікаціях, доцент кафедри к.т.н., доц. Ільницький А.І., завідувач кафедри ІТТ д.т.н., проф. Скулиш М.А., професор кафедри д.т.н., проф. Глоба Л.С, професор кафедри д.т.н., проф. Могилевич Д.І., професор кафедри д.т.н., доц. Недашківський Н.Н., професор кафедри д.т.н., проф. Федін С.С., в.о. директора НН ІТС доцент кафедри к.т.н. доц. Правило В.В., доцент кафедри к.т.н., доц. Астраханцев А.А., доцент кафедри к.т.н., доц. Суліма С.В., доцент кафедри к.т.н., доц. Алексєєв М.О., доцент кафедри к.т.н., доц. Кононова І.В., доцент кафедри к.т.н., доц. Цуканов О.Ф., доцент кафедри к.т.н., доц. Новогрудська Р.Л., старший викладач кафедри к.т.н. Педан С.І., старший викладач кафедри Курдеча В.В., асистент кафедри Захарчук Л.В., аспірант кафедри Куценко Р., аспірант кафедри Тихонов М., аспірант кафедри Хміль Р., завідувач лабораторії Калайда Г.С., інженер I кат. Сак О.М.

- з кафедри телекомунікацій завідувач кафедри д.т.н., проф. Кравчук С.О., професор кафедри д.т.н., проф. Романов О.І., професор кафедри д.т.н., проф. Лисенко О.І., доцент кафедри к.т.н., Авдеєнко Г.Л.

- з інших кафедр КПІ ім. Ігоря Сікорського: професор кафедри електронних комунікацій та інтернету речей д.т.н., проф. Уривський Л.О., завідувач кафедри інформаційних систем та технологій д.т.н., проф. Ролік О.І., доцент кафедри інформаційної безпеки к.т.н., доц., Барановський О.М.;

Запрошені з інших організацій:

Національний університет "Києво-Могилянська академія", декан факультету інформатики, д.т.н., проф. Глибовець А.М., Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", професор кафедри комп'ютерної інженерії та програмування д.т.н., проф. Кучук Н.Г.,

### **СЛУХАЛИ:**

1. Повідомлення аспіранта кафедри інформаційних технологій в телекомунікаціях Дмитренко Олександри Анатоліївни за матеріалами дисертаційної роботи "Метод доповнювальних навантажень для розподілу задач в хмарних системах", поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань в галузі знань 17 — Електроніка, автоматизація та електронні комунікації за спеціальністю 172 — Телекомунікації та радіотехніка, освітньо-наукова програма "Телекомунікації та радіотехніка".

Тему дисертаційної роботи "Метод доповнювальних навантажень для розподілу задач в хмарних системах" затверджено на засіданні Вченої ради навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем (протокол № 10 від "22" листопада 2021 року) та перезатверджено на засіданні Вченої ради навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем (протокол № 11 від "23" грудня 2024 року).

Науковим керівником затверджена д.т.н., професор Скулиш Марія Анатоліївна.

### **2. Запитання до здобувача.**

Запитання на тему дисертації ставили:

к.т.н., доц. Ільницький А.І., д.т.н., проф. Глоба Л.С, д.т.н., проф. Могилевич Д.І., д.т.н., проф. Романов О.І., к.т.н., доц., Барановський О.М., к.т.н. доц. Астраханцев А.А., к.т.н. доц. Суліма С.В., к.т.н. доц. Алексєєв М.О., к.т.н. доц. Цуканов О.Ф., д.т.н., проф. Ролік О.І., д.т.н., проф. Кучук Н.Г., д.т.н., проф. Лисенко О.І., к.т.н., доц. Авдєєнко Г.Л.

### **3. Виступи за обговореною роботою.**

В обговоренні дисертації взяли участь: к.т.н., доц. Ільницький А.І., д.т.н., проф. Скулиш М.А., д.т.н., проф. Ролік О.І., д.т.н., проф. Кучук Н.Г., д.т.н., проф. Глоба Л.С., д.т.н., проф. Лисенко О.І., к.т.н. доц. Астраханцев А.А., к.т.н., доц. Барановський О.М.

## **УХВАЛИЛИ:**

**ПРИЙНЯТИ** такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

### **1. Актуальність теми дослідження**

Актуальність дослідження зумовлена стрімким розвитком інформаційних технологій та зростаючими вимогами до доступності й ефективності програмних продуктів у глобальному масштабі. Сучасні телекомунікаційні системи та мережі стикаються з проблемою нерівномірного навантаження, що призводить до неефективного використання обчислювальних ресурсів. Поява хмарних технологій, Kubernetes та мікросервісної архітектури створила передумови для розв'язання цієї проблеми через можливості масштабування та балансування навантаження.

Особливо актуальним є питання оптимізації використання серверної інфраструктури з урахуванням передбачуваних часових патернів навантаження різних застосунків. Запропонований метод пошуку доповнювальних навантажень програмного забезпечення дозволяє формувати групи спільної роботи незалежних задач, що сприяє більш ефективному використанню обчислювальних ресурсів протягом усього життєвого циклу обладнання. Це має особливе значення в контексті енергоефективності та економічної доцільності експлуатації телекомунікаційної інфраструктури, оскільки дозволяє досягти оптимального сумарного навантаження на серверні групи при використанні меншої кількості фізичних серверів.

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

Робота виконувалась відповідно до планів наукових досліджень кафедри інформаційних технологій в телекомунікаціях Навчально-наукового інституту телекомунікаційних систем, в рамках ініціативної науково-дослідної роботи «Інтелектуальне керування динамічною енергоефективною реконфігурацією обчислювальних ресурсів для підтримки технології NaaS» (Номер державної реєстрації роботи 0123U101635).

### **3. Наукова новизна отриманих результатів**

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

1. Запропоновано математичну модель розподілу навантажень на обчислювальні ресурси, яка відрізняється тим, що базується на теорії нечітких ґраток та використовує групи процесів з постійними навантаженнями.
2. Розроблено метод доповнювальних навантажень, який відрізняється тим, що визначає задачі-доповнення, які разом формують групу завдань сталого ресурсоспоживання задля мінімізації сумарної кількості необхідних ресурсів в багатосерверній інфраструктурі.
3. Удосконалено метод автомасштабування виконуваних завдань, який відрізняється від існуючих частковим завантаженням серверів кластера групами задач повного навантаження, що дозволяє зменшити кількість зарезервованого ресурсу цих серверів та загальну кількість серверів у кластері.
4. Удосконалено метод автомасштабування виконуваних завдань, який відрізняється від існуючих повним завантаженням частини серверів кластера групами задач повного навантаження, що дозволяє мінімізувати кількість зарезервованого ресурсу цих серверів, зменшити їх енерговитрати, а також збільшити їх термін служби.

#### **4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження**

##### *Теоретичне значення результатів*

1. Виділено основні критерії, які впливають на розміщення задач у багатосерверній системі, а також сформульовано загальний алгоритм розміщення в результаті аналізу наявних рішень планування розташування обчислювальних задач на вузлах кластерів, що використовуються у лідерів поміж провайдерів логістики у хмарних технологіях, а саме AWS, Azure, GCP, та Kubernetes.
2. Виявлено декілька недоліків у плануванні розподілу задач у вищезгаданих провайдерів: віддається центральна роль параметрам базового (request) та максимального (limit) завантаження CPU та RAM (а також опційно додаткових параметрів) сервера, що спричиняється мікропослугою. Ці параметри впливають на розміщення задачі, а також на її автомасштабування та вилучення з вузла. Останнє можливе в разі перевищення її максимального завантаження, або перевантаження сервера. Після вилучення, немає гарантій, що задача буде швидко заново розміщена, зокрема, якщо спостерігається високе завантаження хмари.
3. Запропоновано нову математичну модель розподілу навантажень між вузлами багатосерверної системи, яка оперує групами процесів з постійними навантаженнями. Вона базується на теорії нечітких ґраток, що дозволяє

гнучко підійти до понять неповного навантаження на сервер та графічно представити мікропослуги та їх масштабування у вигляді графів.

4. Запропоновано метод доповнювальних навантажень для визначення оптимальних задач-доповнень, які разом сформуують групу завдань сталого ресурсоспоживання, що забезпечує мінімізацію сумарної кількості необхідних ресурсів в багатосерверній інфраструктурі. Основна ідея методу полягає в реорганізації хмарної інфраструктури таким чином, щоб програмне забезпечення розподілялось групами стабільного навантаження, а не окремими задачами з різноманітним навантаженням. Це сприятиме передбачуваному стабільному навантаженню на все апаратне забезпечення (АЗ) хмари.

5. Запропоновано два удосконалені методи автомасштабування виконуваних завдань, що дозволяють зменшити необхідність їх масштабування, внаслідок часткового або повного завантаження вузлів групами обчислювальних задач сталого ресурсоспоживання. Вони працюють на основі методу доповнювальних навантажень з відповідними налаштуваннями при плануванні розподілу задач у багатосерверній системі. Беручи до уваги історичні дані, отримуємо можливість передбачити кількість та якість навантаження на серверну систему та, підбирати оптимальні комбінації груп задач, щоб розподілити навантаження, мінімізуючи потребу в непередбачуваному масштабуванні.

6. Запропоновано підхід до планування навантаження, який на основі моніторингу метрик та методу доповнювальних навантажень оптимально формує та розподіляє пакети задач у багатосерверній інфраструктурі з мінімальною потребою в автомасштабуванні, що сприяє зменшенню витрат на функціонування системи.

### *Практичне значення результатів*

1. Досліджено різноманітні типи обчислювальних задач та пропорції, в яких вони представлені у середовищі найпоширеніших хмарних провайдерів. Це дало змогу оцінити їх придатність до групування заради забезпечення сумарного сталого довготривалого використання обчислювального ресурсу.

2. Представлено алгоритм пошуку доповнювальних навантажень у вигляді блок-схеми та коду, що демонструє використання запропонованих методів та підходу загалом. Його застосування дає можливість зменшити технічні вимоги до CPU та RAM серверів-планувальників до 15% в разі заповнення вузлів кластера групами задач доповнювального завантаження. Це можливо через зменшення кількості задач для планування, що пов'язане з мінімізацією перепланувань, спричинених вилученням справних завдань із вузлів. До таких вилучень призводить перевищення запиту дозволених ресурсів на

завдання чи перевантаження обчислювальних вузлів. Сумарно це складає 25–35% всіх причин вилучення завдань, що становить 9–15% від усіх задач планувальника в разі планування тільки доповнювальних груп задач, та 2,1–4,5% в разі середньостатистичних задач, 30% яких належать доповнювальним групам.

3. Спостерігається можливість зменшення витрат на апаратне забезпечення в багатосерверній системі на 8-12% завдяки сприянню меншому зносу техніки завдяки плануванню через методу доповнювальних навантажень, а також підвищення енергоефективності послуг хостингу на 10–15% завдяки мінімізації перепадів струму в мережі через сталий рівень завантаженості серверів на вузлах з повним використанням доповнювальних завдань.

4. Спостерігається зменшення потреб в автомасштабуванні до 20% оскільки кількість доповнювальних груп складає 20-30%. На вузлах, де частково чи повністю будуть розміщені доповнювальні групи, можна зменшити кількість запасного ресурсу headroom відповідно до пропорції присутності доповнювальних груп на обчислювальних вузлах. Пропорція буде ефективною щодо кількості запасного ресурсу, якщо доповнювальні групи складатимуть 20-24% залежно від ключового ресурсу, а отже headroom можна зменшити на той самий відсоток, але все ж слід врахувати мінімальний безпечний інтервал.

5. Можливість зменшити кількість технічного забезпечення на 8%, 10% та 17% відповідно, що сумарно становить понад 9% з врахуванням частки присутності залежно від обраного ключового критерію: CPU, RAM чи мережевий ресурс.

6. Збільшення пропускної можливості багатосерверної системи в години пік, яке складатиме 5–15% економії місця на 10–15% відсотках серверів при виділенні відповідної кількості серверів під доповнювальні групи.

7. Основні ідеї методу доповнювальних навантажень впроваджені у курс "Big Data", що викладається аспірантам НН ІТС на кафедрі ІТТ.

## **5. Апробація результатів дисертації**

Основні положення та результати дисертаційної роботи були представлені й одержали схвалення на:

Всеукраїнській науково-практичній конференції “Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики” (м. Київ, Україна, 2022 р.);

Міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи телекомунікацій» (Київ, Україна, 2023 р.).

Міжнародній конференції прикладних винаходів та інновацій в ІТ “ІСАІТ” (Кетен, Німеччина, 2024 р.);

Міжнародній науково-практичній конференції з програмування “14th International Scientific and Practical Programming Conference (UkrPROG 2024)” (Київ, Україна, 2024 р.);

За результатами досліджень опубліковано 9 наукових публікацій, у тому числі 4 статті у наукових фахових виданнях України за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка в кількості двох співавторів, а також 1 статтю у журналі спорідненої спеціальності, 2 статті у періодичних наукових фахових виданнях проіндексованих у базі Scopus, 2 тез виступів на наукових конференціях.

## **6. Дотримання принципів академічної доброчесності**

За результатами науково-технічної експертизи дисертація *Дмитренко О.А.* визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

## **7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача**

За результатами досліджень опубліковано 9 наукових публікацій, у тому числі:

- 4 статті у наукових фахових виданнях України за спеціальністю, 172 — Телекомунікації та радіотехніка (в т.ч. немає статей у яких число співавторів (разом із здобувачем) більше двох осіб);
- 2 статті у періодичних наукових виданнях проіндексованих у базах Scopus;
- 2 тез виступів на наукових конференціях;
- 1 стаття, що додатково відображає результати дисертації.

### **Статті у наукових фахових виданнях України**

1. О. А. Дмитренко і М. А. Скулиш, «Методи збору інформації та реалізації алгоритму доповнювальних навантажень», Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць, вип. 4(78), с. 56–59, Лис 2024, doi: 10.26906/SUNZ.2024.4.056

Здобувачеві належить: опис методів збору інформації, а також способів реалізації алгоритму доповнювальних навантажень.

2. М. А. Скулиш, О. А. Дмитренко, “Метод організації мікросервісів на серверних групах Kubernetes,” Вчені записки Таврійського Національного Університету Імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки, вип. 1(5), с. 291–297, Груд 2024, doi: 10.32782/2663-5941/2024.5.1/41

Здобувачеві належить: опис підходу та методу організації мікросервісів, а також інших мікропослуг, включаючи монолітні та серверлес застосунки для їх розміщення за допомогою Kubernetes.

3. О.А. Дмитренко, М.А. Скулиш, «Методи відмовостійкості резервування пристроїв IoT». Науковий журнал «Інфокомунікаційні та комп'ютерні технології» №2(04). Київ: Університет "Україна". УДК 004.75. грудень 2022. 59-65 с. doi: 10.36994/2788-5518-2022-02-04-06

Здобувачеві належить: опис роботи в мікросервісному середовищі, де виникають проблеми комунікації між мікропослугами, та опис підходу щодо розв'язання цих проблем на різних рівнях.

4. О. Дмитренко, М. Скулиш, "Групування мікропослуг для використання неповно залучених ресурсів", Сучасні інформаційні технології, номер 2024, 1(3), с. 78-85, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", DOI: <https://doi.org/10.17721/AIT.2024.1.08>

Здобувачеві належить: опис алгоритму пошуку доповнювальних навантажень, а також на його основі обґрунтовано методи для зменшення необхідності в автомасштабуванні.

**Статті у періодичних наукових виданнях проіндексованих у базах WoS та/або Scopus**

5. O. Dmytrenko, M. Skulysh, L. Globa, "Microservice Complimentary Groups Determination Algorithm for the Effective Resource Usage," in Proceedings of the 14th International Scientific and Practical Programming Conference (UkrPROG 2024), I. Sinitsyn and P. Andon, Eds., in CEUR Workshop Proceedings, vol. 3806. Kyiv, Ukraine: CEUR, May 2024, pp. 180–201. Accessed: Dec. 28, 2024. [Online]. Available: [https://ceur-ws.org/Vol-3806/#S\\_55\\_Dmytrenko\\_Skulysh\\_Globa](https://ceur-ws.org/Vol-3806/#S_55_Dmytrenko_Skulysh_Globa)

Здобувачеві належить: опис методу доповнювальних навантажень, підготовки та нормалізації вхідних даних, опис предметної області та випадків застосування методу, порівняння з наявними рішеннями, пояснено підхід до зменшення кількості автомасштабування.

6. O. Dmytrenko and M. Skulysh, "Method of Grouping Complementary Microservices Using Fuzzy Lattice Theory," presented at the International Conference on Applied Innovations in IT (ICAII), E. Siemens, Ed., in 1, vol. 12. Koethen, Germany: Anhalt University of Applied Sciences Bernburg / Koethen / Dessau, Mar. 2024, pp. 11–18. doi: 10.25673/115636

Здобувачеві належить: опис математичної моделі системи, ідея та впровадження використання нечіткої логіки та торії ґраток

**Матеріали конференцій та статті, що додатково відображають  
результати дисертації**

7. О.А. Дмитренко, "Мікросервісна архітектура та її задачі на прикладах з реального життя", Зібрання тез до конференції "XVII Міжнародна науково-технічна конференція "Перспективи телекомунікацій 2023", 18-21 квітня, 2023. Київ. УДК 004.75. с. 239-242

Здобувачеві належить: опис ідеї мікросервісної архітектури та проблем з комунікацією, які виникають в даній архітектурі.

8. О.А. Dmytrenko, M.A. Skulysh, "Handling with a Microservice Failure and Adopting Retries", Collection of abstracts for the conference "All-Ukrainian science-practical conference of students, Ph. D. students and young scientists", June 15 2022, pp 194-196

Здобувачеві належить: опис проблем комунікації в мікросервісному середовищі, які можна частково чи повністю вирішити повторним надсиланням сповіщень.

9. Дмитренко О.А., Скулиш М.А., "Визначення мікропроцесорних груп для ефективного використання процесорних потужностей". , журнал "Проблеми програмування" №2-3, грудень, 2024, 8 стр, УДК 004.75, DOI: 10.15407/pp2024.02-03.215

Здобувачеві належить: опис проблем неповного завантаження серверів та пропозиція вирішення їх формуванням груп програм доповненого навантаження, що сприятиме рівномірному завантаженню обладнання.

Якість та кількість публікацій відповідають "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".

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Дмитренко О.А. "Метод доповнювальних навантажень для розподілу задач в хмарних системах", що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред'являють до дисертацій

на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПІ ім. Ігоря Сікорського Телекомунікації та радіотехніка зі спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка.

**РЕКОМЕНДУВАТИ:**

1. Дисертаційну роботу "Метод доповнювальних навантажень для розподілу задач в хмарних системах", подану Дмитренку Олександром Анатолійовичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПІ ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

- доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних систем та технологій (ІСТ), ФІОТ, КПІ ім. Ігоря Сікорського **Ролік Олександр Іванович**

Члени:

Рецензенти:

- кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій в телекомунікаціях НН ІСТ КПІ ім. Ігоря Сікорського **Астраханцев Андрій Анатолійович**

- кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційної безпеки НН ФТІ КПІ ім. Ігоря Сікорського **Барановський Олексій Миколайович;**

Офіційні опоненти:

- доктор технічних наук, професор, декан факультету інформатики, Національний університет "Києво-Могилянська академія" (Київ) **Глибовець Андрій Миколайович;**

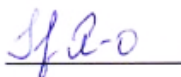
- доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії та програмування, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут" **Кучук Ніна Георгіївна.**

Головуючий на засіданні  
доцент кафедри ІТТ, к.т.н.доц.



Анатолій ІЛЬНИЦЬКИЙ

Вчений секретар  
кафедри ІТТ  
к.т.н. доц.



Ріна НОВОГРУДСЬКА