

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Прокопець Наталії Андріївни
на тему «Енергоефективне обслуговування навантаження
інформаційно-комунікаційної мережі»,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації
за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Актуальність теми дисертації.

Зростання обсягів трафіку у телекомунікаційних мережах та обчислювальній інфраструктурі відбувається у геометричній прогресії, і це вимагає дедалі більшої кількості енергії для забезпечення функціонування цих систем. У зв'язку з цим енергоефективність є ключовим параметром сучасних інформаційно-комунікаційних систем, який необхідно ретельно враховувати і оптимізувати як в процесі проєктування мережі, так і в процесі експлуатації. Це дозволить зменшити витрати на енергію та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, зберігаючи при цьому високу якість обслуговування користувачів телекомунікаційних мереж. Для України завдання підвищення енергоефективності інформаційної інфраструктури має особливе значення, оскільки через руйнування енергетичних систем агресором, постачальникам послуг дедалі важче забезпечувати безперебійне функціонування систем зв'язку, що створює загрозу для інформування населення в умовах війни.

У зв'язку з цим тематика дисертаційної роботи Прокопець Наталії Андріївни, яка присвячена підвищенню енергоефективності та продуктивності обслуговування навантаження інформаційно-комунікаційної мережі шляхом використання індивідуальних моделей енергоспоживання обчислювальних вузлів, поєднання переваг методів горизонтального масштабування та енергоефективного розподілу задач з врахуванням непередбачуваних динамічних змін інтенсивності вхідного навантаження є актуальною та своєчасною.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Результати наукової новизни складаються із 4 пунктів, які чітко окреслюють, що було запропоновано автором вперше, а що удосконалено із вже існуючого:

1. Вперше запропоновано метод енергоефективного обслуговування навантаження інформаційно-комунікаційної мережі, який, на відміну від відомих, базується на використанні індивідуальних моделей енергоспоживання

обчислювальних вузлів, гармонійно поєднує переваги підходів горизонтального масштабування та енергоефективного розподілу задач із врахуванням динамічних змін інтенсивності вхідного навантаження.

2. Розвинуто підходи щодо формалізації процесу обслуговування навантаження в інформаційно-комунікаційній мережі у вигляді онтологічної моделі, що також є новим науковим результатом.

3. Удосконалено математичну модель системи розподіленого обслуговування навантаження інформаційно-комунікаційної мережі як СМО. Запропонована модель відрізняється від відомих тим, що враховує змінний характер інтенсивності вхідного навантаження та можливість використання технік паралелізації при розробці програмного забезпечення сучасних мереж.

4. Удосконалено методи горизонтального масштабування обчислювальної системи шляхом використання індивідуальних моделей енергоспоживання обчислювальних вузлів та застосування механізму прогнозування динамічних відхилень вхідного навантаження.

Обґрунтованість наукових результатів дослідження Прокопець Н.А. забезпечується повнотою використання методології наукових досліджень у галузі, а саме: чітким формулюванням актуальності досліджуваного проблемного питання, постановки задачі, об'єкта, предмета та мети дослідження, ґрунтовним оглядом сучасного стану проблемного питання на основі вітчизняних та зарубіжних досліджень, використанням апробованих методів математичного моделювання, послідовним обґрунтуванням викладом суті запропонованого комплексного методу, застосуванням методів лабораторного експерименту та імітаційного моделювання для перевірки адекватності та ефективності запропонованих моделей та методів.

Достовірність отриманих наукових результатів підтверджується у першу чергу підкріпленням теоретичних положень емпіричними даними, отриманими шляхом лабораторного експерименту та імітаційного моделювання, а також апробацією результатів на вітчизняних та міжнародних фахових наукових конференціях і рецензуванням публікацій здобувача у фахових наукових виданнях України.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної добросереди.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Прокопець Н.А. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Телекомунікації та радіотехніка».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Телекомунікації та радіотехніка».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Прокопець Наталії Андріївни є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, plagiatу та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Зміст роботи викладено чітко та доступно із дотриманням наукового стилю мовлення та коректним використанням загальноприйнятої термінології та наукової лексики. Робота містить усі необхідні структурні елементи, що викладені послідовно та є логічно пов'язаними між собою.

Дисертація складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 217 сторінок.

У вступі здобувач обґрутувала актуальність теми, коректно виділила предмет та об'єкт дослідження, сформулювала мету та основні задачі дослідження, а також навела вичерпну інформацію про наукову новизну, практичну цінність та апробацію наукових результатів.

У першому розділі наведено опис об'єкта дослідження, чітко сформульовано постановку задачі, показники та критерій ефективності досліджуваного процесу обслуговування навантаження ІКМ. Крім того, у розділі висвітлено різні аспекти проблемного питання забезпечення енергоефективності обслуговування навантаження ІКМ на основі ґрунтовного аналізу сучасної наукової літератури.

У другому розділі здобувачем описано застосування методів інтелектуального аналізу даних та теорії масового обслуговування для формалізації та побудови математичної моделі об'єкта дослідження. Процес математичного моделювання описано послідовно та обґрутовано.

Третій розділ висвітлює суть запропонованого комплексного методу енергоефективного обслуговування навантаження інформаційно-комунікаційних мереж, що є основним науковим результатом дослідження. У розділі наведено формальний опис методу та докладно висвітлено послідовність окремих його кроків. Поряд із чітким описом методу здобувач висловлює обґрутоване припущення щодо впливу окремих його кроків на показники ефективності досліджуваного процесу, що дозволяє краще зrozуміти суть окремих кроків методу.

У четвертому розділі наведені припущення щодо ефективності запропонованого комплексного методу перевіряються шляхом застосування методів лабораторного експерименту та імітаційного моделювання, що дозволяє впевнитись у достовірності отриманих наукових результатів.

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

Орилюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 19 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, 9 тез доповідей на конференціях проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, 4 розділи колективних монографій, 1 тези у матеріалах конференції.

Також результати дисертації були апробовані на 10 наукових фахових конференціях.

Високий рівень публікацій Прокопець Н.А., а також участь у вітчизняних та міжнародних наукових конференціях високого рівня, демонструє фахові вміння здобувача та підтверджує достовірність та обґрунтованість отриманих наукових результатів. В наукових публікаціях здобувач дотримувалась принципів академічної добросовісності.

Для наукових праць, опублікованих у співавторстві та зарахованих за темою дисертації, чітко вказано особистий внесок здобувача, зокрема у роботах:

1. Globa, Larysa, Gvozdetska (Prokopets), Nataliia & Novogrudska, Rina. (2021). Ontological model for data processing organization in information and communication networks. *System research and information technologies*. pp. 47-60. ISSN: 1681–6048. DOI: <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2021.1.04>.

Особистий внесок здобувача: онтологічна модель системи розподіленої обробки навантаження, також описана у дисертаційній роботі у другому розділі.

2. Прокопець, Н. А., Глоба, Л. С. (2022). Математичне моделювання процесу обслуговування навантаження в інформаційно-комунікаційній мережі, *Проблеми телекомунікацій*, (1 (30)), сс. 18-31. ISSN: 2220-6922. DOI: <https://doi.org/10.30837/pt.2022.1.02>.

Особистий внесок здобувача: математична модель системи розподіленого обслуговування навантаження інформаційно-комунікаційної мережі як СМО, описана у дисертаційній роботі у другому розділі.

3. Prokopets, N., Globa, L. (2022). Comprehensive method of energy-efficient

workload processing in the information and communication network. *Information and Telecommunication Sciences*, (2), pp. 34-45. ISSN: 2312-4121. DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.22022.34-45>.

Особистий внесок здобувача: комплексний метод енергоефективного обслуговування навантаження інформаційно-комунікаційної мережі, що є основним науковим результатом дисертаційного дослідження, та описаний у третьому розділі дисертації.

4. Глоба, Л. С., Гвоздецька (Прокопець), Н. А., Прокопець, В. А., & Степурін, О. В. (2017). Енергоефективний підхід до розподілу задач у серверному кластері. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління*, (34), сс. 18-28. ISSN: 2524-2601.

Особистий внесок здобувача: удосконалений підхід щодо енергоефективного розподілу задач у серверному кластері, що також є науковою новизною та описано у третьому розділі дисертації.

5. Globa, L., Gvozdetska (Prokopets), N., Prokopets, V., Stryzhak, O. (2019). QoS and Energy Efficiency Improving in Virtualized Mobile Network EPC Based on Load Balancing. In: Pejaś, J., El Fray, I., Hyla, T., Kacprzyk, J. (eds) *Advances in Soft and Hard Computing. ACS 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 889. Springer, Cham. (pp. 140-149). ISSN: 2194-5357. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-03314-9_13.

Особистий внесок здобувача: модель процесу розподілу навантаження у мережі оператора ІКМ.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Серед недоліків варто зазначити той факт, що у дисертаційній роботі не проводиться практичне порівняння запропонованого комплексного методу із сучасними алгоритмами енергоефективного обслуговування навантаження, наприклад, на основі машинного навчання, або з іншими сучасними алгоритмами, що є науковими прототипами, але не використовуються в реальних системах. Натомість у рамках лабораторного експерименту та імітаційного моделювання здійснюється порівняння лише із широко відомими методами Round Robin та Backfill.

У третьому розділі роботи, рисунок 3.4, автор пояснює підхід до динамічного управління обчислювальними ресурсами шляхом прогнозування інтенсивності вхідного навантаження на наступні часові періоди на основі спостереження за відхиленням навантаження від його статистичного значення в попередні часові періоди, при цьому похибка прогнозування та її вплив на

виконання вимог доступності системи та продуктивності обслуговування навантаження в інформаційно-обчислювальному середовищі у роботі не проведено.

До зауваження можна віднести не зовсім коректне вживання терміну «проблема» у роботі здобувача. Для дисертаційної роботи на здобуття ступеня доктора філософії доцільніше послуговуватись терміном «проблемне питання» чи «науково-практична задача», що також краще відповідає змісту дослідження.

Вважаю, що висловлені зауваження та недоліки 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

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Прокопець Наталії Андріївни на тему «Енергоефективне обслуговування навантаження інформаційно-комунікаційної мережі» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної добросердечності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань «Електроніка та телекомунікації». 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 Прокопець Наталія Андріївна заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 – Електроніка та телекомунікації за спеціальністю 172 – Телекомунікації та радіотехніка.

Офіційний опонент:

Доцент кафедри телекомунікацій
Національного університету
«Львівська політехніка»
доктор технічних наук, доцент

Микола БЕШЛЕЙ

Підпис д.т.н., доцента Бешлея М.І. засвідчує
Вчений секретар
Національного університету
«Львівська політехніка»
к.т.н., доцент



Роман БРИЛИНСЬКИЙ

06.04.2023р.