

Рішення
разової спеціалізованої вченої ради PhD 13595
про присудження ступеня доктора філософії

Здобувач ступеня доктора філософії **Анатолій Банар** 1993 року народження, громадянин України, освіта вища: закінчив у 2015 році Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича за спеціальністю «Комп'ютерні системи та мережі», фізична особа-підприємець, виконав акредитовану освітньо-наукову програму 38615 «Телекомунікації та радіотехніка».

Разова спеціалізована вчена рада PhD 13595, утворена наказом Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича Міністерства освіти і науки України, м. Чернівці, від «1» травня 2026 року № 182, у складі:

Голови разової спеціалізованої вченої ради – **Андрія Саміли**, доктора технічних наук (05.12.13 - радіотехнічні пристрої та засоби телекомунікацій), професора, завідувача кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Рецензентів – **Дмитра Угриня**, доктора технічних наук (05.13.06 - інформаційні технології), професора, професора кафедри комп'ютерних наук навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Руслана Політанського, доктора технічних наук (05.12.02 - телекомунікаційні системи і мережі), професора, професора кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Офіційних опонентів – **Каміли Сторчак**, доктора технічних наук (05.13.06 - інформаційні технології), професора, завідувача кафедри інформаційних систем та технологій навчально-наукового інституту інформаційних технологій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій.

Олега Савенка, доктора технічних наук (05.13.05 - комп'ютерні системи та компоненти), професора, професора кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем факультету інформаційних технологій Хмельницького національного університету.

на засіданні «1» липня 2026 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 17 - «Електроніка та телекомунікації» **Анатолію Банару** на підставі публічного захисту дисертації «Методи і технології використання алгоритмів штучного інтелекту в програмно-конфігурованих мережах в умовах обмежених ресурсів» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Дисертацію виконано у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича Міністерства освіти і науки України, м. Чернівці.

Науковий керівник - **Георгій Воробець**, кандидат фізико-математичних наук, доцент, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису українською мовою. Дисертація **Анатолія Банара** на тему «Методи і технології використання алгоритмів штучного інтелекту в програмно-конфігурованих мережах в умовах обмежених ресурсів», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 17 - «Електроніка та телекомунікації» за

спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка», є самостійним завершеним дослідженням, має наукову новизну, практичну значущість і відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами, внесеними згідно з Наказом МОН України від 31.05.2019 р. № 579) та «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 (зі змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 341 від 21.03.2022 р., № 502 від 19.05.2023 р., № 507 від 03.03.2024 р.).

Здобувач має 9 наукових публікацій за темою дисертації, з них 2 праці у науковому фаховому виданні України проіндексованому у наукометричній базі Scopus (Q3), 3 праці у наукових фахових виданнях України (категорія «Б»), 4 праці, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Banar A., Vorobets H. AI-based adaptive management of limited resources in SDN-IoT ecosystems. *Radioelectronic and Computer Systems*. 2025. Vol. 2025. № 4. P. 154-170. DOI: 10.32620/reks.2025.4.11 (Scopus, Q3)
2. Банар А. Ю., Воробець Г. І. Перспективні напрями розвитку, удосконалення і застосувань мережі SDN на основі методів штучного інтелекту. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2025. Т. 355. № 4. С. 15-21. DOI: 10.31891/2307-5732-2025-355-1
3. Банар А. Ю., Воробець Г. І. Алгоритми штучного інтелекту для оптимізації функціонування SDN: сучасні підходи та перспективи. *Зв'язок*. 2025. № 4. С. 11-18. DOI: 10.31673/2412-9070.2025.041241
4. Банар А. Ю., Воробець Г. І. Хмарні SDN-контролери з підтримкою ШІ: архітектура, масштабованість та безпека (порівняльне дослідження). *Безпека інфокомунікаційних систем та Інтернету речей*. 2025. Т. 3. № 1. С. 01011:1-6. DOI: 10.31861/sisiot2025.1.01011

У дискусії взяли участь голова і члени спеціалізованої вченої ради та висловили зауваження:

Голова спеціалізованої вченої ради Андрій Саміла, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Зауваження до дисертаційного дослідження відсутні.

Рецензент Дмитро Угрин, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Зауваження:

1. Окремі положення дисертації мають значний потенціал для подальшого розвитку, зокрема blockchain-аудит керуючих дій, адаптивний вибір ML-моделі, edge/fog-розгортання та керування IoT-сегментом. Було б доцільно в підсумкових висновках або перспективах подальших досліджень чіткіше виокремити ці напрями як основу для майбутнього розширення запропонованого Cloud-AI-SDN фреймворку.
2. Автор обґрунтовано використовує індекс розподілу Джейна для оцінювання рівномірності доступу до обмеженого ресурсу. Разом з тим, доцільно було б доповнити аналіз іншими метриками справедливості або стабільності, наприклад розглянутий в роботі max-min fairness, чи середньоквадратичне відхилення між клієнтами або часткою клієнтів, які систематично недоотримують доступ до ресурсу.
3. При описі хмарного прикладного рівня згадується можливість використання блокчейну як контуру автентифікації та перевірки команд керування до брокера MQTT. Варто деталізувати архітектурну сумісність, як саме легковагові IoT-вузли з обмеженими обчислювальними можливостями здатні взаємодіяти з блокчейн-контуром без критичного зростання енергоспоживання.
4. У роботі проведено порівняння моделей Logistic Regression та Gradient Boosting за точністю, F1, накладними витратами (CPU, RSS, енергоспоживання). Водночас було б корисно детальніше показати, як саме змінюється якість роботи моделей при зміні характеру навантаження - рівномірне, сплескове, сезонне, випадкове.
5. За результатами порівняння моделей (таблиця 4.1), модель MLP показала високу точність (0.9821), але відзначена схильністю до хибнопозитивних спрацювань, що

загрожує необґрунтованим обмеженням легітимних користувачів. Було б доцільно уточнити, чи розглядалися методи калібрування порогу класифікації або модифікації функції втрат для MLP з метою мінімізації помилок типу False Positive.

Рецензент Руслан Політанський, доктор технічних наук, професор, професор кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Зауваження:

1. У роботі запропоновано використання blockchain-механізмів для аудиту, автентифікації та фіксації керуючих впливів у Cloud-AI-SDN фреймворку. Проте було б доцільно додатково виконати моделювання або експериментальну перевірку цього компонента, оскільки він має хороший потенціал для розвитку запропонованої архітектури.
2. У третьому та четвертому розділах для аналізу динаміки навантаження та розподілу квот у часі задається часове вікно агрегації $\Delta t = 60\text{с}$. Варто пояснити, на основі яких критеріїв визначалася саме така тривалість вікна, і чи проводилося дослідження впливу зміни цього параметра (наприклад, порівняння з 10с або 300с) на точність прогнозування та накладні витрати ресурсів для забезпечення функцій телеметрії у площині керування SDN-мережі.
3. У роботі показано незначну різницю в енергоспоживанні між LR та GB, однак було б доцільно розглянути довші експериментальні запуски або сценарії з різною інтенсивністю навантаження, щоб перевірити, яка саме реалізація забезпечить кращий критерій надійності функціонування в умовах тривалої та автономної експлуатації edge-вузла.
4. Поряд із загальним високим науковим рівнем і логічною послідовністю викладу матеріалу дисертації, у тексті рукопису зустрічаються поодинокі орфографічні, пунктуаційні та граматичні помилки, а також дрібні друкарські описки, які не применшують наукову цінність роботи.
5. Описано використання MQTT брокера, як компонента експериментального стенда, однак було б корисно чіткіше показати його фізичне або логічне розміщення в архітектурі - чи він розгортається на edge-вузлі, у хмарному рівні, на окремому сервері або в межах SDN-контролера.
6. Експериментальні дослідження виконано для конкретної топології в емуляторі Mininet за допомогою Open vSwitch. Викликає інтерес питання наскільки розроблені методи є залежними до зміни топології мережі, та чи потребує ШІ-модуль повного перенавчання при динамічній зміні кількості комутаторів або лінків інфраструктурного рівня.

Опонент Каміла Сторчак, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних систем та технологій навчально-наукового інституту інформаційних технологій Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій. Зауваження:

1. У роботі реалізовано Prometheus/Grafana-моніторинг системних і прикладних метрик. Водночас доцільно було б чіткіше показати, які саме метрики використовуються безпосередньо AI-агентом для прийняття рішень, а які застосовуються лише для візуального контролю, діагностики та пояснення результатів експерименту.
2. Автором зроблено акцент на локалізації керуючого впливу в точці дефіциту прикладного ресурсу, що є важливою перевагою запропонованого методу. Проте було б корисно детальніше розглянути межі застосовності цього підходу, у яких випадках локальне обмеження є достатнім, а коли все ж необхідне коригування глобальних QoS-параметрів мережі.
3. У роботі показано ефективність запропонованого підходу для контрольованої SDN-топології, проте викликає інтерес питання масштабування результатів на більшу кількість клієнтів, комутаторів, потоків і одночасних сервісів. Було б корисно оцінити, як змінюються затримки, метрики розподілу доступу та накладні витрати при збільшенні масштабу мережі.
4. В пункті 3.4.2 зазначено, що ймовірність перевищення квоти $p_i(t)$ порівнюється із заданим порогом ризику $thigh$ для активації обмежень. Доречним було б пояснити, на основі яких критеріїв або оптимізаційних задач визначається конкретне значення порогу $thigh$, та як саме його зміна впливає на компроміс між загальною пропускнуою здатністю системи та метриками розподілу доступу.

5. Основний експериментальний сценарій пов'язаний з обмеженим ресурсом типу IoT TokenServer API. Було б доцільно розширити експериментальну перевірку ще на кілька типів прикладних ресурсів, наприклад сервіс авторизації, API з варіативними лімітами, шлюз доступу до сховища даних, щоб підтвердити універсальність запропонованого методу.
6. Мережева телеметрія в умовах перевантажень або аномалій часто характеризується суттєвим дисбалансом класів (часових вікон або запитів із перевищеннями лімітів значно менше, ніж нормальних транзакцій). У тексті роботи недостатньо висвітлено, чи застосовувалися спеціалізовані підходи до боротьби з дисбалансом класів під час підготовки навчального журналу *training_log.csv*.

Опонент Олег Савенко, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем факультету інформаційних технологій Хмельницького національного університету. Зауваження:

1. У пункті 3.4.2 наведено вектор ознак $x_i(t)$ для навчання ШІ-модуля інтелектуального керування. Варто було б детальніше обґрунтувати вибір саме цього набору з шести телеметричних ознак, а також деталізувати обґрунтування щодо виключення інших мережевих метрик (наприклад, варіацію затримок пакета або джиттер).
2. Апаратна апробація на базі Raspberry Pi 5 оцінювала додаткові витрати моделей LR та GB за завантаженням CPU та RAM. Проте експерименти проводилися при обмеженій кількості емульованих клієнтів (хости h1-h7). Було б доцільно оцінити як поводитиметься обчислювальна затримка прийняття рішення моделей за умови лінійного зростання кількості клієнтів у мережі на порядки.
3. У четвертому розділі модель Gradient Boosting визначена як оптимальна за точністю (Assurasy = 0,9988). Проте алгоритми машинного навчання даного типу мають високу схильність до перенавчання. Тому варто детальніше описати процедуру підбору гіперпараметрів моделі, зокрема кількості дерев, глибини дерев та темпу навчання.
4. У дисертації розглядаються питання безпеки централізованого контролера SDN від DDoS-атак, але недостатньо деталізовано подано аспекти захисту самого ШІ-модуля від несанкціонованого маніпулювання даними. Зокрема, важливою є стійкість запропонованого методу до навмисних атак на моделі машинного навчання з боку компрометованих клієнтів, які можуть намагатися штучно обійти обмеження квот.
5. Було б доцільно ширше розглянути питання інтерпретованості рішень AI-агента. Зокрема, для практичного впровадження важливо не лише заблокувати або обмежити клієнта, а й пояснити адміністратору, які саме ознаки стали підставою для такого рішення.

На дисертацію та анотацію Анатолія Банара надійшло два звернення. Вони позитивні, підкреслюють актуальність і значущість проведеного дослідження, хоча містять окремі зауваження та рекомендації щодо перспектив подальших досліджень:

Перше звернення від Яцків Василя Васильовича – доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри кібербезпеки Західноукраїнського національного університету.

У зверненні Василя Васильовича зазначено, що дисертаційне дослідження Банара Анатолія присвячене актуальному завданню застосування алгоритмів штучного інтелекту для адаптивного керування ресурсами в програмно-конфігурованих мережах. Особливу увагу приділено запропонованій архітектурі, яка інтегрує модулі машинного навчання в контур управління SDN-мережею та забезпечує локалізацію керуючого впливу безпосередньо в точці дефіциту ресурсу сервісного рівня.

До основних результатів роботи віднесено розроблення методу адаптивного керування доступом до обмеженого ресурсу прикладного рівня в SDN, удосконалення інтелектуального механізму на базі спеціалізованого AI-агента, а також підвищення середнього показника рівномірності розподілу доступу між клієнтами з 79,2% до 90,98%. Практична реалізація результатів виконана у вигляді програмно-апаратного комплексу, засобами моніторингу та діагностики. Окремо відзначено апаратну апробацію інтелектуального модуля на одно-платному комп'ютері Raspberry Pi 5, що підтверджує можливість застосування запропонованих рішень для використання в умовах обмежених ресурсів. Отримані результати можуть бути використані для побудови гнучких та енергоефективних компонентів управління сучасними комунікаційними мережами.

До зауважень віднесено поодинокі стилістичні неточності та доцільність розширення

порівняльного аналізу за рахунок тестування додаткових конфігурацій штучних нейронних мереж або алгоритмів глибокого навчання з підкріпленням. Зазначені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки роботи.

Друге звернення надійшло від Журавської Ірини Миколаївни – доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри комп'ютерної інженерії Чорноморського національного університету імені Петра Могили.

У зверненні Ірини Миколаївни відзначено, що дисертаційна робота Банара Анатолія Юрійовича присвячена актуальній науково-прикладній задачі використання алгоритмів штучного інтелекту для адаптивного керування доступом до обмежених ресурсів у програмно-конфігурованих мережах. Підкреслено, що запропонований підхід є важливим для сучасних SDN, IoT, edge- та cloud-інфраструктур, де перевантаження може виникати не лише на рівні пропускної здатності каналу, а й на рівні окремих прикладних сервісів.

Наголошено на науковій новизні роботи, що полягає у розробленні методу адаптивного керування доступом до обмеженого ресурсу прикладного рівня, використанні спеціалізованого AI-агента та виборі ML-моделей з урахуванням широкого вектору характеристик.

Особливу цінність становить запропонований Cloud-AI-SDN фреймворк, який поєднує SDN-контролер, REST API, засоби збору телеметрії, IoT-компоненти, подійно-орієнтовану взаємодію та модуль машинного навчання. Така архітектура створює умови для відтворюваних експериментальних досліджень інтелектуального керування мережею. Заважень немає.

Результати відкритого голосування:

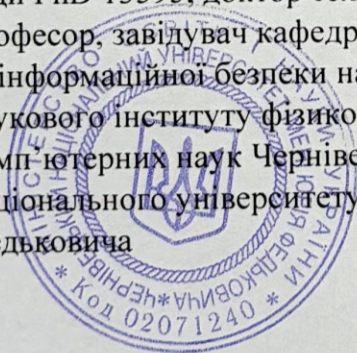
«За» – 5 (п'ять) членів ради,

«Проти» – 0 (нуль) членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада PhD 13595 присуджує Анатолію Банару ступінь доктора філософії з галузі знань 17 «Електроніка та телекомунікації» за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка».

Відеозапис трансляції захисту дисертації додається.

Голова разової спеціалізованої вченої ради PhD 13595, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки навчально-наукового інституту фізико-технічних та комп'ютерних наук Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича



Андрій САМІЛА