

Голові разової спеціалізованої вченої ради
факультету радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем
Київського національного університету імені Тараса Шевченка,
доктору технічних наук,
професору кафедри математичної інформатики
факультету комп'ютерних наук та кібернетики
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
Заславському Володимиру Анатолійовичу

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора філософії, докторанта (штатного) науково-організаційного відділу Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України

Налапка Олексія Леонідовича

на дисертаційну роботу Чепеля Леоніда Валерійовича

«МЕТОДИ І ЗАСОБИ ПОБУДОВИ МЕРЕЖ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ НА
ОСНОВІ ГІБРИДНОЇ БЛОКЧЕЙН-АРХІТЕКТУРИ З АДАПТИВНИМ
КОНСЕНСУСОМ ТА МУЛЬТИФАКТОРНИМ УПРАВЛІННЯМ ВУЗЛАМИ»

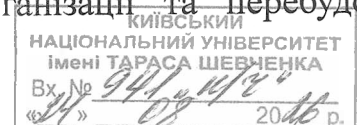
подану на здобуття ступеня доктора філософії

у галузі знань 12 «Інформаційні технології»

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

1. Актуальність теми дисертації

Сучасні мережі Інтернету речей дедалі частіше розгортаються в умовах, коли зв'язок із централізованою хмарною інфраструктурою не гарантований, а вимога автономного функціонування сегментів мережі стає визначальною. Особливо гостро це проявляється у мережах критичного та спеціального призначення, де відмова єдиного центру координації, деградація каналів зв'язку або цілеспрямований дестабілізаційний вплив не повинні призводити до втрати керованості системи. Здатність мережі до самоорганізації та перебудови



координації вузлів відповідно до їхнього фактичного стану перетворюється з бажаної властивості на обов'язкову. Дисертант обґрунтовано звертається до блокчейн-технологій як засобу децентралізованої координації без єдиної точки відмови та пропонує адаптувати консенсус-рівень, і рівень розподілу обчислювальних задач до вимірюваних характеристик вузлів. Виявлені автором дослідницькі прогалини підтверджені аналізом наукових джерел. Тема дисертації є актуальною та своєчасною, її зміст відповідає назві.

2. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційного дослідження

Наукові положення дисертації ґрунтуються на взаємопов'язаних результатах, а практична складова включає програмну реалізацію та кількісні оцінки ефективності. Показники ефективності визначено через підхарактеристики категорії Performance Efficiency стандарту ISO/IEC 25010, що дозволяє оцінювати досягнення мети вимірюванням, а не декларативно. Експериментальна методика забезпечує відтворюваність: контрольоване Docker-середовище, моделювання затримок, інструментальний аналіз трафіку та поетапне ввімкнення оптимізацій, за якого внесок кожного механізму оцінено окремо. Такий підхід дозволяє коректно судити про доцільність кожного механізму. Отримані кількісні результати є переконливими та підтверджують теоретичні положення. Виконаний аналіз мережевих метрик та узгодженість висновків з виміряними даними дають підстави вважати наукові положення достовірними в межах заявлених умов дослідження. Висновки зроблені здобувачем відповідають отриманим результатам та демонструють досягнення поставленої мети роботи.

3. Наукова новизна отриманих у дисертації результатів

У дисертації запропоновано та досліджено три взаємопов'язані результати, які разом утворюють цілісний підхід до побудови блокчейн-орієнтованих мереж IoT:

- удосконалену модель гібридної тришарової архітектури, у якій кожному рівню відповідає свій тип блокчейну, обраний за результатами порівняльного аналізу, а кластери локального рівня зберігають здатність працювати автономно;
- метод адаптивного консенсусу Proof of Indicators, який поєднує динамічний вибір валідаторів у залежність від виміряних показників ефективності, оптимізацію розміру блоку та зменшення ймовірності розгалудження ланцюга блоків;
- удосконалену модель мультифакторного вибору периферійних вузлів з позаланцюговими обчисленнями та координацією через смарт-контракти шляхом використання мультиплікативної скорингової функції.

Наукова новизна дисертаційного дослідження також полягає у поєднанні двох рівнів адаптації в межах єдиної архітектури: консенсус на мережевому рівні та розподіл обчислювальних задач на прикладному рівні спираються на фактичний стан вузлів. Автор теоретично обґрунтовує переваги такого поєднання і слушно відносить його експериментальну перевірку до подальших досліджень. Кожен із двох механізмів окремо доведено до реалізації та перевірено. Варто підкреслити також, що всі запропоновані рішення функціонують на стандартному обладнанні класу одноплатних комп'ютерів без залучення спеціалізованих апаратних засобів. Запропоновані рішення, як видається, не вичерпують потенціалу обраної тематики, а, навпаки, відкривають широке поле для подальших досліджень.

4. Практична цінність отриманих результатів

Практична цінність роботи має конкретне втілення: модифікований клієнт Go-Ethereum з консенсусом PoI, смарт-контракти координації та Python-агенти моніторингу є компонентами, придатними до дослідної експлуатації. Функціонування на одноплатних комп'ютерах класу Raspberry Pi дозволяє використовувати систему там, де серверна інфраструктура відсутня.

Система також адаптована до мереж військового призначення. Автономні кластери, відсутність єдиного центру та координація за фактичним станом вузлів – саме ці властивості визначають придатність системи до роботи в умовах дестабілізуючих впливів, причому в роботі вони не задекларовані, а закладені в основу функціонування. Використання результатів засвідчено актами впровадження.

5. Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях

Основні положення та результати дисертаційного дослідження знайшли належне відображення у публікаціях автора. Частину дисертаційних досліджень було представлено у матеріалах профільних наукових конференцій, а іншу – опубліковано у фахових виданнях, що відповідають вимогам до здобуття наукового ступеня доктора філософії. Характер і зміст оприлюднених праць свідчать про послідовне висвітлення ключових етапів дослідження, зокрема реалізації запропонованих підходів, їхньої експериментальної перевірки та обґрунтування наукових висновків. Загальний обсяг публікацій є достатнім, а їхній науковий рівень – відповідним тематиці дисертації та спеціальності.

6. Структура та оформлення дисертації

Дисертація має логічно виважену й послідовну структуру, що охоплює всі ключові етапи наукового дослідження: аналіз проблеми та існуючих рішень для її вирішення, представлення та опис запропонованих рішень, методики експериментів, аналіз отриманих результатів та висновки. Така структура роботи сприяє цілісному сприйняттю її змісту та отриманих результатів. Текст оформлено відповідно до чинних вимог, графічні об'єкти і таблиці візуально зрозумілі та змістовно доцільні, посилання на використані джерела також було подано коректно.

Робота Чепеля Л. В. є завершеною науковою працею, а її оформлення задовольняє вимогам МОН України від 12.01.2017 № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації». Тема дослідження розкрита у повній мірі і зміст роботи відповідає спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

7. Академічна доброчесність

Дисертаційна робота виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності. Текст не містить ознак плагіату чи недоброчесного використання результатів інших авторів. Цитати та запозичення було належним чином оформлено з посиланням на відповідні джерела. Основна частина дослідження базується на власних розробках і експериментальних результатах здобувача, що підтверджує що робота виконана автором самостійно.

8. Зауваження та побажання

Загалом дисертаційна робота справляє позитивне враження, водночас окремі її аспекти потребують обговорення:

1. Придатність архітектури для військового застосування у другому розділі показано через перелік властивостей. Однак у цій сфері діють кількісні вимоги: скільки часу кластер має зберігати автономність, яку частку вузлів можна втратити без порушення координації, за який час мережа відновлює координацію після роз'єднання сегментів. Без таких критеріїв і перевірки за ними розділ лишається радше ескізом застосування, ніж його обґрунтуванням. Формулювання відповідних критеріїв становить необхідний наступний крок цього прикладного напрямку.
2. Експерименти проведено за таких мережових умов: випадкова затримка до 200 мс, варіація затримки пакетів до 20 мс, без втрат пакетів. Бездротові канали, можуть характеризуватися значно гіршими показниками – втратами пакетів, розривами з'єднань, різкими

коливаннями затримок, тому варто провести додаткове тестування в складніших умовах.

3. Серед вимірних ресурсів відсутнє енергоспоживання. Для вузлів на автономному живленні воно нерідко є визначальним обмеженням, тож вимірювання споживаної потужності на фізичних пристроях становило б логічне продовження експериментальної програми.
4. Спільна робота PoI та мультифакторного управління у підрозділі 4.6 описана концептуально, і автор коректно відносить наскрізний експеримент до подальших досліджень. Погоджуючись із такою послідовністю, слід зауважити, що методику цього майбутнього експерименту доцільно було окреслити вже на цьому етапі: сценарії навантаження, метрики та очікувані ефекти від взаємодії двох контурів управління.
5. Накладні витрати блокчейн координації у четвертому розділі – обчислювальну вартість виконання смарт-контрактів і затримки підтвердження транзакцій за трисекундного інтервалу генерації блоків охарактеризовано побіжно. Їх кількісна оцінка була б доречною, адже саме блокчейн витрати визначають граничну інтенсивність потоку задач, яку платформа мультифакторного управління здатна обслужити без накопичення черги підтверджень.

Зауваження 2–5 окреслюють напрями розвитку дослідження, зауваження 1 стосується глибини опрацювання одного з прикладних сценаріїв; жодне з них не ставить під сумнів отримані результати.

Висновок

Робота Чепеля Л.В. «Методи і засоби побудови мереж Інтернету речей на основі гібридної блокчейн-архітектури з адаптивним консенсусом та мультифакторним управлінням вузлами» демонструє достатній рівень кваліфікації автора та володіння навичками, необхідними для отримання ступеня доктора філософії. Аналіз рукопису дозволяє зробити висновок, що робота підготовлена здобувачем самостійно і не містить слідів порушення

академічної доброчесності або фальсифікації результатів. Дисертація задовольняє вимогам зазначеним у «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», визначеного постановою Кабінету Міністрів України №44 від 12 січня 2022 року.

На підставі сказаного вище, вважаю, що автор дисертації Чепель Леонід Валерійович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії у галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія».

Офіційний опонент

доктор філософії,

докторант (штатний) науково-організаційного відділу

Центрального науково-дослідного інституту озброєння

та військової техніки Збройних Сил України

Олексій НАЛАПКО

Підпис

доктора філософії О.Л. Налапка засвідчую

Учений секретар Центрального науково-дослідного

інституту озброєння та військової техніки Збройних

Сил України

к.т.н., с.н.с



Микола ЯЙЧУК

«__» _____ 2026 року

