

## ВІДГУК

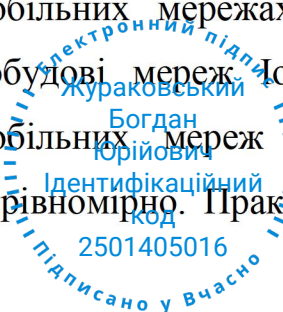
### офіційного опонента

доктора технічних наук, професора  
**Жураковського Богдана Юрійовича,**  
на дисертаційну роботу

Касіма Наміра Хашіма Касіма на тему:

“Методологія забезпечення якості обслуговування IoT в мережі 5G”,  
представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за  
спеціальністю 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі»

**Актуальність теми.** Сучасні мережі зв'язку, що поєднують в собі засоби доставки і обробки інформації, стали невід'ємною частиною сучасного життя інформаційного суспільства. Одним з основних напрямків їх розвитку в даний час є реалізація концепції побудови Інтернету речей (IoT). Розвиток IoT включає в себе розробку як технологій отримання інформації, так і методів організації каналів зв'язку і мереж для передачі даних між елементами цих мереж. Особливості мереж IoT багато в чому визначаються особливостями прикладних завдань і сферою їх застосування. Ці особливості полягають як в способах отримання інформації та формування повідомлень для їх передачі, так і в способі побудови самих мереж IoT. Останні можуть бути побудовані як мережі збору інформації (моніторингу) і як мережі розподілу інформації. Ці особливості відображаються у властивостях трафіку IoT, які необхідно враховувати при організації його обслуговування. Однією з характерних особливостей мереж IoT є висока щільність пристроїв (мережевих вузлів), яка може бути у багато разів вище щільності абонентів в сучасних мобільних мережах. Ця особливість неодноразово описувалася в роботах по побудові мереж IoT, проте слід зазначити, що розподіл щільності абонентів мобільних мереж зв'язку по планеті, континентах і навіть країнах вкрай нерівномірно. Практично в будь-якій країні світу є регіони з високою і низькою



щільністю абонентів мобільних мереж зв'язку. Розумно припустити, що і щільність мереж IoT може мати різну щільність в різних регіонах і територіях, а також в різних умовах експлуатації. Перераховані вище особливості трафіку, а також структурні характеристики мереж IoT вимагають розробки моделей і методів, що дозволяють максимально реалізувати функціонал IoT в різних умовах, а також забезпечити його співіснування з існуючими і майбутніми гетерогенними мережами зв'язку. Тема роботи актуальна, так як спрямована на вирішення саме цих завдань.

**Метою** дисертаційної роботи є забезпечення якості обслуговування Інтернету речей в мережі стандарту 5G шляхом розробки та вдосконалення методів та моделей маршрутизації та управління організацією доставки повідомлень в мережах Інтернету речей.

**Об'єктом дослідження** є процес забезпечення якості обслуговування Інтернету речей в мережі стандарту 5G.

**Предметом дослідження** є моделі та методи адаптивного управління якістю обслуговування в мережі Інтернету речей.

**Наукова новизна та практична цінність отриманих в дисертаційній роботі результатів.**

**Наукова новизна результатів.** У дисертаційній роботі вирішується актуальна науково-прикладна проблема забезпечення якості обслуговування Інтернету речей в мережі стандарту LTE/5G шляхом розробки та вдосконалення методів та моделей маршрутизації та управління організацією доставки повідомлень в мережах Інтернету речей.

В ході вирішення поставленої наукової проблеми та розв'язання сформульованих задач дослідження були отримані такі нові наукові результати:

1. Вперше розроблена концепція мережі стандарту 5G з наданням сервісів Інтернету речей, яка враховує особливості пристроїв IoT щодо автономного зв'язку між великою кількістю розумних пристроїв, які одночасно надсилають невеликі пакети даних та використовуючи широкий спектр програм, що вимагає інфраструктури, різної з точки зору розміру пакетів, щільності трафіку та якості

обслуговування. Наукова новизна концепції полягає в тому, що вона визначає структуру та властивості елементів мережі 5G, а також враховує вхідні, вихідні параметри, зовнішні фактори та керуючий вплив.

2. Вперше надано методику адаптації параметрів мережі стандарту 5G з мережею Інтернету речей, яка передбачає розрахунок скінченної множини альтернативних варіантів структури мережі, що дозволяє особі, яка приймає рішення, приймати альтернативні варіанти структури мережі IoT за критерієм якості обслуговування в мережі 5G.

3. Вперше запропоновано концептуальну модель Інтернету речей з адаптивним управлінням якістю, яка відрізняється від існуючих тим, що вона ґрунтується на теорії масового обслуговування та дозволяє врахувати характеристики по кожному з дев'яти класів запитів по пріоритетах, що дозволяє визначити усереднені для всіх класів запитів показники якості функціонування мережі 5G.

4. Вдосконалена модель взаємодії БПЛА з вузлами БСС, яка відрізняється від відомих тим, що може бути описана як система масового обслуговування, характеристики якої залежать від розподілу вузлів по території, часу взаємодії з вузлами мережі, радіуса обслуговування і швидкості руху БПЛА.

5. Розроблена методика роботи координатору польоту ЛСМ щодо зміни маршрутизатора, яка відрізняється від відомих тим, що за рахунок знання інтенсивності енергетичних втрат БПЛА на політ і радіоз'в'язок можливо заздалегідь розрахувати необхідну кількість маршрутизаторів на весь маршрут польоту. Наукова новизна методики полягає в тому, маршрут в цілому являє собою багатофазну систему масового обслуговування, утворену послідовністю моделей ретрансляційних вузлів.

6. Вдосконалена модель для рою безпілотних літальних апаратів, що відрізняється від відомих тим, що рой БПЛА представлений у вигляді мережі черги, а основною характеристикою моделі є середня тривалість передачі інформації між елементами рою.

7. Удосконалено метод побудови білінгової системи, який полягає в введенні поняття «одиниця обміну інформації», де одиницею може бути як блок інформації визначеного розміру (одна транзакція), так і кількість таких блоків, що дозволяє

використовувати білінгові системи для тарифікації обслуговування IoT як з великим, так і з малим трафіком. Новизною алгоритму є, по перше, врахування особливостей пристроїв Інтернету речей як користувачів, по-друге, уточнена взаємодія самої білінгової системи щодо IoT та комутатором мобільної мережі, за допомогою якого спроможне обслуговувати пристрої IoT, які підключені до мобільної мережі 5G.

8. Вперше розроблена методологія забезпечення якості обслуговування IoT в мережі 5G шляхом розробки науково-методологічного апарату для управління організацією функціонування Інтернету речей в мережі 5G.

Вищенаведені наукові результати дають можливість вирішити проблему забезпечення якості обслуговування Інтернету речей в мережі стандарту 5G.

**Практична цінність отриманих результатів.** Теоретичне значення полягає в тому, що в роботі розширюється спектр моделей і методів опису впливу IoT-пристроїв на якість обслуговування і властивості трафіку мережі стандарту 5G, а також методів організації доставки повідомлень в мережах Інтернет речей.

При цьому отримані результати дозволяють:

- особі, яка приймає рішення, приймати найкращі альтернативні варіанти структури мережі IoT за критерієм якості обслуговування в мережі 5G;
- визначати стаціонарний розподіл ймовірностей станів системи, яка складається з пристроїв IoT та комутатору мережі стандарту 5G;
- розраховувати параметри якості обслуговування запитів в мережі Інтернету речей;
- заздалегідь розрахувати необхідну кількість маршрутизаторів для кластеру безпілотних літальних апаратів на вісь маршрут польоту
- визначити усереднені для всіх класів запитів показники ефективності функціонування мережі 5G;
- використовувати білінгові системи для тарифікації обслуговування IoT як з великим, так і з малим трафіком:
- проаналізувати та визначити серед показників якості обслуговування мережі стандарту 5G найбільш інформативний параметр;

- адаптивне змінювати пріоритети обслуговування пакетів даних Інтернету речей в мережі стандарту 5G.

**Методи досліджень, які використані в дисертаційній роботі.** Для вирішення завдань, поставлених в дисертації, використовувалися методи теорії ймовірностей, математичної статистики, теорії графів, теорії масового обслуговування, імітаційного моделювання та інтелектуального керування.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.** Автор добре розуміє специфіку науково-прикладної проблеми, що розглядається у дисертації та точно формулює її постанову.

Здобувачем зроблений змістовний опис та проведений ретельний аналіз сучасного стану й основних тенденцій зміни навантаження на оператора сервісів що дозволило їй сформулювати актуальну науково-технічну проблему і часткові завдання дослідження та коректно визначити умови їх вирішення при проведенні дослідження.

Під час проведення досліджень автор спирається на відомі факти та наукові досягнення в обраній сфері, які отримані з використанням апробованого математичного апарату, який є адекватним моделі функціонування мережі 5G при наданні послуг користувачам інтернету речей.

Розроблені автором практичні рекомендації ґрунтуються на розробленому ним науково-методичному апараті, який є достатньо чутливим для відповідних змін вихідних даних.

Відмічаю, що наукові положення та рекомендації, які сформульовані у висновках по всіх шести розділах та загальних висновках зроблено науково обґрунтовано і логічно по результатам аналізу, узагальнення відомих та отриманих результатів, теоретичних досліджень, а також по результатам математичного моделювання на ЕОМ.

**Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, планами, темами.** Обраний у роботі напрямок досліджень тісно пов'язаний з виконанням низки науково-дослідних робіт у реалізації яких брав участь автор.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у Державному підприємстві «Науковий центр точного машинобудування» Державного космічного агентства України (акт впровадження № 013 від 4.04.2022 р.), ТОВ «Світ-ІТ», (акт впровадження № 1211-19 від 11.10.2022 р.), ТОВ «ТЕХНОПАРК А+», (акт впровадження від 28 лютого 2023р.). у навчальному процесі в Київському національному університеті будівництва і архітектури (Довідка про впровадження від 22.12.2022 р. № 17), у Аль-Рафідаїн Університеті (Багдад, Ірак).

Матеріали дисертації використані в НДДКР «Ідентифікація переходу до закритичного режиму роботи робототехнічної системи», державний реєстраційний номер: 0123U103047, дата реєстрації: 29-06-2023 та в НДДКР «Методи і моделі забезпечення безпеки та діагностики критичних параметрів у складних системах з використанням ІоТ», державний реєстраційний номер: 0123U103640, дата реєстрації: 05-09-2023.

Результати дисертаційної роботи пропонується використовувати науково-дослідним організаціям, підприємствам-провайдерам, що надають телекомунікаційні послуги.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність у цілому, відповідність оформлення дисертації** вимогам, затвердженим МОН України.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, аналізується стан досліджень у предметній галузі дисертації, формуються мета та завдання дослідження, наводиться наукова новизна основних результатів роботи та положення, що виносяться на захист, а також відомості про достовірність та апробацію результатів роботи, особисту участь автора та відповідність паспорт спеціальності.

У першому розділі дисертаційної роботи автор вдалим чином висвітлив актуальні питання розвитку систем Internet of Things (ІоТ) та їхнього впливу на мережі зв'язку, зосередившись на можливостях та викликах, пов'язаних з інтеграцією цих технологій. Аналізуючи потенціал мереж 5G, автор розкриває значення цих технологій для майбутнього розвитку ІоТ.

Особливо цікавими є вказівки на використання різноманітних технологій, таких як HetNet, D2D, MIMO, SDN та mmWave, для подолання проблем, пов'язаних із розвитком IoT. Зокрема, розгляд впливу програмно-конфігурованих мереж (SDN) на забезпечення якості обслуговування вражає своєю актуальністю та потенційними перевагами для майбутнього розвитку мереж зв'язку.

Додатково, автор вдало ілюструє свої твердження різноманітними графічними зображеннями, що допомагають краще зрозуміти обговорювані концепції та технології. Наприклад, рисунок 3 яскраво демонструє модель системи мобільного зв'язку 5G, що значно підсилює усвідомлення читача про складність і важливість цих технологій.

**Другий розділ** звертає увагу на складність гарантування якості обслуговування в мережах мобільного зв'язку через вихід пакетних даних за межі ядра мережі 5G, що може призвести до недостатньої надійності та стабільності мережі. Пропонується концептуальна модель взаємодії мережі 5G з мережею IoT, яка враховує транспортну мережу стандарту 5G та потоки даних IoT, щоб забезпечити ефективну комунікацію та обробку інформації.

Автор також обговорює можливості забезпечення якості обслуговування в мережі 5G з мережею IoT шляхом адаптивного управління та алгоритмів адаптації параметрів мережі. Цей підхід передбачає пошук оптимальних параметрів якості обслуговування та структури мережі з урахуванням вимог різноманітних додатків та пристроїв IoT.

Зокрема, автор пропонує побудувати систему масового обслуговування (СМО) в мережі IoT з використанням пуасонівського потоку запитів та черги типу FIFO для кращого керування трафіком та забезпеченням якості обслуговування. Детально розглядаються параметри якості обслуговування та їх взаємозв'язок з мережами 5G та IoT, пропонується алгоритм адаптації параметрів мережі 5G з мережею IoT, який дозволяє знаходити оптимальні рішення з урахуванням вимог до якості обслуговування. Цей підхід може стати важливим кроком у покращенні ефективності та надійності мереж зв'язку у майбутньому

**В третьому розділі** було проведено дослідження, результати якого дозволяють зробити наступні висновки:

1. Встановлено, що час доставки даних сенсорних вузлів наземного сегмента залежить від швидкості руху БПЛА, часу взаємодії та щільності вузлів у зоні обслуговування.

2. Розроблена модель взаємодії БПЛА з вузлами БСС, що описується як система масового обслуговування залежно від розподілу вузлів, часу взаємодії та швидкості руху БПЛА.

3. Розроблена модель рою безпілотних літальних апаратів, де рій представлений у вигляді мережі черги, і основною характеристикою є середня тривалість передачі інформації між елементами рою.

4. Розроблений алгоритм заміни маршрутизатора, що враховує необхідність збереження даних та продовження польоту за маршрутом.

5. Розрахована математична модель для визначення кількості маршрутизаторів у сенсорній мережі на основі втрат БПЛА на політі і радіозв'язок.

**У четвертому розділі** розроблено методологію обслуговування IP-пакетів від пристроїв Інтернету речей (IoT) у мережі стандарту 5G з метою максимально ефективного надання їм сервісів. Ця методологія включає в себе зміст та алгоритми управління трафіком від пристроїв IoT, що дозволяє підвищити якість обслуговування.

Використання філософського підходу в методології надання якісних сервісів IoT в мережі 5G, базованого на діалектичному принципі, дозволяє здійснити адаптацію структури мережі IoT до вимог мережі 5G, а також адаптацію параметрів якості обслуговування мережі 5G до вимог мережі IoT.

Методологія також базується на загальнонаукових принципах надання якісних сервісів IoT в мережі 5G, що дозволяє використовувати формалізований критерій визначення відносного пріоритету класів трафіку та враховувати вимоги до якості обслуговування, ймовірність використання послуг та відносний коефіцієнт значущості параметра в порівнянні з іншими.

Додатково, в роботі розглянуто конкретну наукову методологію в галузі



інформаційних наук, включаючи застосування алгоритму пріоритетного обслуговування на різних рівнях мережі, що дозволяє узгоджено керувати ресурсами та трафіком.

Крім того, розроблено алгоритм пріоритетного обслуговування пакетів агрегованого потоку в мережі 5G, що забезпечує контроль параметрів якості обслуговування, таких як час затримки пакетів IoT, і гарантує їх значення..

**У п'ятому розділі,** за результатами дослідження можна зробити наступні висновки:

1. Білінгова система є ключовим елементом в сфері комерційного мобільного зв'язку.

2. Вона надає можливість автоматизувати облік клієнтів, їх активності та застосування тарифів, забезпечуючи при цьому високу якість наданих послуг.

3. Білінгова система може бути ефективно використана для обліку та розрахунку вартості послуг у мережі Інтернет речей (IoT), виставлення рахунків клієнтам, управління податковими платежами, виявлення боржників та інші аспекти.

4. В роботі був удосконалений типовий алгоритм білінгової системи, що дозволяє враховувати різноманітність обсягів обміну інформацією, від блоків інформації до різноманітних трафіків, що робить її більш гнучкою та універсальною.

#### **В шостому розділі наведено:**

1. Аналіз тенденцій розвитку інфокомунікаційних систем показує, що частка IoT-трафіку в перспективних мережах зв'язку значно зростає, що призведе до його впливу на якість обслуговування. Беручи до уваги той факт, що трафік в мережі буде містити трафік IoT, цей вплив може мати істотний вплив на якість його обслуговування.

Запропонована модель обслуговування мультисервісного трафіку є універсальною та може бути застосована для моделювання будь-яких потоків в мережі стандарту 5G.

2. В якості прикладу при моделюванні була розглянута мережа ZigBee, яка спроможна працювати за топологією mesh (сітка), особливим випадком якої може бути з'єднання за топологією «точка-точка» (peer-to-peer, P2P), «ланцюг», «зірка», «дерево» або «кільце», а також за цією технологією можливо розглянути варіант багаторангової мережі, що не є обов'язковим за іншими технологіями. Трафік IoT можна розглядати як потік запитів, а запити означають пакети, оскільки мережа зв'язку IoT-IoT в основному комутується пакетами.

В роботі розроблено категоріальний і понятійний апарат, що дозволяє мати єдине розуміння та формулювання понять. Запропоноване дозволяє перейти до формування Державного або галузевого стандарту та забезпечити спілкування та документообіг на єдиній понятійній (формалізованій) базі.

**Підтвердження повноти викладу основних результатів дисертації в наукових фахових виданнях.** Наукова новизна безсумнівна та достатня для докторської дисертації. Основні наукові і практичні результати, що отримані в ході дисертаційного дослідження, опубліковано з необхідною повнотою після захисту кандидатської дисертації в 32 наукових працях, у тому числі:

- 2 монографій, одна з яких видана в країні Євросоюзу;
- 7 статей у наукових періодичних виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України (в т.ч. 3 включені до міжнародних наукометричних баз SCOPUS);
- 16 статей у наукових періодичних виданнях інших держав з наряду, з якого підготовлено дисертацію (в т.ч. 10, що включені до міжнародних наукометричних баз SCOPUS та/або Web of Science Core Collection, 1 з яких у виданнях, віднесених до першого та 5 - до третього кuartилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports;
- 7 тез та доповідей на наукових конференціях.

**Відповідність дисертації встановленим вимогам ДАК України.** Дисертаційна робота Касіма Наміра Хашіма Касіма, що виконана на тему: “Методологія забезпечення якості обслуговування IoT в мережі 5G”, за оформленням відповідає вимогам ДАК України, що пред'являються до

дисертаційних робіт. Дисертація написана сучасною науково-технічною мовою, послідовно, логічно.

**Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації.** Зміст автореферату повністю відповідає змісту дисертаційної роботи та відображає основні положення, що виносяться на захист.

**Відповідність дисертаційної роботи спеціальності.** Дисертаційна робота Касіма Наміра Хашіма Касіма, що виконана на тему: “Методологія забезпечення якості обслуговування IoT в мережі 5G”, за змістом, обсягом та оформленням повністю відповідає спеціальності 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі.

### **Зауваження до дисертаційної роботи**

1. Зі змісту роботи не зрозуміло, як технологія D2D та HetNet допомагає в вирішенні проблем IoT. Бажано було б навести приклади у вигляді рисунків.

2. До яких типів впливів відбувається адаптація (тих, що повільно змінюються в часі, чи тих які змінюються часто і стрибкоподібно)?

3. В дисертації розглядаються кінцеві IoT-пристрої типу ZigBee. Чи не краще було б використати для цього технологію LTE-M, яка має кращі технічні показники та краще адаптована для роботи з мережею 5G?

4. В дисертаційній роботі доцільно було б провести порівняльний аналіз запропонованої методики розрахунку варіацій часу затримки пакетів в мережі з існуючими методиками.

5. В роботі не зазначено місце системи управління розподілом ресурсів мультисервісної макромережі при управлінні мережею IoT.

6. В роботі виконувалась оптимізація за одним кількісним показником чи за декількома (багатокритеріальна оптимізація)? Яка «схема (правило)» компромісу використовувалося?

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку та цінність дисертаційної роботи, так як робота має завершеність, положення, висновки і рекомендації науково обґрунтовані.

## Висновки

1. Дисертаційна робота Касіма Наміра Хашіма Касіма, що виконана на тему: “Методологія забезпечення якості обслуговування IoT в мережі 5G”, за змістом є закінченим науковим дослідженням, у якому отримані нові наукові результати, важливі на сучасному стані для подальшого розвитку телекомунікаційних мереж цілком відповідає спеціальності 05.12.02 – телекомунікацій системи та мережі.

2. Автор дисертації є кваліфікованим фахівцем, глибоко вник в суть проблеми, добре володіє сучасними методами досліджень та вміло використовує їх для вирішення комплексу поставлених науково-технічних задач.

3. Автореферат дисертації повністю відповідає змісту дисертації.

4. Дисертаційна робота за актуальністю, науковою новизною та практичною цінністю відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 року (із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 656 від 19.08.2015 року № 1159 від 30.12.2015 року та № 567 від 27.07.2016 року) та «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 1197 від 17 листопада 2021 року, а її автор – Касім Намір Хашім Касім заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент  
доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри інформаційних  
систем та технологій  
Національного технічного університету  
України «Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»



Богдан ЖУРАКОВСЬКИЙ

Підпис Б.Ю. Жураковського  
ЗАВІРЯЮ

Вчений секретар Національного технічного  
університету України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»



Валерія ХОЛЯВКО

**Документ підписано у сервісі Вчасно (продовження)**  
Касім\_1.pdf

Документ відправлено: 19:16 18.02.2024

**Власник документу**

**Електронний підпис**

19:16 18.02.2024

Ідентифікаційний код: 2501405016

Жураковський Богдан Юрійович

Власник ключа: Жураковський Богдан Юрійович

Час перевірки КЕП/ЕЦП: 19:16 18.02.2024

Статус перевірки сертифікату: Сертифікат діє

Серійний номер: 382367105294AF97040000001C2F7C0031085B01

Тип підпису: кваліфікований