



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
"Львівська політехніка"

доц.

І.В. Демидов

2021 р.

**з протоколу № 2 фахового семінару кафедри телекомунікацій
Національного університету "Львівська політехніка" від 02. 03. 2021р.**

1. ПРИСУТНІ: 18 із 25 науково-педагогічних працівників кафедри телекомунікацій, а саме:

1. Климаш Михайло Миколайович, завідувач кафедри, д.т.н., професор;
2. Пелішок Володимир Олексійович, професор, д.т.н., доцент;
3. Кайдан Микола Володимирович, професор, д.т.н., доцент;
4. Кирик Мар'ян Іванович, професор, д.т.н., доцент;
5. Романчук Василь Іванович, професор, д.т.н., доцент;
6. Демидов Іван Васильович, проректор з наукової роботи, професор, д.т.н., доцент;
7. Бешлей Микола Іванович, докторант, старший викладач, к.т.н.;
8. Максимюк Тарас Андрійович, докторант, старший викладач, к.т.н.;
9. Коваль Богдан Володимирович, доцент, к.т.н., доцент;
10. Бурачок Роман Адамович, доцент, к.т.н., доцент;
11. Децик Ксенія Олегівна, доцент, к.т.н., доцент;
12. Думич Степан Степанович, доцент, к.т.н.;
13. Селюченко Мар'ян Олександрович, асистент, к.т.н.;
14. Красько Олена Володимирівна, старший викладач, к.т.н.;
15. Бугиль Богдан Анатолійович, асистент, к.т.н.;
16. Пиріг Юлія Володимирівна, асистент, к.т.н.;
17. Бак Роман Іванович, старший викладач, к.т.н.;
18. Шпур Ольга Миколаївна, асистент, к.т.н.;

На фаховому семінарі присутні аспіранти кафедри:

1. Андрущак Володимир Степанович;
2. Гордійчук-Бублівська Олена Василівна.

На засідання запрошені:

1. Стрихалюк Богдан Михайлович, Національний університет "Львівська політехніка", директор Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки, доцент кафедри радіоелектронних пристроїв та систем, д.т.н.;
2. Озірковський Леонід Деонісійович, Національний університет "Львівська політехніка", декан базової вищої освіти Навчально-

- наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки, доцент кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань, д.т.н., доцент;
3. Фаст Володимир Миколайович, Національний університет "Львівська політехніка", доцент кафедри електронних засобів інформаційно-комп'ютерних технологій Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки, к.т.н., доцент;
 4. Яремко Олег Миколайович, Національний університет "Львівська політехніка", докторант кафедри радіоелектронних пристроїв та систем Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки, к.т.н.;
 5. Бондарев Андрій Петрович, Національний університет "Львівська політехніка", професор кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки, д.т.н., професор;
 6. Кочан Орест Володимирович, Національний університет "Львівська політехніка", доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Навчально-наукового інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології, д.т.н., доцент;
 7. Дронюк Іванна Мирославівна, Національний університет "Львівська політехніка", доцент кафедри автоматизованих систем управління Навчально-наукового інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології, к.ф.-м.н., доцент.
 8. Опірський Іван Романович, Національний університет "Львівська політехніка", професор кафедри захисту інформації Навчально-наукового інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології, д.т.н., доцент;
 9. Русин Богдан Павлович, Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка, завідувач відділу методів і систем дистанційного зондування, д.т.н., професор.

З присутніх – 12 докторів наук та 15 кандидатів наук – фахівці за профілем представленої дисертації.

Головуючий на засіданні – д.т.н., доцент, професор кафедри телекомунікацій Пелішок В. О.

2.СЛУХАЛИ: Доповідь аспіранта кафедри телекомунікацій Бешлей Галини Володимирівни за матеріалами дисертації: «Моделі та метод оптимального розподілу мережних ресурсів в програмно-конфігурованих гетерогенних мережах мобільного зв'язку», представленої на здобуття вищої освіти ступеня доктора філософії за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка» (галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»)

Науковий керівник – д.т.н., професор Климаш М.М.

Тему дисертації затверджено "18" жовтня 2016 року на засіданні Вченої ради Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки Національного університету "Львівська політехніка", протокол № 3.

Робота виконана на кафедрі телекомунікацій Національного університету "Львівська політехніка".

По доповіді було задано 20 запитань, на які доповідач дала правильні та ґрунтовні відповіді. Питання задавали:

- професор кафедри телекомунікацій, д.т.н., доц. Пелішок Володимир Олексійович;
- професор кафедри телекомунікацій, д.т.н., доц. Кирик Мар'ян Іванович;
- професор кафедри телекомунікацій, д.т.н., доц. Романчук Василь;
- доцент кафедри телекомунікацій, к.т.н. Коваль Богдан;
- докторант кафедри телекомунікацій, к.т.н. Максимюк Тарас Андрійович;
- асистент кафедри телекомунікацій, к.т.н. Шпур Ольга Миколаївна;
- асистент кафедри телекомунікацій, к.т.н. Селюченко Мар'ян Олександрович;
- директор Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки д.т.н. Стрихалюк Богдан Михайлович;
- доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій Навчально-наукового інституту комп'ютерних технологій, автоматики та метрології, д.т.н., доц. Кочан Орест Володимирович;
- завідувач відділу методів і систем дистанційного зондування фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка НАН України, д.т.н., проф. Русин Богдан Павлович;
- професор кафедри теоретичної радіотехніки та радіовимірювань Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки, д.т.н., проф. Бондарев Андрій Петрович.

3. Виступи присутніх.

З оцінкою дисертації Бешлей Г.В. виступили рецензенти:

- проректор з наукової роботи, професор кафедри телекомунікацій, д.т.н., доц. Демидов Іван Васильович;
- професор кафедри телекомунікацій, д.т.н., доц. Кайдан Микола Володимирович,

які зазначили, що тема дисертації є актуальною, оскільки зростання трафіку мобільного передавання даних, популярності Інтернету речей (Internet of Things, IoT) та M2M (міжмашинної взаємодії, Machine-to-Machine) призводить до того, що оператори мереж мобільного зв'язку постійно працюють над покращенням якості надання послуг, розвиваючи мережі 4G в напрямку майбутніх програмно-конфігурованих гетерогенних мереж 5G. Такий стрімкий розвиток мереж 4G/5G призводить до постійної нестачі ліцензійних частот для операторів, що ставить перед ними важливе завдання ефективного розподілу обмеженої кількості частотно-часового ресурсу між користувачами та пристроями Інтернету речей за критерієм якості обслуговування. Отримані результати Бешлей Г.В. мають перспективи безпосереднього застосування в існуючих мережах мобільного зв'язку четвертого та п'ятого покоління для підвищення їх спектральної ефективності та якості обслуговування в умовах масового зростання

M2M/IoT трафіку. Здобувач уміло використовує програмні засоби для опрацювання даних і подання отриманих результатів, володіє сучасними методами наукових досліджень складних інформаційно-комунікаційних систем та вдало імплементує розроблені методи у вигляді програмних продуктів. Результати дисертаційної роботи є науково-обґрунтованими та оригінальними. Отримані результати підтверджуються публікацією їх у журналах, що входять до наукометричних баз даних Scopus/Web of science, українських фахових виданнях і апробацією на міжнародних науково-практичних конференціях. Стиль викладення результатів дослідження є хорошим, якість редагування – високою.

Також було вказано на зауваження. У якості зауважень рецензенти д.т.н. Демидов І.В. та д.т.н. Кайдан М.В. зазначили, що недоліки, які притаманні рецензованій дисертаційній роботі носять формальний та технічний характер, а незначна кількість композиційно-стилістичних недоліків не применшує позитивного враження від роботи. Рецензент д.т.н. Демидов І.В. акцентував увагу на необхідності внесення редакційно-стилістичних та граматичних поправок, більш чіткому висвітленні окремих результатів дослідження. Рецензент д.т.н. Кайдан М.В. відзначив, що доцільно було би більш докладно представити описаний метод оптимального розподілу ресурсів в мережах 4G/5G, наприклад у графічному представленні.

З оцінкою дисертаційної роботи також виступили присутні на фаховому семінарі кафедри телекомунікацій:

- професор кафедри телекомунікацій, д.т.н., доц. Кирик Мар'ян Іванович, який відзначив, що тематика розгортання гетерогенних мереж мобільного зв'язку четвертого та п'ятого покоління в умовах обмеженого радіочастотного ресурсу є актуальною в Україні та за її межами, і може бути розв'язана із застосуванням розроблених Бешлей Г.В. наукових засад побудови гетерогенних мереж LTE/IoT, запропонованих моделей та методу оптимального розподілу радіочастотними ресурсами в ліцензійному діапазоні, розвинутих алгоритмів кластеризації, пріоритезації та агрегації трафіку на шлюзах M2M. Автор виконав поставлене перед ним наукове завдання досить ґрунтовно. Результати дисертаційної роботи є обґрунтованими, а застосовані методи дослідження – сучасними й коректними;
- завідувач відділу методів і систем дистанційного зондування фізико-механічного інституту ім. Г.В.Карпенка НАН України, д.т.н., проф. Русин Богдан Павлович, який відзначив науковий потенціал здобувача, актуальність обраного напрямку досліджень, особливо у зв'язку з потребою нових технологічних рішень, що дадуть змогу покращити якість функціонування в сучасних мережах мобільного зв'язку і забезпечити їх працездатність із зростаючими вимогами до M2M/IoT трафіку. Відзначив, що запропонований метод оптимального розподілу ресурсів для LTE мереж нового покоління дав змогу підвищити від 4% до 13% ефективність використання частотно-часових ресурсів;
- директор Навчально-наукового інституту телекомунікацій, радіоелектроніки та електронної техніки Національного університету «Львівська політехніка», д.т.н. Стрихалюк Богдан Михайлович, який відзначив, що дисертаційна робота виконана на актуальну тему, представляє собою логічно завершене наукове дослідження, що містить нові обґрунтовані наукові результати. Практична значущість одержаних результатів дає змогу говорити про високий потенціал щодо їх застосування операторами мереж мобільного зв'язку. Як недолік, відзначено недостатню кількість проведених експериментів моделювання для оцінки кількісних результатів ефективності функціонування запропонованих

рішень у роботі;

- професор кафедри телекомунікацій, д.т.н., доц. Пелішок Володимир Олексійович, який зауважив важливість представлених у роботі досліджень. Відзначив високу науково-технічну ерудицію здобувача. Практичне впровадження одержаних результатів дозволяє говорити про високий потенціал щодо їх застосування в сучасних системах мобільного зв'язку;
- докторант кафедри телекомунікацій, к.т.н. Максимюк Тарас Андрійович, який наголосив, що дисертаційна робота Бешлей Галини Володимирівни виконана на належному теоретичному, практичному і методологічному рівні, вирізняється своєю змістовністю та інформаційною насиченістю, тому її можна рекомендувати для подання до розгляду у спеціалізовану вчену раду.

Загальна характеристика дисертації – позитивна.

З характеристикою наукової зрілості аспіранта виступив науковий керівник д.т.н., професор Климаш М.М., який відзначив, що Бешлей Г.В. почала займатися науковими дослідженнями в галузі безпроводних технологій задовго до вступу в аспірантуру. Під час підготовки в аспірантурі вона самостійно і творчо працювала над написанням дисертаційного дослідження, ґрунтовно опановуючи обрану тематику. Зокрема, враховуючи велику проникність мобільних мереж у сфери людської діяльності та постійне зростання обсягів M2M/IoT трафіку та кількості користувачів сервісів потокового контенту, актуальним науково-практичним завданням є підвищення ефективності використання ресурсів та якості обслуговування в системах мобільного зв'язку нового покоління шляхом розроблення моделей гнучкого управління інформаційними потоками та методів оптимального розподілу мережевих ресурсів. Дисертантом чітко визначено мету та завдання дослідження, успішно їх виконано. У процесі дослідження здобувачем використано загальнонаукові та спеціальні методи досліджень сучасних систем мобільного зв'язку. Успішному досягненню поставленої мети сприяє добре продумана структура роботи, яка заперечень не викликає. Позитивним є те, що дослідник зумів уникнути однобічності, тенденційності при висвітленні теми. Матеріал у розділах роботи викладається в логічній послідовності й легко читається.

Бешлей Г.В. старанно проводить лабораторні заняття. Має високий рівень теоретичної підготовки. За людськими якостями я хотів би охарактеризувати її позитивно. Опублікувала необхідну кількість наукових праць. Основні наукові результати і положення дисертації представлені, доповідались та обговорені на 17-ох міжнародних і державних науково-технічних конференціях та наукових семінарах. Вважаю, що Галина Володимирівна є зрілим науковцем, яка здатна розв'язувати поставлені перед нею складні наукові завдання. І розв'язувати їх досить ефективно, з використанням найсучасніших підходів і засобів. Бере активну участь у наукових дослідженнях кафедри телекомунікацій. Бешлей Галина є відповідальним виконавцем держбюджетної науково-дослідної роботи та виконавцем науково-дослідної роботи для молодих дослідників та госпдоговорних тем.

Отже, дисертантка заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії.

4. Заслухавши та обговоривши доповідь Бешлей Галини Володимирівни, а також за результатами попередньої експертизи представленої дисертації на фаховому семінарі кафедри телекомунікацій, прийнято наступні висновки щодо дисертації «Моделі та метод оптимального розподілу мережних ресурсів в програмно-конфігурованих гетерогенних мережах мобільного зв'язку»:

Висновок

фахового семінару кафедри телекомунікацій Національного університету "Львівська політехніка" про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації «Адаптивне управління ресурсами та якістю обслуговування у програмно-конфігурованих сервісно-орієнтованих телекомунікаційних мережах»

здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії за спеціальністю

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»)

здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії за спеціальністю

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»)

4.1. Актуальність теми дисертації

Безпроводний спосіб комунікації став невід'ємною частиною повсякденного життя будь-якого власника мобільного пристрою чи розумного датчика. Підключення цих пристроїв та датчиків до мережі передавання даних змінює звичне уявлення про Інтернет в цілому. Адже вони можуть здійснювати обмін даними між собою в автоматичному режимі без участі людини, тим самим генеруючи трафік міжмашинної взаємодії (Machine-to-Machine, M2M).

Загальносвітові тенденції на телекомунікаційному ринку показують, що безпроводні мережі зв'язку стають одним з ключових елементів в реалізації парадигми Інтернету речей (англ. Internet of Things, IoT). В умовах швидкого зростання трафіку мобільного передавання даних, популярності IoT та M2M, оператори мобільного зв'язку постійно працюють над покращенням якості надання послуг, розвиваючи мережі 4G в напрямку майбутніх програмно-конфігурованих гетерогенних мереж 5G, що базуються на технології LTE. Сучасні можливості мереж мобільного зв'язку 4G/5G дають змогу передавати трафік на високих швидкостях. Однак, вони ще не повністю готові якісно обслуговувати зростаючі обсяги інформації від масових підключень мобільних та IoT пристроїв. Відсутність можливості в мережах четвертого покоління здійснювати наскрізне диференційоване управління окремими потоками від мобільних та M2M/IoT пристроїв, із врахуванням їх вимог до параметрів якості обслуговування (Quality of Service, QoS), призводить до нераціонального розподілу навантаження та погіршення якості обслуговування сервісів реального часу. У зв'язку з цим, до основних завдань сучасних безпроводних мереж відноситься оптимізація розподілу обмеженої кількості частотно-часового ресурсу між користувачами та пристроями Інтернету речей за критерієм якості обслуговування.

Проблематика ефективного розподілу ресурсів мереж мобільного зв'язку 4G/5G активно досліджувались такими провідними українськими та зарубіжними вченими як В.М. Безрук, М.М. Климаш, Л.Н. Беркман, А.І. Семенко, С. Г. Бунін, І. П. Лісовий, К. С. Сундучков, Л. С. Глоба, В.О. Пелішок, В. Г. Сайко, М. Jo, Н. HwaChen, М. Dohler, М. Naenggi, та багатьма іншими. Незважаючи на велику кількість різноманітних рішень для мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління, нерозв'язаними досі залишаються завдання оптимального планування та розподілу частотно-часових ресурсів між сервісами Інтернету речей та трафіку мобільних користувачів з метою забезпечення необхідної якості обслуговування.

Розв'язання завдань планування розподілом радіоресурсів, призначення пріоритетів доступу залежно від типу трафіку із заданими вимогами до якості обслуговування в мережах четвертого та п'ятого покоління займаються модулі управління радіоресурсами, які називаються планувальниками (англ. Schedulers). Існуючі методи розподілу радіоресурсів в мережах LTE, які були історично оптимізовані для обслуговування користувачів традиційних послуг зв'язку володіють недостатньою гнучкістю розподілу в умовах зростаючої кількості вхідних запитів з різними вимогами до якості обслуговування, зокрема сервісів Інтернету речей.

Саме тому, у зв'язку із стрімким розвитком технологій Інтернету речей та постійним зростанням кількості користувачів сервісів потокового контенту актуальним науково-практичним завданням є підвищення ефективності використання ресурсів та якості обслуговування в системах мобільного зв'язку 4G/5G шляхом удосконалення моделей гнучкого управління інформаційними потоками та методів оптимального розподілу мережевих ресурсів.

4.2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами університету та кафедри

Дисертаційні дослідження виконувались у відповідності до наукового напряму кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка» - «Інфокомунікаційні системи та мережі», в межах низки держбюджетних науково-дослідних робіт: «Методи побудови гетерогенних інформаційно-комунікаційних систем для розгортання програмно-конфігурованих мереж 5G подвійного використання» (ДБ/5G), (№ держреєстрації 0117U004449, (2017–2018 рр.); «Розроблення методів адаптивного управління радіочастотним ресурсом у мережах мобільного зв'язку LTE-U для розвитку стандартів 4G/5G в Україні» (ДБ/LTE-U), (№ держреєстрації 0117U007177, (2018–2019 рр.); «Розроблення новітньої децентралізованої мережі мобільного зв'язку на основі блокчейн-архітектури та штучного інтелекту для впровадження технологій 5G/6G в Україні» (ДБ/ Блокчейн), (№ держреєстрації 0120U100674, (2020-2022 рр.); «Розроблення та інтеграція інформаційних і комунікаційних технологій для побудови системи моніторингу та управління міською інфраструктурою» (ДБ/SmartCity), (№ держреєстрації 0120U102193, (2020-2022 рр.) – відповідальний виконавець).

Результати дисертаційної роботи використані в ході виконання госпдоговірної роботи «Розробка компонентів системи моніторингу та управління якістю надання послуг в інформаційних мережах з використанням технологій машинного навчання та мережної аналітики» (ГД №0655) ТОВ «МаксіТех» (15.10.2020р. – 15.12.2020 р.).

4.3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Аналіз структури та змісту дисертації та наукових праць, що опубліковані автором, дозволяє стверджувати, що усі наукові та практичні результати отримані ним особисто і повною мірою опубліковані та апробовані.

Бешлей Галиною Володимирівною доповнено класичну архітектуру LTE мультисервісним шлюзом, що базується на використанні розробленого методу гнучкого управління інформаційними потоками та мережевими ресурсами для забезпечення ними вимог зростаючої кількості M2M датчиків із гарантованим рівнем якості обслуговування.

Розроблено алгоритм кластеризації, агрегації та класифікації M2M пристроїв в

майбутніх мережах 4G/5G, що дасть змогу ефективніше використовувати радіоресурс мобільної мережі, зменшити сигнальне навантаження на базову станцію та знизити енергозатрати M2M пристроїв. Новизна алгоритму полягає у виборі головного вузла M2M на основі діаграми Вороного та методів нечіткої логіки. Даний алгоритм реалізується на нововведених шлюзах M2M, який виконуватиме функції вибору головного вузла, групування різноманітних даних на класи послуг та балансування навантаження між шлюзами з метою передавання даних на недовантажені базові станції 4G/5G.

Розроблено метод оптимального розподілу ресурсів для LTE мереж нового покоління, що дав змогу в залежності від різних ситуацій моделювання (без та з врахуванням пріоритетів даних) підвищити від 4% до 13% ефективність використання частотно-часових ресурсів в процесі формування кадрів на каналному рівні LTE, в умовах одночасного використання ширини смуги каналу 1,4 МГц та 3 МГц.

Доведено, що застосування мультистандартних M2M шлюзів в архітектурі LTE дало змогу мінімізувати кількість сигнальної інформації в процесі агрегації M2M трафіку до 10%, що у поєднанні із методом оптимального розподілу ресурсів забезпечило розвантаження мережі в середньому на 9% та підвищення середнього значення спектральної ефективності на 6%. На основі розробленої імітаційної моделі гетерогенної мережі LTE/NB-IoT встановлено, що використання пріоритезації IoT трафіку в процесі планування частотно-часових ресурсів у вузькосмуговому спектрі NB-IoT, дає змогу зменшити середню затримку передавання повідомлень реального часу до 2,12 разів у порівнянні з існуючим методом пропорційного розподілу ресурсів в умовах високого навантаження.

Розроблено концептуальну модель гетерогенної мережі мобільного зв'язку 4G/5G на основі стандарту LTE, яка, на відміну від відомих, забезпечує узгоджене на рівні базової станції, ядра мережі та зовнішніх IP-орієнтованих мереж, диференційоване адаптивне управління ресурсами та окремими інформаційними потоками від мобільних та M2M/IoT пристроїв, що дало змогу гарантувати часові параметри якості обслуговування з кінця в кінець в умовах короткочасної нестабільності характеристик безпроводних каналів зв'язку.

4.4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій підтверджуються коректним використанням апробованого математичного апарату, методів моделювання, різними способами виконання розрахунків; результатами проведених автором імітаційних комп'ютерних експериментів, відповідністю результатів моделювання (розрахунку) експериментальним результатам, їх зв'язком з існуючими результатами, отриманими із застосуванням відомих методів, а також порівняльним аналізом результатів дисертаційних досліджень із даними літературних джерел, результатами задокументованих апробацій.

4.5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

1. Розвинуто метод розподілу частотно-часових ресурсів в мережах стандарту LTE, який, на відміну від відомих, базується на адаптивному виборі ширини смуги радіочастот в залежності від вимог якості обслуговування, а також на пріоритетній

агрегації трафіку у шлюзах M2M, що дало змогу підвищити ефективність використання ліцензійних радіоресурсів шляхом оптимізації процесу формування кадрів на каналному рівні LTE та зменшення в них частки службового трафіку.

2. Набула подальшого розвитку імітаційна модель процесу функціонування гетерогенної мережі мобільного зв'язку, яка, на відміну від відомих, враховує основні технічні параметри функціонування стандарту LTE для створення реальних умов дослідження та автоматизує запропонований метод оптимального розподілу частотно-часових ресурсів між трафіком мобільних користувачів та M2M/ІоТ пристроїв з метою забезпечення необхідної якості обслуговування, що дало змогу з урахуванням обмеженості спектральних ресурсів оцінити ефективність розроблених рішень в процесі оптимізації радіоресурсів мережі у порівняння із відомими методами.

3. Вперше розроблено концептуальну модель гетерогенної мережі мобільного зв'язку 4G/5G на основі стандарту LTE, яка, на відміну від відомих, забезпечує узгоджене на рівні базової станції, ядра мережі та зовнішніх ІР-орієнтованих мереж, диференційоване адаптивне управління ресурсами та окремими інформаційними потоками від мобільних та M2M/ІоТ пристроїв, що дало змогу гарантувати часові параметри якості обслуговування з кінця в кінець в умовах короткочасної нестабільності характеристик безпроводних каналів зв'язку.

4.6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

Основні наукові результати дисертаційної роботи отримано автором самостійно. У працях, опублікованих у співавторстві, внесок Бешлей Г.В. є вирішальним, зокрема авторові належать (нумерація згідно Додатку В): у роботах [21, 22, 25, 27, 28] – удосконалення архітектури LTE мережі для систем мобільного зв'язку 4G/5G в умовах зростання трафіку Інтернету речей, [8, 23] – розроблення алгоритму управління потоками даних на основі кластеризації, пріоритетизації та агрегації M2M трафіку в мережі 4G/5G, [12-14, 29, 30] – розроблення методу оптимального розподілу частотно-часових ресурсів в мережах стандарту LTE, [3, 6, 18-20] – розроблення імітаційної моделі гетерогенної мобільної мережі LTE/NB-ІоТ/M2M, [1, 4, 5, 7, 11] – удосконалення алгоритму пріоритетного обслуговування черг пакетів у вузлах зовнішніх ІР-орієнтованих мережах та розроблення моделі програмно-конфігурованого маршрутизатора, [2, 8, 9, 10, 15-17, 25, 26] – моделювання та дослідження методів управління мережними ресурсами та якістю обслуговування.

За результатами досліджень, які викладені у дисертаційній роботі, опубліковано 30 наукових праць, з них 6 статей у наукових фахових виданнях України та 5 статей у наукових періодичних виданнях інших держав (з яких 3 входять до наукометричних баз Scopus/Web of Science з індексом цитування (імпаکت-фактором, квартиль Q1-Q2)), 19 у збірниках матеріалів і тез доповідей міжнародних та всеукраїнських конференцій, з них індексованих у наукометричній базі Scopus та Web of Science – 14.

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав:

1. p S. Jun, K. Przystupa, M. Beshley, O. Kochan, H. Beshley, M. Klymash, J. Wang, D. Pieniak, "A Cost-Efficient Software Based Router and Traffic Generator for Simulation and Testing of IP Network," *Electronics*, vol. 9, no. 1, pp. 40-1–40-24, Jan. 2020. (Scopus/Web of Science Q2).

2. W. Song, M. Beshley, K. Przystupa, H. Beshley, O. Kochan, A. Pryslupskiy, D. Pieniak, J. Su, "A Software Deep Packet Inspection System for Network Traffic Analysis and Anomaly Detection," *Sensors*, vol. 20, no. 6, p. 1637-1–1637-41, March 2020. (Scopus/Web of Science Q1).

3. M. Beshley, N. Kryvinska, M. Seliuchenko, H. Beshley, E. Shakshuki, A. Yasar, "End-to-End QoS "Smart Queue" Management Algorithms and Traffic Prioritization Mechanisms for Narrow-Band Internet of Things Services in 4G/5G Networks," *Sensors*, vol. 20, no.8, pp.2324-1–2324-30, Apr. 2020. (Scopus/Web of Science Q1).

4. M. Beshley, M. Klymash, M. Seliuchenko, O. Lavriv, V. Chervenets, H. Kholiavka, "Increasing the efficiency of real-time content delivery by improving the technology of priority assignment and processing of IP traffic", *Smart Computing Review*, vol. 5, no. 2, pp. 76 – 88, 2015.

5. V. Romanchuk, M. Beshley, A. Prislupskiy, H. Beshley, O. Panchenko, "Method of multiservice infrastructure decomposition with network resource slicing for IoT," *Internet of Things (IoT) and Engineering Applications*, vol. 3, no.1, pp. 22 – 23, May 2018.

Статті у наукових фахових виданнях України, що включені до наукометричних баз даних:

6. І.О. Кагало, М.І. Бешлей, М.М. Климаш, О.М. Панченко, Г.В. Бешлей, "Адаптивне формування багаторівневої радіоструктури інтегрованих мереж LTE/Wi-Fi," *Телекомунікаційні та інформаційні технології*, № 3(64), с. 24 – 38, 2019.

7. В.І. Романчук, М.І. Бешлей, А.М. Прислупський, Г.В. Бешлей, "Метод декомпозиції структури мережного пристрою з віртуалізацією ресурсів," *Наукові записки Української академії друкарства*, №1(56), с. 31 – 42. 2018.

8. Г.В. Бешлей, М.О. Селюченко, І.А. Берневек, С.І. Пуцак, М.І. Бешлей, "Алгоритм кластеризації, агрегації та класифікації M2M пристроїв в гетерогенній мережі 4G/5G," *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Радіоелектроніка та телекомунікації*, № 874, с. 95 – 102, 2017.

9. М.М. Климаш, М.І. Бешлей, Б.М. Стрихалюк, Г.В. Холявка та О.А. Лаврів, "Підвищення якості обслуговування в конвергентних мобільних системах на основі платформи UMA-A," *Проблеми телекомунікацій*, № 1 (13), с. 3 – 19, 2014.

10. Б.М. Стрихалюк, М.І. Бешлей, Г.В. Холявка, М.В. Брич, "Моделювання та тестування системи управління гетерогенної мережі доступу", *Телекомунікаційні та інформаційні технології*, № 1, с. 22 – 31, 2015.

11. М.І. Бешлей, М.О. Селюченко, О.А. Лаврів, А.Р. Масюк, Г.В. Холявка, "Оцінка адекватності функціонування програмного маршрутизатора у процесі обслуговування мультимедійного трафіку," *Вісник Національного університету "Львівська політехніка", серія "Радіоелектроніка та телекомунікації"*, №. 818, с. 162 – 173, 2015.

Публікації у матеріалах конференцій, що входять до складу міжнародних наукометричних баз даних:

12. I. Kahalo, H. Beshley, A. Masiuk and V. Pashkevych, "The Method of Transmitting Real-Time Video Streams for Wi-Fi Networks with Short-Term Channel Failures," *2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies (AICT)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 356 – 359.

13. I. Kahalo, H. Beshley, M. Beshley and O. Panchenko, "Enhancing QoS and energy efficiency of LTE/LTE-U/Wi-Fi integrated network based on adaptive technique for radio

structure formation," *2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Kiev, 2019, pp. 1167 – 1170.

14. H. Beshley, M. Klymash, M. Beshley and I. Kahalo, "Improving the efficiency of LTE spectral resources use by introducing the new of M2M/IoT multi-service gateway," *2019 IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM)*, Polyana, Ukraine, 2019, pp. 114 – 117.

15. H. Beshley, O. Panchenko and M. Kyryk, "Investigation and Implementation of Methods for Controlling the Intensity of Flow of Information Protocols," *2018 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, Odessa, Ukraine, 2018, pp. 1 – 5.

16. Z. Hu, I. Kahalo, H. Beshley, N. Diachenko and S. Jun, "The Method of Adaptive Radio Coverage Formation of Wireless Network Based on the Wi-Fi controller," *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, 2020, pp. 910 – 914.

17. Z. Cheng, M. Beshley, H. Beshley, O. Kochan and O. Urikova, "Development of deep packet inspection system for network traffic analysis and intrusion detection," *2020 IEEE 15th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, 2020, pp. 877–881.

18. H. Beshley, M. Beshley, T. Maksymyuk and I. Strykhalyuk, "Method of centralized resource allocation in virtualized small cells network with IoT overlay," *2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Lviv-Slavske, 2018, pp. 1147–1151.

19. A. Masiuk, H. Beshley, B. Koval and R. Basa, "Resource management method in LTE heterogeneous networks," *2018 14th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)*, Slavske, 2018, pp. 1131 – 1134.

20. H. Beshley, M. Kyryk, M. Beshley and O. Panchenko, "Method of Information Flows Engineering and Resource Distribution in 4G/5G Heterogeneous Network for M2M Service Provisioning," *2018 IEEE 4th International Symposium on Wireless Systems within the International Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems (IDAACS-SWS)*, Lviv, 2018, pp. 229 – 233.

21. M. Klymash, H. Beshley, M. Seliuchenko and T. Maksymyuk, "Improving architecture of LTE mobile network for IoT services provisioning," *2017 2nd International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT)*, 2017, pp. 209 – 212.

22. M. Klymash, H. Beshley, O. Panchenko and M. Beshley, "Method for optimal use of 4G/5G heterogeneous network resources under M2M/IoT traffic growth conditions," *2017 International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics (UkrMiCo)*, 2017, pp. 1 – 5.

23. M. Klymash, H. Beshley, M. Seliuchenko and M. Beshley, "Algorithm for clusterization, aggregation and prioritization of M2M devices in heterogeneous 4G/5G network," *2017 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T)*, Kharkov, 2017, pp. 182 – 186.

24. M. Klymash, H. Beshley, A. Masiuk and I. Strykhalyuk, "Concept for ensuring effective functioning of mobile communication system in heterogenous 5G

infrastructure," 2017 14th International Conference the Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM), 2017, pp. 272 – 274.

25. V. Chervenets, V. Romanchuk, H. Beshley and A. Khudyu, "QoS/QoE correlation modified model for QoE evaluation on video service," 2016 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), 2016, pp. 664 – 666.

Публікації у матеріалах міжнародних та всеукраїнських конференцій:

26. М.І. Бешлей, М.М. Климаш, О.М. Панченко, Г.В. Бешлей, "Розроблення системи моніторингу та аналізу трафіку інформаційно телекомунікаційної мережі для виявлення аномалії і запобігання атак," I міжнародна науково-практична конференція "Проблеми кібербезпеки інформаційно телекомунікаційних систем" (PCSITS), м. Київ, 2018 р., с. 201–203.

27. М.М. Климаш, А.Р. Масюк, Г.В. Бешлей, М.І. Бешлей, "Концепція програмно конфігурованої гетерогенної мережі мобільного зв'язку на основі технологій SDN/NFV та SDR," Фізико-технологічні проблеми, обробки та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Чернівці, 2016 р., с. 35 – 36.

28. М.І. Бешлей, О.А. Лаврів, Г.В. Холявка, "Дослідження методів побудови конвергентної мережі оператора мобільного зв'язку для надання послуг Quad Play," Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій: тези доповідей VII Міжнародної науково-практичної конференції, м. Запоріжжя, 2014 р., с. 76 – 77.

29. Б.М. Стрихалюк, Р.М. Савчук, М.І. Бешлей, Г.В. Холявка, "Модель управління радіо ресурсами фемтосоти для забезпечення якісного надання мультисервісних послуг," VI Міжнародний науково-технічний симпозиум "Нові технології в телекомунікація", с. Вишків, 2013р., с. 43 – 46.

30. М.О. Селюченко, Г.В. Бешлей, А.Р. Масюк, М.І. Бешлей, "Багаторівневе управління ресурсами в гетерогенній мульти-операторській мережі," 1st International Conference "Advanced Information and Communication Technologies"(AICT'2015), Lviv, 2015, pp. 125 – 128.

4.7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозиумах, семінарах тощо

Основні наукові результати і положення дисертації представлені, доповідались та обговорені на 17-ох міжнародних і державних науково-технічних конференціях та наукових семінарах: Міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій, комп'ютерної інженерії» (м. Львів-Славське 2016, 2018, 2020 рр.); IEEE Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (м. Львів, 2019 р.); International IEEE Conferences on Advanced Information and Communication Technologie (м. Львів, 2015, 2017, 2019 рр.); Міжнародних науково-технічних конференціях «Досвід розробки та застосування приладо-технологічних САПР в мікроелектроніці» (м. Львів-Поляна, 2017, 2019 рр.); Міжнародних конференціях з інформаційно-телекомунікаційних технологій та радіоелектроніки (м. Одеса, 2017, 2018 рр.); IEEE 4th International symposium on wireless systems within the international conferences on intelligent data acquisition and advanced computing systems (м. Львів, 2018р.); 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and

Technology (м. Харків 2017); 5-й міжнародній науково-практичній конференції «Фізико-технологічні проблеми передавання, обробки та зберігання інформації в інфокомунікаційних системах» (2016 р., м. Чернівці); 1-й міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем» (2018 р., м. Київ); 7-й міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» (2014 р., м. Запоріжжя); 6-му науково-технічному симпозиумі «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» (2013 р., м. Запоріжжя). Крім цього, дисертаційна робота у повному обсязі представлена на наукових семінарах кафедри телекомунікацій Національного університету «Львівська політехніка».

4.8. Наукове значення виконаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів програм навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуального науково-практичного завдання підвищення ефективності використання ресурсів та якості обслуговування в системах мобільного зв'язку 4G/5G шляхом розроблення моделей гнучкого управління інформаційними потоками та методів оптимального розподілу мережевих ресурсів.

Наукове значення роботи полягає у розробленні методу оптимального розподілу частотно-часових ресурсів в мережах стандарту LTE; концептуальної моделі гетерогенної мережі мобільного зв'язку 4G/5G на основі стандарту LTE, що дає змогу гарантувати часові параметри якості обслуговування з кінця в кінець в умовах короткочасної нестабільності характеристик безпроводних каналів зв'язку; розвитку розвитку імітаційної моделі процесу функціонування гетерогенної мережі мобільного зв'язку.

Наукові та практичні результати виконаних досліджень використані в навчальному процесі Національного університету «Львівська політехніка» для модернізації курсу лекцій з дисципліни «Побудова та протоколи гетерогенних мереж мобільного зв'язку».

4.9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх безпосереднього застосування в існуючих мережах мобільного зв'язку четвертого та п'ятого покоління для підвищення їх спектральної ефективності та якості обслуговування в умовах масового зростання M2M/IoT трафіку.

1. Розроблений метод оптимального розподілу ресурсів для LTE мереж нового покоління дав змогу в залежності від різних ситуацій моделювання (без врахування та з врахуванням пріоритетів даних) підвищити від 4% до 13% ефективність використання частотно-часових ресурсів в процесі формування кадрів на каналному рівні LTE, в умовах одночасного використання ширини смуги каналу 1,4 МГц та 3 МГц.

2. Застосування мультистандартних M2M шлюзів в архітектурі LTE дало змогу мінімізувати кількість сигнальної інформації в процесі агрегації M2M трафіку до 10%,

5.2. У 30 наукових публікаціях повністю відображені основні результати дисертації, з них 6 статей у наукових фахових виданнях України, 5 статей у наукових періодичних виданнях інших держав, які входять до міжнародних наукометричних баз Scopus/Web of Science.

5.3. Дисертація відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167).

5.4. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Бешлей Г.В. дисертація «Моделі та метод оптимального розподілу мережних ресурсів в програмно-конфігурованих гетерогенних мережах мобільного зв'язку» рекомендується для подання до розгляду у спеціалізовану вчену раду.

За затвердження висновку проголосували:

за	27	Двадцять сім
проти	-	(немає)
утримались	-	(немає)

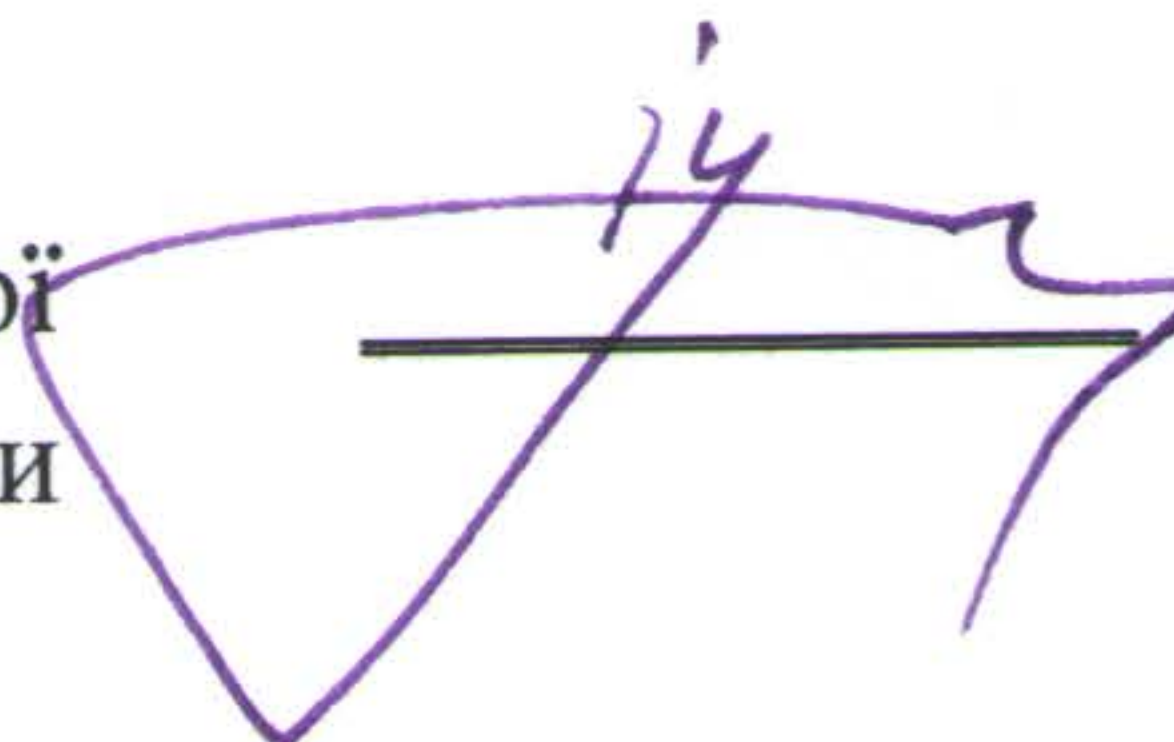
Головуючий на засіданні фахового семінару, д.т.н., доцент



Пелішок В.О.

Рецензенти:

д.т.н., доцент, проректор з наукової роботи, професор кафедри телекомунікацій



Демидов І.В.

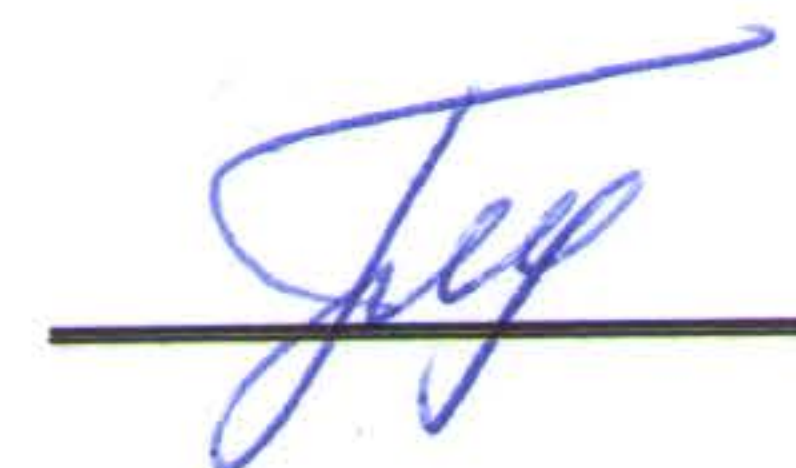
д.т.н., доцент, професор кафедри телекомунікацій



Кайдан М.В.

Відповідальний у ІТРЕ за атестацію PhD

к.т.н., докторант, старший викладач кафедри телекомунікацій



Бешлей М.І.

2 березня 2021 р.