

Голові спеціалізованої вченої
ради Д 26.861.01 Державного
університету телекомунікацій
вул. Солом'янська, 7, м. Київ

ВІДГУК офіційного опонента

доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри кібербезпеки та комп’ютерної інженерії Київського національного університету будівництва і архітектури Хлапоніна Юрія Івановича, на дисертаційну роботу Бреславського Владислава Олександровича на тему «Моделі та методики підвищення ефективності функціонування самоорганізованих радіомереж», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі»

Актуальність теми дисертації.

Відомими недоліками роботи існуючих систем-прототипів самоорганізованих радіомереж є неможливість забезпечення сучасних вимог до якості обслуговування внаслідок необхідності ретрансляцій, мінливості пропускної здатності радіоканалу, її залежності від відстані між рухомими радіозасобами, потужності передачі, кількості сусідніх радіовузлів і рівня створюваного ними трафіку і т.д. Останнім часом у відкритих зарубіжних наукових джерелах велика увага приділяється питанням застосування радіозасобів на основі технології програмно-конфігураторного радіо для самоорганізованих мереж.

З точки зору якості обслуговування, очевидними перевагами використання радіозасобів на основі технології програмно-конфігураторного радіо в самоорганізованих радіомережах є, по-перше: збільшена дальність радіозв’язку за рахунок посилення на передавальний та приймальний сторонах, що дозволяє скоротити число ретрансляцій, і, таким чином, підвищити пропускну спроможність і зменшити затримку передачі

інформації від джерела до адресата; по-друге: істотне зменшення внутрішньосистемних завад за рахунок адаптивно формованих діаграм спрямованості, що дозволяє в рази збільшити просторове ущільнення одночасних сесій радіозв'язку, і, таким чином, підвищити пропускну здатність.

Крім того, сьогодні у зв'язку зі зростанням обсягу телекомунікаційних систем, що використовують електромагнітні випромінювання різних частотних діапазонів, виникають серйозні проблеми. З одного боку, вже не вистачає частотного ресурсу для введення в дію нових засобів телекомунікацій, а з другого боку зростає і поступово наближується до критичного рівень електромагнітного випромінювання, і це шкодить здоров'ю людей. Таким чином, існує необхідність в нових телекомунікаційних технологіях та системах, які б дозволяли нарощувати об'єми інформації, що передається, і робили б це на екологічно безпечному рівні.

Для практичної реалізації вищезгаданих переваг необхідний новий підхід до побудови радіосистеми в цілому. У зарубіжних наукових джерелах цей підхід отримав назву наскрізного проектування. Таким чином, завдання пошуку та обґрунтування відповідних інженерно-технічних рішень представляється надзвичайно актуальною і необхідною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалась в рамках держбюджетної науково-дослідної теми «Розробка надвисокошвидкісної бездротової мережі backhaul з гігабітними каналами із можливістю використання неліцензійного терагерцового діапазону» (2016-2017 р.р.), (ДР № 0116U004698). та у відповідності до тематик науково-дослідних, які проводилися на замовлення ДП «Український державний центр радіочастот» і результати проведення дослідження яких відображені у звіті НДР «Методика з виконання вимірювання параметрів якості послуг фіксованого телефонного зв'язку методом випробування на реальному трафіку» (ДР № 0116U004698) – 2014 р.

Обраний напрям досліджень відповідає тематиці науково-дослідних робіт Державного університету телекомунікацій, що проводилися протягом 2014-2016 р.р., а саме: «Система широкосмугового радіодоступу на базі вітчизняних розробок» (ДР № 0114U002178), «Дослідження каналу радіозв'язку в нижній частині терагерцового діапазону при швидкості передачі більше 1 Гбіт/с» (ДР № 0114U002179), «Бездротова система передачі даних в НВЧ діапазоні» (ДР № 0114U002180), «Статистична оцінка електромагнітної сумісності мереж бездротового зв'язку нового покоління» (ДР № 0114U002181), Українського науково-дослідного інституту зв'язку, що проводилися протягом 2008-2015 р.р., а саме: «Розробка рекомендацій з питань конвергенції рухомого та фіксованого зв'язку (FMC)», (ДР № 0113U005218). Результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі Державного університету телекомунікацій. Впровадження результатів досліджень підтверджуються відповідними актами. Питання, розглянуті та розроблені в дисертаційній роботі, відповідають основним завданням та напрямам створення сучасної інформаційної інфраструктури України, які визначені у таких концептуальних документах як: — Концепція державної інформаційної політики (2011 р.) Основні засади розвитку інформаційного суспільства України на 2012-2020 роки, — Національна програма інформатизації..

Аналіз основного змісту, наукової новизни та практичного значення.

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків (акти впровадження). Загальний обсяг роботи складає 205 сторінок друкованого тексту, у тому числі містить 43 рисунки та 9 таблиць, 3 додатків на 3 сторінках. Список використаних джерел на 13 сторінках містить 138 найменувань.

Зміст роботи відповідає сформульованій науково-прикладної задачі та поставленим частковим завданням, а їх рішення є суттю та змістом виконаних досліджень, які відповідають паспорту спеціальності 05.12.02 «Телекомунікаційні системи та мережі» саме «Розроблення методів аналізу,

синтезу, оптимізації та проектування телекомунікаційних систем і мереж зв'язку з метою підвищення їх технічної й економічної ефективності».

У *вступі* автором подано загальну характеристику дисертаційної роботи, обґрунтовано її актуальність, сформульовано мету і завдання досліджень, відображені наукову новизну й практичну цінність отриманих результатів, наведені дані щодо апробації та впровадження.

У *першому розділі* здобувачем проведено аналіз існуючих гетерогенних мереж мобільного зв'язку, які розглядаються в якості основної концепції для розроблення та впровадження мереж мобільного зв'язку п'ятого покоління. Принципи побудови таких самоорганізуючих радіомереж на основі програмно-конфігуркованих радіозасобів (SDR) визначаються показниками зв'язності, пропускної здатності і живучості радіозасобів. Але, в умовах недостатнього спектрального ресурсу, просторове ущільнення мережі обмежується зростаючим рівнем інтерференції, що не дає змогу необмежено підвищувати пропускну здатність самоорганізуючої мережі. Тому, для задоволення вимог до пропускної здатності самоорганізуючих мереж 5-го покоління необхідно вирішити ряд задач, а саме:

- систематизація питань функціонування самоорганізованої радіомережі та розробка принципів функціонування радіозасобів на основі технології SDR із адаптивними режимами роботи;
- розробка нової методики оцінки зв'язності радіозасобів SDR самоорганізованої радіомережі;
- розробка нової методики оцінки пропускної здатності радіозасобів SDR самоорганізованої радіомережі;
- проведення системного комп'ютерного моделювання основних характеристик, параметрів функціональних блоків та самоорганізованої системи в цілому.

Другий розділ присвячено вдосконаленню методики оцінки зв'язаності самоорганізованої радіомережі та аналізу використання терагерцовового діапазону. Зокрема, проаналізовано перспективи розгортання каналу зв'язку в діапазоні 130...134 ГГц в Україні із використанням розробленого

обладнання виймального та передавального трактів та формувача групового сигналу із використанням технології 802.11n. Встановлено, що збільшення довжини каналу зв'язку вимагає в першу чергу збільшення енергетики каналу (підвищення рівня потужності передавача) та пониження шуму на вході приймального тракту (підвищення чутливості). При підвищенні вимог до якості зв'язку відповідно підвищуються вимоги до показників зв'язності радіомереж, що самоорганізуються. Також у другому розділі з'ясовано, що при фіксованій дальності радіозв'язку R зі збільшенням площин території СОМ S , необхідна щільність радіостанцій СОМ збільшується. Пояснюється це тим, що для збереження зв'язності мережі з заданою ймовірністю P_{cb} при збільшенні S число радіо засобів, розташованих навколо одного (відокремленого) з них, повинне бути збільшено.

В результаті виконаної оцінки виявлено вплив умов поширення радіохвиль на показники зв'язності радіозасобів на основі технології SDR, зокрема, встановлено, що повільні завмирання зменшують, а швидкі завмирання збільшують ймовірність «ізоляції» радіозасобів.

У третьому розділі

В цьому розділі сформульована задача оцінки пропускної здатності радіозасобів на основі технології SDR самоорганізованої мережі, яка визначається ймовірністю якісного забезпечення зв'язку і ймовірністю успішного радіоприйому при апріорно невідомому територіальному розподілі радіовузлів з урахуванням середніх втрат поширення і завмирань.

Запропоновано алгоритм оцінки пропускної здатності самоорганізованої мережі з радіозасобами технології SDR, який дозволяє оцінити чинники, що її визначають, окрім і, таким чином, визначити шляхи підвищення пропускної спроможності мережі з програмно-конфігураторами радіозасобами.

Визначено пропускну здатність широкосмугової мережі та запропоновано її статистична модель для багатопроменевого радіоканалу зв'язку зі статистикою впливу одночасно швидких і повільних завмирань.

Запропоновано модель оцінки живучості самоорганізуючої бездротової мережі із радіозасобами технології SDR, який дозволяє оцінити чинники, що її визначають.

Визначені основні задачі та підстави для розгляду питань створення комплексної системи моніторингу телекомунікаційних систем для забезпечення якості послуг самоорганізуючої мережі. Розглянута методологія проведення аналізу мережі, наведені приклади побудови систем аналізу і контролю вимірювань. Показано, що на сучасних телекомунікаційних мережах в даний час створено та експлуатуються одночасно декілька систем моніторингу.

Доведено, що самоорганізований алгоритм маршрутизації, відповідає вимогам адаптації, самоконфігурування і самовідновлення мережі. До позитивних особливостей алгоритму відноситься знижений обсяг службового трафіку. Розроблений алгоритм маршрутизації самоорганізованих радіомереж за параметром завантаженості мережі службовим трафіком, перевищуючи основні протоколи обміну інформації на 15%. Це є цілком сприятливим результатом, та доводить переваги розробленого алгоритму.

Четвертий розділ присвячено розробленню інноваційного способу та пристрою адаптивного вибору режимів роботи радіозасобів нового покоління в умовах складної завадової обстановки. На даний спосіб подано заявку на винахід. Крім того, запропонована система широкосмугового безпроводового доступу, що складається із центральної та абонентської станцій, причому центральна станція містить приймально-передавальні блоки, які підключені до маршрутизатора по інтерфейсу Ethernet для передачі в магістральну мережу запитного потоку чи приймання від інформаційної мережі інформації, яка передається до абонентських станцій по каналам мережі backhaul, а вихід передавального тракту і вход приймального підключаються до передавальних та приймальних трактів відповідно, та блоків обробки сигналів на базі формувача центральної станції, який відрізняється від відомих тим, що приймально-передавальні блоки будуються на базі формувача інформаційного потоку, який містить п складових потоків згідно

стандарту 802.11n, із яких створено т мультиплексів, що включають в себе приймальні та передавальні лінійні тракти, в яких реалізується перетворення частоти та підсилення потужності і до яких підключено т приймальних та т передавальних антен, які обслуговують наданням інформаційного ресурсу створеними формувачем мультиплексами відповідні ділянки зони покриття, а абонентські станції представляють собою вузли доступу WiFi, які створюють локальні комп'ютерні мережі, що обслуговуються відповідним мультиплексом і до яких підключені лінійні тракти та приймально-передавальні антени. Також, в розробленій системі мережа backhaul складається із каналів, де використовується неліцензійний частотний діапазон, а кількість секторів зони обслуговування та кількість каналів передачі визначається за результатами дослідження зони обслуговування.

Для вирішення завдань розробки наукових основ дослідження загальних властивостей і принципів функціонування мобільних телекомунікаційних систем і комп'ютерних мереж нового покоління, а також з метою розробки принципово нових методів аналізу, які спрямовано на поліпшення їх технічних характеристик і забезпечення контролю та діагностики розглянуто методи математичного моделювання, засновані на статистичних методах аналізу багатовимірних даних. Розглянуті особливості процесу статистичного моніторингу характеристик мобільної телекомунікаційної мережі. Проаналізовано методи аналізу сезонності та аналізу тренду. Розглянута методологія збору первинної інформації про телекомунікаційної мережі та процедури перетворення первинних значень характеристик телекомунікаційної мережі у часовий ряд і випадкову послідовність, що дозволяють здійснювати безперервний моніторинг характеристик мобільної телекомунікаційної мережі статистичними методами.

Ступінь обґрутованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації. Обґрутованість одержаних положень та результатів, отриманих здобувачем, обумовлюється застосуванням відомих методів дослідження на основі системного підходу. В

результаті дисертаційних досліджень вирішена важлива науково-прикладна проблема щодо розрахунку моделей та методик підвищення ефективності функціонування самоорганізованих радіомереж.

Достовірність одержаних у роботі результатів підтверджується ретельною перевіркою результатів запропонованих методологічних основ, а також під час проведення вимірювань на телекомунікаційних мережах. Крім того, за результатами розрахунків, що викладені у дисертації були подані заявки на винахід та на оформлення патентів.

До основних наукових результатів, які отримані в дисертаційної роботі, можна віднести:

Вперше розроблено математичну модель розрахунку мобільності самоорганізованої бездротової мережі, яка дозволяє децентралізованій мережі, побудованої на різних організаційно-технічних принципах, порівняти по-новому системному критерію мобільності, яка на відміну від відомих - враховує необхідну пропускну здатність і об'єм переданих повідомлень.

Вдосконалено методику оцінки зв'язності радіозасобів на основі технології SDR самоорганізованої мережі нової генерації яка, на відміну від відомих, дозволяє здійснювати розрахунок дальності зв'язку точка-точка з урахуванням довільного переміщення.

Вдосконалено методику використання терагерцового діапазону для передачі інформаційного трафіку в радіосистемах, яка, на відміну від існуючих, враховує ефективність використання траси розповсюдження інформації в цифровому форматі. На базі якої виконано розрахунок довжини ліній зв'язку в діапазоні 130-140 ГГц, та виявлені особливості передачі по бездротовому каналу зв'язку в діапазоні 120 ГГц.

Вперше розроблено методику оцінки щільності розподілення ймовірності пропускної здатності та живучості самоорганізованої мережі нової генерації.

Вперше розроблено методику з виконання вимірювання параметрів якості послуг фіксованого зв'язку методом випробування на реальному трафіку.

Теоретична і наукова цінність та практичне значення одержаних автором наукових результатів.

Практичне значення полягає в тому, що в роботі за рахунок практичної реалізації розроблених методик и моделей оцінок зв'язності і пропускної здібності можливо виконати побудову початкового наближення самоорганізованої радіомережі, оцінити число і параметри радіозасобів, необхідні для організації радіозв'язку на заданій території, оцінити ймовірність успішного радіоприйому і, відповідно, пропускну здатність радіозасобів на основі технології програмно-конфігурованого радіо в умовах впливу внутрішньосистемних і навмисних завад.

Матеріали дисертації використовувались в розробці корисних моделей, а саме:

Патенти

1. Сайко В.Г., Наритник Т.М., Казіміренко В.Я., Бреславський В.О., Єрмаков А.В. Мікрохвильова система широкосмугового безпроводового доступу з підвищеною щільністю покриття зони обслуговування UMDS-TH. Патент України на корисну модель № 109005, дата публікації 25.07.2016.-Бюл.№ 14 з пріоритетом від 25.07. 2016.

2. Сайко В.Г., Наритник Т.М., Грищенко Л.М., Бреславський В.О., Лисенко Д.О., Дакова Л.В. Пристрій для вимірювання відношення сигнал/шум в приймальних комплексах адаптивного мобільного радіозв'язку. Патент України на корисну модель № 108734, дата публікації 25.07.2016.-Бюл.№ 14 з пріоритетом від 25.07. 2016.

3. Сайко В.Г., Наритник Т.М., Казіміренко В.Я., Бреславський В.О., Лисенко Д.О. Мікрохвильова система широкосмугового мультисервісного радіодоступу з підвищеною пропускною здатністю. Патент України на корисну модель. № 107550, дата публікації 10.06.2016.-Бюл.№ 11 з пріоритетом від 10.06. 2016.

Оцінка мови та стилю викладення дисертації та автореферату.

Дисертація і автореферат написані грамотно. Стиль викладення матеріалів дослідження, а саме наукових положень, висновків і

рекомендацій, відповідає діючим вимогам щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук. Дисертація являє собою наукову працю, яка містить сукупність наукових положень та результатів, виставлених автором для публічного захисту, має внутрішню єдність та свідчить про особистий внесок автора у науку.

Оформлення дисертації та автореферату відповідає вимогам Державних стандартів України. Текст дисертації та автореферату написані правильною технічною мовою, ясно та зрозуміло.

Зміст автореферату повністю відображає основні результати досліджень, які подані в дисертації.

Повнота викладення наукових результатів дисертації в опублікованих роботах.

Основні результати дисертаційної роботи Бреславського В.О. повністю викладені в 16 наукових працях, з них, 11 наукових статей (4 статті опубліковані без співавторів), у тому числі, 1 стаття у виданні, яке індексується у науково-метричній базі Scopus, 1 стаття у зарубіжному фаховому науковому журналі, які включені до інших міжнародних наукометрических баз даних. Також результати дисертаційних досліджень знайшли відображення в 7 матеріалах та тезах доповідей, що опубліковані у матеріалах міжнародних і всеукраїнських наукових конференцій.

Зазначені публікації повною мірою висвітлюють основні наукові положення дисертації.

Недоліки.

1. Дисертаційна робота, у деякій мірі містить загальновідомі теоретичні положення. У той же час, недостатньо уваги приділено саме існуючим моделям та методикам підвищення ефективності функціонування само організованих радіомереж. На мою думку, доцільно було б провести дослідження існуючих наукових методів та їх характеристик, які дозволяють розглядати діагностичні моделі складних систем для підвищення рівня ефективності функціонування само організованих радіомереж, що

виражуються через задачі багатокритеріальної оптимізації з випадковими обмеженнями.

1. У моделі розрахунку мобільності самоорганізованої бездротової мережі здійснені розрахунки для OFDM системи, але результати були би більш вагомими, якщо було б враховано особливості інших видів систем.

2. У науковому результаті вдосконалення методики оцінки зв'язності радіо засобів на основі технології SDR само організованої мережі нової генерації, можливо було оцінити додаткові чинники, що її визначають вплив на фактори підвищення живучості мережі.

3. Під час вдосконалення методики використання терагерцового діапазону для передачі інформаційного трафіку в радіосистемах, при оцінки довжини бездротового каналу зв'язку попередню оцінку каналу зв'язку виконано із урахуванням параметрів лише одного формувача. Вважаю доцільним розглядати більше типів обладнання, з метою удосконалення диференційованого висновку щодо їх використання

4. Під час оформлення результатів методики оцінки щільноті розподілення ймовірності пропускної здатності не достатньо наочно відображені результати залежності густоти радіозасобів. Також, оскільки в умовах недостатнього спектрального ресурсу, просторове ущільнення мережі обмежується зростаючим рівнем інтерференції, що не в повній мірі дає змогу підвищувати пропускну здатність самоорганізуючої мережі.

5. Наукове положення було б більш вагомим, якщо була б спроба використання алгоритму маршрутизації самоорганізованих радіомереж для мереж інших типів бездротового зв'язку.

6. Під час розробки методики з виконання вимірювання параметрів якості послуг фіксованого зв'язку методом випробування на реальному трафіку не проводився аналіз можливості її застосування для інших типів зв'язку. Аналіз використання методики для інших типів зв'язку надало би більш вагомий вклад у напрямок розвитку бездротових мереж.

7. До новизни включено алгоритми, які є прикладними, практичними результатами, а не науковими.

Зазначені недоліки, безумовно, дещо звужують поле досліджень, але не є визначальними і тому не зменшують загальної високої оцінки проведеної роботи, наукової та практичної цінності дисертації.

Висновок.

Дисертаційна робота Бреславського Владислава Олександровича є кваліфікаційною науковою працею, що містить нові науково обґрунтовані результати проведених особисто здобувачем досліджень у галузі телекомунікацій та в сукупності вирішують актуальну науково-прикладну проблему щодо розробки методологічних основ підвищення ефективності функціонування самоорганізованих радіомереж..

Сформульована в дисертації мета досліджень досягнута. Дисертація та автореферат повністю відповідають паспорту спеціальності 05.12.02 – «Телекомунікаційні системи та мережі» та вимогам, які висуваються до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук згідно з «Порядком присудження наукових ступенів».

За змістом і отриманими результатами дисертаційна робота відповідає вимогам п. 9, 11 та п. 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, щодо кандидатських дисертацій, а її автор, Бреславський Владислав Олександрович, заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

Офіційний опонент:

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри кібербезпеки та комп’ютерної інженерії Київського національного університету будівництва і архітектури

Ю.І. ХЛАПОНІН

Підпис Хлапоніна Ю.І. засвідчує:
Вчений секретар Вченої ради Київського національного університету будівництва і архітектури



О.С. ПЕТРЕНКО

” — ” 2021 р.