

Голові спеціалізованої вченої ради Д
26.062.19 в Національному авіаційному
університеті

03680, м. Київ, пр. Космонавта Комарова, 1.

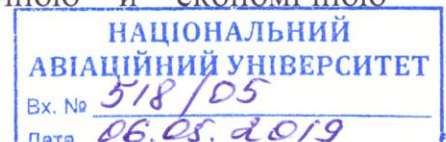
ВІДГУК

офіційного опонента професора кафедри кібербезпеки та захисту інформації Київського національного університету імені Тараса Шевченка доктора технічних наук, професора Толюпи Сергія Васильовича на дисертаційну роботу Одарченка Романа Сергійовича за темою “Методологія підвищення ефективності функціонування стільникових мереж зв’язку”, представлену на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

Актуальність теми дисертації. Лавиноподібне збільшення числа користувачів Інтернету сприятиме подальшому зростанню обсягів даних, що пересилаються. Збільшенню обсягів трафіку даних сприяє ще цілий ряд тенденцій: підвищення «інтелекту» кінцевих пристроїв, «хмарні» сервіси, надання сервісів за принципом SaaS, Mashup, збільшення числа сеансів зв'язку.

Згадані програми та сервіси частково вже використовуються в сучасних мережах мобільного зв'язку, але їх повноцінна реалізація стане можливою тільки з впровадженням високошвидкісних систем LTE та 5G, тому як вітчизняним, так і світовим операторам стільникового зв'язку слід вже зараз розробляти стратегії подальших дій по експлуатації та модернізації своїх мереж. Виходячи з вищесказаного, можна стверджувати, що розвиток інфраструктури широкосмугового доступу до ресурсів мережі Інтернет на всій території України на базі створення високошвидкісних мереж четвертого та п'ятого поколінь і підвищення ефективності їх функціонування є задачею актуальною та перспективною.

Науково обґрунтоване планування й оптимізація стільникових мереж, які забезпечують надання необхідних послуг із заданими показниками ефективності функціонування, є дуже складною науково-технічною й економічною



проблемою, без вирішення якої неможливе створення інформаційної інфраструктури, що відповідає потребам розвинутого інформаційного суспільства.

Для належної підтримки нових широкосмугових технологій радіодоступу в сучасних стільникових мережах повинна бути підвищена ефективність передачі інформації при зниженні вартості доставки кожного мегабайта трафіку та забезпеченні якості обслуговування (QoS), необхідного кожному типу трафіку. Таким чином, з метою оптимізації вже існуючих та побудови нових мереж 4G та 5G необхідно розробляти методи, які дозволять підвищити ефективність функціонування стільникових мереж зв'язку для того, щоб вони могли відповідати ряду критеріїв: забезпечують впровадження нових систем мобільного зв'язку і підтримку наявних (збереження вкладених інвестицій); відповідають вимогам архітектур мереж наступного покоління; мають ефективні засоби управління трафіком і забезпечення якості обслуговування; надають зручні засоби технічного обслуговування та експлуатації. Таким чином, тема дисертаційної роботи є **актуальною**.

Наукова робота за темою дисертації пов'язана з реалізацією положень «Основними науковими напрямками та найважливішими проблемами фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук НАН України на 2014-2018 роки», Основними пріоритетними напрямками «Національних проектів»: «Відкритий світ» (створення інформаційно-комунікаційної (4G) освітньої мережі національного рівня) та «Місто майбутнього» (формування стратегічного плану системи та проектів розвитку міста), Рамковою програмою ЄС з досліджень та інновацій «Горизонт 2020».

Актуальність тематики також підтверджується цілою низкою науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт, з якими вона тісно пов'язана і в яких Одарчченко Р.С. був виконавцем:

-НДР Національного авіаційного університету, шифр 874-ДБ13, тема «Створення та дослідження нових систем захищеного авіаційного радіозв'язку в рамках Концепції CNS/ATM ICAO» (НДР 0110U000225), шифр 161-ДБ17,

-НДР Національного авіаційного університету, тема «Квантово-криптографічні методи захисту критичної інформаційної інфраструктури держави» (НДР 0117U006770);

-ДКР ДержНДІ спеціального зв'язку та захисту інформації, шифр «Платформа» (0116U000072т).

Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій. характеризується глибоким аналізом та коректним використанням методів теорії інформації та передавання сигналів (для аналізу методів передавання інформації у широкосмугових радіосистемах стільникових мереж четвертого покоління); методів теорії розповсюдження електромагнітних хвиль (для дослідження процесу затухання електромагнітного поля); методів теорії телетрафіку (для генерування та дослідження розподілу навантаження на мережу); методів комп'ютерного моделювання (для перевірки адекватності розроблених моделей та алгоритмів); математичної статистики (для обробки отриманих експериментальним шляхом та під час комп'ютерного моделювання статистичних даних); теорії множин (для опису множин кіберзагроз, мережевих функцій тощо).

Дисертаційна робота складається зі вступу, восьми розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків і має 286 сторінок основного тексту, 157 рисунків, 18 таблиць, 37 сторінок додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи – 385 сторінок.

Ідентичність змісту автореферату й основних положень дисертації. Проаналізувавши автореферат та дисертацію здобувача, можна зробити висновок, що в авторефераті з необхідною повнотою відображено загальну характеристику, основний зміст та висновки дисертаційної роботи. Для основних положень дисертації та змісту автореферату характерна повна ідентичність.

У *вступі* автором обґрунтована: актуальність проблеми; означені мета, задачі, об'єкт та предмет досліджень; визначена наукова новизна та практична значимість результатів роботи, наведені дані про їх впровадження як на підприємствах, які працюють в галузі телекомунікацій, так і в навчальний процес.

У *першому оглядовому розділі роботи* автором виконано аналіз наукової літератури за темою дисертаційного дослідження, зокрема, проаналізовано до підвищення ефективності функціонування стільникових мереж зв'язку, а також їхнього рівня захищеності. Проведений аналіз надав підстави виділити основні невирішені завдання щодо забезпечення необхідного рівня ефективності функціонування сучасних стільникових мереж зв'язку і, відповідно, обґрунтувати основні задачі дослідження, розв'язання яких є необхідним для досягнення мети, поставленої в дисертаційній роботі.

У *другому розділі* розроблено рекомендації, яких необхідно дотримуватись для забезпечення безперервного розвитку вітчизняних стільникових мереж із можливістю збереження прибутків основних компаній, представлених на ринку. Також в даному розділі було удосконалено метод планування мережі LTE за рахунок послідовного визначення стратегії розвитку оператора стільникового зв'язку, найбільш важливих показників якості обслуговування, виборі обладнання із множини доступних альтернатив, виборі послуг для абонентів, оцінці зон радіо покриття із врахуванням особливостей рельєфу та кліматичних умов, корегування розташування базових станцій, удосконаленій процедурі частотного планування, попередній оцінці капітальних витрат на побудову мережі. Розроблений метод надає змогу операторам стільникового зв'язку проводити більш точну оцінку зон радіопокриття, вибір ключових показників якості обслуговування, більш ефективно частотне планування та розрахунок капітальних витрат. На основі даного методу було розроблено навчально-інженерне програмне забезпечення.

Також на базі уточненої класифікації показників якості обслуговування абонентів та продуктивності мережі стільникового зв'язку було розроблено метод оцінки ключових показників якості обслуговування, рівня захищеності інформації та продуктивності стільникових мереж, який полягає у послідовному визначенні множини оцінюваних послуг, виборі на основі кореляційно-регресійного аналізу статистичних даних якості обслуговування та рівня захисту оптимальних критеріїв оцінювання функціонування мережі (ефективність та захищеність), безпосередній їх оцінці та порівнянні із допустимим рівнем. Розроблений метод дозволяє проводити оцінку найбільш важливих показників якості функціонування та захищеності мережі стільникового оператора з метою їх постійного контролю та оптимізації під час впровадження нових сервісів обслуговування абонентів. На базі розробленого методу було запропоновано архітектуру системи інтелектуальної оптимізації стану стільникової мережі в рамках проекту 5G-Xcast.

На основі запропонованих в даному розділі методів та моделей було розроблене програмне забезпечення для планування мережі стільникового зв'язку та оцінки вартості розгорнутої мережі. Дане програмне забезпечення полегшує роботу мобільних операторів і дасть можливість вирішувати проблеми в умовах відсутності кваліфікованих інженерів, які проходять навчання.

У третьому розділі було проаналізовано архітектуру сучасних базових станцій, визначено їх основні складові та їхні функції, були розглянуті параметри, які впливають на якість з'єднання мобільних та базових станцій та було виявлено, які з параметрів покращуються при використанні оптимізованого підходу до побудови базових станцій. На базі цих проведених досліджень було розроблено метод оптимізації підсистеми базових станцій, який спрямований на виправлення знайдених недоліків. Запропонований метод полягає в використанні технології програмно-конфігурованої радіопідсистеми для зменшення габаритів та спрощення головних процесорних модулів; використання активних антен з вбудованими радіомодулями для зменшення затухання в фідерах; використання мультистандартних антен для можливості збільшення висоти підвісу антен нових стандартів; використання електричних азимутів для більш гнучкого планування та оптимізації мережі радіодоступу. Розроблений метод значно спрощує архітектуру базових станцій і відповідно зменшує кількість необхідного обладнання.

Також в даному розділі було удосконалено метод розвантаження радіоінтерфейсу мережі стільникового оператора із використанням підмережі стандарту не-3GPP шляхом використання нових алгоритмів вибору мережі для передачі даних, використання комбінацій протоколів MTCP, TCP, SCTP на різних ділянках мережі та в залежності від типу надаваних послуг.

Запропоновані удосконалення дозволяють зменшити навантаження на радіоінтерфейс мережі стільникового зв'язку до допустимого рівня та вдвічі збільшити кількість активних абонентів, які обслуговуються в стільнику.

У четвертому розділі автором було продемонстровано, що фактична якість обслуговування абонентів перебуває на досить низькому рівні, що свідчить про низьку ефективність існуючих методів планування транспортних підсистем. Тому було розроблено метод оптимізації багаторівневого транспортного сегменту стільникової мережі, який полягає у послідовному визначенні оптимальної структури підсистеми станцій радіорелейного зв'язку із врахуванням технологічних обмежень до пропускної здатності каналів, оптимізації структури кожного нижнього шару із врахуванням технологічних обмежень кожного рівня, заснованих на різноманітних параметрах мережі та показниках вартості. Було показано, що запропонований метод дозволяє здійснити удосконалення структури транспортної мережі при переході до мереж

нових поколінь, забезпечуючи необхідну пропускну здатність та підвищення ефективності функціонування транспортної мережі.

Також було удосконалено метод маршрутизації із резервуванням ресурсів та балансуванням навантаження транспортної мережі стільникового оператора із урахуванням вимог інформаційної безпеки, що полягає у послідовному визначенні характеристик мережі, визначенні необхідного резерву в каналі зв'язку, визначенні альтернативних шляхів передавання даних з урахуванням ризиків інформаційної безпеки, розробці порогових значень для різних типів сервісів та виконанні перерозподілу потоків. Запропонований метод дозволяє, надаючи підвищений рівень надійності мережі та захищеності, оптимізувати утилізацію транспортних каналів до 70-80%.

У п'ятому розділі було побудовано математичну модель мережі SDN для різних структур рівня управління. На базі цієї моделі було розроблено метод оцінки ефективності програмно-конфігурованої мережі, що використовується для керування мережею стільникового оператора та впровадження нових сервісів, що полягає у послідовному виборі оптимальної архітектури сегменту програмно-конфігурованої мережі, оцінці основних показників її ефективності. Запропонований метод дозволяє проводити більш гнучке та оперативне розширення мережі, запровадження нових сервісів, підвищення оперативності доставки даних до 2,1 раза для ієрархічної структури. Автором також було показано, що ефективність функціонування мереж SDN залежить від адаптації контролерів до збільшення інтенсивності запитів, що надходять від комутаторів, і можливості забезпечення належної якості обслуговування при збільшенні масштабів мережі.

У шостому розділі автором було запропоновано удосконалену архітектуру мереж 5G, зокрема, запропоновано ввести до складу стільникової мережі новий елемент CSF (Cybersecurity function), та відповідно запропоновано його функціонал. Реалізація даної функції запропонована у вигляді Центру моніторингу та реагування на кіберінциденти, до якого будуть надходити дані про стан безпеки, кіберінциденти тощо безпосередньо від різноманітних мережевих вузлів. Робота даного центру відбуватиметься на основі методу мережецентричного моніторингу та реагування на кіберінциденти, який полягає в удосконаленні архітектури стільникових мереж зв'язку шляхом введення додаткових безпекових функцій та послідовному зборі інформації про виникнення кіберінцидентів в стільниковій мережі, виявленні типів кібератак,

об'єктів та ступеня впливу, реагування на кібератаку та збереження інформації про кіберінцидент в спеціалізовану базу даних. Запропонований метод дозволяє в режимі реального часу проводити моніторинг стану забезпечення кібербезпеки та підвищувати її рівень, а відповідно й ефективність функціонування мережі.

Також в даному розділі для безперервного керування функціями забезпечення кібербезпеки стільникових мереж було запропоновано концепцію само-керованої системи забезпечення мережевої безпеки. В якості прикладу одного із алгоритмів, які можуть бути застосовані в роботі вище розглянутої концепції, було представлено метод швидкого виявлення різних типів атак у мережі стільникового оператора.

У *сьомому розділі* викладені результати моделювання покриття базових станцій. Ці результати дозволили зробити висновок про те, що метод оптимізації підсистеми базових станцій надає можливість при необхідності та можливості збільшити радіус зон обслуговування абонентів стільникових мереж до 80%. Також в даному розділі було проведено оцінку виграшу від розвантаження радіоінтерфейсу базових станцій. Крім цього, було проведено моделювання потоків даних в транспортній мережі стільникового оператора. Результати свідчать про більш справедливу утилізацію транспортних каналів.

Було проведено моделювання роботи Overlay мережі з використанням програмних комутаторів OpenvSwitch за допомогою програмного забезпечення Mininet та MiniEdit. Результати моделювання дозволили впевнитись в необхідності розгортання глобальної децентралізованої архітектури керування.

Було проведено моделювання DoS атаки з метою її швидкого виявлення, що дозволило перевірити адекватність розробленого в розділі 6 алгоритму раннього виявлення DoS-атак.

Були проведені експериментальні дослідження основних показників якості обслуговування операторів стільникового зв'язку в Україні. Отримані результати свідчать про доволі низьку якість обслуговування абонентів та необхідність оптимізації структури мережі, а тому розроблена методологія має велике наукове та практичне значення.

У *восьмому розділі* в результаті проведених досліджень було запропоновано методологію підвищення ефективності функціонування стільникових мереж. Вихідними даними для методології є кількість вже існуючих абонентів, які потенційно будуть абонентами мереж нових поколінь; вже існуючі апробовані технологічні рішення в світі, які потенційно можуть бути

використані в Україні; вимоги від користувачів до мережі; грошові обмеження для операторів стільникового зв'язку тощо.

Методологія передбачає розробку альтернативних стратегій розвитку для операторів стільникового зв'язку. Методологія підвищення ефективності функціонування стільникових мереж зв'язку представлена послідовністю взаємопов'язаних між собою етапів. За допомогою розробленої методології операторам стільникового зв'язку вдається підвищити ефективність функціонування своїх мереж за рахунок збільшення радіусу зон обслуговування абонентів стільникових мереж, мінімізації необхідної кількості базових станцій для побудови мережі, збільшення вдвічі кількості активних абонентів, які обслуговуються в стільнику та забезпечення балансування навантаження в радіопідмережі, підвищення економічної ефективності транспортної мережі, підвищення рівня надійності та захищеності мережі, оптимізацію утилізації транспортних каналів до 70-80%, проведення більш гнучкого та оперативного розширення мережі, запровадження нових сервісів, підвищення оперативності доставки даних до 2,1 раза для ієрархічної структури рівня управління.

В висновках дисертаційної роботи показано, що в ході проведених наукових досліджень вирішена актуальна проблема підвищення ефективності функціонування стільникових мереж.

Наукова цінність результатів роботи. Висновки та результати дисертації викладені змістовно, в логічній послідовності, у відповідності зі структурою задач, поставлених і вирішених у дисертаційній роботі. Достовірність отриманих результатів, наукових положень підтверджена результатами моделювання, в основному викладеними у сьомому розділі, коректністю теоретичних і математичних викладок.

Наукова новизна дисертаційної роботи Одарченка Р.С. полягає в наступному:

– *вперше розроблено* методологію підвищення ефективності стільникових мереж зв'язку, яка полягає у використанні удосконалено методу планування мережі стільникового зв'язку для розгортання стільникових мереж нового покоління, методу оцінки ключових показників функціонування мережі стільникового оператора з метою безперервної оптимізації мережі оператора шляхом використання методу оптимізації підсистеми базових станцій розгорнутої мережі стільникового оператора, удосконаленого методу розвантаження радіо інтерфейсу мережі стільникового оператора із

використанням підмережі Wi-Fi, методу оптимізації багаторівневого транспортного сегменту стільникової мереж, методу резервування ресурсів та балансування навантаження транспортної мережі стільникового оператора та методу оцінки ефективності програмно-конфігурованої мережі, що надає можливість за рахунок безперервного моніторингу ключових показників якості функціонування мережі оперативно підвищувати ефективність стільникової мережі та якість обслуговування абонентів;

– *вперше розроблено* метод оцінки ключових показників якості обслуговування, рівня захищеності інформації та продуктивності стільникових мереж, який полягає у послідовному визначенні множини оцінюваних послуг, виборі на основі кореляційно-регресійного аналізу статистичних даних якості обслуговування та рівня захисту оптимальних критеріїв оцінювання функціонування мережі, безпосередній їх оцінці та порівнянні із допустимим рівнем, що дозволяє проводити оцінку найбільш важливих показників якості функціонування та захищеності мережі стільникового оператора з метою їх постійного контролю та оптимізації під час впровадження нових сервісів для обслуговування абонентів;

– *вперше розроблено* метод оптимізації підсистеми базових станцій стільникового оператора, який полягає в послідовному визначенні оптимальної структури підсистеми із врахуванням обмежень по якості обслуговування, допустимої смуги частот, кількості активних абонентів, використанні мультистандартних активних антенних систем та програмно-конфігурованого радіоінтерфейсу, що дозволяє збільшувати радіус зон обслуговування абонентів стільникових мереж, проводити динамічний перерозподіл радіочастотних ресурсів мережі та оптимізувати витрати оператора стільникового зв'язку на побудову підсистеми базових станцій;

– *вперше розроблено* метод оптимізації багаторівневого транспортного сегменту стільникової мережі, який полягає у послідовному визначенні оптимальної структури підсистеми станцій радіорелейного зв'язку із врахуванням технологічних обмежень до пропускної здатності каналів, оптимізації структури кожного шару із врахуванням технологічних обмежень цього рівня, оснований на різноманітних параметрах мережі та показниках вартості, що дозволяє здійснити удосконалення структури транспортної мережі при переході до мереж нових поколінь, забезпечуючи необхідну пропускну здатність та підвищення економічної ефективності транспортної мережі;

– *вперше розроблено* метод резервування ресурсів та балансування навантаження транспортної мережі стільникового оператора із урахуванням вимог інформаційної безпеки, що полягає у послідовному визначенні характеристик мережі (пропускна здатність, затримка, завантаженість каналу), визначенні необхідного резерву в каналі зв'язку, визначенні альтернативних шляхів передавання даних з урахуванням ризиків інформаційної безпеки, розробці порогових значень для різних типів сервісів та виконанні перерозподілу потоків, що дозволяє, надаючи підвищений рівень надійності мережі та захищеності, оптимізувати утилізацію транспортних каналів;

– *вперше розроблено* метод оцінки ефективності програмно-конфігурованої мережі, що використовується для керування мережею стільникового оператора та впровадження нових сервісів, що полягає у послідовному виборі оптимальної архітектури сегменту програмно-конфігурованої мережі, оцінці основних показників її ефективності, що дозволяє проводити більш гнучке та оперативне розширення мережі, запровадження нових сервісів, підвищення оперативності доставки даних;

– *вперше розроблено* метод мережецентричного моніторингу та реагування на кіберінциденти в мережі оператора стільникового зв'язку, який полягає в удосконаленні архітектури стільникових мереж зв'язку шляхом введення додаткових безпекових функцій та послідовному зборі інформації про виникнення кіберінцидентів в стільниковій мережі, виявленні типів кібератак, об'єктів та ступеня впливу, реагування на кібератаку та збереження інформації про кіберінцидент в спеціалізовану базу даних, що дозволяє в режимі реального часу проводити моніторинг стану забезпечення кібербезпеки та підвищувати її рівень;

– *удосконалено* метод планування мережі стільникового оператора за рахунок послідовного визначення стратегії розвитку оператора стільникового зв'язку, вибору найбільш важливих показників якості обслуговування, виборі обладнання із множини доступних альтернатив, виборі послуг для абонентів, оцінці зон радіо покриття із врахуванням особливостей рельєфу та кліматичних умов, корегування розташування базових станцій, удосконаленій процедури частотного планування, попередній оцінці капітальних витрат на побудову мережі, що дозволяє проводити більш точну оцінку зон радіо покриття, вибір ключових показників якості обслуговування, більш ефективно частотне

планування та розрахунків капітальних витрат, що надає змогу операторам оцінити доцільність побудови варіанту мережі стільникового зв'язку;

удосконалено метод розвантаження радіоінтерфейсу мережі стільникового оператора із використанням підмережі стандарту не-3GPP шляхом використання нових алгоритмів вибору мережі для передачі даних, використання комбінацій протоколів MTCP, TCP, SCTP на різних ділянках мережі та в залежності від типу надаваних послуг, що дозволяє зменшити навантаження на радіоінтерфейс стільникової мережі та забезпечити балансування навантаження в радіопідмережі.

Значення результатів для практики. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що основні результати роботи можуть використовуватися під час виявлення нових практичних шляхів забезпечення та підвищення ефективності функціонування мереж стільникових операторів під час їх впровадження та удосконалення в Україні на основі використання нових методів оптимізації радіопідмереж, транспортних сегментів, резервування обладнання та каналів зв'язку тощо.

При цьому отримані результати дозволяють: проводити оптимізацію параметрів мережі стільникового оператора; проводити ефективне керування мережею; запроваджувати нові сервіси; проводити попередню оцінку вартості проектного рішення стільникової мережі.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає в такому:

- розроблено алгоритм вибору оптимальної технології транспортної мережі;
- розроблені імітаційні моделі;
- розроблено відповідне алгоритмічне і програмне забезпечення.

Матеріали дисертаційної роботи упроваджено у діяльність ТОВ «М.М.Д Смарт Україна», ТОВ «Українські новітні технології» (ТМ «Freshtel»), Bundleslab KFT, Державного науково-дослідного інституту спеціального зв'язку та захисту інформації, навчальний процес Університету в Бельсько-Бялій, Національного авіаційного університету, Державного закладу «Київський коледж зв'язку» та Центру перепідготовки та підвищення кваліфікації Київської обласної державної адміністрації.

Повнота викладу основних результатів та висновків в опублікованих працях. За матеріалами дисертації опубліковано 95 друкованих праць, що відображають положення дисертації, з них 18 праць, які індексуються в наукометричній базі Scopus, 26 статей у фахових виданнях, матеріали доповідей на

міжнародних науково-технічних конференціях – 43 та 3 патенти на корисні моделі. Результати, отримані автором, були в повній мірі апробовані на міжнародних науково-технічних конференціях.

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 Одарченка Р.С. за змістом, обсягом та оформленням повністю відповідає спеціальності 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі.

Зауваження до роботи. 1. В першому розділі дисертаційної роботи було проведено змістовний аналіз якості обслуговування абонентів стільникових мереж в Україні, проте більший інтерес представляють результати випробувань мереж 4G та 5G в світі. Саме вони би надали змогу більш точно сформулювати напрямки наукових досліджень, які потрібно було проводити в рамках дисертаційного дослідження.

2. Другий розділ, зокрема підрозділ 2.1, був присвячений розробці стратегій розвитку операторів стільникового зв'язку в Україні, проте відсутній аналіз наявних мереж операторів, що також створює додатковий вплив на складність вибору рішень для розгортання.

3. В третьому розділі автором було запропоновано метод оптимізації підсистеми базових станцій, але в ньому не враховано частотний перерозподіл від якого також напряму залежить кількість потенційних абонентів та основні показники якості обслуговування абонентів.

4. На рис. 4.6 в дисертаційній роботі та відповідно рис. 7 автореферату наведено комірчасту топологію транспортної мережі, яка об'єднує базові станції між собою, проте оператори стільникового зв'язку з метою забезпечення підвищеного рівня надійності в більшості випадків надають перевагу типології кільце для побудови транспортних сегментів.

5. В шостому розділі приведено таблицю 6.6, яка відображає взаємозв'язок параметрів ефективності функціонування стільникової мережі із її параметрами захищеності, проте в авторефераті даний взаємозв'язок не був явно продемонстрований. Тому було би доцільно також і в авторефераті вказати на даний взаємозв'язок.

6. В розділі 7 були представлені результати експериментальних досліджень параметрів ефективності функціонування стільникових мереж в Україні, зокрема,

Vodafone та Lifecell, однак ці результати приведені без прив'язки до певної території із зазначенням місця розміщення базових станцій та вимірювальних установок, що в свою чергу надало би змогу більш змістовно проаналізувати отримані результати.

7. Діагностична модель, представлена в підрозділі 8.2, не враховує специфіку мереж 5G, а тому не може бути використана без змін для діагностування проблем стільникових мереж 5G.

Загальні висновки. Дисертаційна робота Одарченка Р.С. є завершеною працею, що виконана автором самостійно на високому науковому рівні. В роботі отримані науково обґрунтовані теоретичні та практичні результати, які є суттєвими для розвитку теорії та практики проектування, експлуатації та захисту сучасних стільникових систем та мереж.

За актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною значимістю одержаних результатів дисертаційна робота Одарченко Р. С., яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук відповідає вимогам до докторських дисертацій п.п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України №567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015р., та №567 від 27.07.2016р.), а її автор Одарченко Романа Сергійовича заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі.

ОФІЦІЙНИЙ ОПОНЕНТ

професор кафедри кібербезпеки та захисту
інформації факультету інформаційних технологій
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка
доктор технічних наук, професор

С. В. Толюпа

ПІДПИС
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР
КАРАУЛЬНА
23.04



(Handwritten signature in blue ink)