

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»
на тему:

ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ МНОЖИННОГО ДОСТУПУ ТА
АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ ІФОРМАЦІЙНИМИ ПОТОКАМИ ДЛЯ
ГЕТЕРОГЕННИХ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ

08-34.МКР.012.00.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТКС-18м
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

_____ Юй Чанхао

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ

_____ Васильківський М.В.

« ____ » _____ 2019 р.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. БМІ

_____ Тимчик С.В.

« ____ » _____ 2019 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем
Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Галузь знань 17– Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)
Освітня програма Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТКСТБ
к.т.н., професор Г.Г. Бортник

“ ___ ” _____ 2019 року

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Юй Чанхао

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж

керівник роботи Васильківський Микола Володимирович, канд. техн. наук, доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “02” 10 2019 року № 254

2. Строк подання студентом роботи 02 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Радіус гетерогенної безпроводної мережі – 2 км;

2. Радіус зони обслуговування – 100 м; 3. Густина розміщення – 100 на км²;

4. Радіус кластера – 10 м; 5. Інтенсивність надходження нових сесій – змінна;

6. Середній розмір файлу інформаційного повідомлення – 1,5 Мбіт; 7. Смуга пропускання каналу передачі – 20 МГц; 8. Рівень шуму на вході приймача –

-106 дБм; 9. Максимальна швидкість передачі даних – 300 Мбіт/с; 10. Значення

SNR – 20 дБ; 11. Максимальний рівень потужності передавача – 23 дБм; 12. Поріг

SNR при переключенні – 20 дБм; 13. Відстань між сотами – 500 м; 14. Коефіцієнт

підсилення базової станції – 14 дБ; 15. Висота антени терміналу – 1,5м.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Телекомунікаційні радіосистеми міліметрового діапазону хвиль; 2.

Структура гетерогенних мереж зв'язку 5G; 3. Інтеграція технологій радіодоступу і

ущільнення мережі.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Топологія типової гетерогенної мережі; 2. Архітектура гетерогенної мережі

зв'язку; 3. Структура суміщеної гетерогенної мережі і область моделювання;

4. Алгоритми управління трафіком в інтегрованій гетерогенній мережі; 5.

Середній час передачі даних терміналом; 6. Середня швидкість передачі даних

терміналом; 7. Порівняльний аналіз алгоритмів керування трафіком; 8. Розподіл

індивідуальної швидкості передачі даних.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|--|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Спеціальна частина | Васильківський М.В., доцент кафедри ТКСТБ | | |
| Економічна частина | Кавецький В.В., старший викладач | | |
| Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | Березюк О.В. к.т.н., доцент | | |

7. Дата видачі завдання 02 вересня 2019 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|----------|
| 1. | Розробка технічного завдання | 06.09.2019р. | |
| 2. | Техніко-економічне обґрунтування розробки | 13.09.2019р. | |
| 3. | Міліметрових хвиль в телекомунікаційних і радарні додаток | 04.10.2019р. | |
| 4. | Основні поняття, визначення та структура гетерогенних мереж зв'язку 5G | 25.10.2019р. | |
| 5. | Інтеграція технологій радіодоступу і ущільнення мережі | 08.11.2019р. | |
| 6. | Аналіз економічної ефективності розробки | 15.11.2019р. | |
| 7. | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | 22.11.2019р. | |
| 8. | Оформлення пояснювальної записки та графічної частини | 29.11.2019р. | |
| 9. | Нормоконтроль МКР | 02.12.2019р. | |
| 10. | Попередній захист МКР, рецензування МКР | 06.12. 2019р. | |
| 11. | Захист МКР ЕК | 09.12. 2019р. | |

Студент

(підпис)

Юй Чанхао

Керівник роботи

(підпис)

Васильківський М.В.

РЕФЕРАТ

УДК 621.396

Юй Чанхао. Дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 138 с. На українській мові.

Рисунків 44, таблиць 12, бібліографія 28.

В магістерській кваліфікаційній роботі досліджено мережі 5G, зокрема інтеграція різнорідних технологій радіодоступу, використання прямого підключення пристроїв і підвищення їх енергетичної ефективності. Також розглянуті різні способи організації управління бездротовим спектром через призму їх історично сформованої фрагментації, яка уповільнює бажані темпи розвитку різноманітних технологій 5G. Для подолання даної перешкоди становить інтерес більш ефективне використання наявних радіочастот, а також виділення для потреб операторів мобільного зв'язку нових спектральних діапазонів, таких як вкрай високі частоти. Сукупність цих та ряд інших заходів дозволяє збільшити як ємність майбутніх бездротових мереж доступу, так і обсяг наданих ними спектральних радіоресурсів.

Основна відмінність методів управління з мережевим сприянням в порівнянні з підходами, пов'язаними з вибором кращої радіотехнології (На стороні абонентських терміналів) або ж зі збільшенням ефективної зони покриття стільників (на стороні мережі доступу), полягає в тому, що останні не в повній мірі враховують поточну інтерференційну ситуацію і завантаження мережі доступу. Наведені результати моделювання показали, що алгоритм управління з мережевим сприянням, що відслідковує завантаження системи зв'язку, істотно покращує її продуктивність в порівнянні з відомими підходами. При цьому збільшуються швидкість передачі і енергетична ефективність абонентських терміналів, особливо тих, які розташовані на краю стільника.

Проведене порівняння схем з мережевим сприянням і більш складних механізмів, що функціонують на стороні мережевої інфраструктури, виявило додаткові переваги розподілених методів управління в різних сценаріях розміщення гетерогенних систем 5G.

ABSTRACT

UDC 621.396

Yu Changhao. Investigation of multiple access models and information flow management algorithms for heterogeneous wireless networks. Master's qualification work in the specialty "Telecommunications and Radio Engineering" - Vinnitsa: VNTU, 2019. - 138 p. In Ukrainian language.

Figures 44, tables 12, bibliography 28.

In the master's qualification work was investigated 5G networks, in particular the integration of heterogeneous radio access technologies, the use of direct connection of devices and increasing their energy efficiency. Various ways of organizing wireless spectrum management through the prism of their historically generated fragmentation, which slows down the desired pace of development of various 5G technologies, are also discussed. To overcome this obstacle, it is of interest to make more efficient use of available radio frequencies and to allocate new spectral bands, such as extremely high frequencies, to the needs of mobile operators. The combination of these and a number of other measures allows to increase both the capacity of future wireless access networks and the amount of spectral radio resources provided by them.

The main difference between network-assisted management methods and the approaches related to choosing the best radio technology (at the subscriber terminal side) or increasing the effective coverage area of the cell (at the access network side) is that the latter are not fully take into account the current interference situation and load of the access network. The simulation results have shown that the network-assisted control algorithm, which tracks the load of the communication system, significantly improves its performance compared to the known approaches. This increases the speed of transmission and energy efficiency of subscriber terminals, especially those located on the edge of the cell.

A comparison of network-assisted schemes and more sophisticated network-side mechanisms has revealed the added benefits of distributed management in different scenarios for the deployment of heterogeneous 5G systems.

ЗМІСТ

| | |
|--|-----|
| ВСТУП | 7 |
| 1 ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ РАДІОСИСТЕМИ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ХВИЛЬ | 13 |
| 1.1 Дослідження параметрів радіоліній міліметрового діапазону довжин хвиль | 13 |
| 1.2 Аналіз трансиверів прямого перетворення | 17 |
| 1.3 Дослідження радіотеплового зображення об'єктів | 20 |
| 1.4. Огляд РЛС ближньої дії з багатоперіодним сигналом | 24 |
| 1.5. Дослідження нових методів формування та оброблення сигналів міліметрового діапазону | 29 |
| 1.6 Оцінка наукового, технічного та економічного рівня НДР | 34 |
| 1.7 Оцінювання комерційного потенціалу розробки на тему дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж | 36 |
| 1.8 Прогнозування витрат на виконання дослідної роботи | 40 |
| 1.9 Доцільність науково-дослідної роботи з дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж | 42 |
| 2 СТРУКТУРА ГЕТЕРОГЕННИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ 5G | 45 |
| 2.1 Основні вектори розвитку радіотехнологій 5G | 45 |
| 2.2 Зміна бездротового ландшафту в епоху 5G | 49 |
| 2.3 Особливості різних сценаріїв застосування 5G | 51 |
| 3 ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ РАДІОДОСТУПУ УЩІЛЬНЕННЯ МЕРЕЖІ | 1 |
| 3.1 Типи архітектури гетерогенної мережі | 54 |
| 3.2 Аналіз інтегрованої стільникової та локальної мережі доступу | 58 |
| 3.2.1 Підхід до аналізу гетерогенних мереж доступу | 58 |
| 3.2.2 Результати аналізу інтегрованої мережі доступу | 67 |
| 3.3 Аналіз ущільнення мереж доступу та облік динаміки їх завантаження | 72 |
| 3.3.1 Суміщені модулі доступу LTE і WiFi | 72 |
| 3.3.2 Моделювання надщільних суміщених покриттів | 74 |
| 3.3.3 Результати порівняння алгоритмів | 82 |
| 3.4 Управління доступом і радіоресурсами в інтегрованих мережах | 88 |
| 3.4.1 Різні класи алгоритмів управління трафіком | 88 |
| 3.4.2 Порівняльний аналіз алгоритмів керування трафіком | 94 |
| 3.5 Висновки | 100 |

| | |
|--|-----|
| | 5 |
| 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА | 101 |
| 4.1 Розрахунок витрат на проведення НДР з дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж | 101 |
| 4.2 Визначення коефіцієнта наукової значимості отриманих результатів НДР | 105 |
| 4.3 Внесок дослідника в досягнення отриманих результатів НДР | 107 |
| 4.4 Висновки до розділу | 107 |
| 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ | 108 |
| 5.1 Виробнича санітарія та гігієна праці | 108 |
| 5.1.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат | 108 |
| 5.1.2 Виробниче освітлення | 109 |
| 5.1.3 Виробничі віброакустичні коливання | 113 |
| 5.1.4 Виробничі випромінювання | 114 |
| 5.2 Технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні дослідження | 114 |
| 5.2.1 Безпека щодо організації робочих місць | 115 |
| 5.2.2 Електробезпека | 115 |
| 5.2.3 Пожежна безпека | 115 |
| 5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях Визначення області працездатності гетерогенної безпроводної мережі в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій. | 116 |
| 5.3.1 Визначення області працездатності роботи гетерогенної безпроводної мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань | 117 |
| 5.3.2 Визначення області працездатності гетерогенної безпроводної мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу | 119 |
| 5.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи гетерогенної безпроводної мережі в умовах дії загрозливих чинників НС | 121 |
| 5.3.4 Висновки | 123 |
| 5.4 Висновки до розділу | 123 |
| ВИСНОВОК | 124 |
| СПИСКИ ЛІТЕРАТУРИ | 126 |
| ДОДАТКИ | 128 |
| Додаток А (Технічне завдання) | 129 |
| Додаток Б (Топологія типової гетерогенної мережі) | 130 |
| Додаток В (Архітектура гетерогенної мережі зв'язку) | 131 |
| Додаток Г (Структура суміщеної гетерогенної мережі і область моделювання) | 132 |

| | |
|--|-----|
| | 6 |
| Додаток Д (Середній час передачі даних терміналом) | 133 |
| Додаток Е (Середня швидкість передачі даних терміналом) | 134 |
| Додаток Є (Алгоритми управління трафіком в інтегрованій гетерогенній мережі) | 135 |
| Додаток Ж (Порівняльний аналіз алгоритмів керування трафіком) | 136 |
| Додаток З (Розподіл індивідуальної швидкості передачі даних) | 137 |
| Додаток К (Нормовані значення виробничих чинників) | 138 |

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

ВСТУП

Актуальність теми. В даний час розвиток телекомунікаційних технологій відбувається швидкими темпами, що зумовлено все зростаючим числом користувачів систем мобільного зв'язку і їх підвищеними потребами в ресурсах бездротової мережі. Щоб уникнути виснаження обмежених частотно-тимчасових радіоресурсів, наявних у сучасних технологій мобільного доступу, міжнародними комітетами по стандартизації ведеться напружена робота з метою прийняття до 2020 року нових специфікацій, що визначають роботу мереж зв'язку п'ятого покоління (5G). Для підвищення якості обслуговування своїх користувачів такі гетерогенні бездротові мережі все більше тісно інтегрують між собою існуючі, а також перспективні технології радіодоступу, що призводить до виникнення принципово нових науково-технічних завдань.

Крім послуг мобільного доступу, які передбачають передачу різноманітного призначеного для користувача трафіку, гетерогенні мережі 5G забезпечать підтримку безлічі додатків Інтернету речей, заснованих на принципі міжмашинної взаємодії, а також реалізують технології програмно-визначених мереж і хмарних обчислень. В рамках концепції Інтернету речей виникає все більше істотна відмінність між споживчими та промисловими сценаріями на шляху до Індустріального Інтернету. Особливої уваги заслуговує при цьому підключення переносних пристроїв, які займають проміжне положення між призначеними для користувача системами і мережами міжмашинної взаємодії. Таке різноманіття додатків обумовлює важливість забезпечення ефективного функціонування гетерогенних мереж п'ятого покоління.

Для підвищення якості обслуговування в системах 5G потрібна узгоджена взаємодія стільникових технологій радіодоступу, що функціонують в ліцензованому діапазоні частот, таких як система LTE комітету 3GPP, з сімейством технологій локального доступу IEEE 802.11, що використовують неліцензований спектр і широко відомих як WiFi. Ці традиційні системи радіодоступу будуть доповнені більш сучасними рішеннями IEEE 802.11ad / au (WiGig) і новітніми технологіями 3GPP, такими як «Нове Радіо» (New Radio), які реалізують зв'язок в тому числі на вкрай високих частотах. Крім того, представляє інтерес використання прямих з'єднань між призначеними для користувача пристроями, що знижує навантаження на інфраструктурні канали зв'язку, дозволяючи

перенаправляти трафік зі стільникової мережі в мережі інших технологій радіодоступу.

В силу своєї історично сформованої еволюції різні технології радіодоступу, що входять до складу гетерогенних бездротових мереж, схильні до значної фрагментації і недостатньо інтегровані між собою. Ця обставина стримує їх подальший розвиток, а також обумовлює розрив між вимогами перспективних призначених для користувача додатків і ефективністю функціонування сучасних систем мобільного доступу. Для його подолання потрібно таке управління інформаційними потоками, яке дозволяє балансувати завантаження різних технологій радіодоступу в рамках гетерогенної бездротової мережі. При цьому можливо як розподіл потоків трафіку між мережею та іншими (наприклад, локальними) системами радіодоступу, так і їх перенаправлення на прямі з'єднання між пристроями.

Як наслідок необхідний комплексний підхід, що враховує основні особливості сучасного етапу розвитку гетерогенних бездротових систем мобільного доступу, такі як висока щільність розміщення призначених для користувача пристроїв і вузлів мережевої інфраструктури, тісна інтеграція різнорідних технологій радіодоступу та використання прямих з'єднань між пристроями, а також застосування вкрай високих частот і забезпечення підтримки додатків Інтернету речей з урахуванням особливостей носячих пристроїв. В результаті виникає важлива науково-технічна проблема по створенню моделей і алгоритмів для забезпечення ефективного функціонування гетерогенних бездротових мереж. Її всебічного вирішення і присвячена тема даного звіту з переддипломної практики, що визначає її актуальність.

Таким чином, актуальними є розробка і дослідження моделей організації колективного використання ресурсу для гетерогенних бездротових мереж в умовах високої щільності розміщення пристроїв з метою оцінки показників якості обслуговування, а також створення ефективних алгоритмів управління інформаційними потоками з метою зниження навантаження на стільникову мережу методом перенаправлення трафіку в мережі інших технологій радіодоступу.

Аналіз останніх досліджень. Під управлінням потоками трафіку розуміється їх перенаправлення між різними технологіями радіодоступу в рамках гетерогенної бездротової мережі з метою зниження навантаження на стільникову мережу, яка далі називається «вивантаженням» трафіку [1-3].

Таким чином, узгодження роботи різних технологій радіодоступу та використання прямих з'єднань «пристрій - пристрій» вимагають створення нової методології управління потоками трафіку і організації множинного доступу, що надає набір методів для контролю за встановленням з'єднання, призначення потужності передачі і поділу ресурсу між користувачами. Відповідні методи повинні забезпечити високу швидкість передачі даних в числі інших вимог до мереж 5G, таких як висока ємність системи (виражена, наприклад, в числі одночасно обслуговуваних користувачів), низька затримка доступу в мережу при встановленні з'єднання або передачі даних, а також прийнятна енергетична ефективність при доставці трафіку (що визначається як обсяг даних, переданий в розрахунку на витрачену при цьому енергію) [4-9].

Мета та постановка задачі. Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка і дослідження моделей множинного доступу для оцінки показників якості обслуговування в гетерогенних бездротових мережах з набором технологій радіодоступу в умовах високої щільності розміщення пристроїв, а також розробка і дослідження алгоритмів перенаправлення інформаційних потоків для зниження навантаження на стільникову мережу методом вивантаження трафіку в мережі інших технологій радіодоступу.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

1. Розробка і дослідження моделей множинного доступу користувачів для гетерогенних бездротових мереж з набором технологій радіодоступу в умовах високої щільності розміщення пристроїв з метою оцінки параметрів якості обслуговування, що включає в себе: моделювання гетерогенної мережі з набором інтегрованих між собою технологій радіодоступу; моделювання гетерогенної мережі з можливістю встановлення прямих з'єднань між пристроями; моделювання мережі радіодоступу для обслуговування великого числа пристроїв; моделювання мережі радіодоступу для обслуговування безлічі носячих пристроїв.

2. Розробка і дослідження алгоритмів перенаправлення потоків трафіку з метою зниження навантаження на стільникову мережу радіодоступу, а також оцінка їх характеристик в гетерогенних бездротових мережах з урахуванням обслуговування потоків трафіку від взаємодіючих пристроїв, що включає в себе: створення алгоритму з поділом користувальницької сесії для суміщеної мережі радіодоступу; створення алгоритму з одночасним підключенням користувача до декількох вузлів мережевої інфраструктури; створення і реалізація протоколу управління

системою прямих з'єднань для гетерогенної мережі; створення алгоритму розподілу трафіку користувачів в гетерогенній системі прямих з'єднань.

Об'єкт дослідження є гетерогенна бездротова мережа з набором технологій радіодоступу при високій щільності розміщення пристроїв, а предмет дослідження становлять моделі множинного доступу для гетерогенної бездротової мережі і алгоритми управління потоками трафіку з метою зниження навантаження на стільникову мережу радіодоступу.

Предмет дослідження є способи множинного доступу для користувачів гетерогенних мереж мобільного зв'язку в умовах високої щільності розміщення пристроїв, а також ефективні алгоритми управління потоками трафіку з метою зниження навантаження на стільникову мережу передачі даних.

Методи досліджень базуються на використанні: методи теорії ймовірностей, теорії марковських випадкових процесів, теорії масового обслуговування і математичної теорії телетрафіка. Для перевірки основних положень теоретичних досліджень використовувалося імітаційне моделювання, а також проводилися натурні випробування в рамках модельної мережі.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Модель гетерогенної мережі з набором інтегрованих між собою технологій радіодоступу, яка, на відміну від відомих, враховує геометрію розміщення вузлів мережі спільно з особливостями обслуговування потоків трафіку (сесій) користувачів в часі.

2. Алгоритм з поділом користувальницької сесії для суміщеної мережі радіодоступу, який відрізняється від відомих тим, що дозволяє вести передачу трафіку за кількома технологіями радіодоступу одночасно з ціллю зниження навантаження на стільникову мережу.

3. Модель гетерогенної мережі з можливістю встановлення прямих з'єднань між пристроями, що відрізняється від відомих спільним урахуванням особливостей обслуговування потоків трафіку в часі і геометрії розміщення призначених для користувача пристроїв.

4. Алгоритм з одночасним підключенням користувача до декількох вузлів мережевої інфраструктури, який вперше враховує можливість блокування каналу прямої видимості рухливими перешкодами при здійсненні користувачами передачі на вкрай високих частотах.

5. Модель мережі радіодоступу для обслуговування великого числа пристроїв, яка відрізняється від відомих тим, що бере до уваги особливості

функціонування протоколу випадкового множинного доступу, стандартизованого для стільникової системи зв'язку.

6. Модель мережі радіодоступу для обслуговування безлічі носячих пристроїв, що відрізняється від відомих урахуванням особливостей роботи протоколу випадкового множинного доступу, стандартизованого для локальної системи зв'язку на вкрай високих частотах.

7. Протокол управління системою прямих з'єднань для гетерогенної мережі, а також спосіб його реалізації в рамках модельної мережі, які раніше не застосовувалися для зниження навантаження на стільникову мережу методом вивантаження трафіку в мережі інших технологій радіодоступу.

8. Алгоритм розподілу трафіку користувачів в гетерогенній системі прямих з'єднань, який, на відміну від відомих, заснований на застосуванні методів мережевого кодування з ціллю підвищення доступності контенту на сусідніх призначених для користувача пристроях.

Практичне значення. Практичне значення роботи полягає в створенні нового наукового напрямку в області розробки і дослідження моделей і алгоритмів для забезпечення ефективного функціонування гетерогенних бездротових мереж. Методологія МКР розвиває і об'єднує методи теорії масового обслуговування та стохастичної геометрії, застосовуючи їх до сучасних гетерогенних мереж, і відрізняється від відомих як своїм комплексним підходом, так і урахуванням основних особливостей поточного етапу розвитку бездротових систем. В результаті пропонуються нові моделі організації множинного доступу для користувачів гетерогенних мереж мобільного зв'язку в умовах високої щільності розміщення пристроїв, а також створюються ефективні алгоритми управління потоками трафіку з метою зниження навантаження на стільникову мережу передачі даних. Все це вносить істотний внесок, перш за все, в дослідження шляхів вдосконалення управління інформаційними потоками.

Положення, що виносяться на захист:

1. Модель гетерогенної мережі з набором інтегрованих між собою технологій радіодоступу, що враховує обслуговування потоків трафіку (сесій) від безлічі користувачів і високу щільність розміщення вузлів мережевої інфраструктури, дозволяє оцінювати параметри якості обслуговування, такі як середнє число одночасно передаючих користувачів і ймовірність блокування їх сесій.

2. Запропонований алгоритм з поділом користувальницької сесії застосуємо для управління потоками трафіку в гетерогенній мережі з двома сполученими технологіями радіодоступу, яка характеризується високою щільністю розміщення вузлів мережевої інфраструктури, і дозволяє підвищити швидкість відправки даних користувачами, а також знизити середній час їх передачі.

3. Модель гетерогенної мережі з двома одночасно функціонуючими технологіями радіодоступу та можливістю встановлення прямих з'єднань між сусідніми пристроями при високій щільності їх розміщення застосовна для оцінки параметрів якості обслуговування, що включають в себе середнє число одночасно передаючих користувачів і ймовірність блокування їх сесій.

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на I Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем" і на науковій конференції ВНТУ у 2019 році.

1 ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ РАДІОСИСТЕМИ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ ХВИЛЬ

Відомими перевагами застосування міліметрових хвиль в телекомунікації є висока спрямованість і компактність антен, що забезпечують високу захищеність зв'язку, інтерференційну стійкість і достатню дальність зв'язку при малій випромінюваній потужності.

Актуальною проблемою в сфері бездротової комунікації є частотний ресурс, який в дециметровому і сантиметровому діапазонах практично повністю вичерпаний. Перехід в діапазон ММХ дозволяє істотно розширити використовувану смугу частот, що призводить до різкого підвищення швидкості бездротової передачі до десятків і сотень Гбіт / сек.

З високою спрямованістю антен і широкополосністю ММХ пов'язаний і бум інтересу до активних і пасивних радарних систем в різних системах контролю, виміру дальності і швидкості, в системах управління і попередження і т.д. малі розміри антен дозволяють реалізувати радари ММХ на одному кристалі.

Передача в міліметровому діапазоні зручна в різноманітних системах радіозв'язку і є кращим рішенням для зв'язку на коротких і середніх дистанціях, в компактних пристроях, які можуть бути швидко і просто встановлені і не вимагають подальших експлуатаційних зусиль [21].

Реалізація цих переваг ММХ вимагає спеціальних досліджень в області фізики розповсюдження, адекватних архітектурних рішень побудови систем і, звичайно, методів формування і обробки сигналів.

1.1 Дослідження параметрів радіоліній міліметрового діапазону довжин хвиль

Для визначення можливої області застосування міліметрових радіосистем необхідно в першу чергу визначити довжину надійного зв'язку. Основним фактором, обмежуючим цю величину, є втрати поширення міліметрових хвиль в атмосфері, включаючи резонансне поглинання газів і загасання на гідрометеорах (дощ, сніг і інші).

Потужність на вході приймача може бути виражена таким чином:

$$(P_T G_A^2 / L_{FC} L_A) \quad (1.1)$$

де P_T - вихідна потужність передавача, G_A - посилення антени, L_{FC} – втрати поширення у вільному просторі, L_A - атмосферні втрати, включаючи втрати на гідрометеорах.

Використовуючи вираз $L_{FC} = (4\pi R/\lambda)^2$, де R - довжина надійного зв'язку, а λ - довжина хвилі, а також співвідношення $G_A = \eta \cdot (\pi D/\lambda)^2$, де D - діаметр параболічної антени, і відому улюблену модель для атмосферних втрат [21]

$$y_0 = \left(7.19 \cdot 10^{-3} + \frac{6.09}{f^2+0.227} + \frac{4.81}{(f-57)^2+1.5} \right) f^2 \cdot 10^{-3} \quad (1.2)$$

$$y_B = \left\{ \begin{array}{l} 0.05 + 0.0021p + \frac{3.6}{(f-22.2)^2+8.5} + \frac{10.6}{(f-183.3)^2+9} + \\ + \frac{8.9}{(f-325.4)^2+26.3} \end{array} \right\} f^2 p \cdot 10^{-4} \quad (1.3)$$

можна отримати довжину надійного зв'язку, при якій $P_S \geq P_{threshold}$.

Необхідну $P_{threshold}$ визначається типом модуляції, швидкістю зв'язку, прийнятним рівнем помилок і іншими факторами. На рис. 1.1 представлена залежність довжини траси для системи зв'язку, що працює на частоті 35 ГГц при різних параметрах шумів приймача і потужності передавача. Необхідно відзначити, що при інтенсивності дощу 20÷40 мм / год довжина траси обмежена 2÷5 кілометрами. значне збільшення потужності передавача і зменшення шумів приймача не приводить до очікуваного істотного збільшення довжини траси. Така поведінка характерна тільки для наземних зв'язкових систем зв'язку міліметрового діапазону.

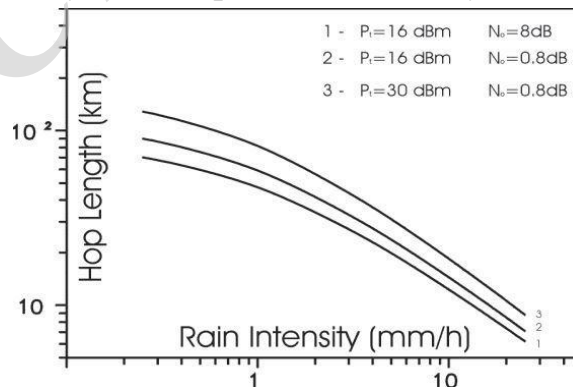


Рисунок 1.1 - Залежність довжини траси для системи зв'язку міліметрового діапазону

В разі супутникових систем, фактор дощу впливає не на всій трасі, а лише у вузькому дощовому шарі. Крім того, сучасної тенденцією розвитку комунікаційних мереж є різке збільшення щільності базових станцій в регіоні обслуговування, тобто зменшення відстані зв'язку між ними.

Зростаючий інтерес до бездротових внутріофісних системам зв'язку відкриває нові горизонти для застосування міліметрових хвиль. Через великі втрати при проходженні крізь стіни і двері, мікрохвильові стільники ММ діапазону мають чіткі межі, що полегшує завдання покриття осередків і повторного використання частотного діапазону.

Використання мікростільникових систем на міліметрових хвилях всередині приміщень пов'язане з безліччю проблем, в першу чергу пов'язаних з багатопроменевим поширенням, що є причиною межсимвольної інтерференції і обмежує тим самим досягнення максимальної швидкості обміну. Отже, вкрай важливо дослідження механізму поширення міліметрових хвиль усередині приміщень. Нами представлені пристрій і результати тестування вимірювальної системи для дослідження поширення, відображення і часу затримки міліметрових хвиль.

Були виміряні профілі сигналу затримки в різних приміщеннях, а також коефіцієнти відбиття від стель, підлог, килимів, різних матеріалів і тіл людей. Виміри проводилися для топологій, як з прямою видимістю, так і для випадку відсутності прямого шляху між передавачем і приймачем. Основна мета полягала в описі середовища поширення хвиль і введення відповідних адекватних параметрів для вирішення завдання поширення всередині вимірюваного приміщення.

У таблиці 1 представлені деякі результати вимірювань в приміщеннях. Були проведено дві серії вимірювань. Перша серія відноситься до відбиття від гладких поверхонь металів, стін, килимів і дерев'яних поверхонь.

Таблиця 1.

| | $\theta = 30^\circ$ | $\theta = 60^\circ$ | $\theta = 90^\circ$ |
|--------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Метал | - 4 dB | - 3 dB | - 2 dB |
| Стіна | - 8 dB | - 12 dB | - 13 dB |
| Килим | - 14 dB | - 16 dB | - 17 dB |
| Дерево | - 17 dB | - 17 dB | - 32 dB |

Це сімейство дозволяє зробити висновок, що втрати на відбиття майже не залежать від кута падіння і, отже, для з'ясування характеристик поширення можна застосувати апарат геометричної оптики. Деяке

відхилення спостерігається для дерев'яних поверхонь, що обумовлено ефектом «діелектричного затягування» при гострих кутах падіння. Друга серія вимірювань відноситься до віддзеркалень від кутів.

Очевидно, що результуюча картина (рис. 1.2) більш складна і визначається багатопроменевим поширенням (дифракцією).

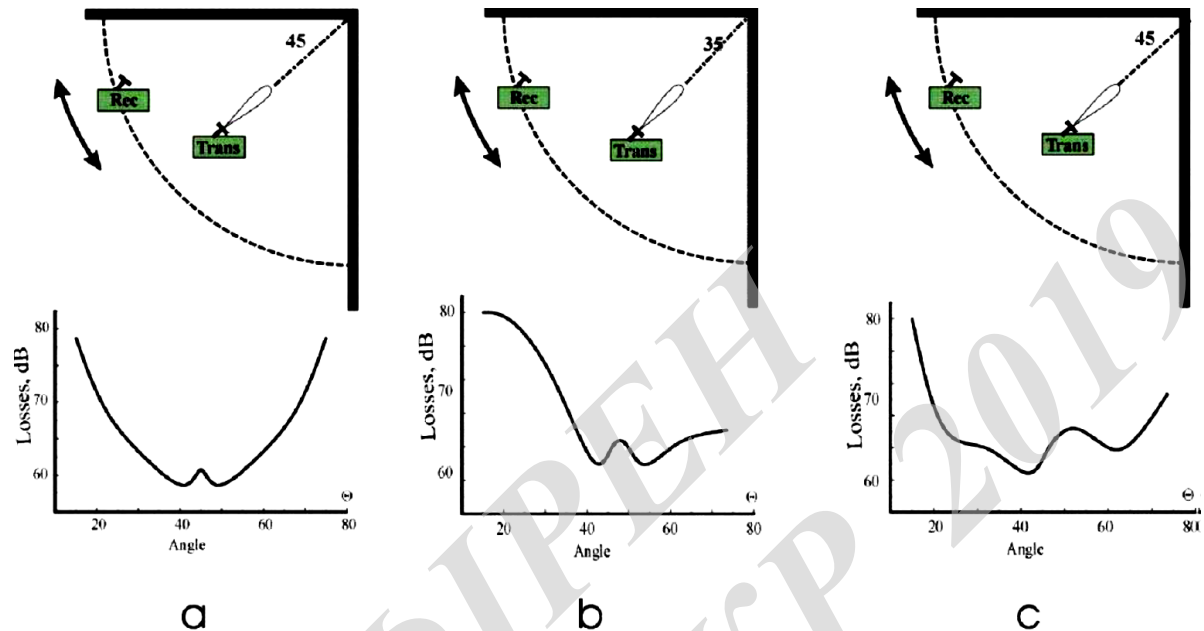


Рисунок 1.2 - Багатопроменеве поширення

Концепція розподілених систем з мінімальною затримкою, заснована на серії передач (ретрансляції) з прямою видимістю передбачає наявність рефлекторних антен базових станцій (як пасивних, так і активних), розташованих на стелі, і термінальних настільних антен. Для оптимального побудови мережі необхідно знати зону обслуговування кожної базової антени. Для визначення ефективних зон нами проведено ряд вимірювань з використанням параболічного відбивача ($d = 60$ см) в якості антена базової станції. Була оцінена ефективна поверхня такого рефлектора у випадках нормального зменшення і зменшення під кутом (рис. 1.3).

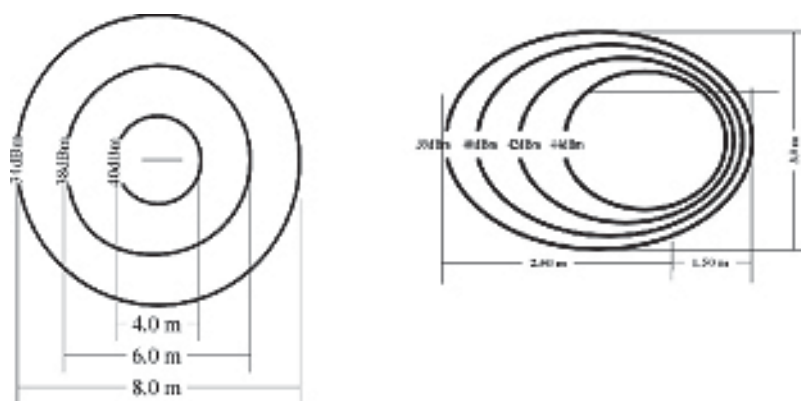


Рисунок 1.3 - Оцінена ефективна поверхня у випадках нормального зменшення і зменшення під кутом

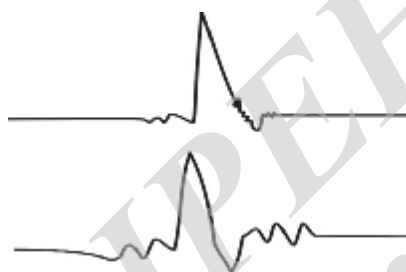


Рисунок 1.4 - Відповідне розташування поглинаючих покриттів навколо базових і термінальних антен

Придушення деструктивного ефекту багатопроменевого поширення, що визначається за профілем сигналу затримки, досягається відповідним розташуванням поглинаючих покриттів навколо базових і термінальних антен (рис.1.4).

1.2 Аналіз трансиверів прямого перетворення

Особливим питанням є розробка принципів побудови радіосистем ММ діапазону, тому що широко застосовуються в см діапазоні традиційні методи, засновані на багаторазовому збільшенні, фільтрації і посилення сигналу, сформованого на проміжній частоті, призводять до різкого ускладнення і подорожчання пристроїв в ММ діапазоні. У той же час, сучасний стан елементів і техніки ММ хвиль відкриває перспективи нових методів, заснованих на прямому транспонированні і відновленні базового сигналу. Так звані приймачі прямого перетворення або гомодинного, що виключають численні перетворення за проміжними частотам і освіту

дзеркального каналу, відрізняються винятковою простотою, винятком фільтруючих ланцюгів і можливістю інтегрального виконання всього приймача на єдиному чіпі. Останнє визначило той пильний інтерес розробників, який спостерігається останнім часом [9]. Одним з основних труднощів, що перешкоджають широкому впровадженню приймача прямого перетворення, є поява постійної складової на виході змішувачів, однією з причин якого може бути просочування гетеродинного напруги на сигнальний вхід перемножителя через неідеальної розв'язки останньої і вхідного малошумящего підсилювача.

Цю проблему можна в тій чи іншій мірі вирішити технологічним шляхом, виготовленням високоякісних елементів - змішувачів, фільтрів і підсилювачів, в 52 яких досягнуто високу придушення просочування. Однак, досягнення таких параметрів, які повинні задовольняти вимогам приймачів прямого перетворення, дуже важко і, отже, дорого.

На рис. 1.5 приведена запропонована для придушення постійної складової схема подвійного балансного приймача (ДБП) із застосуванням квадратурних-протифазних подільників, в якому можлива електронна підстроювання фазоздвигаючих елементів. Застосування ДБП архітектури значно покращує придушення просочується паразитного сигналу, а, отже, і постійної складової в порівнянні з традиційним I/Q приймачем (див. рис. 1.6).

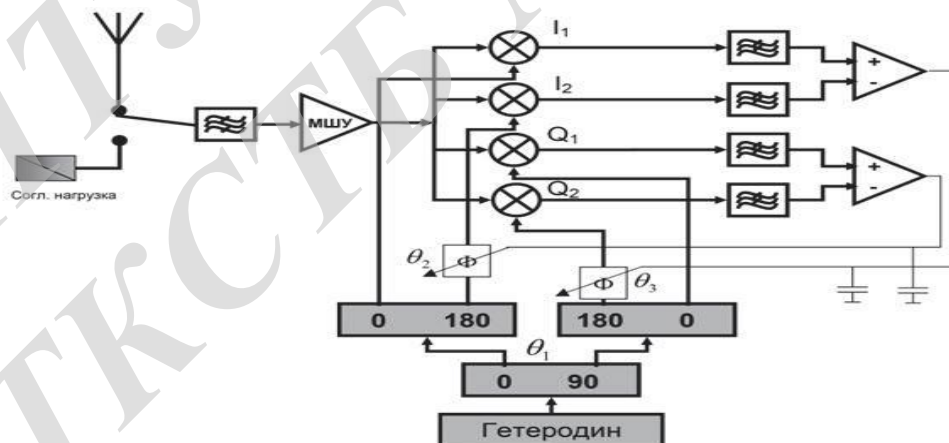


Рисунок 1.5 - Схема автоматичного підстроювання фазозсувних елементів протифазних подільників

Як видно при малому амплітудно-фазовому розбалансі мостів ДБП схема може дати вигравш в придушенні до 30дБ, який суттєво зменшується з

ростом похибки мостів. Для компенсації цього явища запропоновано в бруківку структуру ДБС ввести керовані фазообертачі згідно рис. 1.5. Розподіл гетеродина спочатку на квадратуру, а потім - на протифазні компоненти уможливорює незалежне управління і коригування фаз перемноження θ_3 і θ_2 каналів I і Q .

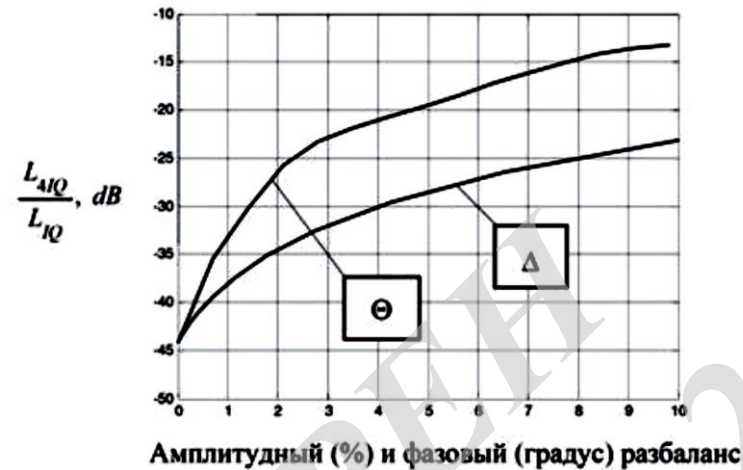


Рисунок 1.6 - Паразитного сигналу в порівнянні з традиційним I/Q приймачем

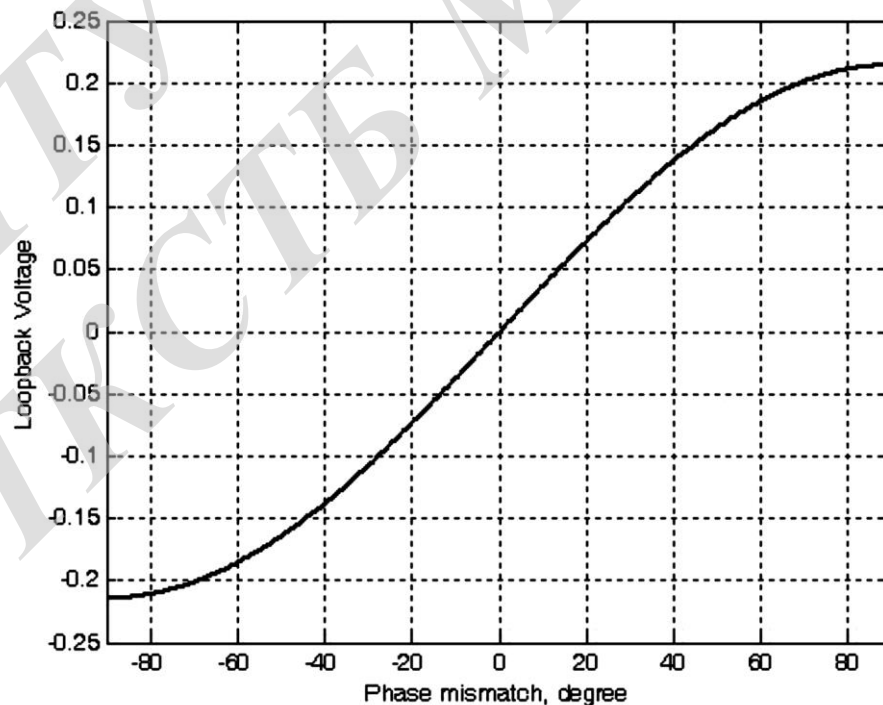


Рисунок 1.7 - Залежність напруги помилки від фазового розбалансу

Залежність напруги помилки від фазового розбалансу приведена на рис. 1.7. Так як залежність напруги помилки монотонна при малих величинах фазової розладу і проходить через нульову точку координат, то це напруга успішно може бути використано для організації петлі ФАП для корекції виникає розбаланса мостів.

На основі цього принципу нами розроблена система радіозв'язку 8-мм діапазону. У порівнянні з більшістю відомих систем зв'язку, робота передавача заснована на прямий частотній модуляції сигналу генератора міліметрових хвиль без застосування додаткових частотних зрушень вгору і синтезаторів частот. Міліметровий генератор з вихідною потужністю 50мВт в діапазоні 45÷50ГГц і 100мВт в діапазоні 35÷38ГГц стабілізовано циліндричним резонатором, які працюють в TE₀₁₂ модовою режимі і мають невантажено добротність $Q = 2 \cdot 10^4$. Частотна стабільність його не менше $6 \cdot 10^{-7}$ в діапазоні температур від -20 до + 50°C. Резонансна частота електронно перебудовувалася варакторов в діапазоні більш ніж 90МГц з лінійністю не гірше 1%. Перевага описаної передавальної системи полягає в її простоті, задовільною частотній стабільності в поєднанні з широкою частотною перебудовою.

1.3 Дослідження радіотеплового зображення об'єктів

Зростаюча загроза терактів на транспорті викликала необхідність розробки нових технічних засобів контролю пасажирів. Одним з головних напрямків такого контролю є розвиток ефективної техніки для неінвазивного сканування і розпізнавання різних зловмисників, які представляють джерело потенційної загрози. Зростаюча увага приділяється новим технологіям прихованого сканування з метою спрощення та прискорення процесу перевірки. Завдяки високій випромінювальній здатності людського тіла, великої різниці в відбивній здатності різних специфічних матеріалів і достатньої прозорості звичайного одягу в міліметровому діапазоні довжин хвиль (ММХ), а також з-за неінвазивного дії візуалізація за допомогою пасивних радіометрів ММХ має великі потенційні можливості застосування в системах контролю. Прості візуалізатори, що будують зображення об'єкта за допомогою сканування одиночним променем, не застосовні для цих цілей через їх малій швидкості візуалізації, обумовленої процесом послідовного побудови пікселів зображення.

Розробка нової частотно-скануючої антени (ЧСА) відкриває можливість реалізації високочутливих і недорогих радіометричних визуализаторов ММХ [А36, А39] з швидким паралельним побудовою зображення. В основі роботи визуализатора лежить резонансний оптокерований амплітудний модулятор, виконаний на основі діелектричних резонаторів (ДР), пов'язаних з ЗДВ. Вибір такої структури модулятора обумовлений такими обставинами. По-перше, будучи відкритим хвилеводом, ЗДВ має електромагнітне поле як усередині, так і поза діелектричного стрижня, що полегшує його зв'язок з резонаторами [6, 7]. По-друге, використовуючи в якості матеріалу ДР високоомний напівпровідник, можна, завдяки фотоіндукованій провідності, оптичним шляхом управляти добротністю резонатора. Як впливає з еквівалентної схеми такого резонатора (рис. 1.8), освітлення останнього призводить до різкого зростання опору втрат і, як наслідок, зміни зв'язку резонатора з живильним ЗДВ. Експериментально в діапазоні частот 26 ... 40ГГц досліджувався кремнієвий ДР з діаметром $d = 2,2\text{мм}$ і висотою $h = 1\text{мм}$ пов'язані в режекторний режим з ЗДВ з полікорунда. На рис. 1.9 приведені частотні залежності коефіцієнта пропускання ЗДВ з кремнієвим ДР як в Темнова режимі, так і при освітленні ІК-діодом на довжині хвилі $\lambda = 0,9\text{мкм}$.

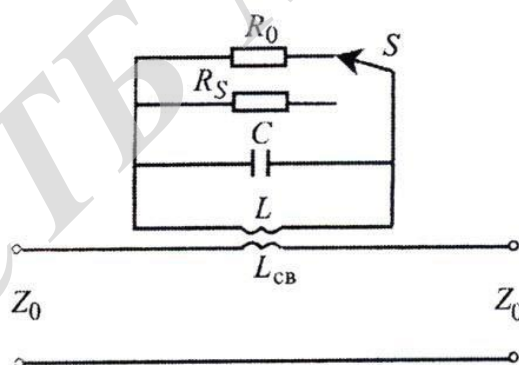


Рисунок 1.8- Еквівалентна схема добротністю резонатора

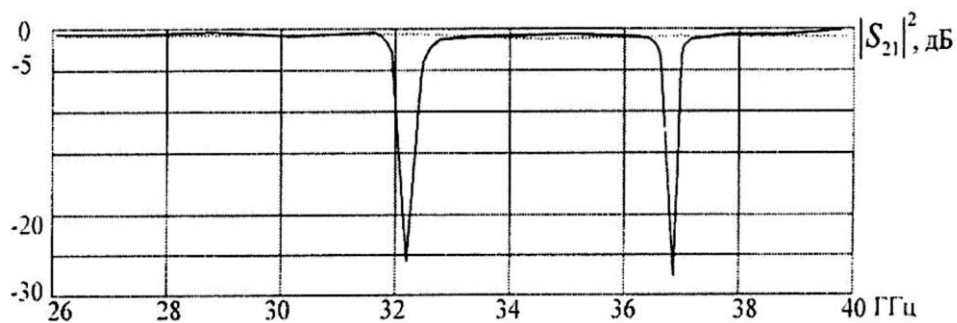


Рисунок 1.9 -Частотні залежності коефіцієнта пропускання ЗДВ

Як видно, при відсутності ІК-випромінювання в резонаторі досягається досить висока навантажена добротність. При висвітленні резонатора на вхід радіометричного приймача з антени потрапляє радіотеплової потужності на частоті резонатора в смузі, яка визначається його навантаженої добротністю. при відключенні освітлення резонатор перевідбивається на вхід приймача теплову потужність еквівалента антени, в якості якого служить узгоджена навантаження циркулятора, розташованого між набором резонаторів і входом приймача. Таким чином, модулюванням освітлення напівпровідникового ДР реалізується модуляційний тип радіометра. Відповідним вибором відстані між ДР і ЗДВ досягається глибина модуляції більш 20дБ в смузі $\Delta f = 100\text{МГц}$ на рівні половинної потужності.

Частотно-сканувальна антена (ЧСА) і набір вузькосмугових резонансних амплітудних модулаторів (УРМ) є основними компонентами пропонованого визуализатора. Схема визуализатора ММХ з ЧСА представлена на рис. 1.10 принцип роботи визуализатора може бути спрощено описаний таким чином. Як відомо, температура, що реєструється приймальною антеною за допомогою однопроменевого радіометра, задається виразом

$$T_A = (\theta_0, \varphi_0) = \int_{4\pi} T_B(\theta, \varphi) g[(\theta - \theta_0), (\varphi - \varphi_0)] d\Omega \quad (1.4)$$

де $T_B(\theta, \varphi)$ - яскравісна температура об'єкта в напрямку (θ, φ) ; $g[(\theta - \theta_0), (\varphi - \varphi_0)]$ -діаграма спрямованості антени; θ_0 і φ_0 - напрямок спостереження.

Яскравості температура може бути представлена як

$$T_B(\theta, \varphi) = R(\theta, \varphi)T_{ill} + \sigma(\theta, \varphi)T_{obj} + t(\theta, \varphi)T_{back} \quad (1.5)$$

де $R(\theta, \varphi)$ - коефіцієнт відображення; $\sigma(\theta, \varphi)$ - випромінювальна здатність; $t(\theta, \varphi)$ - коефіцієнт передачі; T_{ill} -температура штучного шумового освітлення; T_{obj} -температура об'єкта; T_{back} -температура фону. Тут передбачається, що в діапазоні ММХ коефіцієнти випромінювальної здатності, відображення і передачі мають слабку частотну залежність, якою можна знехтувати:

$$\theta_0 = \Psi(f_0) \quad (1.6)$$

Як впливає з (8), азимутальний кут головної пелюстки ЧСА залежить від частоти спостереження f_0 . Комбінування (6) і (8) дає

$$T_A(f_0, \varphi_0) = T_A(\theta_0, \varphi_0) \quad (1.7)$$

Широкопasmовий вихід антени представляється суперпозицією випромінювань, що йдуть зі всіх напрямків. Вибір напрямку спостереження або (що те саме) частоти прийому, може бути здійснений введенням смугасто-проникного перебудовується ЖИГ-фільтра. Однак така схема буде еквівалентна послідовному Однопроменева скануванню. Багатопронемеве сканування може бути досягнуто використанням набору каналних фільтрів в НВЧ і ПЧ-частинах приймача, подібно демультимплексору в багатоканальних засобах зв'язку з частотним поділом каналів. Однак розробка таких демультимплексорів є дуже складною проблемою, оскільки необхідна досить широка частотна смуга сканування.

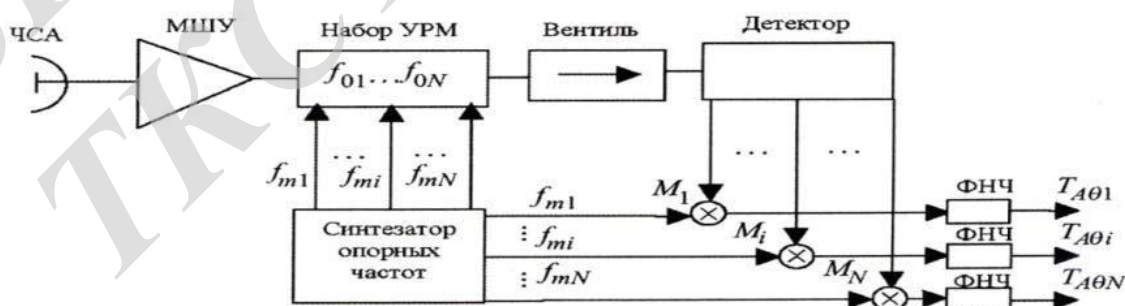


Рисунок 1.10- Схема визуализатора ММХ з ЧСА

Розглянемо порівняно простий і недорогий спосіб формування багатопробеневого сканування, заснований на застосуванні набору УРМ, кожен з яких функціонує незалежно, на власній резонансній частоті f_{oi} і модулюється власною модуляційною частотою f_{mi} . Всі модулюючі сигнали f_{mi} є некогерентними і формуються синтезатором опорних частот. посиленій і детектувати сигнал потім подається до набору перемножувач M_i , кожен з яких використовує відповідну власну частоту f_{mi} . Відфільтрований вихід кожного умножителя є температурою $T_A(f_{oi})$ отриману антеною і відповідну напрямку променя θ_{oi} в згоді з (9). Іншими словами, кожен вихід являє собою один піксель одновимірного зображення. Число пікселів N визначається числом УРМ.

1.4. Огляд РЛС ближньої дії з багатоперіодним сигналом

Портативні пристрої ближнього виявлення ММХ викликають все більший інтерес для багатьох цивільних і військових застосувань, таких, як системи попередження зіткнень, або виявлення цілей в системах безпеки [10]. Останнім часом ця сфера їх застосування перейшла виключно на безперервні РЛС з ЛЧМ, які дозволяють виявляти і вимірювати дальність і радіальну швидкість точно так же, як і імпульсні РЛС, відрізняючись від останніх низькою вартістю, малими габаритними розмірами, меншим енергоспоживанням і відсутністю сліпої зони. складність побудови РЛС ближньої дії полягає в необхідному поєднанні суперечливих вимог. Наприклад, застосування комбінованої приймально-передавальної антени призводить до бажаних скорочень загальних розмірів системи, але виключає можливість використання відносно високої потужності передавача для збільшення дальності виявлення цілей з огляду на неминучого зростання просоченням потужності до неприйнятно високого рівня.

Іншою відмінною рисою РЛС ближньої дії є дуже великий динамічний діапазон по дальності виявлення більше 30 дБ, що відповідає динамічному діапазону прийнятих сигналів близько 120 дБ. такі суперечливі вимоги диктують необхідність ретельного проектування всіх

підсистем з метою оптимального поєднання переваг кожної з них [A45, A49].

Спрощена блок-схема (без фільтрів) розробленої РЛС показана на рис. 1 і являє собою приймач з 2-етапним перетворенням частоти. Таке побудова вироблено виходячи з кількох міркувань. По-перше, РЛС, призначена для вимірювання малих частот Доплера, повинна мати якомога менший фазовий шум передавача. Застосування прямої модуляції на несучій частоті або повторного множення частоти з більш низьких частот, призводить до неприйнятно високим рівнями фазового шуму. Однак відомо, що при виконанні перетворення вгору від двох вихідних сигналів, фазовий шум визначається найбільшим фазовим шумом з них. З цією метою був використаний стабілізований діелектричним резонатором і захоплений ланцюгом ФАПЧ генератор на частоті 15 ГГц з внутрішнім опорним генератором, який характеризується рівнем фазового шуму -96 ДБС / Гц при відбудові 1кГц.

Така побудова завдяки розподілу загального посилення між підсилювачами на різних частотах забезпечує одночасне досягнення як високого рівня лінійності в широкому динамічному діапазоні, так і отримання необхідного наскрізного посилення.

Подальший розвиток системи полягає в усуненні характерних недоліків, властивих одноантенним поєднаним системам, а саме, у використанні двох роздільних передавальної і приймальної антен, що неминуче призводить до збільшення загальних розмірів системи, але зате істотно зменшує рівень просіканими потужності (-20 дБ у порівнянні з одноантенним рішенням) на вхід приймача. Таким чином, рівень амплітудних шумів на вході в порівнянні з одноантенною системою також зменшується на 20 дБ. Такий виігришко шумів може привести до збільшення дальності дії РЛС більш ніж в 3 рази. На рис. 1.11 представлена блок-схема такої двухантенної системи.

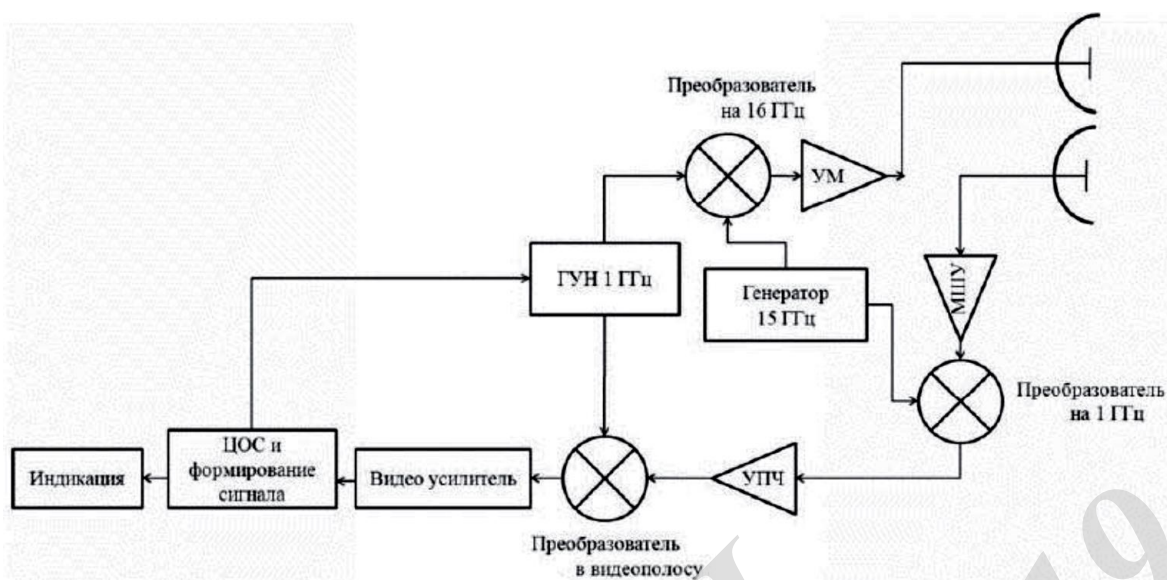


Рисунок 1.11 - Блок-схема двухантенной системы

Основними вимогами, що пред'являються до антен ближніх і малопотужних РЛС, є високий ККД, високу посилення, тонкий геометричний профіль і незмінна діаграма спрямованості у всій смузі частот накладають певні вимоги на наше розгляд тільки тонко-профільними антенами.

Найбільш часто використовуваними такими антенами, що мають високий коефіцієнт посилення, є мікрополоскових друковані антени і хвилевідно-щілинні антенні решітки. Перевагами мікросмушкових друкованих антен є їх малу вагу, тонкий геометричний профіль, високий коефіцієнт КНД, але разом з тим низька ефективність антени, обумовлена діелектричними втратами. Тому їх використання в РЛС з низьким енергоспоживанням вкрай обмежена.

Тим часом хвилевідно-щілинні антени знаходять широке застосування в радіолокаційних системах, завдяки високій ефективності, високої посилення і тонкого геометричного профілю. Зважаючи на такі свої властивості, вони є гідними кандидатами в ряду антен для застосування в ММХ.

Для РЛС ближньої дії були розроблені хвилевідно-щілинні антени з центрально симетричною живленням, що зберігає напрямок електричної осі при частотній перебудови. Діаграма спрямованості розробленої антени в E і H площинах приведена на рис. 1.12.

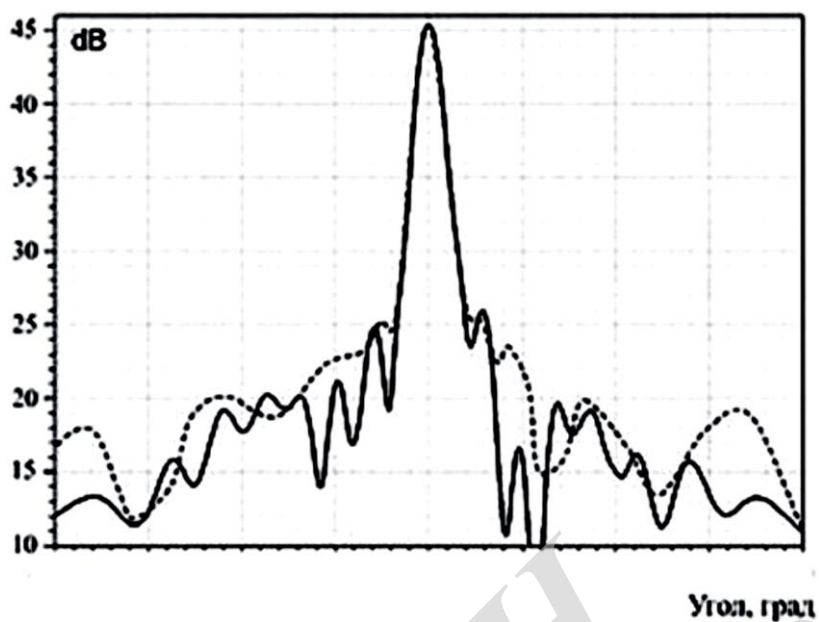


Рисунок 1.12 - Діаграма спрямованості розробленої антени в E і H площинах

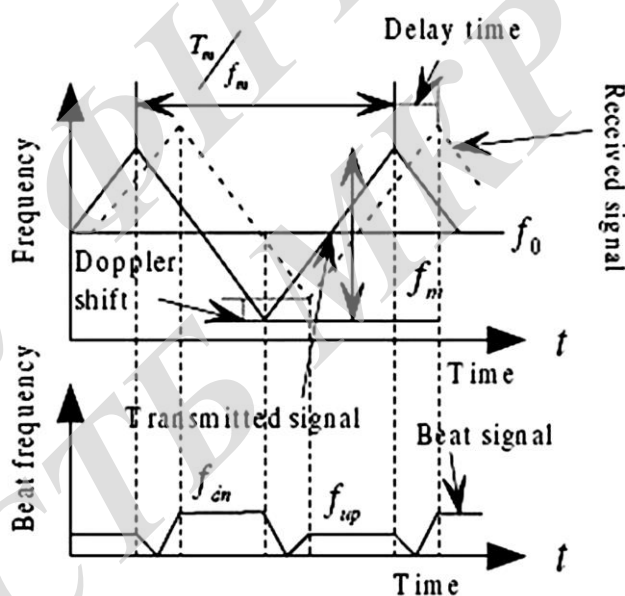


Рисунок 1.13 - ЛЧМ сигнал з послідовно наростаючій і спадної частотами

Обробка прийнятого сигналу є, мабуть, найважливішим модулем системи, приймає рішення про наявність цілей. Цільовою функцією при проектуванні цього модуля є розробка ефективних алгоритмів усунення помилкових цілей, а також локалізація і супровід встановлених цілей. Використання ЛЧМ-сигналу в таких системах дозволяє одночасно вимірювати швидкість і дальність мети.

Використання додаткової ЛЧМ дозволяє безпосередньо виміряти також і відстань до цілі. З використанням трикутного сигналу, що модулює можна отримати ЛЧМ сигнал з послідовно наростаючій і спадної частотами (рис. 1.13). У результуючий зсув по частоті вносять вклад як дальність до цілі, так і доплеровській зрушення від рухомих цілей.

Вимірювання зрушень частоти під час цих періодів формує пару частот f_{up} і f_{dn} для кожної мети, яка і дозволяє обчислити дальність R і швидкість V

$$R = \frac{cT_m}{4\Delta f_m} f_{delay} = \frac{cT_m}{8\Delta f_m} (f_{up} + f_{dn}) \quad (1.8)$$

$$V = \frac{\lambda}{4} (f_{dn} - f_{up}) \quad (1.9)$$

де λ - робоча довжина хвилі, T_m -період модуляції, Δf_m - девіація частоти.

Однак наявність декількох цілей робить задачу складнішою. Навіть в ідеальних умовах (відсутність кластерного сигналу) під час періоду наростання частоти отримаємо один набір частот - по одній для кожної мети. Інший аналогічний набір частот виходить для періоду спаду частоти. Відповідність між парами частот буде невідомим. В результаті для N цілей ми отримуємо матрицю розміром $N \times N$ для всіляких пар значень швидкість-дальність. З цієї матриці тільки N пар значень швидкість-дальність відповідають реальним цілям, інші ж є помилковими.

Метод трансформованих періодів ЛЧМ дозволяє вирішити цю проблему і ідентифікує множинні цілі. Змінні періоди ЛЧМ використовуються для запобігання виявлення помилкових цілей.

Строго математично виявлення наявності реальних цілей в обох матрицях описується рівністю значень відповідних пар. Однак, внаслідок кінцевих точностей вимірювань і клаттерної сигналу (сигналу клатера), знак рівності може привести до майже абсолютної ймовірності пропуску цілей. Рішення полягає в використанні деякої кінцевої точності зіставлення. При грубої точності може просочитися безліч помилкових цілей, що підвищить ймовірність помилкової тривоги системи. У зворотному випадку реальні цілі можуть бути відфільтровані, що призведе до підвищення ймовірності пропуску цілей.

Щоб знизити ймовірність помилкової тривоги і при цьому не підвищувати ймовірність пропуску цілей, можна застосувати додаткові алгоритми обробки сигналу. Цю проблему можна вирішити методом розбиття обробки сигналу на два наступні етапи - локалізації цілей і перевірки результатів. Пропонований алгоритм використовує складовою модульовальний сигнал з трьома періодами, два з ЛЧМ і один – чисто доплеровський. Часова форма сигналу показана на рис. 1.14.

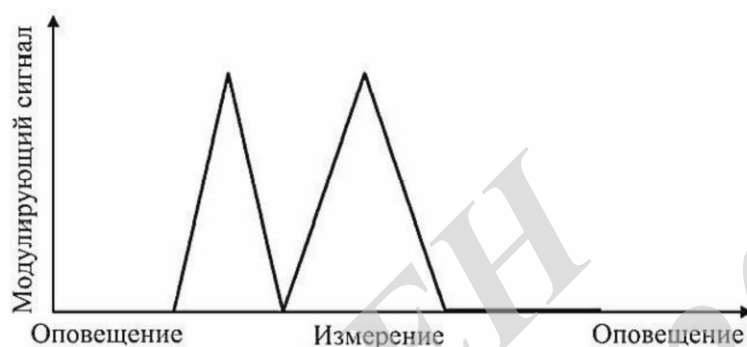


Рисунок 1.14 - Часова форма сигналу

Така побудова модулюючого сигналу використовується також для підвищення надійності системи в режимі виявлення. Так, в режимі виявлення, який займає більшу частину часу роботи, РЛС виробляє просторове сканування. В цьому режимі метою системи є оповіщення про наявність рухомих цілей, але не потрібно проводити їх локалізацію. При використанні чисто доплерівського сигналу алгоритм обробки даних істотно спрощується, а це, в свою чергу, призводить до можливості більш точного вимірювання, що особливо важливо в режимі виявлення. При виявленні цілі включається алгоритм локалізації з використанням вимірювань ЛЧМ періодів.

1.5. Дослідження нових методів формування та оброблення сигналів міліметрового діапазону

Відомо, що вплив шуму на лінійні радіофізичні системи завжди супроводжується зменшенням співвідношення сигнал / шум (SNR). Для нелінійних систем вищесказане необов'язково, навіть навпаки, додатковий шум при певних умовах може дати позитивний ефект [A24].

Цей нелінійний феномен прийнято називати стохастичним резонансом (СР), хоча він не має нічого спільного з радіотехнічним явищем резонансу. Все більше сучасних радіофізичних завдань вирішується із застосуванням

НГ. Для отримання СР можна використовувати бістабільні системи і порогові пристрої.

Для детектування прийнятого слабкого FSK сигналу, широко використовуваного в бездротових комунікаційних системах, пропонується використовувати приймач зі стохастичним резонатором (СРР), тобто з нелінійним граничним пристроєм, який складається з тригера Шмідта, ФНЧ, лічильника перетинів сигналу з відповідно обраним пороговим рівнем, а також логічного пристрою прийняття рішення і генерації вихідного демодульованого сигналу (рис. 1.15) [A41, A42].

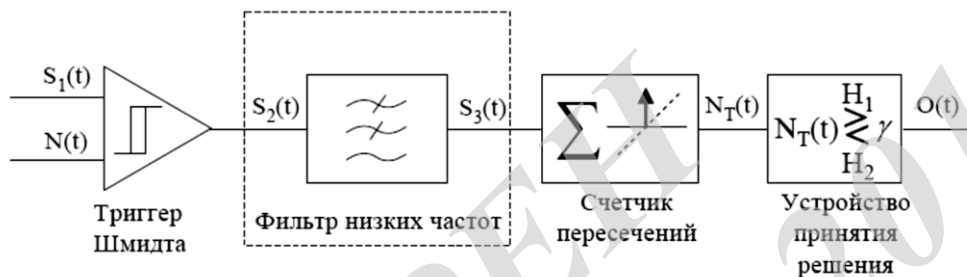


Рисунок 1.15 - Логічний пристрій прийняття рішення і генерації вихідного демодульованого сигналу

При детектуванні цифрових сигналів суть завдання полягає в правильному визначенні значення переданого біта (у загальному випадку символу), а не в точному відновленні форми переданого сигналу, що було необхідно при прийнятті аналогових сигналів. Тобто, якщо протягом тривалості одного біта перерахувати кількість перетинів сигналу в одному напрямку, то це число при оптимальному шумі має бути близьким до однієї з несучих частот f_1 і f_2 . На останній стадії обробки отримане кількість перетинів передається в логічний пристрій, що працює за принципом максимальної правдоподібності:

$$|N_T(t)| \begin{matrix} \geq \gamma \\ H_1 \\ H_2 \end{matrix} \quad (1.10)$$

Отримана кількість перетинів $N_T(t)$ порівнюється з оптимальним порогом, який в разі В-FSK дорівнює $\gamma = \frac{f_1 + f_2}{2}$ (з урахуванням $P_0 = P_1 = 0,5$, тому що в реальних системах зв'язку в основному маємо рівноймовірну передачу бітів). Залежно від результату порівняння на вихід подається імпульс відповідного значення біта. Відзначимо, що для

досягнення синхронізації ключову роль відіграє потужність додається шуму.

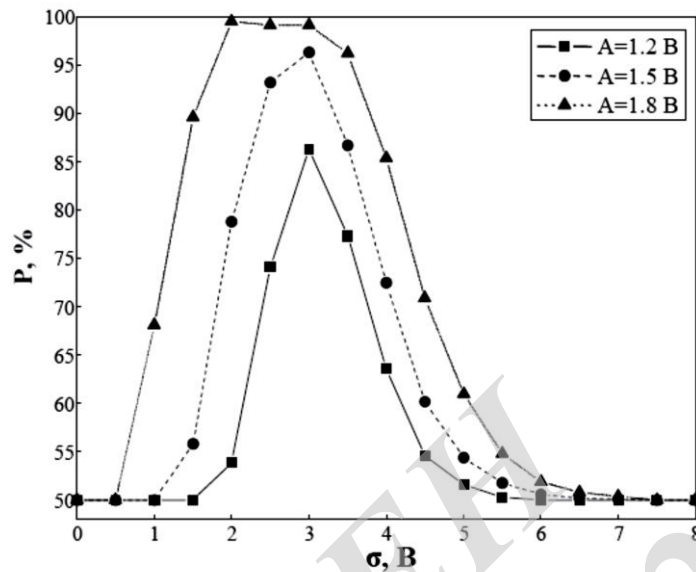


Рисунок 1.16 – Значення детектованих бітів в залежності від потужності шуму для амплітуд вхідного сигналу

Відсоток P правильно детектованих бітів в залежності від потужності шуму для амплітуд вхідного сигналу $A = 1,2\text{В}$; $1,5\text{ В}$ і $1,8\text{ В}$, несучі частоти рівні 40Гц і 60Гц , поріг дорівнює 2В , $T = 1\text{ сек}$, $F_0 \approx 150\text{Гц}$, $\Delta t = 10^{-3}\text{сек}$, $\tau = 10^{-3}\text{сек}$.

Для певних значень інтенсивності шуму, а в деяких випадках для певного діапазону інтенсивності шумів, розташованого біля оптимальної інтенсивності, ймовірність правильного детектування прагне до 100% (рис. 1.16). Очевидно, чим ближче значення амплітуди сигналу до величини порогу, тим менше шуму потрібно для коректних перемикань, а це означає, що P матиме високу значення (рис. 1.16).

Як відомо, визначення координат і швидкості рухомої цілі є основною завданням радіолокації. Одночасне точне визначення цих параметрів при використанні одиночного прямокутного імпульсу неможливо в силу принципу невизначеності.

Для вирішення цієї проблеми в сучасних радіолокаційних системах (РЛС) зазвичай застосовуються складні сигнали з розширенням спектра

типу CDMA або OFDM. При цьому відстань до цілі - час затримки, швидкість мети - доплерівський зсув частоти визначаються за допомогою окремих процедур обробки прийнятого сигналу. Як правило, це кореляційний обробка для визначення затримки, і Фур'є-обробка - для визначення зсуву частоти [12].

Такий метод обробки сигналів вимагає значних обчислювальних ресурсів. Принциповим шляхом є можливість точного одночасного визначення локаційних параметрів, використовуючи базис на основі сигналу особливої форми, що володіє властивістю сильної експоненційної локалізації в частотно-часовій площині (рис. 1.17) [A50].

Основою методу є сигнал особливої форми, що володіє властивістю сильної експоненційної локалізації в частотно-часовій площині, найбільш важливою особливістю сигналу є експонентний спад коливальних хвостів. В доплерівської імпульсної РЛС прийнятий сигнал, по відношенню до випромінювання, несе в собі два типи змін: він затриманий за часом і зрушає по частоті. З точки зору ЧВП, зрушення в площині відповідають одночасної трансляції та модуляції (Група Вейла-Гейзенберга). На рис. 1.20 для наочності випромінювань і прийнятий сигнали зображені в ЧВП із зсувом, відповідним їх реальних зрушень по часу і по частоті: $\Delta t = a/8$ і $\Delta f = b/6$, де a і b - постійні решітки ЧВП з умовою $a \cdot b = \pi$.

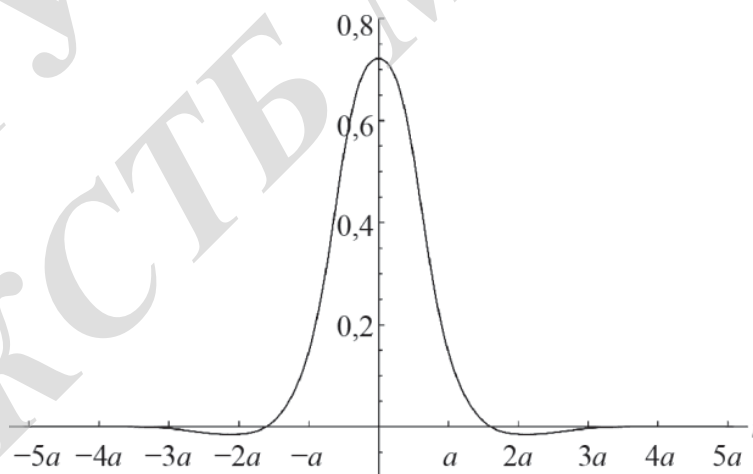


Рисунок 1.17- Точного одночасного визначення локаційних параметрів, використовуючи базис на основі сигналу особливої форми

Їх добуток значно нижче межі принципу невизначеностей. Застосування нового методу обробки радіолокаційного сигналу в

частотно-часової площині показало, що метод допускає одночасне точне визначення частотного і тимчасового зсуву радіолокаційного сигналу в області сильних обмежень зі боку принципу невизначеності.

Застосування OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) сигналів в активній і пасивної радіолокації є актуальним напрямком в області цифрового синтезу та обробки радіолокаційних сигналів. Велика база OFDM сигналу, обумовлена значною шириною сумарного спектра великого числа тих, що піднесуть частот і великою тривалістю OFDM символу визначає його перспективність як радіолокаційного сигналу.

Основною проблемою в цій області є розробка ефективних методів обробки відбитих радіолокаційних OFDM сигналів з метою одночасного виділення рухомих цілей і визначення їх дальностних і швидкісних характеристик.

Нами досліджено вплив радіолокаційних характеристик на сигнальне сузір'я OFDM символів і розроблений метод виділення радіолокаційних параметрів тільки на основі оцінки спотворення сигнальної решітки. Метод ґрунтується на припущенні великої кількості піднесуть частот OFDM і статистичної незалежності модульовальних символів. Основними етапами цього методу є усереднення сигнальних векторів в кожному квадраті I / Q площині, оцінки середньоквадратичного відхилення і визначення фазового зсуву решітки QPSK сигналу (рис. 1.18) [A57, A60].

З певною таким чином величини фазового зсуву легко визначаються дальність і швидкість мети. Запропонований метод забезпечує точність визначення 12% при відношенні сигнал-шум 10 dB.

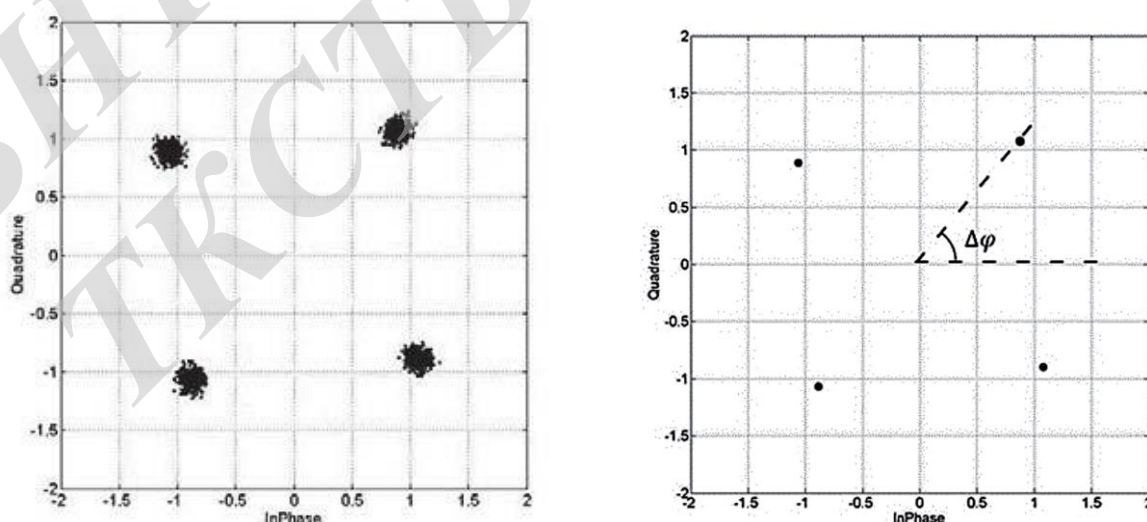


Рисунок 1.18- Фазовий зсув решітки QPSK сигналу

1.6 Оцінка наукового, технічного та економічного рівня НДР

В даний час розвиток телекомунікаційних технологій відбувається швидкими темпами, що зумовлено все зростаючим числом користувачів систем мобільного зв'язку і їх підвищеними потребами в ресурсах бездротової мережі. Щоб уникнути виснаження обмежених частотно-часових радіоресурсів, наявних у сучасних технологій мобільного доступу, міжнародними комітетами зі стандартизації ведеться напружена робота з метою прийняття до 2020 року нових специфікацій, що визначають роботу мереж зв'язку п'ятого покоління (5G). Для підвищення якості обслуговування своїх користувачів такі гетерогенні бездротові мережі все тісніше інтегрують між собою існуючі, а також перспективні технології радіодоступу, що призводить до виникнення принципово нових науково-технічних завдань.

Необхідний комплексний підхід, що враховує основні особливості сучасного етапу розвитку гетерогенних бездротових систем мобільного доступу, такі як висока щільність розміщення призначених для користувача пристроїв і вузлів мережевої інфраструктури, тісна інтеграція різнорідних технологій радіодоступу та використання прямих з'єднань між пристроями, а також застосування вкрай високих частот і забезпечення підтримки додатків Інтернету речей з урахуванням особливостей мобільних пристроїв. В результаті виникає важлива науково-технічна проблема зі створення моделей і алгоритмів для забезпечення ефективного функціонування гетерогенних бездротових мереж. Її вирішенню і присвячена дана дослідницька робота, що визначає її актуальність. Таким чином, актуальними є розробка і дослідження моделей організації колективного використання ресурсу для гетерогенних бездротових мереж в умовах високої щільності розміщення пристроїв з метою оцінки показників якості обслуговування, а також створення ефективних алгоритмів управління інформаційними потоками з метою зниження навантаження на стільникову мережу методом перенаправлення трафіку в мережі інших технологій радіодоступу. Визначимо перспективність та техніко-економічний рівень даної роботи.

Однозначно визначити техніко-економічний рівень нової розробки при великій кількості технічних та економічних показників досить складно. Однак можна визначити узагальнюючу оцінку техніко-економічного рівня НДР. Оцінимо перспективність теми даної магістерської кваліфікаційної роботи за допомогою бального методу оцінок НДР. Бальна оцінка полягає в тому, що кожному параметру присвоюється певний бал в залежності від

різних факторів. Для узагальнюючої оцінки технічного рівня береться сума балів по всім показникам.

В сучасних умовах науково-технічний прогрес в радіоелектронній промисловості відбувається найбільш швидкими темпами, а це звісно потребує зменшення часу на розробку (проведення НДР) і зменшення строку окупності вкладень. Виходячи з цього, необхідно орієнтуватися на час проведення НДР не більше 2 років; технічні показники результатів плануються на рівні кращих світових зразків; передбачаються отримання авторських свідоцтв; строк окупності витрат 2 роки і менше.

В таблиці 1.1 наведено критерії та бальна оцінка для визначення наукового та технічного рівня науково-дослідної роботи з дослідження моделей множинного доступу.

Таблиця 1.1 – Критерії та бальна оцінка для визначення наукового, технічного та економічного рівня науково-дослідної роботи.

| Критерії оцінки | Шкала критеріїв | Індекс оцінки |
|---|---|---------------|
| Час, необхідний для проведення НДР | 2 роки і менше | +2 |
| | 3 роки | +1 |
| | 4 роки | 0 |
| | 5-6 років | -1 |
| | 7 років і більше | -2 |
| Технічні показники результатів розробки | Вище рівня кращих світових зразків | +2 |
| | На рівні кращих світових зразків | 0 |
| | Нижче рівня кращих світових зразків | -2 |
| Можливості отримання авторських свідоцтв на винахід | Впевненість в отриманні авторських свідоцтв | +2 |
| | Часткові можливості | 0 |
| | Можливості немає | -1 |
| Строк окупності витрат | 2 роки і менше | +3 |
| | 3-4 роки | +2 |
| | 5 років | 0 |
| | 6-7 років | -1 |
| | 8 років і більше | -2 |

Проаналізувавши критерії оцінки наведені в таблиці 1.1 та рівень можливих досягнень даної НДР, підрахуємо загальну суму балів згідно індексу оцінки ($+2+0+2+3=+7$).

В таблиці 1.2 наведено можливі результати оцінки теми НДР.

Таблиця 1.2 – Можливі результати оцінки теми НДР

| Сума індексів | Оцінка теми |
|---------------|---------------------------------|
| Позитивна(+) | Розробка є досить перспективною |
| Задовільна(0) | Розробка перспективна |
| Негативна(-) | Розробка не перспективна |

У відповідності до можливих результатів оцінки теми НДР, які наведені в табл. 1.2, можна відмітити, що дана науково-дослідна робота з дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж є достатньо перспективною.

1.7 Оцінювання комерційного потенціалу розробки на тему дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж

У наприкінці 2015 року Комітет 3GPP почав активну роботу зі створення нової радіотехнології New Radio в рамках системи 5G, яка змогла б функціонувати на міліметрових хвилях без зворотної сумісності з попередніми рішеннями. Одночасно продовжився подальший розвиток наявної інфраструктури 3GPP LTE. За допомогою інтеграції мереж радіодоступу LTE, WiFi і New Radio система 5G отримує можливість обслуговувати широке коло ресурсоємних додатків користувача, включаючи служби визначення місцезнаходження абонентів, хмарні і соціальні сервіси, мультимедіа-послуги, додатки віртуальної і доповненої реальності та ін. Однак застосування мереж 5G не обмежується послугами, орієнтованими на обслуговування людей в якості користувачів, а передбачає також забезпечити підтримку додатків, побудованих на міжмашинній взаємодії (Machine-to-Machine, M2M). Відповідно, додаткові вимоги виникають щодо затримки, доступності, надійності, масштабованості, вартості та енергетичної ефективності зв'язку M2M.

Після виконання всіх заявлених вимог гетерогенні системи зв'язку 5G стануть найбільш сучасним засобом для обслуговування всіляких додатків Інтернету речей (Internet of Things, IoT), побудованого на технологіях міжмашинної взаємодії, і, тим самим, дозволять підключити до мережі безліч різних машин, що функціонують при мінімальному втручанні людини.

Передбачувані таким чином сценарії застосування гетерогенних мереж зв'язку 5G можна умовно розділити на три напрями:

1. Розширений мобільний широкосмуговий доступ. Мобільний широкосмуговий доступ націлений на обслуговування людей в якості користувачів, які отримують доступ до різних мультимедіа-додатків, послуг і даними. Очікується, що потреба в підтримці даного виду сервісів продовжить зростати, а для їх забезпечення буде потрібна додаткова мережева ємність.

2. Масова міжмашинна взаємодія. Даний клас сценаріїв характеризується дуже великим числом підключених пристроїв, які при цьому передають досить малі обсяги стійких до затримки даних. Потрібно, щоб подібні пристрої мали низьку вартість, а також тривалий час роботи без перезарядки або заміни своєї батареї живлення.

3. Надійна взаємодія з низькою затримкою. Для цього класу сценаріїв характерні жорсткі вимоги до таких показників роботи системи, як її загальна ємність, затримка доставки даних і доступність бездротового з'єднання.

Для задоволення вимог наведених вище сценаріїв знадобиться узгоджене використання різних радіотехнологій, що включає подальший розвиток мереж LTE і системи New Radio комітету 3GPP спільно з різними протоколами доступу сімейства IEEE. В результаті гетерогенні мережі зв'язку 5G об'єднують в собі цілий ряд удосконалень і нових функцій, призначених для збільшення продуктивності сучасних бездротових технологій. Вони включають в себе більш тісну інтеграцію різних технологій радіодоступу та ущільнення мережі, використання прямих з'єднань між пристроями для розвантаження мережі і вкрай високих частот для підвищення швидкості передачі даних, а також механізми підтримки додатків Інтернету речей і мобільного обладнання. Тобто проведення дослідження має певний комерційний потенціал.

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки (результатів НДДКР), створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання робиться висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу [Козловський 2012].

Рекомендується здійснювати оцінювання комерційного потенціалу розробки за 12-ма критеріями, наведеними в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

| Бали (за 5-ти бальною шкалою) | | | | | |
|--|--|--|---|---|--|
| Критерій | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Технічна здійсненність концепції: | | | | | |
| 1 | Достовірність концепції не підтверджена | Концепція підтверджена експертними висновками | Концепція підтверджена розрахунками | Концепція перевірена на практиці | Перевірено роботоздатність продукту в реальних |
| Ринкові переваги (недоліки): | | | | | |
| 2 | Багато аналогів на малому ринку | Мало аналогів на малому ринку | Кілька аналогів на великому | Один аналог на великому ринку | Продукт не має аналогів на |
| 3 | Ціна продукту значно вища за ціни аналогів | Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів | Ціна продукту приблизно дорівнює цінам | Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів | Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів |
| 4 | Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в ана- | Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в |
| 5 | Експлуатаційні витрати значно | Експлуатаційні витрати дещо | Експлуатаційні витрати на рівні | Експлуатаційні витрати трохи | Експлуатаційні витрати значно |
| Ринкові перспективи | | | | | |
| 6 | Ринок малий і не має позитив- | Ринок малий, але має позитивну | Середній ринок з позитивною | Великий стабільний | Великий ринок з позитивною |
| 7 | Активна конкуренція великих ком- | Активна конкуренція | Помірна конкуренція | Незначна конкуренція | Конкурентів немає |
| Практична здійсненність | | | | | |
| 8 | Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї | Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання | Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату | Необхідне незначне навчання фахівців | Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї |
| 9 | Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування | Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування | Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є | Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування | Не потребує додаткового фінансування |

| | | | | | |
|----|---|---|--|--|---|
| 10 | Необхідна розробка нових матеріалів | Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому | Потрібні дорогі матеріали | Потрібні досяжні та дешеві матеріали | Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовув- |
| 11 | Термін реалізації ідеї більший за 10 років | Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти | Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій | Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від | Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років |
| 12 | Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що | Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що | Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних ко- | Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту | Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту |

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки зведемо до таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

| Критерії | експерт | | |
|------------|------------------------------|----|----|
| | А | В | С |
| | Бали, виставлені експертами: | | |
| 1 | 2 | 3 | 3 |
| 2 | 3 | 3 | 4 |
| 3 | 3 | 2 | 4 |
| 4 | 2 | 3 | 2 |
| 5 | 2 | 2 | 2 |
| 6 | 3 | 3 | 2 |
| 7 | 2 | 2 | 3 |
| 8 | 3 | 3 | 3 |
| 9 | 2 | 2 | 4 |
| 10 | 3 | 3 | 3 |
| 11 | 3 | 2 | 3 |
| 12 | 4 | 4 | 4 |
| Сума балів | 32 | 32 | 37 |

| | |
|-----------------------------------|-------|
| Середньоарифметична сума балів СБ | 33,67 |
|-----------------------------------|-------|

За даними таблиці 1.4 зробимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому доцільно користуватися рекомендаціями, наведеними в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Рівні комерційного потенціалу розробки

| Середньоарифметична сума балів СБ , розрахована на основі висновків експертів | Рівень комерційного потенціалу розробки |
|---|---|
| 0 - 10 | Низький |
| 11 - 20 | Нижче середнього |
| 21 - 30 | Середній |
| 31 - 40 | Вище середнього |
| 41 - 48 | Високий |

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки становить 33,67 балів, що, згідно таблиці 1.5, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

1.8 Прогнозування витрат на виконання дослідної роботи

Для обґрунтування доцільності роботи потрібно провести попередній розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи. Для визначення суми витрат на проведення НДР передбачено складання приблизного кошторису цих витрат [2].

Таблиця – Основна заробітна плата дослідників та розробників

| Найменування посади | Місячний посадовий оклад, грн. | Оплата за робочий день, грн. | Число днів роботи | Витрати на заробітну плату, грн. |
|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| 1. Керівник проекту | 10253,00 | 488,24 | 42 | 20506,00 |
| 2. Ст. науковий співробітник | 9456,00 | 450,29 | 40 | 18011,43 |
| 3. Інженер-радіотехнік 1 кат. | 9320,00 | 443,81 | 32 | 14201,90 |
| 4. Інженер-схемотехнік 1 кат. | 9320,00 | 443,81 | 21 | 9320,00 |
| Разом | | | | 62039,00 |

Витрати на основну заробітну плату робітників (Зр), що здійснюють встановлення обладнання, складання та попереднє налагодження відсутні в зв'язку з проведенням досліджень на основі програмно-математичного моделювання процесів що відбуваються в гетерогенних безпроводних мережах.

Нарахування на заробітну плату розробників складуть приблизно 15000,00 грн.

Таблиця – Витрати на основні матеріали

| Найменування матеріалу, марка, тип, сорт | Одиниця виміру | Ціна за одиницю, грн. | Витрачено | Вартість витраченого матеріалу, грн. |
|--|----------------|-----------------------|-----------|--------------------------------------|
| Папір канцелярський | уп. | 112,00 | 2 | 224,00 |
| Компакт-диски | шт. | 10,50 | 3 | 31,50 |
| Канцелярські товари | компл. | 156,00 | 4 | 624,00 |
| Тонер для принтера | кг | 6575,00 | 0,02 | 131,50 |
| Інші витратні матеріали | - | 2100,00 | 1 | 2100,00 |
| Всього | | | | 3111,00 |

Витрати на комплектуючі на даному етапі проведення НДР практично відсутні в зв'язку з моделюванням значної частини роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки.

Таблиця - Величина амортизаційних відрахувань

| Найменування обладнання | Балансова вартість, грн | Строк корисного використання, років | Термін використання обладнання, міс. | Величина амортизаційних відрахувань, грн |
|--|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Комп'ютеризований обчислювальний комплекс (FOX-12МС) | 13670,00 | 4 | 2 | 569,58 |
| Персональний комп'ютер Jamrex-IX6 | 10460,00 | 4 | 2 | 435,83 |
| Пристрої графічного виводу інформації | 12640,00 | 3 | 2 | 702,22 |
| Приміщення | 164000,00 | 25 | 2 | 1093,33 |

| | | | | |
|-------------|--|--|--|---------|
| лабораторії | | | | |
| Всього | | | | 2800,97 |

Таблиця – Витрати на електроенергію при проведенні досліджень

| Найменування обладнання | Кількість годин роботи обладнання, год. | Встановлена потужність, кВт | Коефіцієнт використання потужності | Величина оплати |
|--|---|-----------------------------|------------------------------------|-----------------|
| Комп'ютеризований обчислювальний комплекс (FOX-12МС) | 320,0 | 0,86 | 1 | 778,82 |
| Персональний комп'ютер Јаmрех-ІХ6 | 320,0 | 0,56 | 1 | 507,14 |
| Пристрої графічного виводу інформації | 55,00 | 0,34 | 1 | 52,92 |
| Всього | | | | 1338,87 |

Інші витрати складуть в межах 124000,00 грн.

Загальні витрати на проведення досліджень

$V = 62039,00 + 15000,00 + 3111,00 + 2800,97 + 1338,87 + 124000 = 208289,00$
(грн.)

1.9 Доцільність науково-дослідної роботи з дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_p рівні НДР розраховується за формулою [3]:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (1.11)$$

де I - коефіцієнт важливості роботи, $I = 2...5$;

n - коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок;

T_c - коефіцієнт складності роботи, $T_c = 1...3$;

R - коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$;

B – вартість НДР, (тис.грн.);

t - час дослідження роботи, років.

Підставляючи числові дані в (1.11) отримаємо
$$K_p = \frac{4^2 \cdot 3 \cdot 4}{208,2 \cdot \frac{2}{12}} = 6,2.$$

Оскільки $K_p > 1$, тому науково-дослідну роботу можна вважати економічно доцільною з достатньо високим науковим, технічним та економічним рівнем.

Об'єднуючи весь матеріал, викладений вище можна зробити наступні висновки, що дане науково-технічне дослідження є доцільним. З техніко-економічної ефективності можна вважати результати роботи з дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж, як виконання основної мети дослідження.

Дана науково-дослідна робота з дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж є достатньо перспективною.

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки становить 33,67 балів, що, згідно таблиці 1.5, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього). Також у відповідності до комплексного показника важливості та результативності роботи з врахуванням витрат на її проведення, $K_p > 1$, науково-дослідну роботу можна

вважати економічно доцільною з достатньо високим науковим, технічним та економічним рівнем.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

2 СТРУКТУРА ГЕТЕРОГЕННИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ 5G

2.1 Основні вектори розвитку радіотехнологій 5G

Інтеграція різних технологій радіодоступу. Поряд з ємністю мережі і швидкістю стільникового з'єднання, рівномірність мережевого покриття є важливий чинник, що впливає на якість обслуговування і сприйняття послуг користувачем. Абонентські термінали, розміщені на краю стільника, зазвичай мають бездротове з'єднання більш низької якості з огляду на значну віддаленість від обслуговуючої їх базової станції, а також з-за підвищеного рівня інтерференції [7].

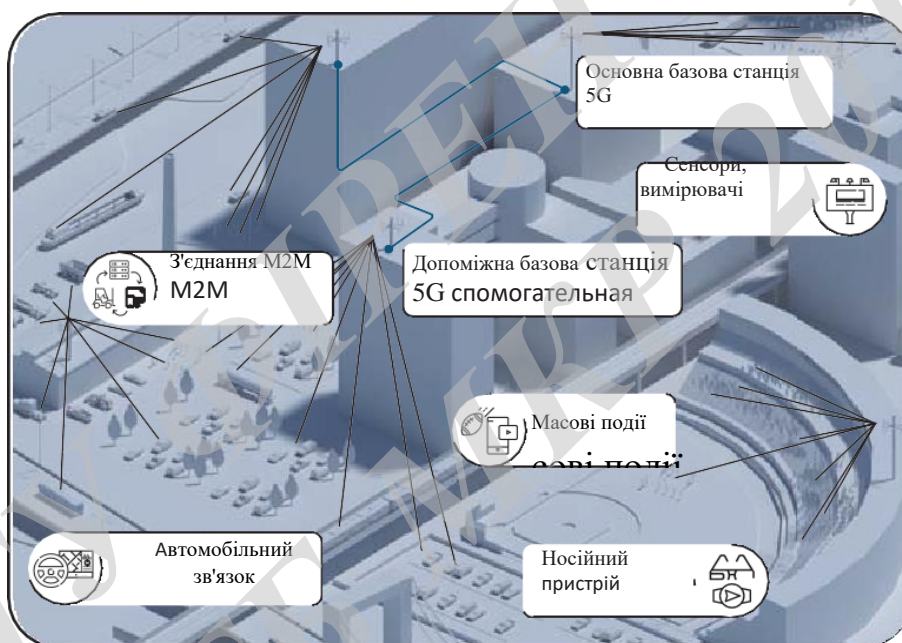


Рисунок 2.1 - Особливості перспективних гетерогенних мереж 5G

Надійність стільникового покриття всередині приміщень також залишається незадовільною. Націлені на забезпечення більш однакового і безшовного з'єднання, перспективні системи 5G змушені застосовувати агресивні механізми перевикористання спектрального ресурсу і прогресивні засоби управління інтерференцією [8]. Оскільки дані технології були запропоновані порівняно недавно, межі їх застосовності в практичних гетерогенних мережах ще не встановлені остаточно.

Іншим важливим аспектом є той факт, що стільникові системи в ліцензованому спектрі часто поєднуються географічно з мережами, функціонуючими на неліцензованих частотах [9] (наприклад, WiFi [10]). З

іншого боку, сучасні абонентські термінали набувають можливість використання декількох технологій радіодоступу одноразово [11; 12]. Все зростаюча популярність таких пристроїв з підтримкою різних радіотехнологій дозволяє, зокрема, розвантажувати стільникові мережі при допомозі прямих з'єднань між пристроями в неліцензованому спектрі [13]. З урахуванням обмеженої смуги ліцензованих частот зростає необхідність в ефективній координації всіляких гетерогенних технологій радіодоступу. У зв'язку з цим розподілені мережі в неліцензованому спектрі можуть скористатися підтримкою з боку централізованих стільникових систем, що використовують ліцензовані частоти [14].

У міру того як скорочуються зони покриття малих стільників, ефективні радіуси дії стільникових, локальних і персональних мереж доступу починають в значній мірі перекриватися. Дана обставина створює можливість одночасного використання декількох радіотехнологій для підвищення якості бездротового зв'язку. Однак такому спільному використанню мереж доступу було приділено значно менше уваги, ніж оптимізації роботи окремих радіотехнологій. Таким чином, інтеграція різних технологій радіодоступу стає важливим напрямком дослідження в мережах 5G, особливо в світлі тенденції до ущільненню стільникового покриття. В результаті бездротові технології ближнього і дальнього радіусу дії повинні взаємодіяти більш тісно для досягнення бажаних показників якості обслуговування і сприйняття послуги.

Недавні дослідження автора, наведені в розділі 2 даної роботи, спрямовані на вивчення спільного використання декількох технологій радіодоступу для підвищення продуктивності гетерогенних мереж 5G. Зокрема, становить інтерес розгляд ефективних методів управління трафіком, пов'язаних з вибором радіотехнології як на стороні абонентського терміналу, так і безпосередньо інфраструктурною мережею. Як наслідок, підвищується ефективна швидкість передачі даних і знижується амплітуда її коливань, а середня спектральна ефективність зберігається при цьому на прийнятному рівні. Інтеграція різних технологій радіодоступу в надщільних гетерогенних мережах стає вкрай затребуваним напрямком досліджень не тільки для підтримки безлічі традиційних сценаріїв мобільного зв'язку, але також для забезпечення перспективних програм Інтернету речей [15; 16].

Використання прямого підключення пристроїв, згідно з рядом прогнозів обсяги мобільного трафіку, що передається по бездротових мережах зв'язку, продовжать істотно зростати протягом наступних років

[17]. Відповідно, розгорнуті в даний час системи широкосмугового доступу будуть схильні до значних перевантажень, викликаним недостатньою ємністю радіомереж і призводить до різкого зниженню якості обслуговування їх користувачів. Однак очікується, що істотного приросту в спектральній ефективності вдасться домогтися при використанні прямого підключення абонентських пристроїв. Взагалі кажучи, застосування зв'язку «пристрій - пристрій» дозволяє кардинально підвищити ступінь перевикористання радіоресурсів в просторі [5]. Зокрема, сусідні абонентські термінали можуть взаємодіяти безпосередньо, без залучення мережевої інфраструктури в процес передачі своїх даних.

Взагалі кажучи, використання прямого з'єднання для користувача пристроїв в рамках централізованої архітектури мережі стає новим напрямком для підвищення її спектральної ефективності [18]. При цьому вважається, що за допомогою інтенсивної взаємодії між абонентськими терміналами можна досягти лінійного росту ємності системи зв'язку зі збільшенням числа задіяних пристроїв [19]. Ця обставина дозволяє значним чином підвищити доступну мережеву ємність в перспективних системах 5G. Однак даний напрямок досліджень одержало недостатню увагу до наявної технічної літератури. Окремі відомі в цій області підходи [20; 21] не враховують належною мірою безліч важливих факторів, таких як реальна архітектура мережі, практичні механізми забезпечення її роботи, а також характеристики технології бездротового з'єднання.

Для подолання обмежень, властивих наявними результатами, в розділі 3 проводиться всебічне вивчення прямих з'єднань в перспективних мережах зв'язку 5G. Детально розглядаються фундаментальні підходи до аналізу таких систем щодо їх просторово-часової динаміки, а також практичні методи управління вивантаженням трафіку з інфраструктурної мережі на з'єднання «пристрій - пристрій». Даний напрямок роботи призводить до більш повного розумінню потенціалу гетерогенних мереж 5G, забезпечених функціоналом прямого підключення пристроїв, в плані їх доступною ємністю, якості бездротового покриття і надійності встановленого з'єднання. При проведенні відповідного дослідження застосовуються математичний аналіз та імітаційне моделювання.

Отримані відомості дозволяють розробляти практичні механізми розвантаження стільникових систем 5G за допомогою прямої взаємодії терміналів.

Таким чином, результатом проведеного дослідження стає значне збільшення фактичної швидкості передачі даних, а також підвищення

пікової швидкості обміну інформацією в порівнянні з аналогічними показниками в системах, позбавлених підтримки прямих з'єднань. Само по собі бездротова взаємодія «пристрій - пристрій» є важливим режимом функціонування системи не тільки для передачі мобільного трафіку в перспективних мережах, орієнтованих на обслуговування традиційних користувачів, а й для забезпечення широкого кола сценаріїв, що виникають при здійсненні міжмашинної взаємодії в рамках концепції Інтернету речей [22; 23].

Підвищення енергетичної ефективності пристроїв. Зростаюча поширеність мультимедіа-додатків і сервісів, що породжують об'ємні потоки даних, а також більш висока складність конструкції абонентських терміналів, що підтримують кілька технологій радіодоступу, в сукупності призводять до значного енергоспоживання користувачьких пристроїв. Більш того, існує цілий ряд сценаріїв, що включають в себе широке безліч додатків Інтернету речей, в яких тисячі пристроїв підключаються до одного і того ж стільника, де висока енергетична ефективність роботи кінцевого обладнання є визначальною. Необхідність підтримки таких масових сервісів створює додаткові труднощі при оптимізації між-машинної взаємодії [24]. З урахуванням обмеженого зростання ємності акумуляторної батареї висока енергетична ефективність пристроїв є важливою вимогою в мережах 5G.

У той час як переважна більшість досліджень в розвитку технологій 5G була націлена на підвищення спектральної ефективності, розгляд енергетичної ефективності стає все більш актуальним в тих сценаріях застосування мереж 5G, які орієнтовані на обслуговування терміналів з вкрай обмеженим ресурсом акумуляторної батареї [25].

Це, наприклад, пристрої Інтернету речей і переносне обладнання. Необхідність забезпечення безперервного бездротового підключення не повинна при цьому призводити до швидкого виснаження акумулятора малогабаритних пристроїв, а збільшення часу їх роботи без підзарядки є важливим практичним завданням. З урахуванням даного обмеження виникають нетривіальні обмінні співвідношення між характеристиками продуктивності окремих пристроїв і мережі в цілому [26; 27].

У розділі 4 даної роботи досліджуються властивості систем 5G, пов'язані з енергетичною ефективністю кінцевого обладнання в типових сценаріях Інтернету речей і з урахуванням специфіки сучасних носящих пристроїв.

Ціллю дослідження тут є не тільки продовження часу «життя» батареї для забезпечення більш високої якості обслуговування, а й підвищення

ефективності витрачання енергетичного ресурсу в ширшому контексті [27; 28]. Зокрема, отримані результати можуть бути використані для розробки схем спільного управління потужністю передачі і плануванням радіоресурсів з урахуванням рівня енергетичної ефективності при динамічному завантаженні. При цьому важливо дотримуватися балансу між показниками енергетичної та спектральної ефективності системи 5G в різних режимах її роботи.

Характеристики функціонування мереж зв'язку 5G, що відображають зниження енергоспоживання підключених до них пристроїв, як правило, визначаються співвідношенням між досягнутою швидкістю передачі даних і спожитою при цьому потужністю (в бітах на Джоуль). У зв'язку з цим інтерес представляє розробка нових методів підвищення енергетичної ефективності в системах 5G і проведення відповідної оптимізації. Це стає особливо важливо при здійсненні міжмашинної взаємодії, яка пов'язана з роботою малогабаритного обладнання (сенсори, силові приводи, інтелектуальні вимірювачі, пристрої що носяться і т.д.).

Використання пристроїв Інтернету речей стає все більш поширеним у багатьох сферах життєдіяльності, що висуває завдання підвищення енергетичної ефективності такого обладнання на передній план.

2.2 Зміна бездротового ландшафту в епоху 5G

Для подолання негативних наслідків тривалої фрагментації в способах організації управління спектром, які на сьогоднішній день призводять до його вкрай нерівномірної доступності, виникає гостра необхідність в розробці нових механізмів організації доступу до радіочастот загального користування [30], а також у наданні додаткових спектральних радіоресурсів для потреб систем мобільного зв'язку. Дана обставина стає особливо важливою у світлі неухильного збільшення навантаження на радіочастоти, пов'язаною зі зростаючими обсягами мобільного трафіку. Основними стимулами зростання кількості переданих через мережі зв'язку призначених для користувача даних є висока популярність мультимедіа-додатків, широке розмаїття моделей абонентських терміналів, а також велике різноманіття ресурсоємних додатків і сервісів [31]. Очікується, що дані чинники тільки погіршать поточну ситуацію з часом, тобто в епоху розвитку технологій 5G необхідними стають термінові заходи по підвищенню ємності мереж доступу і обсягу спектральних радіоресурсів.

Ці та інші обставини, пов'язані зі збільшенням обсягів мобільних даних, викладені в звіті ITU-R M.2370, який містить глобальні прогнози щодо зростання трафіку, зібрані з декількох джерел. Відповідно, слід очікувати, що навантаження на системи міжнародного мобільного зв'язку ІМТ зросте від 10 до 100 разів з 2020 по 2030 рік, і з нею можуть не впоратися наявні мережі 4G. Як наслідок, підвищення ефективності використання вже доступного системам ІМТ бездротового спектра може бути недостатньо для досягнення необхідних показників продуктивності. В цьому є важливим як призначення нових радіочастот для ексклюзивного використання бездротовими мережами доступу, так і більш ефективне застосування частот загального користування для потреб операторів мобільного зв'язку.

В результаті обумовлені повсюдним поширенням всіляких призначених для користувача пристроїв і готуються обслуговувати вироблений ними мобільний трафік гетерогенні мережі зв'язку 5G поєднують в собі цілий ряд удосконалень і нових функцій, призначених для підвищення продуктивності сучасних бездротових рішень [32]. Вони включають в себе більше тісну інтеграцію різноманітних технологій радіодоступу та ущільнення мережі, використання прямих з'єднань між пристроями для розвантаження мережі і вкрай високих частот для підвищення швидкості передачі даних, механізми конвергенції з Інтернетом речей і підтримки обладнання що носить , а також методи передачі із застосуванням масивних багатоантенних систем МІМО, технології одночасної передачі і прийому даних і багато інші.

З усіх наведених вище рішень радикальне ущільнення мережі, масивні системи МІМО і зв'язок на вкрай високих частотах, тобто міліметрових хвилях (mmWave) були названі «великою трійкою» технологій 5G [33]. Рішення застосовувати mmWave стає при цьому основним нововведенням в системах 5G і готується забезпечити 20-кратне збільшення продуктивності в рамках необхідного 1000-кратного збільшення ємності мереж до 2020 року (див. рисунок 2.2). Це пов'язано з тим, що широкими діапазонами досить рідко використовуються спектри доступні в смузі частот від 30 до 300 ГГц (що відповідає довжині хвилі 1-10 мм), а також в меншій мірі від 20 до 30 ГГц. Однак розширення доступних систем мобільного зв'язку спектрального діапазону в бік вкрай високих частот довгий час вважалося важким із-за складнощів, пов'язаних з поширенням міліметрових хвиль, таких як значні втрати на трасі, низькі коефіцієнти дифракції та проникнення, сильного

фазового шуму, а також істотне поглинання атмосферою і ослаблення в разі дощу, туману або снігу [34].

Порівняно недавно було показано, що, незважаючи на особливості поширення, вкрай високі частоти можливо використовувати для систем зв'язку наступного покоління в різних діапазонах [35]. Наступну за цим ажіотажем в пошуках нового придатного спектра виявив, що найбільш привабливими частотами є 28-30 ГГц; 71-76 ГГц; 81-86 ГГц і 92-95 ГГц [36], а також неліцензовані частоти 60 ГГц, які вже давно застосовуються системами зв'язку IEEE.

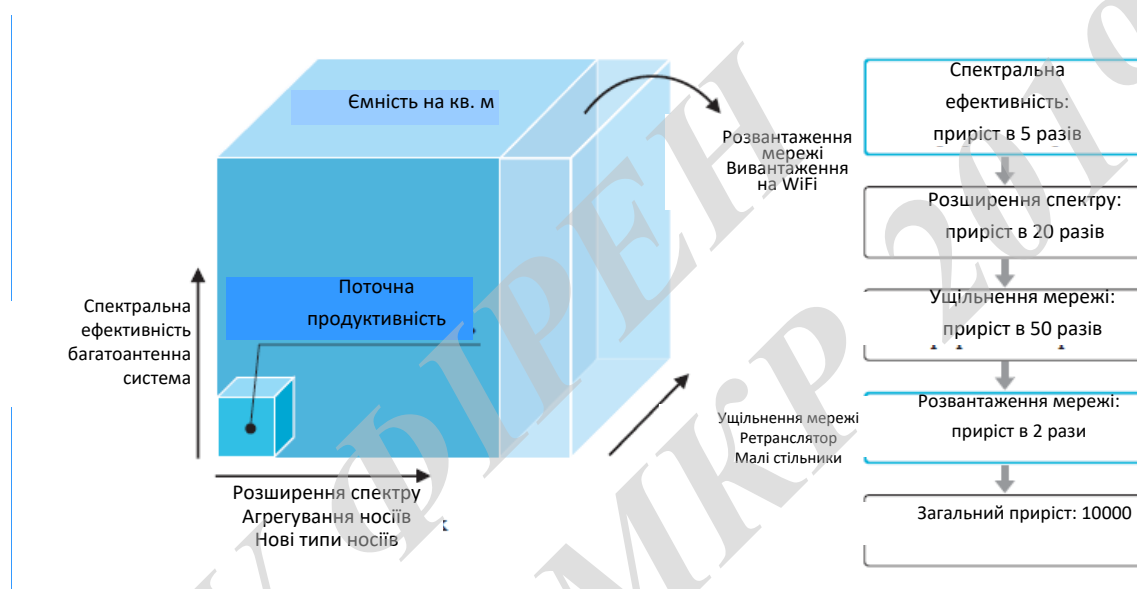


Рисунок 2.2 - Основні способи збільшення ємності систем 5G

Для нової радіотехнології 3GPP, що отримала назву New Radio, представляють інтерес частоти 28, 71-76 і 81-86 ГГц (для розгортання ємних малих стільників і транзитних каналів [37]), тоді як технології IEEE 802.11ad (WiGig) і 802.11ay використовують 60 ГГц (для зв'язку ближнього радіусу дії) [38]. До інших систем зв'язку mmWave для застосування, в основному, всередині приміщень можна віднести IEEE 802.15.3c, WirelessHD і ECMA-387.

2.3 Особливості різних сценаріїв застосування 5G

Як впливає з вищевказаного, адаптивне використання різних технологічних можливостей, тісно пов'язане з властивостями цільового сценарію, є ключовим в перспективних мережах зв'язку 5G. З урахуванням

різноманітності вимог, що пред'являються безліччю їх додатків, основним принципом розвитку екосистеми 5G стає універсальність і гнучкість в обслуговуванні користувачів різних типів. Крім того, повинні бути враховані обмеження, пов'язані з енергоспоживанням підключених пристроїв і ефективністю використання спектральних ресурсів. Незважаючи на широкий діапазон заявлених можливостей, значення окремих ключових параметрів 5G може бути по-різному в залежності від умов конкретних застосування. Очікуваний рівень їх важливості для трьох введених класів сценаріїв 5G наведено на рисунку 2.3 і відповідно до опису в [43] являє собою умовну градацію по категоріях високої, середньої і низької значущості.



Рисунок 2.3 - Ключові особливості сценаріїв застосування технології 5G

У сценаріях розширеного мобільного широкополосного доступу важливими виявляється сприймається користувачем швидкість передачі даних, пропускна здатність на одиницю площі, максимально досягнута швидкість передачі даних в системі, підтримка мобільності, а також забезпечення високої енергетичної та спектральної ефективності. Але при цьому підтримка мобільності та/або швидкості передачі даних має різний рівень значущості залежно від умов застосування. Наприклад, при організації доступу в окремих локаціях (hotspot) більш кращий на високій швидкість передачі даних, а підтримка мобільності може бути не настільки важлива, так як очікується, що користувачі не будуть переміщатися на значні відстані. З іншого боку, при реалізації покриття мережею розширеної області простору (wide-area) ситуація може змінитися на протилежну.

Навпаки, в сценаріях, що передбачають надійну взаємодію пристроїв з низькою затримкою, оперативність доставки інформації отримує першорядну значимість, наприклад, для забезпечення роботи критично важливих додатків. Дана обставина виникає в ситуаціях, пов'язаних із взаємодією об'єктів, що переміщуються на значній швидкості, у тому числі при організації безпеки дорожнього руху. При цьому можливість передавати дані з високою швидкістю може бути менш важлива. Нарешті, в сценаріях з масовою міжмашинною взаємодією потрібна висока щільність підключених пристроїв, що пов'язано з їх дуже великим числом. Однак самі пристрої при цьому можуть передавати свої дані тільки періодично, щоб не перевищити загальної пропускну здатності системи. У цьому випадку підтримка мобільності не так критична, як тривалий термін служби батареї.

В ході подальшого розвитку гетерогенних мереж зв'язку 5G можуть виникнути додаткові вимоги, спрямовані на забезпечення їх більш гнучкого, надійного і безпечного функціонування при організації всіляких додатків і послуг, які виникатимуть надалі.

3 ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ РАДІОДОСТУПУ І УЩІЛЬНЕННЯ МЕРЕЖІ

3.1 Типи архітектури гетерогенної мережі

Як зазначалося вище, обмеження по ємності і якості з'єднання в мобільних мережах порівняно з вимогами 5G обумовлюють необхідність більш тісної інтеграції стільникових і локальних мереж доступу. На рисунку 3.1 схематично показана сучасна гетерогенна мережа HetNet стільникового оператора. Система HetNet включає в себе ієрархічну структуру стільник різного розміру, включаючи макросоти для забезпечення безшовного покриття, базового доступу і мобільності, а також різні малі стільники (пікосоти, фемтосоти, точки доступу WiFi, суміщені LTE-WiFi модулі та ін.). Відповідне обладнання доступу має більш низьку потужність передачі і вартість, дозволяючи підвищити ємність системи за рахунок скорочення відстані між мережевою інфраструктурою і абонентом в областях з високою потребою в обслуговуванні.

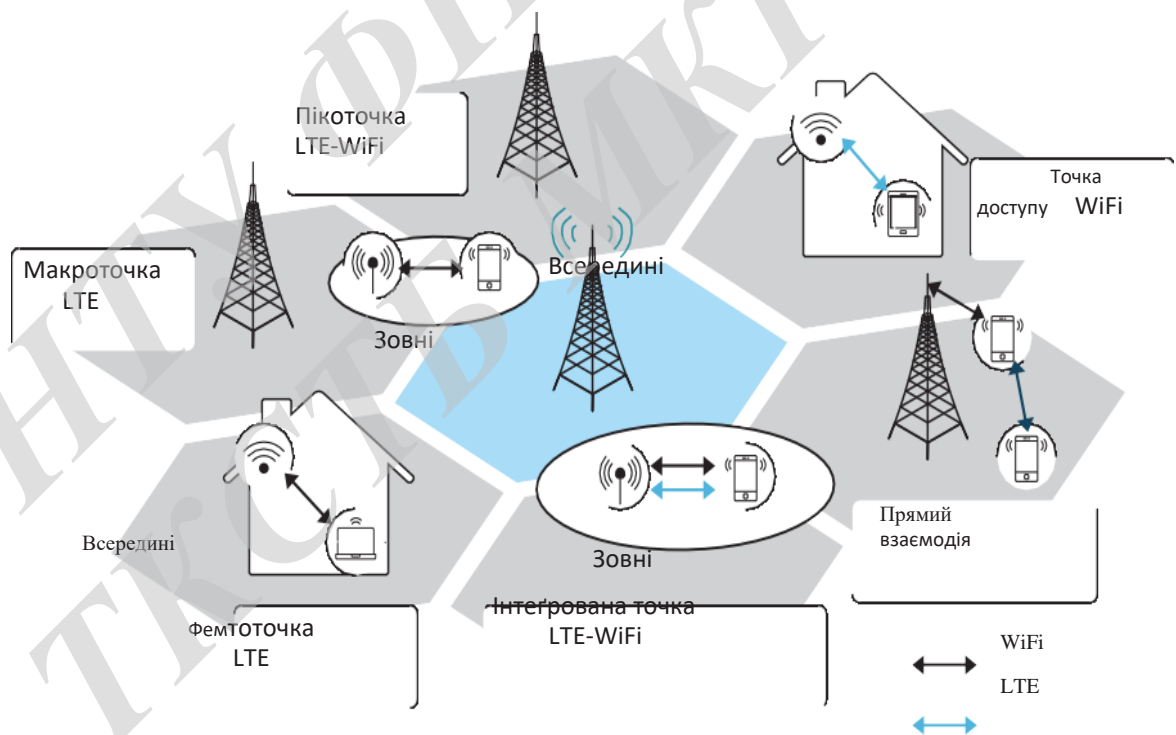


Рисунок 3.1 - Топологія типової гетерогенної мережі

Історично тенденція до інтеграції стільникових і локальних систем WLAN виникла у зв'язку з потребою мобільних операторів в нарощуванні ємності мережі доступу і запобіганні її перевантажень. Однак очікується,

що використання технології WiFi для розвантаження стільникових з'єднань залишиться частиною довгострокової стратегії розвитку стільникових операторів. У найпростішому випадку мережі 3GPP і WLAN можуть не мати засобів прямого координування, і тоді абонентські термінали змушені приймати локальні рішення про переважної технології радіодоступу [93]. Якщо ж система WiFi управляється в рамках інтегрованої мережі радіодоступу мобільного оператора, з'являються додаткові можливості для більш тісної взаємодії технологій 3GPP і WLAN.

Наприклад, виникає нова мережева архітектура, в якій використання суміщених малих стільник LTE-WiFi дозволить досягти більш тісної взаємодії між відповідними технологіями радіодоступу [94], по суті агреговану систему WLAN в якості "віртуальної несучої" мережі 3GPP. На сьогоднішній день суміщені малі стільники LTE-WiFi є однією з передових інновацій в телекомунікаційній індустрії і дозволяють знизити витрати на розгортання системи зв'язку за рахунок використання гібридної мережевої інфраструктури. Однак враховуючи, що такий варіант розміщення стільник ще мало поширений на практиці, поточні роботи по стандартизації спрямовані також на поліпшення мережевої архітектури, в якій абонентські термінали приймають локальні рішення в умовах обмеженого сприяння з боку мережевої інфраструктури або ж при його відсутності.

Подальший виклад зосереджено на розгляді різних варіантів інтеграції мереж LTE і WiFi як показано на рисунку 3.2. Дані опції відрізняються, перш за все, специфічними механізмами забезпечення взаємодії технологій радіодоступу, що включають в себе виявлення радіотехнології, її вибір або призначення, управління радіоресурсами RRM, забезпечення мобільності і переадресовувати потоку даних між технологіями радіодоступу і т. д.

Інтеграція на прикладному рівні. На рисунку 3.2 Варіант А відповідає архітектурі гетерогенної мережі, яка має на увазі інтеграцію на прикладному рівні. Відповідно, передбачається наявність спеціалізованого інтерфейсу верхнього рівня, який дозволяє абонентського терміналу взаємодіяти безпосередньо з постачальником послуги, обмінюючись інформацією з різних технологій радіодоступу. Оскільки така опція не передбачає координування на мережевому рівні, вона є досить простий в реалізації і вже в значній мірі була досліджена в контексті поліпшення роботи окремих додатків верхнього рівня. Даний варіант архітектури найбільшою мірою підходить для оперативного підвищення якості сприйняття послуги користувачем, але залишається істотно залежним від способу його реалізації в конкретному додатку. Він також може не повною

мірою враховувати поточні умови роботи мережі зв'язку, особливо у випадках, коли такі умови змінюються динамічно.

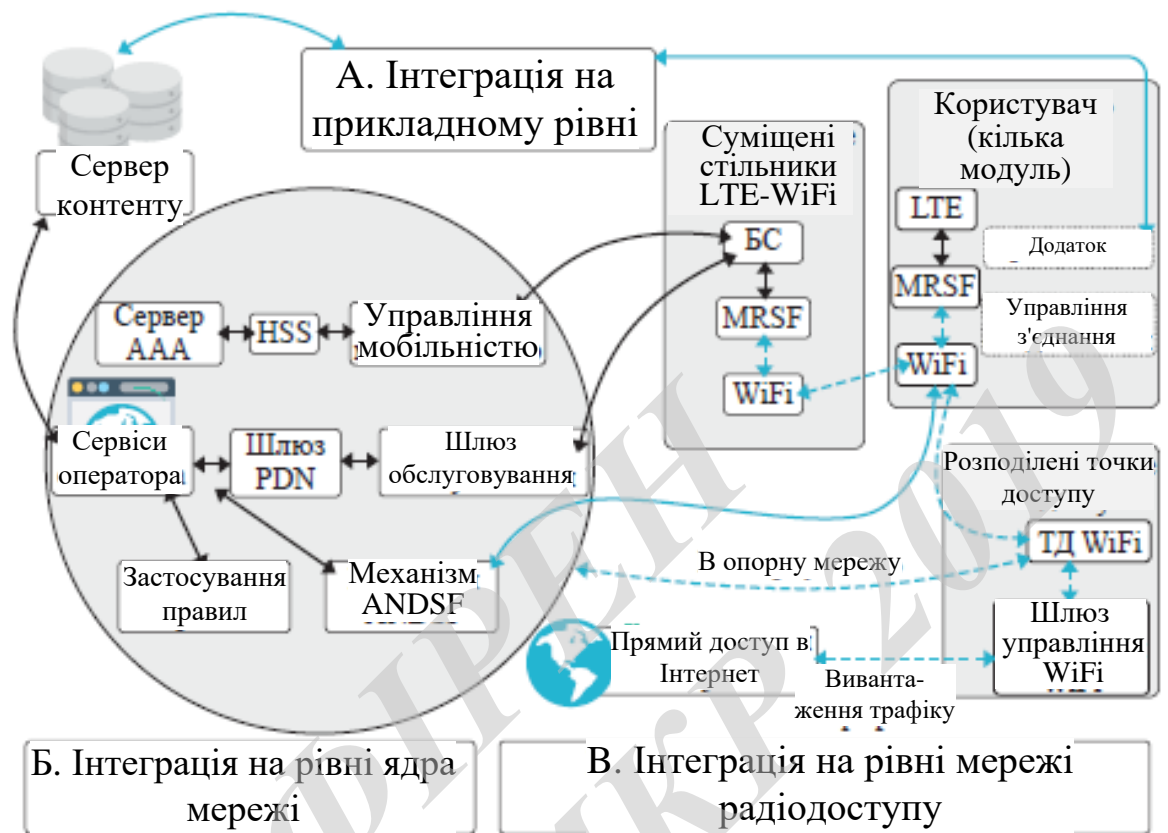


Рисунок 3.2 - Архітектура гетерогенної мережі зв'язку

Інтеграція на рівні ядра мережі. Варіант Б відповідає недавнім напрацюванням в комітеті 3GPP, що полегшує інтеграцію стільникових і WLAN систем за допомогою взаємодії на рівні опорної мережі. Відповідно, механізм виявлення і вибору мережі доступу ANDSF забезпечує виявлення відповідних точок доступу WiFi, а також може задавати рекомендації щодо вибору мережі. Однак остаточне рішення про використання тієї чи іншої технології радіодоступу приймається безпосередньо абонентським терміналом.

Тим самим UE при прийнятті свого рішення має можливість врахувати поточний стан каналу радіозв'язку, налаштування мобільного оператора і переваги користувача, що часто дозволяє досягти більш високої якості обслуговування.

Даний варіант архітектури мережі має низку переваг, оскільки може взяти до уваги як налаштування оператора, так і переваги Користувача. Однак ефективність роботи відповідних функцій управління системою як і раніше залишається досить обмеженою. Це відбувається з тієї причини, що абонентські термінали мають частковим знанням поточних умов функціонування мережі зв'язку і, таким чином, можуть прийняти лише локально оптимальні («жадібні») рішення, які найчастіше ведуть до недостатньо ефективної роботи системи в цілому.

Незважаючи на те, що абонентський термінал має можливість повідомити опорній мережі про спостережуваний їм стан каналу зв'язку, обмін такою інформацією не може відбуватися досить оперативно щоб уникнути зростання навантаження на керуючі з'єднання. Отже, коли стан каналу змінюється динамічно, управління радіоресурсами на рівні мережі радіодоступу RAN дозволить домогтися подальшого збільшення якості обслуговування. Саме тому більш просунута архітектура, що дозволяє інтегрувати технології радіодоступу на нижньому рівні RAN, представляє все зростаючий інтерес, оскільки має можливість врахувати інформацію про стан каналів радіозв'язку в рамках гетерогенної мережі в цілому.

Інтеграція на рівні мережі радіодоступу. Варіант передову архітектуру гетерогенної системи зв'язку, яка інтегрує технології 3GPP і WLAN на рівні мережі радіодоступу RAN. Дана опція передбачає, що сприяння з боку абонентського терміналу дозволяє спростити обмін інформацією між стільниковою і локальною мережею доступу, що може зажадати створення відповідних керуючих інтерфейсів. Доступний у цьому випадку можливість по взаємодії на рівні ran обмежені ємністю транзитних (backhaul) каналів між різними стільниками і технологіями радіодоступу [95]. У тому випадку, коли доступні транзитні канали високої ємності або ж при поєднанні функціоналу LTE і WiFi в рамках єдиного пристрої доступу, може бути досягнуто більш оперативне координування. Це, в свою чергу, дозволяє поліпшити динамічне управління радіоресурсами і, як наслідок, підвищити як ємність системи зв'язку, так і якість з'єднання абонента.

Крім того, залучення стільникової інфраструктури дозволяє поліпшити управління мобільністю трафіком абонентського терміналу. Відповідно, UE може використовувати протоколи 3GPP для контролю з'єднання при підключенні до малих стільників LTE або ж до суміщених LTE-WiFi модулів, а далі застосовувати локальне перемикання для доступу за технологією WLAN і, тим самим, знижувати затримку передачі. Перевагою такого підходу є більш гнучка адаптація до динамічних змін

радіоканалу і інтерференції в ньому і, як наслідок, зниження ймовірності втрати пакету і розриву з'єднання. Важливо відзначити, що налаштування мобільного оператора і переваги користувача можуть бути враховані через зворотний зв'язок зі сторони абонентського терміналу або ж за допомогою певним чином сконфігурованої апаратури RAN.

У підсумку можливості координування на рівні RAN можуть варіюватися використання найпростішої допоміжної інформації (наприклад, завантаження мережі радіодоступу) до реалізації тісної інтеграції з подальшим спільним або централізованим управлінням радіоресурсами. Далі проводиться аналіз взаємодії стільникових і локальних мереж доступу для різних особистих варіантів архітектури мережі і способів її розміщення, а потім описуються деякі алгоритми управління інформаційними потоками. Ця увага приділяється практичним питанням, таким як наявність тільки лише часткової допоміжної інформації, доступної абонентському терміналу в гетерогенній мережі, що є поширеною ситуацією в умовах обмежень на ємність керуючих з'єднань і обчислювальний ресурс пристрій.

3.2 Аналіз інтегрованої стільникової та локальної мережі доступу

3.2.1 Підхід до аналізу гетерогенних мереж доступу

У даному підрозділі розглядається модель гетерогенної мережі доступу, яка включає в себе покриття макро- і пікочок, а також безліч точок доступу (ТД) WLAN [105], які тут називаються шарами. Далі йдуть основні припущення пропонованої моделі.

Розглядається одна (типова) макросота радіуса R з базовою станцією (БС), розміщеною в її геометричному центрі. Також передбачається наявність декількох Піко- БС і ТД WLAN, як показано на рисунку 3.3. Таким чином, макроточка отримує назву макрошару, тоді як безліч пікочок і покриття ТД WLAN іменуються пікошаром і шаром WLAN відповідно. Кожна ТД/БС розглянутої системи зв'язку може обслуговувати абонентські термінали, що передають дані по лінії вгору. Розглянутий тип трафіку відповідає сесіям реального часу з мінімальною необхідною швидкістю передачі даних r_0 .

На основі наведених в [106] специфікацій 3GPP передбачається використовувати непересічні фрагменти бездротового спектра для розміщення трьох описаних вище шарів. Як наслідок, робота абонентських терміналів в рамках одного шару не інтерферує з передачею в інших шарах.

При цьому підключені як до шару WLAN, так і до пікошару термінали використовують радіоресурси спільно (з урахуванням відповідної інтерференції), тоді як у макрошарі інтерференція не розглядається. Описана модель системи представлена на рисунку 3.3, де показані зони покриття шарів (макро-, піко- і WLAN), а також відзначені місця розташування абонентських терміналів і модулів мережевої інфраструктури.

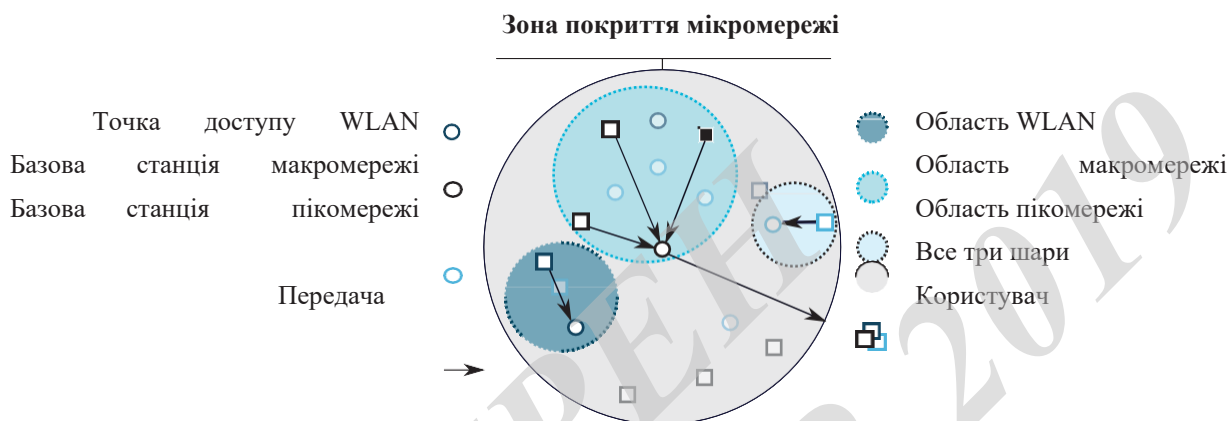


Рисунок 3.3 - Модель гетерогенної мережі (шари представлені у вигляді перетинів)

Передбачається, що передають по лінії вгору термінали ініціюють сесії, що надходять на обслуговування в гетерогенну мережу доступу згідно одномірному пуассонівському процесу інтенсивності λ в часі. Таким чином, нова сесія ставиться у відповідність терміналу, що знаходиться у певній точці, яка не змінюється протягом всієї сесії. Для збереження аналітичності також передбачається, що тривалості сесій розподілені за експоненціальним законом із середнім μ^{-1} , що може відповідати голосовому або відеодзвінку в реальному часі.

Для моделювання розміщення вузлів у описуваній мережі доступу вводиться в розгляд ряд випадкових процесів, а також формулюється набір базових припущень.

Допущення (Розміщення мережевої інфраструктури). Розташування ТД (в шарі WLAN) і БС (в пікошарі) на площині є незалежними і розподілені згідно пуассонівського точкового процесу (PPP) інтенсивності L_w і L_p

Тут значення L_w і L_p можуть інтерпретуватися як середнє число ТД/БС на одиницю площі, а їх конкретні місця розташування можуть, взагалі

кажучи, перебувати поза зоною покриття макрочки (можливо, обслуговуючи термінали з інших стільник).

Допущення (Розміщення абонентських терміналів). Для обліку динаміки трафіку приймається таке припущення щодо місця розташування терміналів. Розташування абонентських терміналів, до яких надходять нові сесії, розподілені на площині згідно РРР. Відповідно, область моделювання обмежена зоною покриття розглянутої макрочки (тобто окружністю V радіуса R), що забезпечує рівномірне розміщення терміналів в рамках V .

На практиці обмеження, пов'язане з розміщенням абонентських терміналів в рамках певної області, може бути продиктоване необхідністю обліку максимальної потужності передачі та/або втрат в радіоканалі. Рівномірний розподіл передбачається тут тільки лише як приклад. Взагалі кажучи, може бути розглянуто довільне розподіл взаємного розташування терміналів $f(x, y)$, що призведе до технічного ускладнення аналізу, але не змінить запропонованого підходу до моделювання.

Завдання спільного обліку динаміки трафіку і розміщення абонентських терміналів обумовлює введення просторово-часового процесу з інтенсивністю, яка виражається узагальненою функцією $\Lambda(x, t)$, де $x \in R^2$ являє собою просторовий компонент, а $t \in R^+$ є компонентом часу і

$$\Lambda(x, t) = \frac{\lambda}{S_R}, \text{ якщо } x \in V, \quad (3.1)$$

де $S_R = \pi R^2$ – зона покриття макросоти. Функція $\Lambda(x, t)$ має сенс частоти, з якою виникають нові надходження в просторі $R^2 \times R^+$.

Допущення (Поширення радіосигналу). Коефіцієнт передачі каналу $\gamma_{i,j}$ між терміналом U_i і ТД/БС j залежить від відстані $d_{i,j}$ між ними. Відповідно до рекомендацій [107] передбачається, що для сесії i коефіцієнт передачі бездротового каналу зв'язку $\gamma_{i,j}$ знаходиться в степеневій залежності від відстані:

$$\gamma_{i,j} = \frac{G}{d_{i,j}^k}, \quad (3.2)$$

де $d_{i,j}$ – відстань між ТД / БС і передавальним терміналом; k -експонента поширення, а G – константа поширення радіосигналу. Параметри k і G залежать, зокрема, від застосовуваної технології радіодоступу і задають певну модель каналу зв'язку.

Пояснюючи наведене вище допущення, слід зазначити, що запропоновані в [107] моделі складаються з компонентів прямої (LoS) і непрямої (nLoS) видимості, що перемикаються відповідно до розподілом Бернуллі. Подібні моделі можна легко описати статичною функцією, в якій параметри G і k вибираються відповідно до цільового сценарію і використовуюваної радіотехнологією.

Оскільки запропонована модель призначена, перш за все, для аналізу усередненої роботи інтегрованої системи зв'язку протягом тривалого інтервалу часу і без обліку мобільності терміналів [108], вплив ефекту швидкого загасання сигналу може бути усереднене у припущенні застосування завадостійкого кодування. Відповідний внесок ϵ в таких умовах мінімальним і приблизно постійним, що дозволяє легко його врахувати. Ефект повільного згасання сигналу впливає в першу чергу на пропускну здатність каналу зв'язку, і пропонується підхід враховує його в рамках функції поширення радіосигналу.

Додаткові міркування щодо ефектів загасання наведені в додатку а, де до пропускну здатності каналу додається деякий випадковий компонент. У підсумку для обліку ефектів загасання в даній моделі вводиться відповідний поправочний коефіцієнт η , який уточнює пропускну здатність каналу зв'язку.

Для підвищення точності моделювання процесів передачі даних можна було б прийняти в увага ефекти загасання сигналу в явному вигляді. Однак це призвело б до значного ускладненню наведеного аналізу, пов'язаного, перш за все, з необхідністю обліку роботи таких механізмів системи зв'язку як організація повторної передачі пакетів (HARQ), вибір модуляційно-кової схеми (MCS) і управління потужністю передачі в замкнутому циклі (closed-loop). Таке ускладнення ще більш ускладнило б наочний аналіз, а також призвело б до появи додаткових припущень і обмежень. Таким чином, в рамках даної моделі коефіцієнт передачі каналу γ залишається ключовою конструкцією, що зв'язує випромінювану потужність з досяжною швидкістю передачі даних в каналі між абонентським терміналом і ТД/БС.

Далі передбачається, що швидкість передачі даних R є безперервною функцією, а відображення потужність – швидкість визначається формулою Шеннона. Такий підхід був запропонований в [109] і є досить точним для сучасних бездротових мереж зв'язку.

Допущення (Відображення потужність – швидкість). Потужність сигналу P_t , випромінюваного абонентським терміналом, і відповідна

швидкість передачі даних r_i пов'язані один з одним через «узагальнену» формулу Шеннона

$$R_i = B \log (1 + Ap_i), \quad (3.3)$$

де p_i – потужність сигналу на виході радіочастотного підсилювача, а A і B являють собою масштабувальні коефіцієнти, які залежать від вибору певної технології радіодоступу. До наприклад, вони можуть бути задані як

$$A = \frac{\eta \gamma_{i,i}}{N_0 + I}, \quad B = w, \quad (3.4)$$

де $\gamma_{i,i}$ – коефіцієнт передачі радіоканалу між абонентом і ТД/БС для сесії i ; η – поправочний коефіцієнт; w – смуга пропускання каналу; N_0 – рівень шуму в каналі зв'язку і I – рівень інтерференції на приймальній стороні.

Для запобігання необмеженого зростання функції швидкості передача даних залежно від заданого набору модуляційно-кодових схем певної радіотехнології передбачається, що швидкість передачі залишається постійною r_{lim} , коли $d < d_0$. Дане міркування означає, що подальше збільшення співвідношення сигнал – шум (SNR) не спричинить за собою відповідного зростання швидкості передачі після деякого порогового значення d_0 . Параметр d_0 можна визначити як

$$D_0 = \left[\frac{G \cdot p}{(N_0 + 1)(e^{r_{lim}/w} - 1)} \right]^{1/k} \quad (3.5)$$

В рамках пропонованої системи припущень аналіз випадкової топології мережі доступу проводиться спільно з дослідженням її динаміки на рівні сесій. Такий підхід передбачає введення адекватної моделі системи масового обслуговування [110; 111], в яку надходять сесії випадкової тривалості, залишаючи її по закінченні свого обслуговування. В момент часу, коли нова сесія прибуває або ж обслугованих сесія залишає систему, централізований модуль керування, що знаходиться на стороні мережі, здійснює контроль доступу і управління потужністю у всіх шарах. Дані процедури дозволяють визначити, чи буде нова сесія допущена на обслуговування в певний шар (контроль доступу) і яка при цьому встановлена потужність передачі для відповідного абонентського терміналу (управління потужністю).

Допущення (Контроль доступу). Кожна сесія реального часу вимагає мінімальної швидкості передачі даних r_0 . Таким чином, мережа зв'язку допускає знову надійшла сесію, якщо є достатня кількість радіоресурсів для її обслуговування. Іншими словами, кожна поточна сесія i займає в точності частку r_0/r_i витрати на передачу сигнальних повідомлень (приймаються в розрахунок пізніше), тоді як для всіх активних сесій виконується наступна:

$$\sum_{all\ sessions} \left(\frac{r_0}{r_i} \right) \leq \delta, \quad (3.6)$$

де δ – доступні на ТД/БС ресурси (не включаючи ресурси, призначені для компенсації загасання); $r_i \leq r_i^{max}$ – миттєва швидкість передачі даних, що залежить від відстані між абонентським терміналом та обслуговуючої його ТД/БС і r_i^{max} – гранично досяжна швидкість передачі даних на максимальному рівні випромінюваної потужності.

Крім того, процедура контролю доступу повинна визначити, перевищує чи поточний рівень інтерференції певний заданий поріг.

Допущення (Облік рівня інтерференції). Передбачається, що шар гетерогенної мережі з $n - 1$ активними сесіями приймає на обслуговування нову сесію n , якщо для безлічі $\{U_j\}_{j=1}^n$ всіх сесій на кожній ТД/БС A_j виконується наступна умова:

$$r_i \geq r_0 \text{ та } p_i \gamma_{i,j} \leq N_0, \forall j, i \neq j, \quad (3.7)$$

де $\gamma_{i,j}$ – коефіцієнт передачі радіоканалу між абонентом і ТД / БС j , а p_i – встановлена відповідним чином випромінювана потужність радіосигналу.

Використовуючи вираз $p_i \gamma_{i,j}$, потрібно переконатися, що сесія не викличе інтерференцію вище, ніж (модифікований) рівень шуму, допустимий для певної технології радіодоступу (див. подробиці в [112]). Отже, процедура контролю доступу повинна переконатися, що для цієї сесії буде досягнута мінімальна необхідна швидкість передачі даних, а також що рівень інтерференції на ТД/БС A_i , вироблений відповідним абонентським терміналом U_j , не буде перевищувати деякого заданого порогу. Цей поріг залежить від характеристик використовуваної радіотехнології і нижче обговорюється окремо для шару WLAN і пікошару, тоді як у макрошарі інтерференція не розглядається.

Допущення (Пороговий рівень інтерференції). Додатково передбачається, що сукупний рівень шуму і інтерференції в каналі приймає форму $N_0 + I = KN_0$, де значення K являє собою певний масштабувальний коефіцієнт. Для розглянутої мережі зв'язку його приймають постійним і здатним врахувати інтерференцію, що виникає на стороні ТД / БС.

На практиці кожна пікочка має засобами цілеспрямованого зниження інтерференції, виробленої обслуговуваними їй терміналами на сусідні БС. Вони включають в себе всілякі механізми управління передачею по каналу зв'язку, методи динамічного планування радіоресурсів і т. д. З урахуванням цього можна застосувати наступний інженерний підхід. Індивідуальні вклади сусідніх терміналів в загальний рівень інтерференції можуть бути агреговані в рамках певного шару і додані до рівня шуму в каналі зв'язку як деяка поправка, яку в практичних завданнях мережевого планування іноді називають коефіцієнтом інтерференції.

Слід зазначити, що розглянуті тут оцінки інтерференції і швидкості передачі даних служать з метою передбачення, і в системі зв'язку вони призначені для вирішення питання про допуск тієї чи іншої сесії. Якщо деяка сесія не може бути прийнята на обслуговування певним шаром гетерогенної мережі, вона стає заблокованою з ймовірністю $P_{block}^{(1/2/3)}$.

Допущення (Управління потужністю і планування). Далі введемо в розгляд два альтернативні підходи до спільного розв'язку ч управління потужністю і планування радіоресурсів [113], які отримують назву алгоритм "Максимальна потужність «і алгоритм» кільцеве планування".

1. Алгоритм "Максимальна потужність" спочатку встановлює фіксовану потужність передачі абонентського терміналу, рівну найбільшому можливому значенню в рамках використовуваної технології радіодоступу. Потім процедура контролю доступу в мережу перевіряє, чи може при даному рівні потужності бути досягнута необхідна мінімальна швидкість передачі даних.

2. Алгоритм «Кільцеве планування» спочатку засвідчується, що ресурс мережі доступу завжди розділений між передавальними терміналами порівну, і потім здійснює управління потужністю і контроль доступу відповідним чином. Зокрема, кожна допущена до обслуговування сесія з загального числа активних N отримує рівну частку загального ресурсу системи у часу, тобто $\frac{r_0}{r_i} = \frac{1}{n}$. Після цього абонентські термінали встановлюють потужність своєї передачі таким чином, щоб досягти

мінімальної необхідної швидкості передачі даних за умови, що необхідна для цього потужність не перевищує максимально можливої.

Нижче розглядається типовий (евристичний) принцип організації контролю доступу та вибору радімережі (див. рисунок 3.4). Відповідно, передбачається каскадне обслуговування нових сесій, що надходять в систему. Спочатку процедура сприяння у виборі мережі доступу, що функціонує на стороні стільникової системи зв'язку, робить спробу вивантаження знову надійшла сесії на обслуговування найближчій ТД WLAN, застосовуючи для цього централізований алгоритм контролю доступу в мережу WLAN. При цьому обрана ТД може, взагалі кажучи, перебувати за межами зони покриття макрочки R.

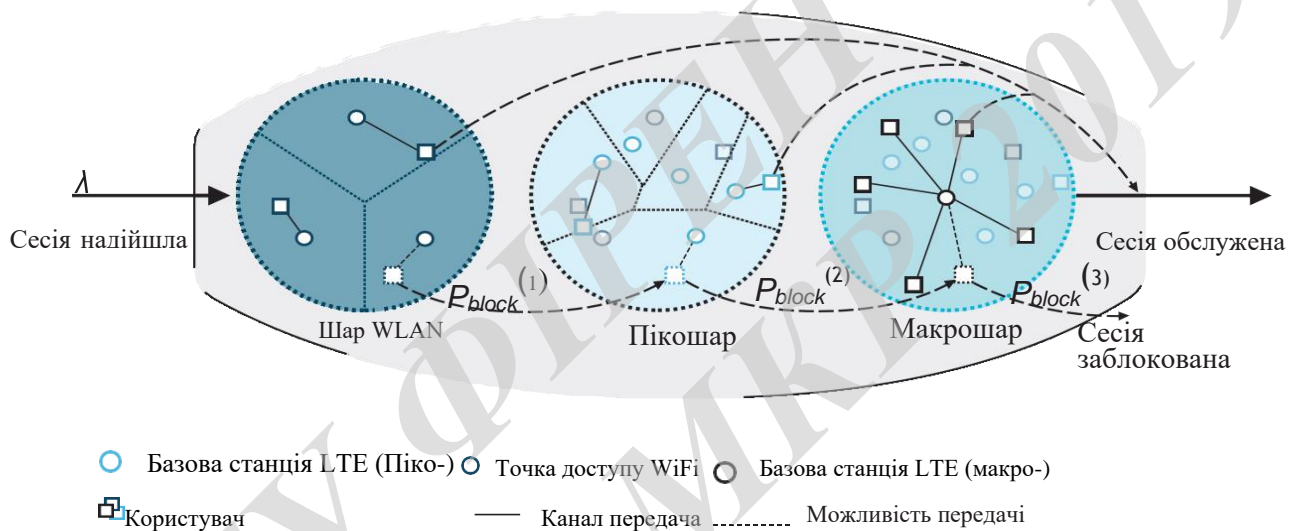


Рисунок 3.4 - Каскадний принцип роботи системи з шарами WLAN, піко – і макро-

Якщо сесія допускається в шар WLAN, вона обслуговується в ньому без переривань до моменту свого закінчення і потім залишає систему. В іншому випадку, якщо дана сесія не може бути прийнята в шар WLAN, запускається процедура контролю доступу в пікошар. Як наслідок, сесія або допускається в пікошар і обслуговується в ньому найближчої малої БС, або ж макрошар робить спробу прийняти цю сесію на обслуговування. У підсумку, якщо деяка сесія не може бути допущена навіть в макрошар, то вона вважається остаточно заблокованою і залишає систему, не отримавши обслуговування, але не впливаючи на подальші надходження нових сесій.

Розглянутий тут послідовний контроль доступу з мережевим сприянням представляє собою деяке проміжне рішення між розподіленими (некоординуваними) і центрально-керуваними підходами. Тоді як перші

можуть працювати недостатньо ефективно, застосування других часто тягне за собою значну обчислювальну складність і відповідні накладні витрати у вигляді керуючих повідомлень. Навпаки, запропонований каскадний принцип організації системи дозволяє «упакувати» ємність мережі доступу послідовно і, тим самим, стає адекватною опцією для використання в практичних гетерогенних системах зв'язки. Інші способи функціонування мережі можуть бути розглянуті за аналогією в рамках описаної в даному розділі моделі.

Крім того, вибір представленого на рисунку 3.4 каскадного принципу обслуговування може бути також обумовлений міркуваннями зниження витрат абонента і оператора. З урахуванням того, що доступ технології WiFi часто можливий без додаткової оплати, буває переважно вивантажити найбільшу можливу кількість сесій в шар WLAN, якщо дотримуються вимоги по якості обслуговування (які в даній моделі відстежуються процедурою контролю доступу з мережевим сприянням.) Коли система WLAN вже досить завантажена і не може прийняти на обслуговування додаткові сесії, другим кращим кандидатом стає пікошар. Це пов'язано, перш за все, з прагненням мобільного оператора збалансувати завантаження розміщених в мережі доступу малих стільників (особливо для трафіку від абонентських терміналів з низькою мобільністю.) При такому підході традиційний спосіб обслуговування в макрошарі зберігається оператором в якості резервного і використовується, коли інші стають непридатні.

Після постановки на обслуговування активний термінал використовує частку ресурсу системи зв'язки в часі, встановлюючи свою випромінювану потужність так, щоб досягти необхідної швидкості передачі даних. При кожному надходженні додаткової сесії або ж коли одна з поточних сесій закінчується, гетерогенна мережа доступу приймає нове рішення щодо планування ресурсів та управління потужністю передачі для всіх активних абонентських терміналів. У кожному шарі вводиться в розгляд своє значення ймовірності блокування $p_{block}^{(i)}$ і ймовірності допуску сесії $P_a^{(i)} = 1 - P_{block}^{(i)}$, де $i = 1, 2, 3$ – номери шарів WLAN, піко - і макро - відповідно. При цьому вихідна інтенсивність надходження сесій на (перший) шар WLAN становить $\lambda w = \lambda$.

Допущення (Поділ шарів). Для збереження аналітичності запропонованої моделі гетерогенної мережі передбачається, що три розглянутих шару обслуговують відповідні абонентські термінали незалежно. Це призводить до випадкового просіювання вихідного процесу надходження сесій з відповідними ймовірностями допуску.

Дане припущення являє собою природний методичний хід з метою поділу складною для аналізу системи шарів на окремі аналітичні компоненти, які в принципі можуть бути замінені на інші, або ж вилучені з розгляду. Наприклад, можна було б змінити порядок слідування шарів в каскадній процедурі контролю доступу.

Зважаючи пуассонівського характеру просіяного потоку, надходження сесій в (другий) пікошар (тобто не прийнятих в шар WLAN) відбуваються відповідно до пуассонівським процесом інтенсивності $\lambda_p = \lambda (1 - P_a^{(1)})$, де $P_a^{(1)}$ – ймовірність допуску сесії в шар WLAN. Аналогічно надходження в (третій) макрошар підпорядковуються пуассонівському процесу інтенсивності $\lambda_m = \lambda (1 - P_a^{(1)}) (1 - P_a^{(2)})$, де $P_a^{(2)}$ – ймовірність допуску сесії в пікошар.

Абстрагуючись від конкретного місця розташування абонентських терміналів, надходження сесій в піко- і макрошари передбачаються рівномірними всередині кола радіуса R . Важливо зауважити, що це допущення свідомо не виконується на практиці. Насправді існує деяка залежність, відповідно до якої сесії приймаються на обслуговування в WLAN і в пікошар. Однак нижче за допомогою результатів імітаційного моделювання буде показано, що таке припущення про рівномірність надходжень є досить точним. Даний факт дозволяє вважати аналіз моделі, заданої наведеним вище набором припущень, адекватним для апроксимації функціонування реальної гетерогенної мережі доступу.

У підсумку загальносистемна ймовірність блокування P_{block} може бути обчислена як

$$P_{block} = 1 - [P_a^{(1)} + (1 - P_a^{(1)})P_a^{(2)} + (1 - P_a^{(2)})(1 - P_a^{(1)})P_a^{(3)}], \quad (3.8)$$

Де $P_a^{(3)}$ ймовірність допуску сесії в макрошар.

3.2.2 Результати аналізу інтегрованої мережі доступу

Для перевірки точності запропонованої аналітичної моделі і верифікації відповідної системи припущень в даному підрозділі наводиться набір тестових прикладів. Розроблена система імітаційного моделювання в явному вигляді відтворює всі випадкові процеси, описані в попередньому підрозділі. Це дозволяє врахувати «пам'ять» стохастичної системи і порівняти результати детального моделювання із запропонованими

аналітичними апроксимаціями. Зокрема, за описами в рекомендаціях ITU / 3GPP був відтворено міський сценарій (див. подробиці, наприклад, в [114]), для якого варіювалася щільність БС пікошару і ТД шару WLAN. Особливу увагу було приділено щільному розміщенню ТД/БС, оскільки в таких умовах інтелектуальний вибір мережі доступу більш корисний: стільниковий мережа поодинці відчуває труднощі при обслуговуванні трафіку від абонентів.

Як типовий приклад розглядається сота радіуса R , який становить 288 метрів (згідно з рекомендаціями в [107]), зі змінною інтенсивністю надходження нових сесій λ .

Кожна знову прибула сесія має випадкову тривалість із середнім μ^{-1} , рівним 3 секундам, а також мінімальну необхідну швидкість передачі даних r_0 500 кбіт/с. Доступна смуга пропускання для шарів WLAN, Піко - і макро- становить 20, 10 і 10 МГц відповідно. При цьому допустима потужність передачі абонентського терміналу обмежена значенням в 23 дБм в шарі WLAN і в макрошарі, тоді як в пікошарі це значення прийнято 20 дБм. Інші параметри системи встановлені відповідно до доступних специфікацій 3GPP та інших документів стандартизації.

Графіки на рисунках 3.5 і 3.6 характеризують ефективність обслуговування в макрошарі з урахуванням і без обліку вкладу від ефекту повільного загасання сигналу, який в принципі може надати вплив на роботу кожного з трьох розглянутих шарів гетерогенної мережі доступу. Звичайне повільне загасання моделюють випадковою величиною, розподіленою за логнормальному закону з параметрами $\mu = 0$ і $\sigma = 6$ дБ відповідно до міського макросценарію в [107]. Супутній допоміжні розподілу можуть бути обчислені, як показано в додатку А. Можна укласти, що, незважаючи на ряд спрощень припущень, запропонований підхід до аналізу гетерогенних систем зв'язку залишається досить точним на всьому інтервалі розглянутих значень інтенсивності надходження нових сесій.

Залежності на рис. 3.7 і 3.8 ілюструють поведінку середнього числа сесій в системі як функцію від числа ТД/БС в шарі WLAN/ пікошарі відповідно. Такі результати підтверджують, що з зростанням щільності розміщення модулів мережевої інфраструктури ефективність обслуговування також істотно зростає.

Нарешті, рисунок 3.9 присвячений більш глибокому дослідженню відповідних значень ймовірності блокування в рамках розглянутої інтегрованої мережі доступу, а також в кожному з її шарів окремо: макро-, піко - і WLAN.

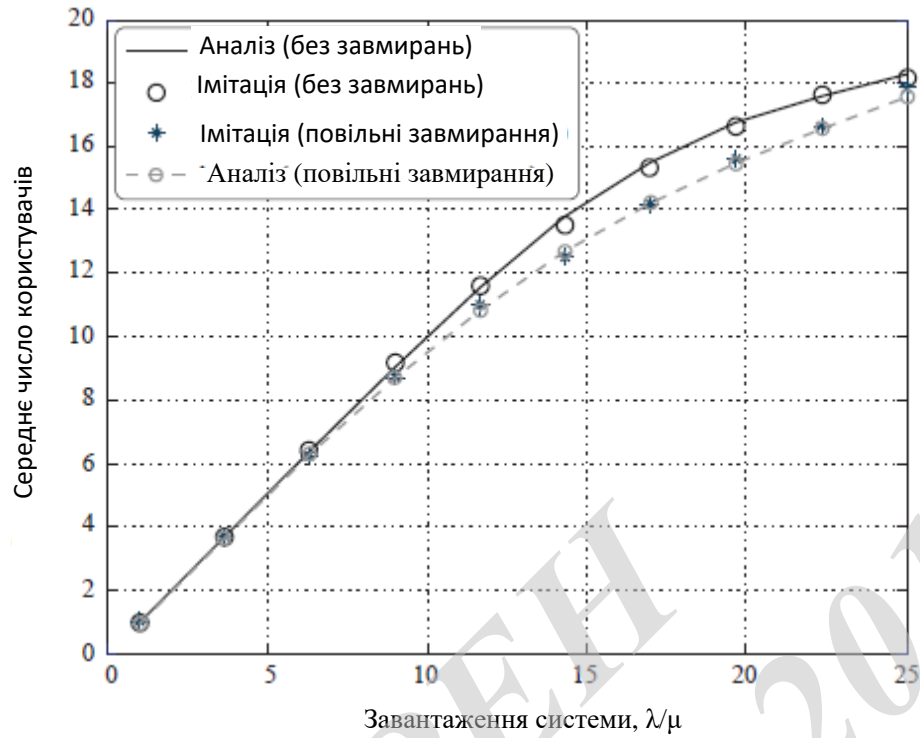


Рисунок 3.5 - Середнє число сесій в мікрошарі з урахуванням загасання

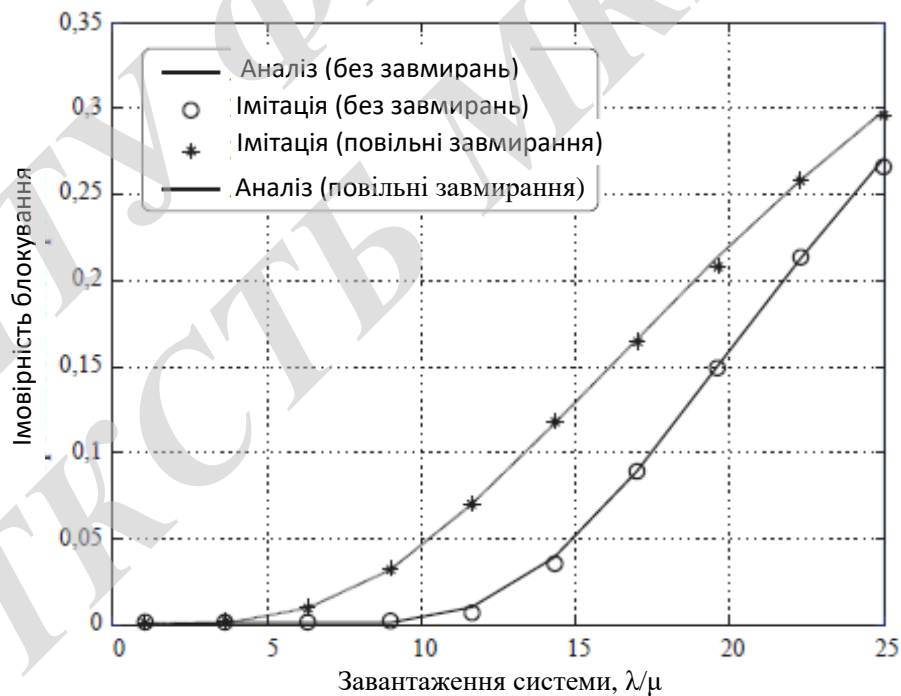


Рисунок 3.6 - Ймовірність блокування в мікрошарі з урахуванням загасання

Можна зробити висновок, наскільки зростає ефективність роботи гетерогенної мережі з двома додатковими шарами порівняно з базовою стільниковою системою, що включає тільки макрошар. Особливо варто відзначити значний приріст продуктивності вже для невеликого числа додаткових модулів інфраструктури, тобто чотири ТД WLAN і чотири малі БС в даному прикладі.

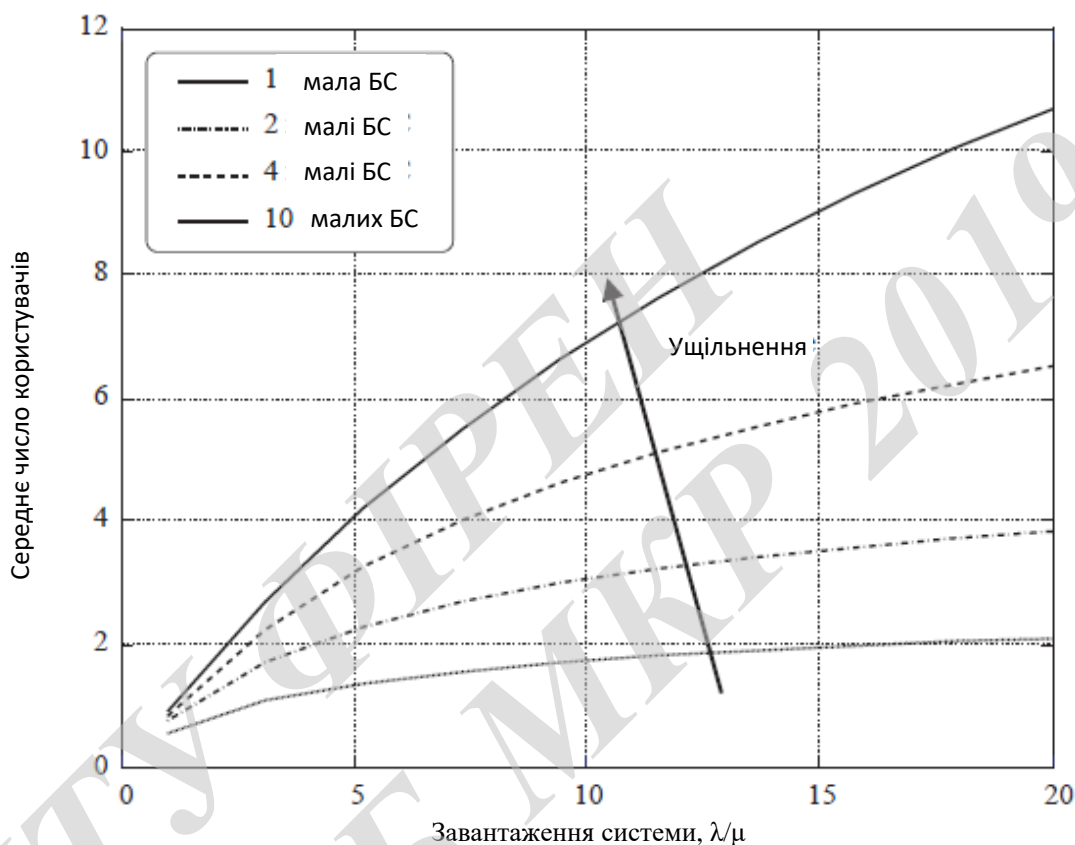


Рисунок 3.7 - Залежність середнього числа сесій від щільності БС в пікошарі

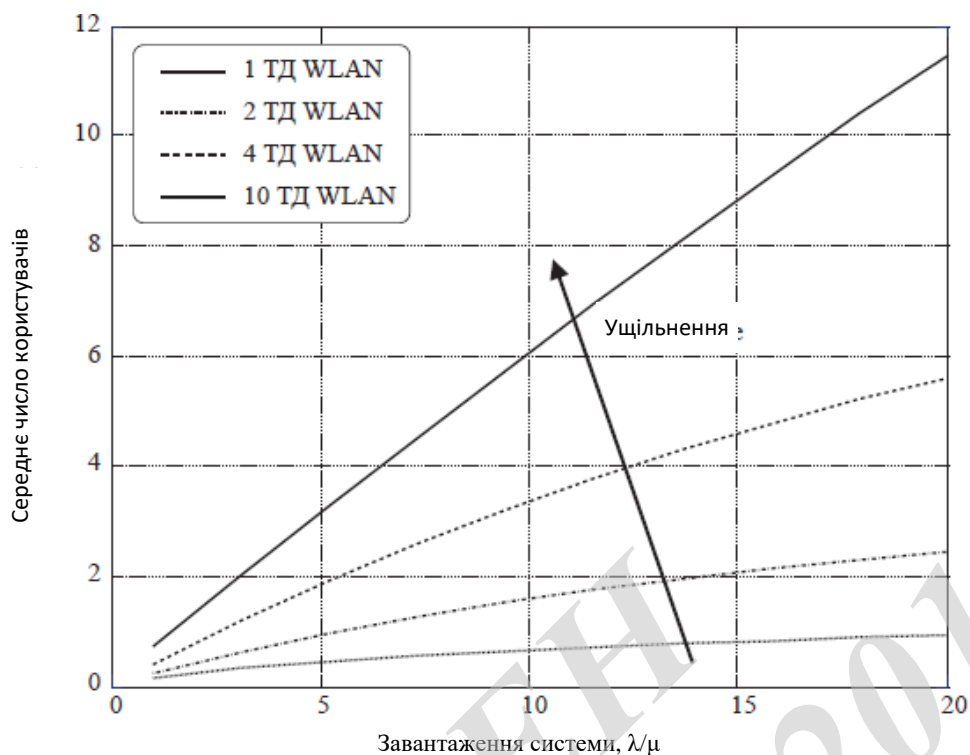


Рисунок 3.8 - Залежність середнього числа сесій від щільності ТД в шарі WLAN

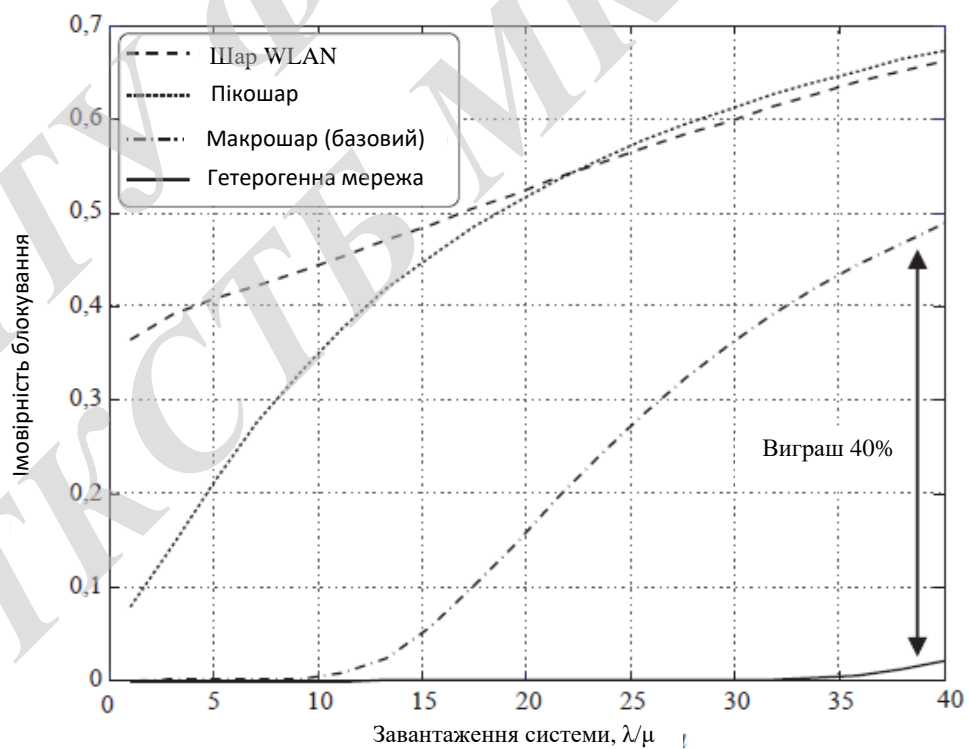


Рисунок 3.9 - Ймовірність блокування в інтегрованій гетерогенній мережі з трьома шарами

Резюмуючи, можна відзначити, що різні технології радіодоступу в сукупності з інтелектуальними процедурами вибору радіомережі стають невід'ємною частиною гетерогенних систем 5G. Зокрема, узгоджене використання безлічі мереж доступу дозволяє досягти значного приросту ефективності обслуговування абонентів як за величиною ємності системи зв'язку, так і в рівні якості призначеного для користувача з'єднання.

3.3 Аналіз ущільнення мереж доступу та облік динаміки їх завантаження

3.3.1 Суміщені модулі доступу LTE і WiFi

Недорогі Малі стільники різних типів, що мають більш низьке енергетичне споживання по порівняно з макроточкою, є на сьогоднішній день невід'ємною складовою типової мережі мобільного оператора, необхідної для забезпечення високих швидкостей передачі даних [115].

Завдяки своїм компактним розмірам малі БС LTE часто використовуються для організації безперервного мережевого покриття, економії капітальних коштів та операційних витрат, а також зниження енергетичного споживання системи доступу [116]. В результаті стирається грань між ними і ТД WiFi, які вже зарекомендували себе як надійне, перевірене часом мережеве рішення для забезпечення локального доступу [91]. Дана тенденція створює передумови для все більш тісної інтеграції технологій радіодоступу LTE і WiFi з метою ефективного розвантаження мережі доступу і гнучкого управління трафіком абонентів, що досягається шляхом спільного використання радіоресурсів обох систем зв'язку [117].

Як вже зазначалося вище, значні зусилля комітету 3GPP спрямовані на стандартизацію механізмів інтеграції радіотехнології WiFi як частини інфраструктури мережі LTE. Вони включають в себе організацію довіреного доступу WiFi-пристроїв до послуг стільникового системи зв'язку, забезпечення безшовної перемикання між LTE і WiFi, а також функціонал для виявлення і вибору мережі доступу ANDSF. Починаючи з 3GPP Release 12 ведеться робота з полегшення оперативної інтеграції стільникового і локальної систем зв'язку на рівні мережі радіодоступу RAN. При цьому сприяння з боку стільникової інфраструктури може призвести до ряду поліпшень у функціонуванні інтегрованої гетерогенної мережі LTE-WiFi [53]: від надання найпростішої допоміжної інформації (наприклад, про

поточне завантаження системи [118]) і аж до повноцінного (централізованого) управління радіоресурсами.

У міру спрощення взаємодії між LTE і WiFi стає більш вигідно розміщувати дані технології радіодоступу спільно. Це пов'язано, перш за все, з досить незначним подорожчанням вартості суміщених LTE-WiFi модулів в порівнянні, наприклад, з малими БС LTE [119], що є невисокою платою за можливість використання неліцензованих спектральних

Радіоресурсів WiFi. При застосуванні механізмів тісної інтеграції LTE і WiFi в рамках гетерогенної мережі доступу абонентський термінал, що має два радіомодуля, може вести передачу даних по них одночасно, що істотно підвищує ефективність його роботи [90].

Однак такі просунуті режими передачі для суміщених систем LTE-WiFi вимагають додаткового функціоналу, включаючи відповідні мережеві інтерфейси [120]. Очікувавши, що розробка механізмів управління суміщеними мережами доступу LTE і WiFi призведе до істотному зростанню показників якості зв'язку абонента і помітному поліпшенню характеристик роботи системи зв'язку 5G [121].

У підсумку розміщення малих точок різних типів, що функціонують як у ліцензованому (наприклад, LTE), так і в неліцензованому (наприклад, WiFi) спектральному діапазоні, стане основою гетерогенних систем 5G [122]. При цьому використання суміщених LTE-WiFi модулів більш вигідно для цілей оперативного ущільнення мережі доступу в силу більш гнучкого управління радіоресурсами [123].

Проте в наявній дослідницькій літературі підходи до моделювання суміщеного розміщення малих БС LTE і ТД WiFi, що мають прямий інтерфейс взаємодії, ще не отримали належної уваги. У наступному підрозділі вводиться нова модель суміщеної гетерогенної мережі LTE-WiFi, яка дозволяє провести аналіз її ущільнення і врахувати динаміку її завантаження.

Як і в попередніх розділах цієї глави, запропонований підхід об'єднує методи стохастичної геометрії для моделювання розміщення вузлів [102] і методи теорії масового обслуговування для моделювання динаміки трафіку від абонентських терміналів [124].

Враховуючи, що завантаження малих точок може значним чином варіюватися в часі і просторі [87], нижче розглянемо обмежену область моделювання, в якій є (понад)щільне розміщення суміщених LTE-WiFi модулів мережевої інфраструктури (наприклад, на вуличній фурнітурі). Потім проводиться порівняльне дослідження двох алгоритмів управління

функціонуванням такої суміщеної гетерогенної мережі доступу: перший пов'язаний з вибором однією (кращою) технології радіодоступу для здійснення передачі, тоді як другий (пропонований) дозволяє вести одночасну передачу по обох радіотехнологій. Також наводяться результати імітаційного моделювання із застосуванням відповідного комплексу програм, який був попередньо відкалібрований з тестовими даними 3GPP.

3.3.2 Моделювання надщільних суміщених покриттів

Далі досліджується інтегрована гетерогенна мережа доступу, побудована на надщільному покритті деякої області поєднаними модулями LTE-WiFi [125], а також вводяться допущення відповідної математичної моделі.

Опис цільового сценарію. Розглядається замкнута область моделювання у вигляді квадрата зі стороною D (рисунок 3.10). Крім того, передбачається наявність безлічі інтегрованих малих точок, де кожна поєднана БС (СБС) оснащена як функціоналом LTE, так і функціоналом WiFi. З урахуванням рекомендацій Комітету 3GPP розміщувати Малі стільники в виділеному діапазоні радіочастот [126], який не перекривається з доступними для макроточок частотами, всі СБС використовують загальні радіоресурси LTE. Тут передбачається, що макрошар служить переважно для управління системою і для планування радіоресурсів, але не бере участі в обслуговуванні трафіку, що надходить від абонентських терміналів. При цьому мережа WiFi традиційно функціонує в неліцензованій спектральній діапазоні.

На практиці подібні розміщення плануються для забезпечення мережевого доступу в місцях великого скупчення абонентів, таких як торгові центри. У цих умовах централізований модуль управління, що знаходиться на стороні стільникової мережі, має повну інформацію щодо структури системи зв'язку, включаючи місця розташування СБС і обслуговуваних ними абонентських терміналів.

Для подальшого моделювання представляє безпосередній інтерес тільки шар СБС, який обслуговує термінали, що передають свої дані по лінії вгору, тоді як керуючий макрошар в явному вигляді не розглядається. Такий підхід відображає очікування того, що роль макрошару в гетерогенних мережах 5G буде поступово скорочена виключно до функцій управління і координування роботи інших шарів [127].

Подальший виклад зосереджено на питаннях управління роботою абонентських терміналів, знаходяться всередині заданої області моделювання і мають можливість передавати свої дані по лінії вгору з використанням однієї або ж обох радіотехнологій: LTE і WiFi [128]. Оскільки в перспективних гетерогенних мережах організація доступу по лініях вгору і вниз фактично забезпечується двома різними мережами [90], тут звуження до аналізу вихідної передачі даних від абонентських терміналів пов'язано з більш високою складністю обліку радіоінтерференція порівняно з доставкою інформації у зворотному напрямку [97]. Як і раніше, пропонується підхід являє собою приклад просторово-часового моделювання, проведеного на основі пропонованої нижче системи припущень.

Розміщення абонентських терміналів і мережевої інфраструктури. Розташування СБС вибираються відповідно до однорідного пуассонівського точковому процесу PPP SBS інтенсивності μ . Тоді число СБС в цільовій замкнутої області являє собою випадкову величину, розподілену за пуассонівського закону, в той час як число СБС в неперекриваних областях – незалежні між собою величини. Взагалі кажучи, нижче передбачається надцільне розміщення суміщених LTE-WiFi модулів, що є більш частим в порівнянні з типовим стільниковим покриттям (шестикутними точками) і визначається тут формально як $\mu\lambda (2R)^2 > 7$, де r -радіус зони покриття окремої СБС. У підсумку ймовірність того, що покриття в якій-небудь точці простору відсутня, досить мала.

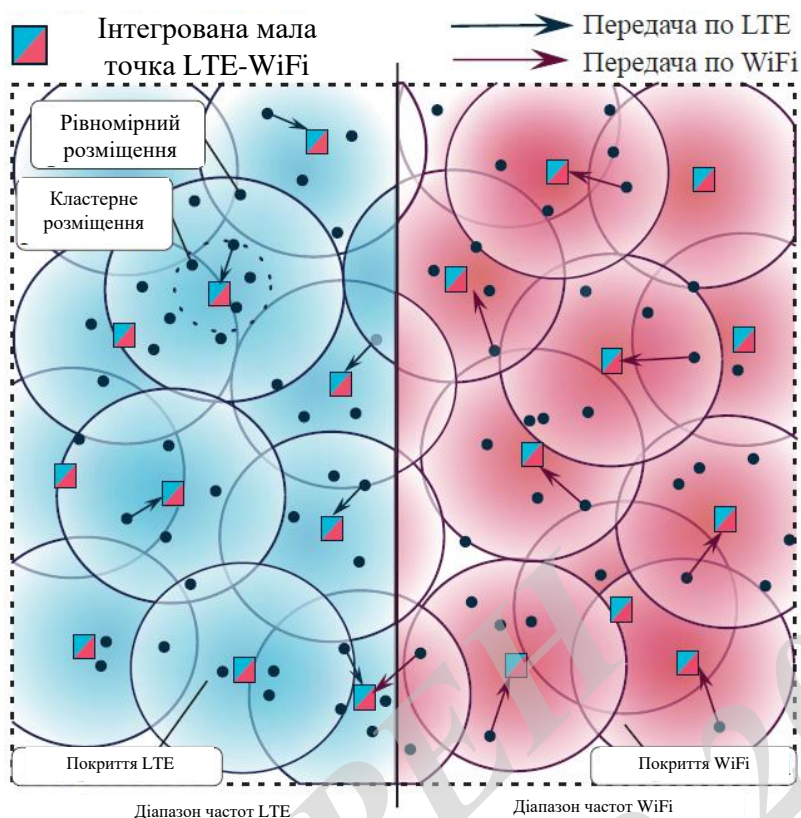


Рисунок 3.10 - Структура суміщеної гетерогенної мережі і область моделювання

З практичних міркувань такі щільності розміщення СБС можуть бути виправдані в випадках, коли краще використовувати безліч недорогих станцій порівняно низькою ємності в силу заданих обмежень на мінімальну швидкість передачі даних або на характеристики покриття (наприклад, при відсутності достатнього числа відповідних точок розміщення для БС макрошару). Подібні сценарії спостерігаються на транспортних вузлах, в торгових центрах і т. д.

Навіть при наявності функціоналу WiFi такі СБС істотно більш безпечні і дешеві в експлуатації в порівнянні з традиційними телекомунікаційними технологіями.

Розташування абонентських терміналів розподілені згідно суміші процесу PPP і кластерного процесу. При цьому певна частка ϵ терміналів розміщена відповідно до PPP, тоді як інші термінали сконцентровані навколо обслуговуючих їх СБС відповідно до кластерним точковим процесом, заснованим на процесі SBS. Підсумкове розподіл відстаней від терміналів до відповідних вузлів інфраструктури описується як $f_d(d) = \epsilon f_u(d) + (1 - \epsilon) f_c(d)$, $d \leq R$, де $f_c(d)$ – розподіл відстаней для терміналів у складі кластерів.

Зокрема, розташування абонентських терміналів, розміщених у кластерах, підпорядковується кластерному процесу Матерна, в якому розташування точок розподілені рівномірно всередині кола радіуса r ,

описаної навколо обраної згідно PPP точки. У випадку, що розглядається, такі розташування сконцентровані навколо СБС, а також передбачається, що значення r досить мало, щоб термінали на відповідних відстанях були б завжди асоційовані з тією СБС, яка знаходиться в центрі кластера. Дані міркування побудовані на пропозиції, що містяться в актуальній документації 3GPP, які рекомендують використання виваженої суперпозиції рівномірного і кластерного розподілів для моделювання реального розміщення абонентських терміналів [119]. Дані рекомендації відповідають ряду практичних сценаріїв застосування гетерогенних мереж, призначених для обслуговування абонентів у магазинах, кафе, ресторанах та інших громадських місцях.

Динаміка трафіку і модель каналу. Нові сесії, пов'язані з передачею даних по лінії вгору, виникають всередині розглянутої області моделювання згідно стаціонарного однорідного пуассонівському процесу інтенсивності λ в часі. Далі знову надійшла сесія ставиться у відповідність деякому абонентському терміналу на площині. Без обмеження спільності можна вважати, що зміна активним терміналом свого поточного місця розташування тотожна появі "нового" терміналу, розміщеного в цьому зміненому місці. Через відсутність «пам'яті» у розглянутого процесу, така інтерпретація дозволяє в неявному вигляді врахувати мобільність абонентських терміналів.

Для визначеності передбачається, що сесія відповідає передачі файлу, розмір якого розподілений експоненційно з середнім значенням θ біт. По завершенні його передачі відповідний абонентський термінал залишає систему. Фактичне місце розташування терміналу i , до якого надходить готовий для передачі файл, визначає якість його з'єднання з обслуговуючою СБС. Таким чином, відповідна швидкість передачі даних r_i визначається за формулою Шеннона як

$$r_i = \min\{r_{lim}, w \log(1 + SINR_i)\}, \quad (3.9)$$

де $SINR_i = \frac{\gamma_i}{N_0 + I}$; p_i – рівень випромінюваної терміналом потужності; γ_i – коефіцієнт передачі радіоканалу між джерелом і отримувачем сесії i ; w – ефективна смуга пропускання каналу зв'язку; N_0 – рівень шуму в каналі; I – рівень інтерференції на стороні одержувача; r_{lim} – гранично досяжна швидкість передачі даних.

Для деякої сесії коефіцієнт передачі радіоканалу від її джерела до одержувача γ_i описується залежністю випромінюваної потужності від

відстані d_i між ними, тобто $\gamma_i = G^{-k}$, де k – експонента поширення радіосигналу, а G – константа поширення. Введене таким чином визначення коефіцієнта передачі радіоканалу може бути легко модифіковано для обліку більшості типових випадків, призначених для комітетом 3GPP.

Описувана тут модель являє собою гнучкий інструмент для аналізу досяжних меж ущільнення гетерогенної мережі шляхом абстрагування таких менш значущих факторів, як коливання в рівні випромінюваної потужності, пов'язані з компенсацією ефектів загасання сигнал. Відповідно, детальне дослідження ефектів загасання в даній моделі не проводиться в цілях збереження її аналітичності, але необхідні поправки можуть бути введені в вигляді коректно підібраних коефіцієнтів загасання або ж враховані у вигляді додаткових випадкових величин, безпосередньо беруть участь у вираженні для коефіцієнта передачі радіоканалу, як це було зроблено в попередніх розділах даного розділу.

В залежності від якості свого з'єднання активний абонентський термінал використовує деяку частку радіоресурсів LTE і / або WiFi, надану обслуговуючої його сесію СБС на підставі деякого централізованого алгоритму управління. Застосування подібних алгоритмів стає можливим в гетерогенних мережах 5G в силу більш тісного координування (суміщених) технологій радіодоступу LTE і WiFi, розміщених, як правило, одним і тим же мобільним оператором, а також як наслідок концентрації функцій управління інтегрованою системою зв'язку на стороні стільникового мережі доступу.

Планування і виділення радіоресурсів. Розглянута мережа зв'язку асоціює нову сесію з найближчою до неї СБС в тому випадку, якщо число вже що обслуговуються даної СБС абонентських терміналів не перевищує деякого граничного значення N_{\max} .

На практиці такий максимум фактично існує для будь-якої БС LTE або ТД WiFi, наприклад, в силу обмежень на обсяг пам'яті системи планування. Тому припущення про те, що дане число є кінцевим (нехай і досить великим), може бути зроблено тут без втрати спільності.

В рамках модельованої системи доступу виділення радіоресурсів LTE відбувається згідно алгоритму "Кільцеве планування", який призначає однаковий обсяг радіоресурсів всім активним сесіям даної СБС. При цьому радіоресурси WiFi також дістаються абонентським терміналам приблизно в рівних частках завдяки роботі протоколу доступу до каналу, побудованого на принципах випадкового множинного доступу. Таким чином, кожна з p поточних сесій, що обслуговуються деякою СБС, отримує свою (рівну) частку загального частотно-часового ресурсу. Це дозволяє висловити

гранично досягну швидкість передачі даних як $\tilde{r}_1 = \frac{\delta_{w/l}}{n} r_i$, де r_i – миттєва швидкість передачі, а δ_w і δ_l – частки радіоресурсів, доступні на даній СБС для обслуговування трафіку WiFi і LTE відповідно. Нові сесії, які отримали швидкість передачі \tilde{r}_1 в момент свого допуску в систему, обслуговуються в ній без переривань і після цього негайно залишають систему.

На практиці наведені вище міркування відповідають випадку, коли число активних сесій змінюється в часі незначно, що очевидно виконується між моментами часу, співпадаючими з прийняттям на обслуговування нових сесій. Вибір розглянутого тут способу планування обумовлений відсутністю попередньої інформації щодо пріоритету між абонентськими терміналами. При необхідності облік такого пріоритету може бути проведений за допомогою належного вибору вагових коефіцієнтів і являє собою окреме завдання, яка у даному розділі в даній главі не розглядається. При цьому пропонується підхід до моделювання може бути з легкістю узагальнений на випадок іншої дисципліни обслуговування, а найпростіший алгоритм «Кільцеве планування» розглядається тут виключно в якості прикладу.

Слід також зазначити, що можна було б, зокрема, розглянути популярний алгоритм планування, що надає більш «справедливе» виділення радіоресурсів LTE (proportional-fair), який максимізує суму логарифмів швидкості передачі з урахуванням заданих вагових коефіцієнтів. Для наведеного тут найпростішого випадку з рівними частками радіоресурсів такі коефіцієнти передбачаються однаковими за відсутності додаткові відомості щодо пріоритету трафіку. Більш того, для так званого еластичного трафіку, розглянутого нижче, передбачається, що якщо частка радіоресурсів, наданих терміналу i , становить ε_i , то можна легко показати, що $\sum_{i=1}^n \log(\varepsilon_i r_i)$ досягає свого максимуму, коли $\varepsilon_i = 1$. Це в тому числі означає, що для такого типу трафіку аналіз "справедливого" способу виділення радіоресурсів тотожний вивченню алгоритму "кільцеве планування".

У свою чергу, функціонування радіотехнології WiFi має на увазі імовірнісний доступ до каналу з поділом часу між усіма активними терміналами, що обслуговуються даної СБС. На досить тривалих проміжках часу такий поділ еквівалентно результату роботи «стохастичного» алгоритму «Кільцеве планування». З урахуванням цих міркувань подальший виклад передбачає використання алгоритму «Кільцеве планування» як для системи LTE, так і для системи WiFi.

Управління потужністю передачі і інтерференцією. Оскільки вивчення питань, пов'язаних з радіоінтерференцією в каналі зв'язку, є ключовим в надщільних гетерогенних мережах 5G [129; 130], далі окремо вводиться набір відповідних припущень моделювання.

1. Передбачається, що алгоритм управління потужністю передачі абонентського терміналу в мережі LTE націлений на підтримку деякого заданого рівня SINR η [131], який приймається постійним у всій стільниковій системі. У тому випадку, якщо цільове значення SINR не може бути досягнуто, термінал передає свої дані на гранично допустимому рівні потужності p_{\max} , намагаючись забезпечити певну якість обслуговування. Альтернативою могло б служити вилучення даного абонентського терміналу з розкладу, але такий варіант тут не розглядається.

2. Інтерференція в мережі LTE підтримується на деякому постійному рівні шляхом явного координування між стільникового розкладу передач терміналів [132]. Отже, якщо деяка сесія, запланована до обслуговування на певних радіоресурсах з деякою необхідною потужністю, викликає істотний приріст інтерференції в іншій точці, то відповідні радіоресурси виключаються з процесу планування в "постраждалих" соті (див. рисунок 3.11).

3. Для передачі даних в мережі WiFi випромінювана абонентськими терміналами потужність передбачається постійною і підтримується на своєму граничному рівні p_{\max} , який при цьому може відрізнитися від граничного значення потужності передачі в мережі LTE.

4. Інтерференція в мережі WiFi регламентується протоколом доступу до середовища, побудованим на використанні функції DCF та відповідних сигнальних повідомлень RTS / CTS. Як наслідок, кожне з'єднання WiFi «резервує» в імовірнісному сенсі деяку область навколо як джерела, так і одержувача сесії (для передачі даних і підтверджень про їх доставку). Новий з'єднання може бути встановлено, якщо ні її термінал-джерело, ні відповідний термінал-одержувач не знаходяться у вже «зарезервовані» іншими активними WiFi-сесіями область. При подібному координуванні передбачається, що загальний рівень інтерференції не перевищує деякого відомого порога.

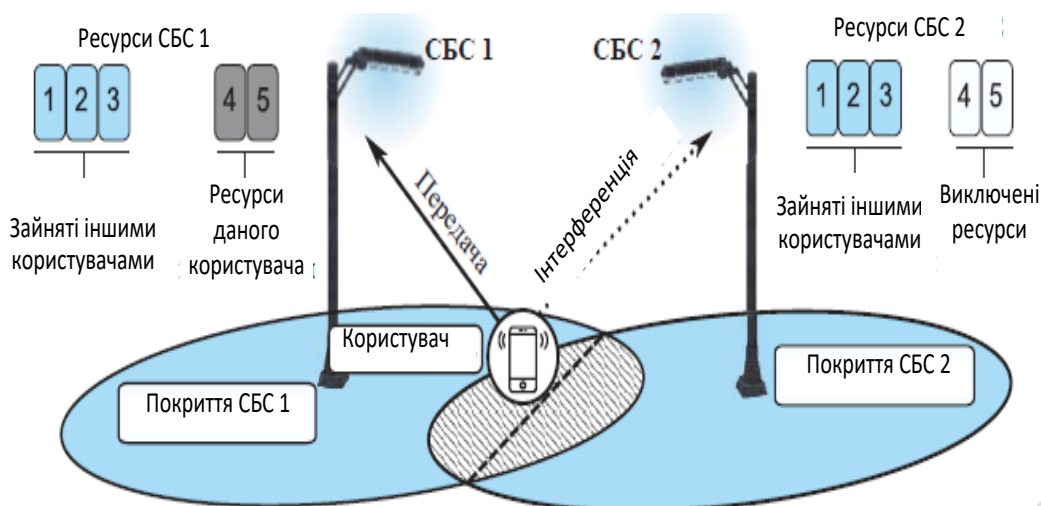


Рисунок 3.11 - Управління інтерференцією в надщільних мережах LTE

Як зазначалося вище, для координування міжстільникової інтерференції в надщільній мережі доступу СБС LTE може, взагалі кажучи, використовувати досить просунуті дисципліни планування [133]. Однак у міру збільшення зони покриття системи зв'язку, використання простих механізмів управління інтерференцією може стати кращим за рахунок їх більш широкої масштабності. В найпростішому випадку, якщо абонентський термінал розташований на перетині зон покриття двох СБС і передає свої дані на найближчу з них, використовуючи набір радіоресурсу X , сусідня СБС виключає те ж саме безліч радіоресурсу X зі свого процесу планування (рисунок 3.11). Тоді абонентські термінали з сусідніх точок не виробляють досить руйнівної інтерференції на передачі одне одного.

Якщо при цьому будь-які радіоресурси з безлічі X вже були попередньо виключені в процесі координування інтерференції з іншого СБС, ніяких додаткових дій не потрібно. Частка виключених таким чином радіоресурсу становить $1 - v$, де v являє собою коефіцієнт перевикористання радіоресурсу, що залежить від параметрів системи зв'язку, таких як щільність розміщення СБС і радіус зони їх покриття. Розглянутий тут підхід до задачі управління інтерференцією може бути не ефективним, але здатний забезпечити виконання вимог щодо її цільового рівня, зберігаючи при цьому прийнятну складність реалізації, що привабливо для застосування на практиці.

В деякому сенсі аналогічний підхід застосовується у мережі доступу WiFi з тим лише відмінністю, що в процесі управління інтерференцією виключаються області фіксованого розміру незалежно від необхідного рівня потужності передачі. Це призводить до виникнення в кожен конкретний

момент часу випадкового набору сполук, які не інтерферують між собою. В результаті система WiFi може демонструвати істотно більш скромні переваги від проведення процедури ущільнення мережі в порівнянні з стільниковою системою зв'язку.

Алгоритми вибору мережі доступу. На закінчення введемо два альтернативних алгоритми управління функціонуванням суміщеної гетерогенної мережі, пов'язані з використанням технологій радіодоступу LTE і / або WiFi. Перший базовий алгоритм передбачає, що система зв'язку спочатку прагне обслужити знову надійшла сесію з допомогою неліцензованих спектральних радіоресурсів мережі WiFi, і тільки якщо значення SNR в цьому випадку виявляється нижче деякого заданого порогу η_0 , то ця сесія обслуговується мережею LTE. Такий спосіб підключення в деякому роді відображає поведінку людини при виборі мережі доступу на практиці, де переважне підключення по WiFi продиктовано міркуваннями мінімізації вартості з'єднання [53]. Важливо відзначити, що запропонована модель суміщеної гетерогенної мережі може служити для аналізу та інших алгоритмів вибору технології радіодоступу.

Другий розглянутий алгоритм передбачає одночасну передачу по обох радіотехнологіях: LTE і WiFi. Слід зауважити, що одночасне використання обох мереж доступу не обов'язково призводить до досягнення найбільшої можливої ефективності роботи гетерогенної системи зв'язку (наприклад, в силу підвищення рівня інтерференції). Пропонований тут алгоритм служить скоріше для ілюстрації просунутих можливостей, доступних в гетерогенних мережах 5G. Характеристики двох описаних вище алгоритмів порівнюються в наступному підрозділі, а строгий аналіз їх функціонування здійснюється у додатку Б. В ньому містяться апроксимації стаціонарного розподілу ймовірностей для розташування абонентських терміналів, числа активних сесій в поєднаній мережі зв'язку, а також для значень імовірності блокування і середнього часу передачі даних.

3.3.3 Результати порівняння алгоритмів

При вивченні функціонування надгустих гетерогенних систем зв'язку важливо враховувати особливості відповідних алгоритмів вибору мережі доступу і планування радіоресурсів [134]. Оскільки такі алгоритми часто засновані на інженерних міркуваннях, ніж на формальному вирішенні деякої оптимізаційної задачі, вони часто неаналітичні і вимагають спрощень для досягнення дослідницьких цілей. Нижче наводяться імітаційні результати

порівняння роботи двох таких алгоритмів, які ведуть до розуміння питань, пов'язаних з управлінням інтерференцією і її впливом на ефективність просторового перевикористання радіоресурсів.

Дослідження більш складних процесів, характерних для надгустих гетерогенних мереж доступу, обумовлює створення відповідного комплексу програм імітаційного моделювання [135], який був розроблений і апробований в роботах [53; 88]. Він дозволяє моделювати роботу поєднаної системи LTE-WiFi з необхідною ступенем деталізації і відтворює сценарій, в якому абонентські термінали розміщені в кожному квадраті 5x5 м всередині розглянутої області моделювання. Як вже зазначалося, термінали обслуговуються алгоритмом «Кільцеве планування» із застосуванням передових методів управління інтерференцією. В цілях спрощення СБС моделюються як ідеалізовані одержувачі сигналу, що функціонують на межі Шеннона, а потужність передачі абонентських терміналів встановлюється так, щоб підтримувати певний цільовий рівень SINR. Самі СБС розміщені рівномірно всередині квадратної області моделювання, і граничні ефекти підсумкової зони покриття не розглядаються.

Приклад фактичного призначення радіоресурсів для абонентських терміналів і СБС, розміщених рівномірно, показаний на рисунках Б. 5 і Б. 6 додатка Б. Як підтверджується безліччю літературних джерел, поділена таким чином поверхню дійсно нагадує діаграму Вороного практично всюди, крім областей, в яких відсутнє мережеве покриття. Важливо також відзначити, що навіть в тих областях, де є значні накладення зон покриття СБС, вдається досягти прийнятної якості обслуговування. Далі досліджується ефективність роботи системи, виражена в термінах просторового перевикористання радіоресурсів і пов'язана з характеристиками розміщення мережі зв'язку. Для розглянутого тут сценарію пропонується певний характер розміщення вузлів мережі поставити у відповідність деякому коефіцієнту v . Останній відображає ступінь перевикористання одиниці радіоресурсів, яка була виключена з процесу планування для запобігання інтерференції від іншої стільниці.

Для аналізу геометричного розміщення вузлів на площині тут вводиться нова характеристика $D_s = \frac{4 \cdot N_{\text{cells}} \cdot S_{\text{cell}}}{S_{\text{area}}}$, іменована фактичною щільністю мережі. Вона визначає число різних покритих областей, що межують з деякою "усередненою" зоною покриття стільниці включаючи її саму. Наприклад, в традиційному стільниковому покритті $D_s = 7$ являє собою фактичну щільність мережі. Отже, стільниці можуть бути умовно представлені як шестикутники, і кожна точка має в точності шість сусідніх.

За аналогією певне розміщення точок можна назвати (понад)щільним, якщо $D_s > 7$, так як при цьому фактична щільність мережі стає вище, ніж у випадку традиційного стільникового покриття.

В ході аналізу, описаного в додатку Б, було встановлено, що фактична щільність мережі тісно пов'язана з коефіцієнтом перевикористання радіоресурсів. Відповідна залежність показана на рисунку 3.12. Для досліджуваного сценарію адекватна апроксимація була отримана у вигляді функції $v = a \cdot x^b + c$ при розгляді реальних надгустих покриттів ($7 < D_s < 100$). Навіть якщо розміщення точок не є надщільним, введений параметр D_s також може бути корисний, оскільки він як і раніше характеризує коефіцієнт перевикористання радіоресурсів.

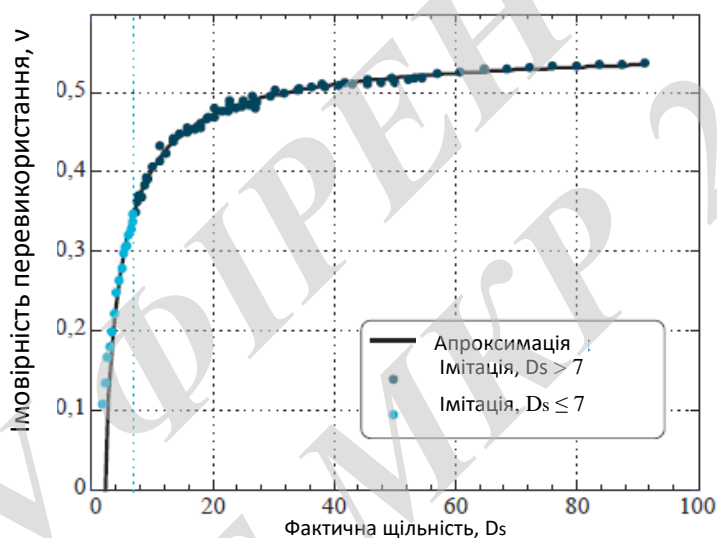


Рисунок 3.12 - Залежність коефіцієнта перевикористання радіоресурсів від фактичної щільності мережі

Далі досліджується ефективність роботи мережі WiFi, яка значно відрізняється від показників функціонування стільникової системи зв'язку через відмінності в способі управління інтерференцією. На відміну від мережі LTE, яка координує свою роботу на рівні окремих СБС, технологія WiFi не вводить явної відмінності між ТД і обслуговуваними ними терміналами в процесі організації доступу до каналу. В результаті всі з'єднання в рівній мірі змагаються за можливість передачі даних, і ті з них, які відчувають найвищу конкуренцію, можуть бути тимчасово заблоковані процедурою відстрочки передачі (що є частиною DCF) та/або функцією прослуховування несучої частоти (CCA). Отже, для щільної мережі WiFi в типовому випадку можна спостерігати досить обмежене число одночасно

обслуговуються з'єднань незалежно від загального числа активних сесій в системі.

Для вивчення функціонування радіотехнології WiFi також був використаний комплекс програм імітаційного моделювання [135], який для заданих густин розміщення СБС відтворював описані вище реальні набори не інтерферують між собою з'єднань. Такі набори відображають можливі комбінації абонентських терміналів, які можуть бути активні одноразово, і генеруються як серія «знімків» поведінки практичної системи WiFi. Приклад подібного "знімка" запропонований на рисунку 3.13. Для подальшого аналізу найбільший інтерес представляє максимально допустиме число з'єднань, яке може бути активоване в деякий момент часу всередині розглянутої області моделювання.

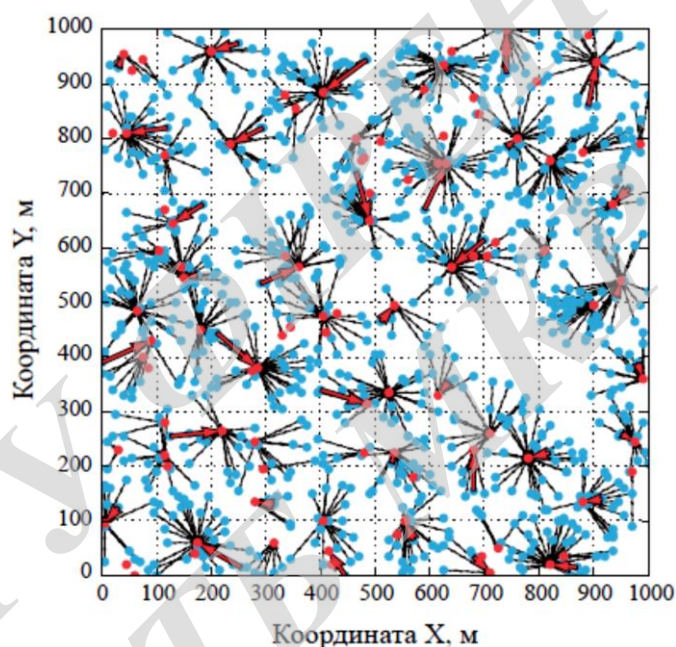


Рисунок 3.13- Приклад активних з'єднань WiFi

Отримані результати підтверджують, що в разі, якщо число активних терміналів істотно вище, ніж максимальна кількість підтримуваних сполук, то загальне число користувачів не робить помітного впливу на динаміку завантаження мережі доступу. Навпаки, збільшення числа обслуговуючих СБС помітно змінює цю динаміку, оскільки з'єднання стають в середньому коротше і в меншій мірі впливають на сусідні з'єднання. Незважаючи на те, що передача даних за технологією WiFi відбувається на граничному значенні випромінюваної потужності, більш короткі з'єднання тут також виявляються кращими, як зображено на рисунку 3.14.

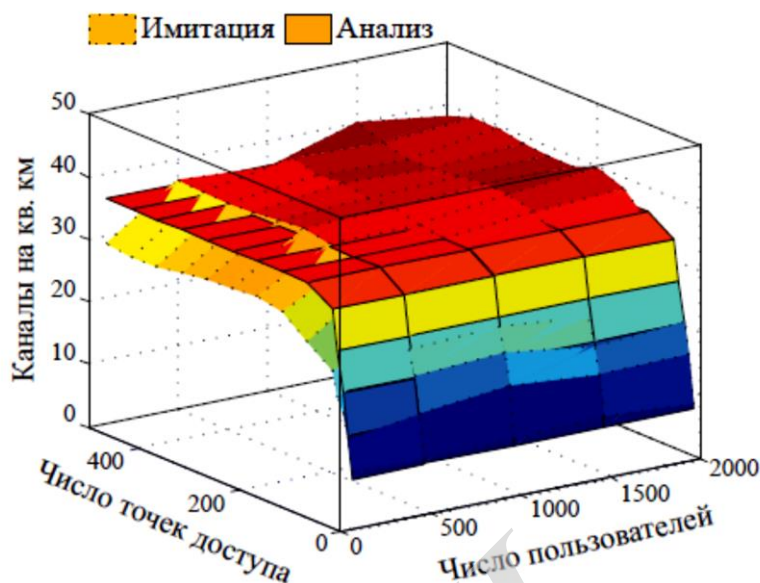


Рисунок 3.14 - Облік змінної щільності розміщення

Спираючись на отримані результати, далі можна порівняти ефективність роботи двох алгоритмів управління поєднаної гетерогенної мережею LTE-WiFi згідно опису вище: кращий вибір технології WiFi і одночасне використання технологій LTE і WiFi. Параметри моделювання для розглянутого сценарію, а також для наведених раніше імітаційних результатів є типовими в перспективних надгустих системах зв'язку з інтегрованими малими стільниками і відповідають актуальним рекомендаціям 3GPP (див. таблицю 1).

На рисунках 3.15 і 3.16 вивчається вплив інтенсивності надходження сесій на ефективність роботи поєднаної гетерогенної мережі. Маркерами відзначені результати імітаційного моделювання, які вибірково підтверджують отримані аналітичні залежності, що представлені у вигляді ліній. Пропонується набір кривих, відповідних як роботі базового алгоритму (вибір однієї технології), так і функціонуванню пропонованого алгоритму (використання обох технологій) для різних значень щільності покриття. Можна зробити висновок, що система зв'язку демонструє істотну зміну своєї поведінки при виникненні перевантаження. Зокрема, якщо інтенсивність надходження сесій досить велика, то середній час передачі даних помітно зростає. При цьому цікаве спостереження можна зробити щодо точки, відповідної моменту виникнення перевантаження, яка часто знаходиться в зворотній залежності від щільності розміщення вузлів мережі. По суті, надання більшого числа СБС, ніж потрібно для обслуговування поточного

числа абонентських терміналів, може надати негативний ефект на підсумкову ємність системи.

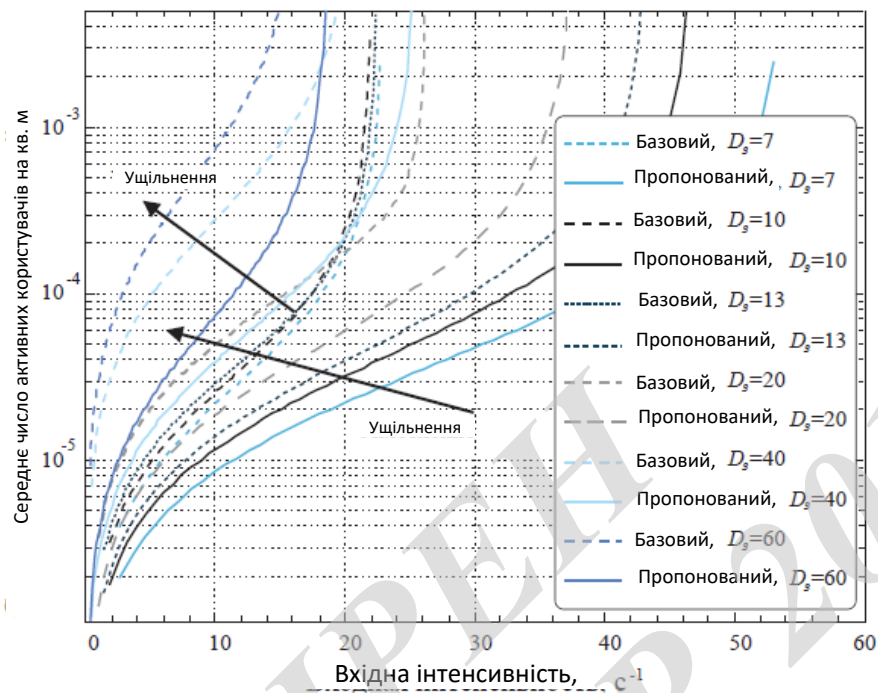


Рисунок 3.15 - Середнє число абонентських терміналів на кв. м

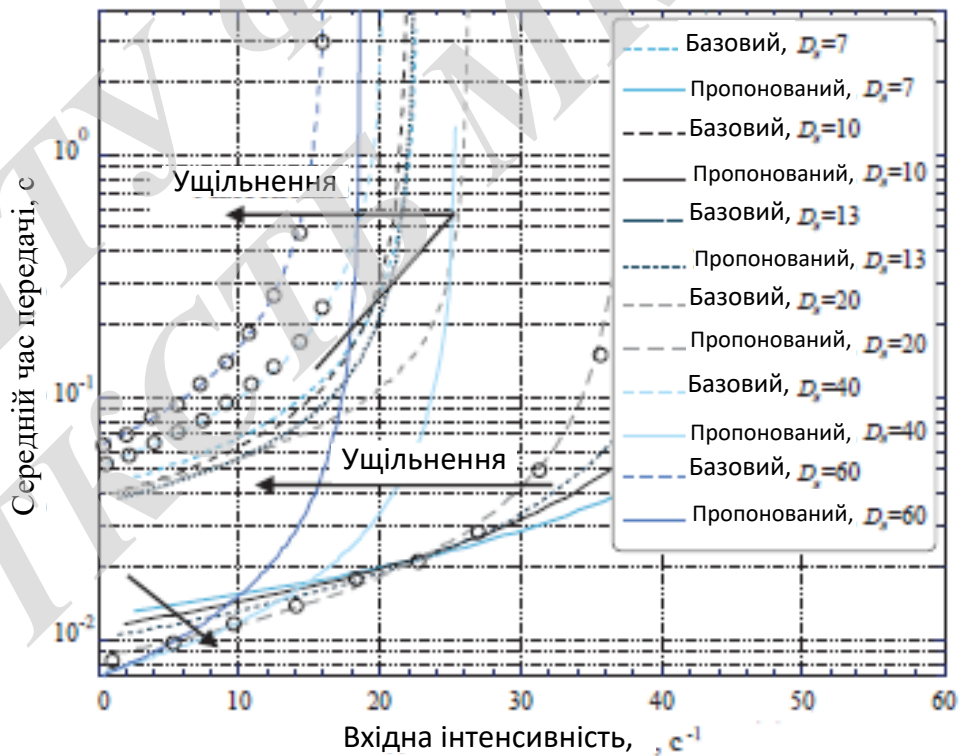


Рисунок 3.16 - Середній час передачі даних терміналом

Для ілюстрації цієї важливої особливості корисно розглянути граничний випадок, коли у кожного терміналу є «своя» персональна СБС, що обслуговує виключно дані його сесії. З урахуванням фіксованої зони покриття СБС більшість радіоресурсів буде тоді виключено з процесу планування згідно з принципами управління інтерференцією. Тим самим знижується частка радіоресурсів, яка може бути використана асоційованим з даною СБС терміналом. З іншого боку, рівень SINR для передачі даних від цього терміналу буде найчастіше виключно високий. З практичних міркувань корисне значення SINR фактично обмежена значенням приблизно 25 дБ, що пов'язано з обмеженим набором модуляційно-кодових схем. Можна зробити висновок, що необхідно жорстко контролювати рівень випромінюваної потужності при ущільненні мережі, інакше в надщільних покриттях можна спостерігати зниження доступної ємності системи зв'язку.

Рисунок 3.17 також відображає обговорюваний вище ефект, але під іншим кутом. Легко бачити, що для досить високих густин розміщення абонентських терміналів просунутий алгоритм, що дозволяє вести одночасну передачу, при фактичній щільності мережі, що дорівнює семи, досягає своєї найвищої ефективності. Варто нагадати, що таке значення фактичної щільності відповідає «майже» регулярному стільниковому покриттю. З іншого боку, коли система зв'язку простоє значну частину свого часу (наприклад, при наявності сплесків завантаження), використання великого числа малих точок стає кращим. В таких умовах з'єднання стають в середньому коротше, що призводить до підвищення середньої швидкості передачі даних при порівняно низькій завантаженні. На відміну від просунутого алгоритму, базовий алгоритм, пов'язаний з вибором кращою радіотехнології, отримує істотно менший приріст продуктивності при ущільненні мережі: в певний момент часу більшість терміналів змушене використовувати технологію WiFi в силу специфіки роботи алгоритму. Роблячи висновок, можна зазначити, що якщо абонентський термінал має можливість використовувати кілька технологій радіодоступу одночасно, то він не повинен бути обмежений вибором тільки однієї з них, незалежно від свого поточного місця розташування по відношенню до СБС.

3.4 Управління доступом і радіоресурсами в інтегрованих мережах

3.4.1 Різні класи алгоритмів управління трафіком

Даний розділ присвячений вивченню різних підходів до управління процесом виділення радіоресурсів в інтегрованій гетерогенній мережі доступу [53]. З урахуванням розглянутої вище архітектури системи зв'язку тут досліджуються алгоритми, що функціонують як на стороні абонентських терміналів, так і на стороні мережевої інфраструктури. У випадках інтеграції технологій радіодоступу на прикладному рівні або на рівні ядра мережі (Варіант А або Б на рисунку 3.2) можуть використовуватися тільки алгоритми, що працюють на стороні абонентських терміналів. Навпаки, при інтеграції радіотехнологій на рівні мережі радіодоступу (Варіант В на рисунку 3.2) як правило доступний більш широкий набір можливостей, пов'язаних з підвищеною оперативністю координування технологій радіодоступу, що становлять гетерогенну мережу.

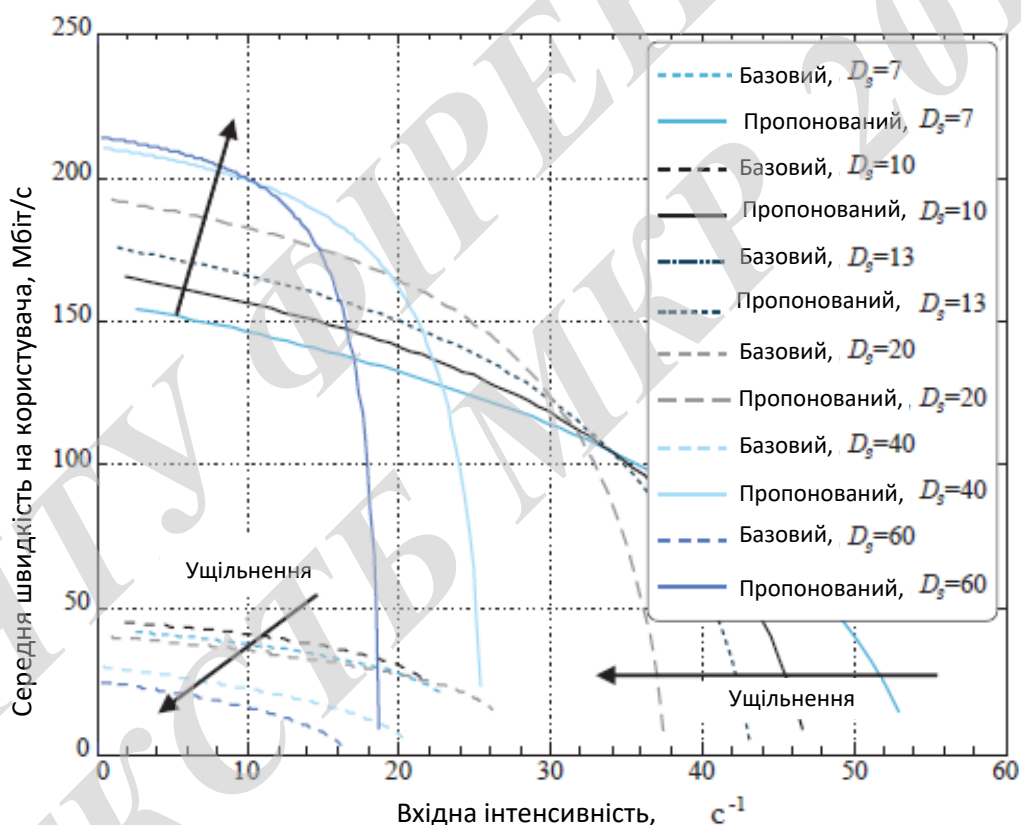


Рисунок 3.17 - Середня швидкість передачі даних терміналом

Взагалі кажучи, мережа радіодоступу може виконувати істотну роль при призначенні радіоресурсів у рамках інтегрованої системи зв'язку. Навіть коли вона не керує виділенням радіоресурсів безпосередньо, мережа радіодоступу може надавати важливу допоміжну інформацію і тим самим підвищувати ефективність рішень, прийнятих на стороні абонентських терміналів. В системах зв'язку 5G, де контроль над мобільністю і

поведінкою абонентського терміналу переходить з опорної мережі в мережу радіодоступу, стає доступним більш оперативне управління виділенням радіоресурсів, зумовлена можливістю швидкого перемикання сесій між радіотехнологіями. У суміщених гетерогенних мережах, а також коли є високошвидкісний інтерфейс між різнорідними технологіями радіодоступу, можливо спільне призначення радіоресурсів, що належать відразу декількох мереж доступу.

В подальшому розглядаються приклади типових алгоритмів управління виділенням радіоресурсів, починаючи з простих традиційних схем, що працюють на стороні абонентських терміналів, коли вибирається краща технологія радіодоступу (наприклад, WiFi), і аж до складних інтелектуальних підходів на стороні мережевої інфраструктури, коли проводиться спільне координування радіоресурсів різних мереж доступу.

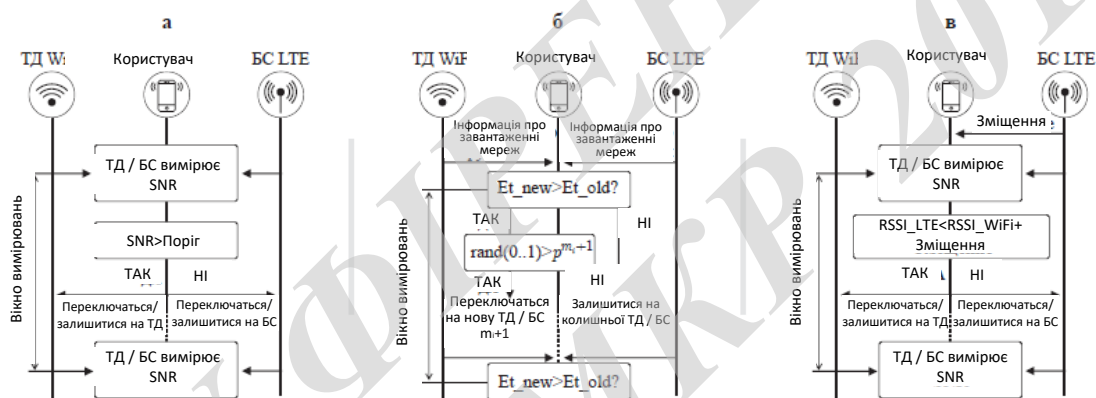


Рисунок 3.18 - Алгоритми управління трафіком в інтегрованій гетерогенній мережі

Алгоритми на абонентських терміналах. Найпростіші алгоритми, засновані на виборі деякого порогового значення, складають основу даного класу і служать в якості базових для подальшого порівняння. Дані схеми припускають, що абонентський термінал безперервно відстежує керуючі повідомлення від сусідніх ТД WiFi для отримання актуальної інформації щодо рівня SNR в мережі. Коли поточне значення SNR перевищує заданий поріг (який тут встановлюється рівним 40 дБ згідно з рекомендаціями 3GPP), термінал починає передавати свої дані на відповідну ТД WiFi. В іншому випадку він передає весь наявний трафік через мережу LTE (див. рисунок 3.18(a)).

Такі правила алгоритму автоматизують типове поведінка абонента при виборі кращою радіотехнології: якщо доступна ТД WiFi з достатнім

рівнем сигналу, абонентський термінал переключасться на неї і, як правило, отримує більш високу швидкість передачі даних, знижуючи при цьому витрати абонента, пов'язані з оплатою мобільного трафіку. У якості альтернатив такому функціонуванню можна запропонувати підходи, що ґрунтуються на виборі технології WiFi, якщо задоволені деякі мінімальні вимоги щодо ефективності роботи, якістю з'єднання, наявності покриття і т. д. Крім того, в розглянуту категорію можна включити схеми, що дозволяють абонентському терміналу передавати свої дані з використанням декількох технологій радіодоступу одночасно, але не мають на увазі інтелектуального координування такої передачі.

Алгоритми з мережевим сприянням. В силу своєї простоти, базовий алгоритм з кращим з'єднанням за технологією WiFi, враховує порогове значення SNR, може відчувати суттєві обмеження ефективності в щільних покриттях, піддаються значному впливу інтерференції, що є найпоширенішою ситуацією в сучасних міських умовах. Наприклад, деяка ТД WiFi може перейти в стан перевантаження, коли велике число абонентських терміналів передає через неї свій трафік. Більш того, рухливі термінали, що використовують мережу WiFi (наприклад, портативні комп'ютери), можуть несподівано спожити значну частку радіоресурсів локальної мережі. Нарешті, слід враховувати, що протокол доступу до середовища в системі WiFi заснований на застосуванні випадкового множинного доступу, і це призводить до істотного зниження фактичної швидкості передачі даних із зростанням числа активних користувачів.

Як наслідок, використання найпростішої схеми, заснованої на пороговому значенню SNR і не враховує поточну завантаження мережі, буває недостатньо ефективним в умовах високої динаміки системи зв'язку. У такому разі абонентські термінали можуть об'єднати значення актуальною величини SNR з додатковою інформацією щодо завантаження системи, отриманої з боку мережевої інфраструктури. Облік завантаження мережі WiFi може, таким чином, служити важливим кроком до покращення ефективності роботи порівняно з продуктивністю базового алгоритму, але і його може виявитися недостатньо в ряді практичних сценаріїв. Тоді має сенс додатково взяти до уваги завантаження мережі LTE. Алгоритм, що реалізує даний підхід (див. рисунок 3.18(б)) і враховує наведені нижче міркування, далі порівнюється з базовим алгоритмом, заснованим на пороговому значенню SNR.

Оцінка швидкості передачі. Абонентський термінал прослуховує канал зв'язку по обидва технологій радіодоступу, спостерігаючи

актуального значення SNR в сусідніх малих стільниках, щоб оцінити свою очікувану швидкість передачі даних. Для системи WiFi така оцінка проводиться на основі передбачення ємності мережі та розподілу її на число користувачів, що обслуговуються деякої ТД (така інформація міститься в сигнальних повідомленнях, що розсилаються ТД періодично). Крім того, можуть враховуватися додаткові відомості про значення SNR, рівні конкуренції в каналі і т.д. У підсумку ті ТД, які мають занадто слабкий сигнал (згідно з поточним значенням SNR), виключаються з розгляду. Далі поведінку даної прогнозуючої схеми може уточнюватися з використанням поправок, що враховують роботу протоколу випадкового множинного доступу в мережі WiFi, а також коефіцієнтів, що включають в себе накладні витрати на передачу сигнальних повідомлень. Для системи LTE оцінка швидкості передачі здійснюється за вказівкою планувальника радіоресурсів, розташованого на асоційованій з абонентським терміналом БС, з урахуванням обраного способу управління випромінюваної потужністю. Випадковий вибір мережі. Абонентський термінал має можливість вибрати мережу доступу, в якій очікувана їм швидкість передачі даних буде найвищою. Однак в ряді випадків має сенс здійснювати такий вибір з певною ймовірністю $\text{rand}(0..1) < p_{mi} 1$, де p_{mi} - число недавніх спроб з'єднання з даною ТД / БС, а p - параметр в діапазоні $(0; 1)$, який представляє собою ймовірність повторного з'єднання. Належне використання параметра p знижує число одночасних з'єднань з тієї ж самої ТД / БС, що запобігає неконтрольованому перемиканню (осциляцію) між технологіями радіодоступу. Відповідно, якщо відбувається повторне підключення, значення p_{mi} для цільової ТД / БС і збільшується на одиницю. Інші абонентські термінали також беруть до уваги цю інформацію, ділячи своє очікуване значення швидкості передачі для даної ТД / БС на $p_{mi} 1$. Такий підхід дозволяє управляти динамікою перемикань в інтегрируемой гетерогенній мережі доступу.

Гістерезисні управління. Для подальшого зниження числа перемикань на кордоні стільники можна застосовувати відповідні механізми гістерезисного управління, які також впливають на оцінене значення швидкості передачі даних. Фільтрація оцінок швидкості передачі. Додаткового уточнення оцінок швидкості передачі даних можна домогтися за допомогою усереднення. Після кожного «вікна» вимірювань фактичні значення швидкості передачі, які спостерігаються протягом даного періоду, можуть бути перетворені, наприклад, з використанням функції змінного середнього. Результуюче значення враховує виміряний і очікуване значення

швидкості передачі даних для уточнення оцінки цього параметра на цільовій ТД / БС. Подібне усереднення також дозволяє підвищити надійність проведеного передбачення, запобігаючи раптові флуктуації, пов'язані з процедурою випадкового множинного доступу.

В результаті алгоритми управління з мережевим сприянням мають можливість використовувати додаткову інформацію, що отримується з боку мережевої інфраструктури, для підвищення ефективності рішень, прийнятих на стороні абонентських терміналів. В принципі мережеве сприяння може обмежуватися передачею абонентському терміналу базових відомостей, таких як завантаження системи, коефіцієнт її використання, очікувана частка доступних радіоресурсів і т.д. Однак при підвищенні продуктивності інтерфейсу між різними радіотехнологіями (як, наприклад, в суміщених покриттях) таке сприяння може стати значно більш оперативним і ефективним.

Алгоритми на стороні мережі доступу. Два вищенаведених способу управління гетерогенної мережею доступу функціонують на стороні абонентських терміналів. Як наслідок, вони принципово обмежують ефективність роботи системи зв'язку, яка може бути підвищена за рахунок загальносистемної інформації, доступної на стороні мережевої інфраструктури. Застосовуючи централізований алгоритм управління, безпосередньо координує роботу інтегрованої системи зв'язку, можна безпосередньо призначати абонентським терміналів радіоресурс кожної з використовуваних мереж доступу. Така схема координування може бути як розподілена між малими сотами, так і реалізовуватися спеціалізованим модулем, призначеним для прийняття відповідних рішень на стороні мережевої інфраструктури.

В даному розділі розглядається традиційний підхід, пов'язаний зі збільшенням ефективної зони покриття стільники. Він використовується в сучасних стільникових мережах для перемикавання абонентських терміналів на малі стільники шляхом модифікації індикатора прийнятої потужності сигналу RSSI. На практиці значення показника RSSI можна збільшувати або зменшувати за потребою, приводячи до відповідної зміни ефективної зони покриття ТД WiFi в залежності від прогнозованої ємності мережі. Обмеженням даного методу є той факт, що додаткова до індикатора RSSI величина повинна враховувати загальносистемну інформацію щодо обслуговуються абонентських терміналів. Наприклад, можна показати, що цільове значення цієї додаткової величини залежить від способу розміщення вузлів мережі, а також від рівня інтерференції в ній. Така інформація не

завжди доступна на стандартних ТД WiFi, особливо якщо вони не мають прямого інтерфейсу з стільниковим системою зв'язку. Нижче досліджується алгоритм управління, що збільшує ефективну зону покриття малих сот за допомогою модифікації значення RSSI в рамках деякого цільового сценарію (див. рисунок 3.18 (в)). При цьому також враховуються необхідні гістерезисні механізми.

Взагалі кажучи, реалізовані на стороні мережі доступу алгоритми можуть використовувати стандартизовані або спеціалізовані інтерфейси між різними сотами і технологіями радіодоступу. Розподілені підходи до управління з боку мережі доступу були розглянуті комітетом 3GPP в рамках роботи по організації координування систем WLAN і LTE на рівні мережі доступу. Відповідно, в систему зв'язку впроваджуються механізми, що дозволяють абонентським терміналам повідомляти результати своїх локальних вимірювань стану радіоканалу. Результуючі рішення щодо вибору тієї чи іншої технології радіодоступу приймаються потім стільникового БС на основі отриманих таким чином відомостей. Інші приклади централізованих алгоритмів на стороні мережі доступу включають в себе так звані схеми подвійного з'єднання, коли абонентський термінал безперервно підтримує керуюче з'єднання з макрослоем, а також з'єднання для передачі даних з деякою малою сотою. При цьому система зв'язку організовує централізоване управління перемиканням терміналу між різними малими сотами.

3.4.2 Порівняльний аналіз алгоритмів керування трафіком

Далі досліджуються різні алгоритми управління, які визначають, як має використання технологій радіодоступу, що становлять інтегровану мережу LTE-WiFi [14]. Передбачається, що система WLAN є складовою частиною гетерогенної мережі доступу, розміщеної мобільним оператором. Вивчаються типові практичні алгоритми управління, що функціонують 108 на стороні абонентських терміналів. З урахуванням особливостей сучасних мережевих покриттів розглядаються шар ТД WiFi і стільниковий шар, але не передбачається наявність прямого інтерфейсу взаємодії між мережами LTE і WiFi [92]. Крім того, окремо обговорюються переваги використання суміщених малих сот LTE-WiFi і наводяться відповідні показники ефективності.

Зокрема, проводиться порівняльний аналіз розподіленого алгоритму управління вибором кращою мережі доступу, який враховує інформацію

про завантаження систем зв'язку LTE і WiFi, і алгоритму, який при такому виборі має тільки вимірами рівня потужності сигналу. Показники ефективності даних алгоритмів, що працюють на стороні абонентських терміналів, порівнюються далі з продуктивністю алгоритму, який функціонує на стороні мережі доступу і безпосередньо балансує завантаження радіотехнологій. Очікується, що останній за рахунок доступності загальносистемної інформації про стан каналів зв'язку продемонструє більш високу ефективність у порівнянні з алгоритмами, реалізованими на абонентських терміналах, за рахунок доступності загальносистемної інформації про стан каналів зв'язку. Однак розподілені схеми, які оперують без прямої взаємодії технологій радіодоступу між собою, є набагато простішими в плані реалізації і не вимагають високих накладних витрат на передачу сигнальних повідомлень. Також такі алгоритми можуть мати перевагу при обліку переваг абонентів і вимог щодо якості обслуговування трафіку.

Пропоноване нижче порівняння побудовано на основі результатів імітаційного моделювання, отриманих із застосуванням відповідного комплексу програм, який відтворює роботу інтегрованої системи LTE WiFi, а також був відкалібрований зі специфікаціями 3GPP і документами IEEE 802.11. В даний час відомо незначне число безкоштовних або комерційних програмних продуктів, здатних моделювати динамічну гетерогенну мережу доступу. Це пов'язано, перш за все, з відсутністю необхідних мережевих компонентів, а також з недостатньою масштабованістю при дослідженні складних залежностей між радіотехнологіями. На відміну від відомих рішень використовуваний тут комплекс програм являє собою гнучкий інструмент, що підтримує набір різних способів розміщення вузлів мережі, типів трафіку, моделей каналу зв'язку і технологій радіодоступу. Він включає в себе ряд унікальних програмних модулів, що моделюють мережеве покриття і розташування абонентських терміналів, керуючі пакети для передачі даних і сигнальних повідомлень між вузлами мережі, що відбуваються в каналі зв'язку події, а також механізми збору статистичної інформації для оцінки всіляких показників якості обслуговування.

Для проведення пропонованого тут дослідження відтворюється типовий сценарій функціонування інтегрованої гетерогенної мережі в міських умовах, коли ТД WiFi розміщені в тій же географічній області, що і мережа LTE [136]. Зокрема, розглядаються зовнішні покриття малими сотами відповідно до рекомендацій 3GPP в [137]. Основні параметри

проведеного моделювання зібрані в таблиці 2. Слід зазначити, що передбачається насичений абонентський трафік, а ТД розміщені при цьому рівномірно всередині зони покриття мережі. Більшість користувачів згруповані навколо асоційованих з ними ТД в кластери, що відповідає характеру обслуговування абонентів, що генерують об'ємний трафік в аеропортах, кафе, ресторанах, торгових центрах і т.д. Крім того, близько третини терміналів також розмістилися рівномірно в рамках даної галузі моделювання, представляючи собою звичайних мобільних абонентів. Такий сценарій є типовим і був схвалений комітетом 3GPP для вивчення показників ефективності інтегрованих гетерогенних мереж.

Важлива перевага, очікуване від використання ТД WiFi в рамках гетерогенної мережі, пов'язане з ефективною вивантаженням абонентського трафіку з стільникової системи зв'язку. З цієї причини основним досліджуваним тут показником ефективності стає швидкість передачі даних абонентським терміналом по лінії вгору. Такий підхід відрізняється від безлічі вже наявних дослідницьких результатів щодо передачі даних по лінії вниз і дозволяє охарактеризувати доступну ємність системи. Функція розподілу CDF значень індивідуальної швидкості передачі даних служить для порівняння функціонування алгоритму, заснованого на виборі порогового значення SNR (переважне підключення по WiFi), з алгоритмом, що використовує інформацію про завантаження мережі (див. рисунок 3.19). Результати порівняння підтверджують, що останній пропонує суттєві переваги, особливо на краю зони покриття (наприклад, більше 75% поліпшення на рівні 5% квантилі). Крім того, спостерігається деяке підвищення середньої швидкості

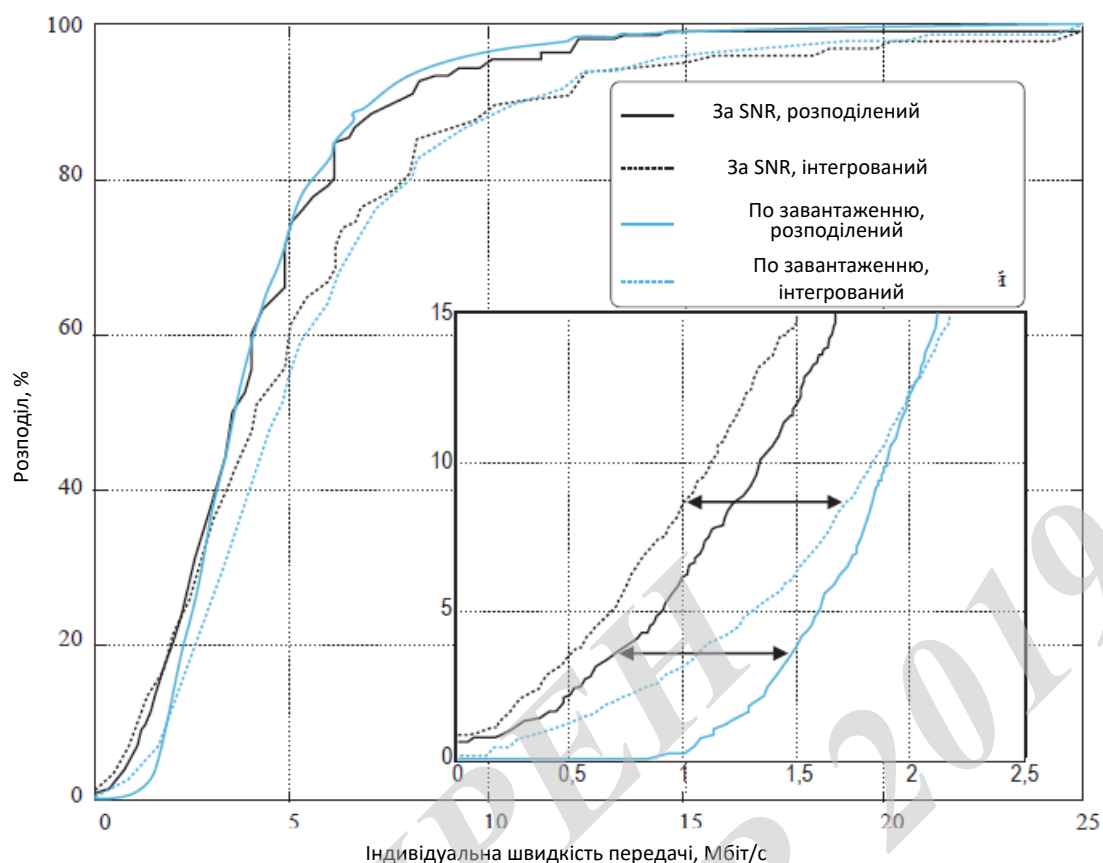
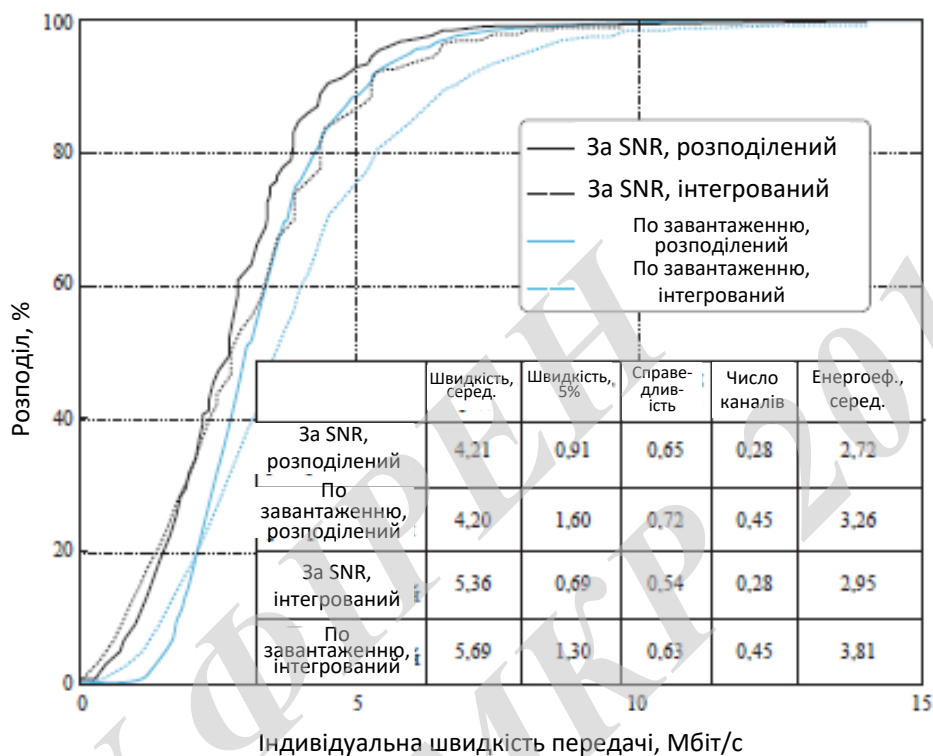


Рисунок 3.19 - Швидкість передачі для різних алгоритмів управління трафіком

Крім того, енергетична ефективність стає важливою характеристикою продуктивності гетерогенних мереж 5G в силу обмежених ресурсів акумуляторної батареї абонентських терміналів [138]. Відповідно, спостерігається значний приріст в показнику біт / Дж як при розподіленому (19%), так і при суміщеному (29%) розміщенні вузлів інфраструктури, які досліджуються на рисунку 3.20. Оскільки рівень якості обслуговування також представляє чималий інтерес, тут враховується справедливість розподілу радіоресурсів між абонентськими терміналами на основі показників індивідуальної швидкості передачі даних і її усередненого значення в соте. Для оцінки такої справедливості застосовується так званий індекс Джейна (див. таблицю на рисунку 3.20), який для алгоритму з урахуванням завантаження мережі виявляється краще (0,72 / 0,63), ніж даний показник для алгоритму з порогом по SNR (0,65 / 0,54).

Стабільність роботи алгоритмів на абонентських терміналах є ключовим практичним показником в розподілених схемах управління, оскільки небажані перемикання між різними технологіями радіодоступу можуть викликати додаткові накладні витрати, привести до зростання

затримки при передачі даних, а також знизити енергетичну ефективність терміналу. На рисунку 3.20 додатково наводиться число перемикачів між радіотехнологіями LTE і WiFi (виражене в числі підключень в одиницю часу). Для поліпшення даного показника рекомендується застосовувати відповідні механізми гістерезисного управління.



Рисунку 3.20 - Порівняльний аналіз алгоритмів керування трафіком

Наведене тут порівняння алгоритмів управління також включає в себе розгляд роботи схеми з модифікацією RSSI на стороні мережевої інфраструктури, підлаштовуватися радіус зони покриття під особливості конкретного розміщення вузлів. При цьому наявність загальносистемної інформації може поліпшити якість обслуговування в мережі доступу за рахунок підбору відповідного значення добавки до RSSI, що має на меті оптимізацію ефективної зони покриття БС LTE і ТД WiFi. Така оптимізація покращує показники ефективності в сценарії з рівномірним розміщенням абонентських терміналів, але в разі кластерного розміщення характеристики погіршуються через вплив інтерференції. Для обліку такого впливу централізований алгоритм адаптує радіус зони покриття, ґрунтуючись на загальносистемному знанні щодо способу розміщення абонентських терміналів (див. рисунок 3.21).

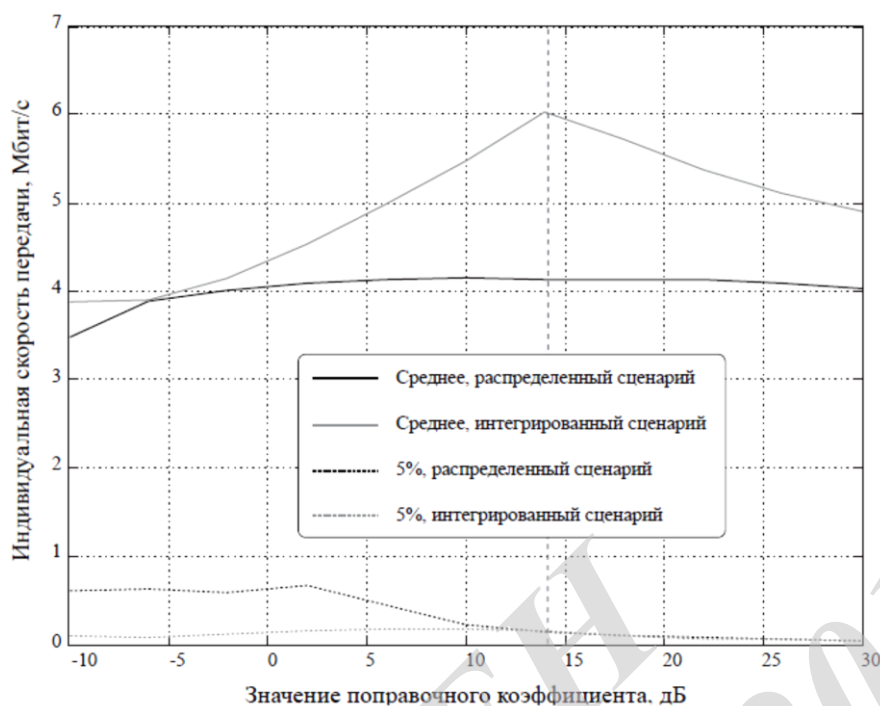


Рисунок 3.21 - Індивідуальна швидкість передачі абонентським терміналом

Однак рисунок 3.22 демонструє, що навіть додаткова інформація на стороні мережевої інфраструктури (тут було вибрано модифіковане значення в 14 дБ) не призводить до значного зростання швидкості передачі призначених для користувача даних, яка мало відрізняється від аналогічного показника для розподіленого алгоритму, що враховує завантаження мережі. Зокрема, на рисунку 3.22 видно (див. Гістограму), що середня частка часу, що проводиться терміналом на кожному з радіоінтерфейсів розподілена таким чином: наприклад, для алгоритму з урахуванням завантаження мережі технологія радіодоступу WiFi використовується досить ефективно, тоді як передача за технологією LTE збалансована між піко- і макрослоями.

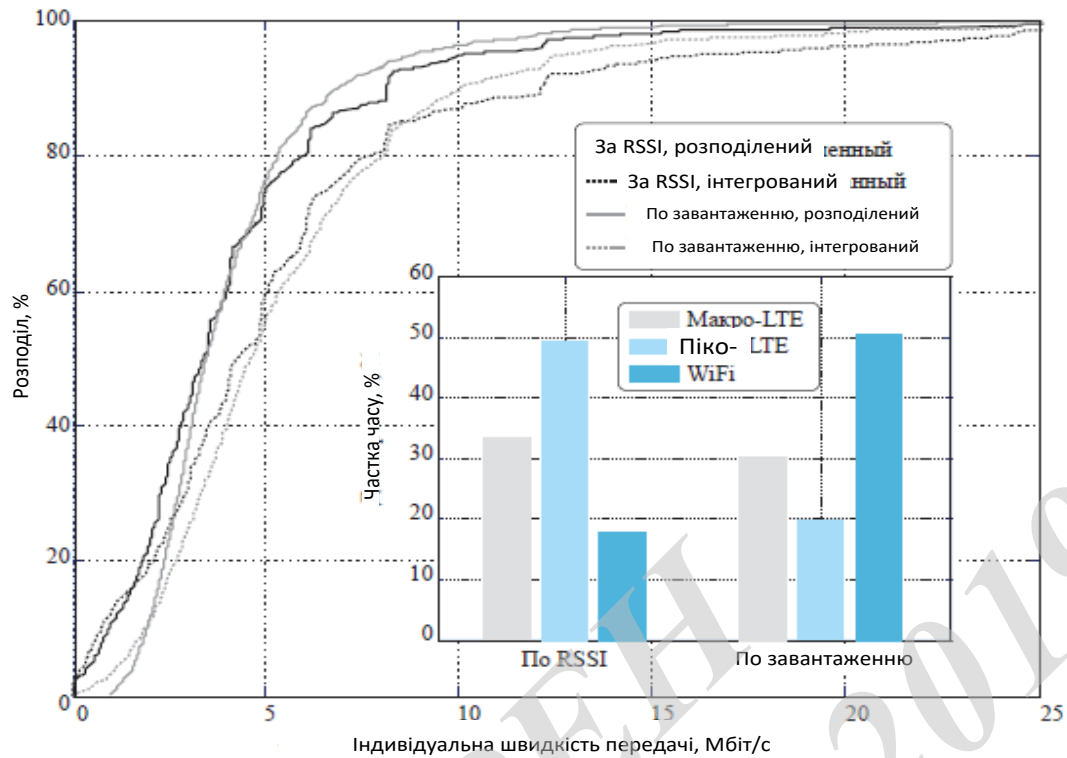


Рисунок 3.22 - Розподіл індивідуальної швидкості передачі даних

3.5 Висновки до розділу 3

В результаті розроблена модель гетерогенної мережі з набором інтегрованих між собою технологій радіодоступу, що враховує обслуговування потоків трафіку (сесій) від безлічі користувачів і високу щільність розміщення вузлів мережевої інфраструктури, дозволяє оцінювати параметри якості обслуговування, такі як середнє число одночасно передають користувачів і ймовірність блокування їх сесій. Крім того, запропонований алгоритм з поділом користувальницької сесії застосуємо для управління потоками трафіку в гетерогенній мережі з двома сполученими технологіями радіодоступу, яка характеризується високою щільністю розміщення вузлів мережевої інфраструктури, і дозволяє підвищити швидкість відправки даних користувачами, а також знизити середній час їх передачі.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок витрат на проведення НДР з дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж

В техніко-економічному обґрунтуванні представленому в першому розділі даної магістерської кваліфікаційної роботи було приблизно обґрунтовано доцільність проведення НДР. Тому в даному розділі будуть проведені більш детальні розрахунки витрат на проведення НДР з дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж.

Для економічного розрахунку витрат на проведення НДР потрібно скласти кошторис витрат, який передбачає розрахунок основних калькуляційних статей.

Основна заробітна плата дослідників та розробників, яка розраховується за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (4.1)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

T_p – число робочих днів в місяці, 21 дн;

t – число днів роботи розробника (дослідника).

Проведені розрахунки зводимо до таблиці.

Таблиця 4.1– Основна заробітна плата дослідників та розробників

| Найменування посади | Місячний посадовий оклад, грн. | Оплата за робочий день, грн. | Число днів роботи | Витрати на заробітну плату, грн. |
|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| 1. Керівник проекту | 10253,00 | 488,24 | 42 | 20506,00 |
| 2. Ст. науковий співробітник | 9456,00 | 450,29 | 40 | 18011,43 |
| 3. Інженер-радіотехнік 1 кат. | 9320,00 | 443,81 | 32 | 14201,90 |
| 4. Інженер-схемотехнік 1 кат. | 9320,00 | 443,81 | 21 | 9320,00 |
| Разом | | | | 62039,33 |

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p), що здійснюють встановлення обладнання, складання та попереднє налагодження відсутні в зв'язку з проведенням досліджень на основі програмно-математичного моделювання процесів що відбуваються в гетерогенних безпроводних мережах.

Додаткова заробітна плата розробників, дослідників та робітників, які приймали участь в розробці НДР розраховується як 11 % від основної заробітної плати розробників та робітників:

$$Z_o = Z_o \cdot 11 / 100\% \quad (4.2)$$

$$Z_o = 62039,33 \cdot 11 / 100 \% = 6824,33 \text{ (грн.)}$$

Нарахування на заробітну плату дослідників.

Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату для організацій всіх сфер діяльності складають 22 % від суми основної та додаткової заробітної плати.

$$H_z = (Z_o + Z_o) \cdot 22 / 100\% \quad (4.3)$$

$$H_z = (62039,33 + 6824,33) \cdot 22 / 100\% = 15150,01 \text{ (грн.)}$$

Суттєві витрати на матеріали та комплектуючі на даному етапі проведення НДР практично відсутні в зв'язку з моделюванням значної частини роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки.

Витрати на матеріали, що були використані при проведенні досліджень, розраховуються по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_1^n H_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (4.4)$$

де, - H_i - витрати матеріалу i -го найменування, кг;

C_i - вартість матеріалу i -го найменування, грн./кг.;

K_i - коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = 1,1$;

n - кількість видів матеріалів,

Проведені розрахунки зводимо до таблиці.

Таблиця 4.2 – Витрати на основні матеріали

| Найменування матеріалу, марка, тип, сорт | Одиниця виміру | Ціна за одиницю, грн. | Витрачено | Вартість витраченого матеріалу, грн. |
|---|-------------------|-----------------------------|-----------|---|
| Папір канцелярський | уп. | 112,00 | 2 | 224,00 |
| Компакт-диски | шт. | 10,50 | 3 | 31,50 |
| Канцелярські товари | компл. | 156,00 | 4 | 624,00 |
| Тонер для принтера | кг | 6575,00 | 0,02 | 131,50 |
| Інші витратні матеріали | - | 2100,00 | 1 | 2100,00 |
| Всього | | | | 3111,00 |

З врахуванням транспортних витрат вартість матеріалів складе

$$M = 3111,00 * 1,1 = 3422,10 \text{ грн.}$$

Амортизація обладнання для проведення досліджень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню можуть бути розраховані з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_г} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.5)$$

де $Ц_б$ – балансова вартість обладнання, приміщень тощо, які використовувались для розробки нового технічного рішення, грн.;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, приміщень під час розробки, місяців;

$T_г$ – строк корисного використання обладнання, приміщень тощо, років.

Проведені розрахунки необхідно звести до таблиці.

Таблиця 4.3 - Величина амортизаційних відрахувань

| Найменування обладнання | Балансова вартість, грн | Строк корисного використання, років | Термін використання обладнання, міс. | Величина амортизаційних відрахувань, грн |
|--|-------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Комп'ютеризований обчислювальний комплекс (FOX-12МС) | 13670,00 | 4 | 2 | 569,58 |
| Персональний комп'ютер Jamrex-IX6 | 10460,00 | 4 | 2 | 435,83 |
| Пристрої графічного виводу інформації | 12640,00 | 3 | 2 | 702,22 |
| Приміщення лабораторії | 164000,00 | 25 | 2 | 1093,33 |
| Всього | | | | 2800,97 |

Витрати на силову електроенергію на проведення досліджень розраховуються за формулою:

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_n, \quad (4.6)$$

де, V — вартість 1 кВт-години електроенергії, $V = 2,21$ грн./кВт –година;

P — встановлена потужність обладнання, кВт.;

Φ — фактична кількість годин роботи обладнання, годин. ;

K_n — коефіцієнт використання потужності.

Всі проведені розрахунки зведемо до таблиці

Таблиця 4.4– Витрати на електроенергію при проведенні досліджень

| Найменування обладнання | Кількість годин роботи обладнання, год. | Встановлена потужність, кВт | Коефіцієнт використання потужності | Величина оплати |
|--|---|-----------------------------|------------------------------------|-----------------|
| Комп'ютеризований обчислювальний комплекс (FOX-12МС) | 320,0 | 0,86 | 1 | 778,82 |

| | | | | |
|---------------------------------------|-------|------|---|---------|
| Персональний комп'ютер Jamrex-IX6 | 320,0 | 0,56 | 1 | 507,14 |
| Пристрої графічного виводу інформації | 55,00 | 0,34 | 1 | 52,92 |
| Всього | | | | 1338,87 |

Інші витрати.

Інші витрати охоплюють: загальновиробничі витрати, адміністративні витрати, витрати на відрядження, матеріали, окремі непередбачені комплектуючі тощо.

Інші витрати доцільно приймати як 200...300% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників.

Величина інших витрат складе:

$$I = 62039,33 * 200 / 100 = 124078,67 \text{ (грн.)}$$

Загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$V = 62039,33 + 6824,33 + 15150,01 + 3422,10 + 2800,97 + 1338,87 + 124078,67 = 215654,28 \text{ (грн.)}$$

4.2 Визначення коефіцієнта наукової значимості отриманих результатів НДР

Коефіцієнт наукової значимості результатів проведеної НДР K_{3H}

можна підрахувати за формулою:

$$K_{3H} = \frac{\sum_1^3 b_i \cdot d_i}{\sum_1^3 b_{\max} \cdot d_i}, \quad (4.7)$$

де b_i - значимість отриманих результатів: b_1 - ступінь наукової новизни, b_2

- рівень теоретичної обґрунтованості, b_3 - ступінь експериментальної перевірки результатів.

d_i - питома вага кожної характеристики, значення якої наведено в таблиці;

3 – кількість характеристик, за якими була зроблена оцінка результатів науково-дослідної роботи.

Бальна оцінка отриманих результатів наведена в таблиці .

Максимальне значення отриманих результатів можна прийняти в межах 7...10 балів;

Таблиця 4.5 – Показники для оцінювання наукової значимості результатів виконання НДР

| Характеристики | Питома вага характеристик | Бальна оцінка характеристик | | |
|----------------|---------------------------|--|---|--|
| | | Ступінь новизни b_1 | Рівень теоретичної обґрунтованості b_2 | Ступінь експериментальної перевірки результатів b_3 |
| | | 1 | 3...5 | 7...10 |
| b_1 | 0,500 | Часткове удосконалення виробів, технологій, матеріалів, програмного продукту, тощо | Суттєве удосконалення виробів, технологій, матеріалів, програмного продукту, тощо | Нові напрямки в розробці виробів, технологій, матеріалів, програмного продукту, тощо. Створення принципово нової техніки |
| b_2 | 0,333 | Позитивне рішення на основі зроблених узагальнень | Установлення залежностей, які використовувались в інших випадках | Відкриття нових шляхів рішення задачі |
| b_3 | 0,167 | Експериментальна перевірка не робилась | Результати перевірялись на невеликій кількості даних | Результати перевірені на великій кількості даних |

Підставляючи числові дані $d_1 = 0,5$, $d_2 = 0,333$, $d_3 = 0,167$, $b_{\max} = 10$ у

вираз (4.7) оцінимо наукову значимість отриманих результатів:

$$K_{3H} = \frac{7 \cdot 0,5 + 7 \cdot 0,333 + 6 \cdot 0,167}{9 \cdot 0,5 + 9 \cdot 0,333 + 9 \cdot 0,167} = 0,76.$$

4.3 Внесок дослідника в досягнення отриманих результатів НДР

Особистий внесок дослідника в досягнення отриманих результатів НДР можна розрахувати за формулою:

$$V = \frac{k_{ТВІ} \cdot Z_i}{\sum_1^n k_{ТВІ} \cdot Z_i}, \quad (4.8)$$

де $k_{ТВІ}$ - коефіцієнт творчої участі кожного виконавця НДР, який оцінюється наступним чином: проведення досліджень – 3 бали, робоче проектування – 1,5 бали, освоєння – 1,0 балів.

Якщо виконавець приймав участь в декількох видах робіт, то береться сума відповідних балів;

Z_i - заробітна плата кожного виконавця НДР;

n - кількість всіх виконавців НДР,

Розраховуємо внесок дослідника:

$$V = \frac{3 \cdot 9320,00}{1,5 \cdot 10253,00 + 3 \cdot 9456,00 + 1,5 \cdot 9320,00} = 0,48.$$

4.4 Висновки до розділу 4

Загалом запланована науково-дослідна робота з дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж вимагає вкладення для проведення досліджень в межах 215654,00 грн.

Отримані результати досліджень мають високий рівень наукової значимості (в межах 0,76), що свідчить про доцільність проведення розробок.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У даному розділі наводиться розгляд небезпечних, шкідливих [1] і уражаючих для людини і оточуючого довкілля факторів, що утворюються при проведенні дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж. Тут висвітлюються, зокрема, технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення попередніх площі світлових прорізів у покритті в умовах природного верхнього освітлення, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні дослідження, безпека в надзвичайних ситуаціях.

5.1 Виробнича санітарія та гігієна праці

5.1.1 Склад повітря робочої зони та мікроклімат

Визначаємо для приміщення для проведення дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іб.

Відповідно до [2] допустимі показники температури, відносної вологості та швидкості руху повітря у робочій зоні для холодного та теплого періодів року приведені у таблиці К.1 додатку К.

Для опромінення менше 25% поверхні тіла людини, допустима інтенсивність теплового опромінення – 100 Вт/м^2 .

Повітря робочої зони не повинно містити шкідливих речовин з концентраціями вище гранично допустимих концентрацій (ГДК) у повітрі робочої зони і підлягає систематичному контролю для запобігання можливості перевищення ГДК, значення яких для роботи з ЕОМ наведено в таблиці К.2 додатку К.

При використанні ЕОМ джерелом зараження повітря є також іонізація молекул речовин, що містяться у повітрі. Рівні додатних та від'ємних іонів мають відповідати [4] і приведені в таблиці К.3 додатку К.

З метою забезпечення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату і складу повітря робочої зони запропоновано: в приміщенні повинна бути встановлена система кондиціонування для теплого і опалення для холодного періодів року; застосування вентиляції, яка видаляє забруднення або нагріте повітря з приміщення, а також за допомогою неї контролюється швидкість руху повітря і вологість.

5.1.2 Виробниче освітлення

З метою забезпечення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях значні вимоги висуваються до кількісних та якісних показників освітлення.

З погляду задач зорової роботи в приміщенні, в якому проводиться робота з дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж, відповідно до [3] знаходимо, що вони відносяться до IV розряду зорових робіт. Вибираємо контраст об'єкта з фоном – великий, а характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд g .

Нормовані значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) і мінімальні значення освітленості для штучного освітлення приведені в таблиці К.4 додатку К.

Так як приміщення знаходиться у м. Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а світлові проїми орієнтовані за азимутом 180° , то для таких умов КЕО розраховується за формулою [3, 4]

$$e_N = e_n m_N [\%], \quad (5.1)$$

де e_n – табличне значення КЕО для бокового освітлення, %;

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – порядковий номер групи забезпеченості природним світлом.

Підставляючи відомі значення одержимо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

$$e_{N.б} = 1,5 \cdot 0,85 = 1,28 (\%);$$

$$e_{N.с} = 0,9 \cdot 0,85 = 0,77 (\%). \quad (5.2)$$

З метою встановлення нормованих значень показників освітлення запропоновано: при недостатньому природному освітленні в світлий час доби доповнення штучним за допомогою люмінесцентних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення; застосування штучного освітлення у темний час доби.

Вихідні дані: орієнтація світлових прорізів за азимутом 180° . Розміри приміщення (м): $8 \times 6 \times 3,2$. Висота світлових прорізів у покритті 2,2 м.

Висота від стіни до підвіконня – 0,8 м. Остіклення одинарне, плетіння дерев'яні.

Розрахункове значення коефіцієнта природної освітленості визначається за формулою [3]:

$$e_{\Pi} = \frac{nS_B \tau_3 r_1 100}{K_3 \eta_B S_{\Pi} K_{БУД}} [\%], \quad (5.3)$$

звідки сумарна площа світлових прорізів у покритті може бути визначена за формулою

$$nS_B = \frac{e_{\Pi} K_3 \eta_B S_{\Pi} K_{БУД}}{\tau_3 r_1 100} [\text{м}^2], \quad (5.4)$$

де n – кількість світлових прорізів у покритті;

S_B, S_{Π} – площа світлового прорізу в покритті та підлоги відповідно, м^2 ;

τ_3 – загальний коефіцієнт світлопропускання;

r_1 – коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при комбінованому освітленні завдяки світлу, яке відбивається від поверхонь приміщень;

K_3 – коефіцієнт запасу (для виробничих приміщень $K_3 = 1,3 \dots 1,5$);

η_B – світлова характеристика світлових прорізів у покритті;

$K_{БУД}$ – коефіцієнт, що враховує затінення світлових прорізів у покритті будівлями, які розташовані напроти.

Кількість світлових прорізів у покритті $n = 1$.

Площу кожного світлового прорізу в покритті знайдемо за формулою

$$S_B = H_B B_B [\text{м}^2], \quad (5.5)$$

де H_B, B_B – висота та ширина світлового прорізу в покритті відповідно.

Площа стелі рівна площі підлоги і знаходиться за формулою

$$S_{стелі} = S_{\Pi} = L_{\Pi} B_{\Pi} [\text{м}^2], \quad (5.6)$$

де L_{Π}, B_{Π} – довжина та ширина підлоги відповідно, м.

Знайдемо загальний коефіцієнт світлопропускання за формулою:

$$\tau_3 = \tau_1 \tau_2 \tau_3 \tau_4 \tau_5, \quad (5.7)$$

де τ_1 – коефіцієнт світлопропускання матеріалу;

τ_2 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у віконній рамі;

τ_3 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у несучих конструкціях (при боковому освітленні $\tau_3 = 1$; при верхньому – $\tau_3 = 0,8-0,9$);

τ_4 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у сонцезахисних пристроях;

τ_5 – коефіцієнт, що враховує втрати світла у захисній сітці, яка встановлюється під ліхтарями (при суміщеному освітленні приймається рівним 0,9; при природному 1).

Для одинарного остіклення вибираємо $\tau_1 = 0,9$. Для дерев'яного виду віконних рам $\tau_2 = 0,75$. Для верхнього освітлення приймаємо $\tau_3 = 0,85$.

Оскільки сонцезахисні пристрої не використовуються, то приймаємо $\tau_4 = 1$.

Для природного освітлення приймаємо $\tau_5 = 1$.

Після підстановки відомих значень у формули (5.5, ..., 5.7) отримаємо

$$S_B = 2,2 \cdot 2,2 = 4,8 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$S_{стелі} = S_{пл} = 8 \cdot 6 = 48 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$\tau_3 = 0,9 \cdot 0,75 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 1 = 0,57.$$

Приймаємо коефіцієнт запасу $K_3 = 1,3 \dots 1,5 = 1,4$.

Для визначення коефіцієнту τ_1 необхідно знайти середній коефіцієнт відбиття приміщення за формулою:

$$\rho_{CP} = \frac{\rho_{стелі} S_{стелі} + \rho_{стін} S_{стін} + \rho_{П} S_{П}}{S_{стелі} + S_{стін} + S_{П}}, \quad (5.8)$$

де $\rho_{стелі}$, $\rho_{стін}$, $\rho_{П}$ – коефіцієнти відбиття стелі, стін та підлоги відповідно;
 $S_{стелі}$, $S_{стін}$, $S_{П}$ – площа стелі, стін, та підлоги відповідно, м².

Приймаємо $\rho_{стелі} = 0,725$; $\rho_{стін} = 0,7$; $\rho_{П} = 0,25$.

Площу стін знайдемо за формулою

$$S_{стін} = H_{стіни}(2L_{П} + 2B_{П}) [м^2], \quad (5.9)$$

де $H_{стіни}$ – висота стіни, м.

Після підстановки відомих значень у формули (5.9, 5.8) отримаємо

$$S_{стін} = 3,2 \cdot (2 \cdot 8 + 2 \cdot 6) = 89,6 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$\rho_{CP} = \frac{0,725 \cdot 48 + 0,7 \cdot 89,6 + 0,25 \cdot 48}{48 + 89,6 + 48} = 0,5901.$$

Для визначення коефіцієнту r_1 необхідно також визначити співвідношення

$$B_n / h; l / B_n; L_n / B_n, \quad (5.10)$$

де h – висота від рівня умовної робочої поверхні до верхнього краю світлового прорізу у покритті, м;

l – відстань розрахункової точки до зовнішньої стіни, м.

Визначимо висоту від рівня умовної робочої поверхні до верхнього краю світлового прорізу у покритті за формулою:

$$h = H_{стіни} - h_p - (H_{стіни} - H_B - h_{П}) = H_B + h_{П} - h_p [м], \quad (5.11)$$

де $h_p = 0,8$ м – висота робочої поверхні.

Розрахункову точку приймаємо на відстані 1 м від стіни, протилежної від світлового прорізу у покритті

$$l = B_n - 1 [м]. \quad (5.12)$$

Після підстановки відомих значень у формули (5.11, 5.12) отримаємо

$$l = 6 - 1 = 5 \text{ (м)};$$

$$h = 2,2 + 0,8 - 0,8 = 2,2 \text{ (м)}.$$

Таким чином, співвідношення, необхідні для визначення коефіцієнту r_1 дорівнюють $B_n/h = 6 / 2,2 = 2,73$; $l/B_n = 5 / 6 = 0,83$; $L_n/B_n = 8 / 6 = 1,33$.

За отриманими значеннями і величиною $\rho_{\text{ср}}$ вибираємо коефіцієнт $r_1 = 9,41$. Світлову характеристику вікон вибираємо за значеннями співвідношень L_n/B_n ; B_n/h , для яких $\eta_B = 15,4$.

Оскільки конфронтуючі будинки відсутні, то $K_{\text{БВД}} = 1$.

Ширина світлового прорізу у покритті знаходиться за формулою

$$B_{\text{с}} = \frac{nS_{\text{с}}}{nH_{\text{с}}} \text{ [м]}. \quad (5.13)$$

Отже, після підстановки відомих значень у формули (5.4, 5.13) отримаємо

$$nS_{\text{с}} = \frac{1,28 \cdot 1,4 \cdot 15,4 \cdot 48 \cdot 1}{0,57 \cdot 9,41 \cdot 100} = 2,47 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$B_{\text{с}} = \frac{2,47}{1 \cdot 2,2} = 1,12 \text{ (м)}.$$

5.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що під час експлуатації пристроїв крім усього іншого обладнання застосовується устаткування, робота якого генерує шум та вібрацію, необхідно передбачити захист від шуму та вібрації.

Визначено, що приміщення, в якому проводиться робота з дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж може містити робочі місця із шумом та вібрацією, що створюється вентиляторами блоку живлення комп'ютера і кулерами мікропроцесора, відеоадаптера.

З метою попередження травмування працюючих під дією шуму він підпадає під нормування. Основним документом з питань промислового шуму, що діє на території нашої країни, є [5], у відповідності з яким нормовані рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях у промислових приміщеннях не повинні перевищувати значень, що приведені у таблиці К.5 додатку К. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці К.6 додатку Х для локальної вібрації.

Для поліпшення віброакустичного клімату у приміщенні передбачено:

- 1) постійне змащування підшипників вентиляторів блоку живлення комп'ютера та кулерів мікропроцесора та відеоадаптера;
- 2) передбачено використовувати в приміщенні штори із щільної тканини.

5.1.4 Виробничі випромінювання

Значення напруженості електромагнітного поля на робочих місцях з персональними комп'ютерами не повинні перевищувати граничнодопустимі, які складають 20 кВ/м.

Експозиційна доза рентгенівського випромінювання на відстані 5 см від екрана до корпусу монітора при будь-яких положеннях регулювальних пристроїв не повинні перевищувати $7,74 \cdot 10^{-12}$ Кл/кг, що відповідає потужності еквівалентної дози 0,1 мБер/год (100 мкР/год) у відповідності до [14].

З метою гарантування захисту і досягнення нормативних рівнів випромінювань потрібно застосовувати приєкранні фільтри, локальні світлофільтри та інші засоби захисту, що пройшли випробування в акредитованих лабораторіях і мають щорічний гігієнічний сертифікат.

5.2 Технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні дослідження

Сучасний етап розвитку техніки, автоматизації розробок та досліджень характеризується широким використанням на робочому місці ЕОМ. Велика кількість прикладних програм перетворює ЕОМ на основне знаряддя праці радіоінженера.

5.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Розташування робочих місць, оснащених ЕОМ виконується в приміщеннях з однобічним розміщенням світлових отворів, що неодмінно повинні бути оснащені сонцезахисним засобами: шторами та жалюзіями [7].

При розміщенні робочих місць у приміщеннях з джерелами небезпечних та шкідливих виробничих факторів, вони повинні розміщатись в повністю ізольованих кабінетах з природним освітленням та організованою вентиляцією. Площа, на якій розташовується одне робоче місце для обслуговуючого персоналу, повинна становити не менше $6,0 \text{ м}^2$, об'єм – не менше як 20 м^3 , а висота – не менше $3,2 \text{ м}$ [8].

Поверхня підлоги повинна бути рівною, без вибоїн, не слизькою, зручною для вологого прибирання, мати антистатичні властивості. Забороняється застосовувати для оздоблення інтер'єру полімери, що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини.

5.2.2 Електробезпека

У середині приміщення, в якому проводиться робота з дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж, значну увагу слід надати уникненню загрози ураження електричним струмом. Згідно [9] дане приміщення відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом в наслідок наявності значної (понад 75 %) відносної вологості. Тому безпека використання електрообладнання повинна гарантуватись рядом заходів, які передбачають використання ізоляції струмовідних елементів, захисних блокувань, захисного заземлення та ін [10].

5.2.3 Пожежна безпека

Відповідно до [11] приміщення, де проводиться робота з дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж, відноситься до категорії пожежної небезпеки Б. Це приміщення відноситься до 3-го ступеня вогнестійкості, в якому приміщення знаходяться в будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону.

Мінімальні межі вогнестійкості конструкцій розглядуваного приміщення наведені в таблиці К.7. В таблиці К.8 наведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Встановлюємо, що приміщення, де проводиться робота з дослідження, має бути обладнане двома вогнегасниками, пожежним щитом, а також ємністю з піском [12].

5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Визначення області працездатності гетерогенної безпроводної мережі в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуацій.

Надзвичайна ситуація (далі – НС) – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, спричинене аварією, катастрофою, стихійним лихом чи іншою небезпечною подією, зокрема епідемією, епізоотією, епіфітотією, пожежею, що призвело (може призвести) до виникнення великої кількості постраждалих, загрози життю та здоров'ю людей, їх загибелі, значних матеріальних утрат, а також до неможливості проживання населення на території чи об'єкті, ведення там господарської діяльності [12].

Метою класифікації НС є створення ефективного механізму оцінювання події, що відбулася або може відбутися у прогнозований термін, та визначення ступеня реагування на відповідному рівні управління.

Крім того, ще виділяють надзвичайні ситуації воєнного характеру – порушення нормальних умов життя та діяльності людей на окремій території чи об'єкті на ній або на водному об'єкті, спричинене застосуванням звичайної зброї або зброї масового ураження, під час якого виникають вторинні чинники ураження населення, що її визначають в окремих нормативних документах.

Джерелами іонізуючих випромінювань є радіоактивні елементи і їх ізотопи, ядерні реактори, прискорювачі заряджених частинок та ін. Рентгенівські установки і високовольтні джерела постійного струму відносяться до джерел рентгенівського випромінювання.

Дія іонізуючих випромінювань на елементну базу електронних пристроїв та систем як правило викликає зміну практично всіх електричних і експлуатаційних характеристик їх елементів. Цей процес залежить від протікання процесів іонізації і порушення структури матеріалів зі зміною перехідних струмів в р-п переходах транзисторів, вольт-амперних

характеристик напівпровідникових діодів, опорів транзисторів, ємностей конденсаторів, тощо.

Наслідком дії іонізуючих випромінювань на автоматизовані системи може бути миттєва втрата працездатності при критичних рівнях радіації або розвиток відновлюваних чи невідновлюваних змін через деякий час після радіоактивного зараження при рівнях радіації значно нижчих від критичних.

Дія електромагнітного випромінювання характеризується генерацією дуже короткого (10^{-7} с), але інтенсивного електромагнітного імпульсу, який розповсюджується від джерела з інтенсивністю, що зменшується, у відповідності з теорією електромагнетизму. Цей імпульс енергії створює потужне електромагнітне поле, особливо поблизу джерел виникнення. Поле може бути достатньо сильним, щоб викликати короточасні перенапруження в тисячі вольт в електричних провідниках, таких як контактна проводка або провідні доріжки мікросхем.

Залежно від електромагнітної стійкості електроніки до дії ЕМІ і інтенсивності поля, обладнання може бути необоротно пошкоджене або, іншими словами, електрично знищено. Заподіяне пошкодження мало чим відрізняється від того, що можна чекати від близького удару блискавки і може потребувати повної заміни системи, або, принаймні, істотної її частини.

Тому комп'ютери, що використовуються в безпроводних мережах комунікаційних системах, системах відображення інформації, системах промислового контролю потенційно уразливі до дії ЕМІ.

5.3.1 Визначення області працездатності роботи гетерогенної безпроводної мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань

Критерієм стійкості роботи гетерогенної безпроводної мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань приймається максимальне значення експозиційної дози ($D_{e,гр}$), при якій можуть виникнути зворотні зміни параметрів елементів, але робота приймача ще не порушується.

Вихідними даними для оцінки є максимальне значення потужності дози через одну годину після аварії p_{1max} Р/год; коефіцієнт послаблення радіації виробничими приміщеннями, транспортними засобами, $K_{посл}$. Приймаємо $p_{1max}=4,75$ Р/год, $K_{посл}=1$; $t_{п}=1$ год; $t_{рmax}=40000$ год.

Дослідження проводиться в наступній послідовності.

1. Аналізується схема стільникової мережі і елементи від яких залежить робота. В нашому випадку це мікросхеми, транзистори,

конденсатори, резистори. Для кожного елементу визначається максимально допустима експозиційна доза ($D_{гр.i}$). Дані заносимо в таблицю 6.6. Аналізуємо дані і за мінімальним значенням $D_{гр.i}$ визначається границя стійкості роботи гетерогенної безпроводної мережі.

2. Визначається можлива експозиційна доза опромінення системи в заданих умовах протягом експлуатаційного терміну:

Таблиця 5.1 – Граничні дози опромінення елементів

| № блоку | Блок | Елементи РЕА | $D_{зві}, P$ | $D_{звб}, P$ | $D_{гр}, P$ |
|---------|--------------------|------------------------|--------------|--------------|-------------|
| 1 | Живлення | Мікросхеми | 10^5 | 10^4 | 10^4 |
| | | Діоди | 10^4 | | |
| 2 | Приймальний блок | Конденсатори | 10^7 | 10^5 | |
| | | Резистори | 10^7 | | |
| | | Діелектричні матеріали | 10^5 | | |
| 3 | Передавальний блок | Резистори | 10^7 | 10^5 | |
| | | Діелектричні матеріали | 10^5 | | |

$$D_M = \frac{2 \cdot P_{1max} \cdot (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{посл}} = \frac{2 \cdot 4,75 \cdot (\sqrt{40000} - \sqrt{1})}{1} = 1890,5 P.$$

3. Граничне значення експозиційної дози ($D_{гр.min}$) порівнюється з D_M , що очікується, і робиться висновок про стійкість роботи пристрою. Оскільки $D_{гр.min} > D_M$ то імпульсний металошукач стійкий до радіації.

4. Розраховується допустимий час безпечної роботи гетерогенної безпроводної мережі у заданих умовах:

$$t_d = \left(\frac{D_{гр.min} \cdot K_{посл} + 2 \cdot p_{1.max} \cdot \sqrt{t_n}}{2p_{1.max}} \right)^2 = \left(\frac{10^4 \cdot 2 + 2 \cdot 4,75 \sqrt{1}}{2 \cdot 4,75} \right)^2 = 2058,61 \text{ (год)}.$$

Отже, можлива доза опромінення елементної бази мережі складає 1890,5 P, а допустима – 10000 P. Тож мережа є стійкою в умовах дії іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи мережі в заданих умовах становить 2058,61 год., при рівні радіації 4,75 P/год.

5.3.2 Визначення області працездатності гетерогенної безпроводної мережі в умовах дії електромагнітного імпульсу

Дослідження стійкості роботи стільникової мережі ведеться в послідовності:

1. Визначається горизонтальна складова напруженості електричного поля

$$E_{\Gamma} = 10^{-3} \cdot E_{\text{В}} = 10^{-3} \cdot 12,34 \cdot 10^3 = 12,34 \text{ (В/м)};$$

2. Гетерогенної безпроводної мережа розподіляється на окремі функціональні вузли: система живлення, приймальні та передавальні блоки. На кожній ділянці визначається максимальна довжина вертикальної і горизонтальної струмопровідної частини $l_{\text{В}}$ і l_{Γ}

На ділянці системи живлення максимальна довжина вертикальної і горизонтальної струмопровідної частини $l_{\text{В,Ж}} = 0,13$ м, $l_{\Gamma,Ж} = 0,11$ м. На ділянці прийомного та передавального блоку $l_{\text{В,М}} = 0,017$ м, $l_{\Gamma,М} = 0,021$ м.

3. Для кожної ділянці визначаються наведені напруги у струмопровідних частинах.

На ділянці системи живлення:

$$U_{\text{В,Ж}} = E_{\Gamma} \cdot l_{\text{В,Ж}} = 12,34 \cdot 0,13 = 1,6 \text{ (В)};$$

$$U_{\Gamma,Ж} = E_{\text{В}} \cdot l_{\Gamma,Ж} = 12,34 \cdot 10^3 \cdot 0,11 = 1357 \text{ (В)}.$$

На ділянці прийомного та передавального блоків:

$$U_{\text{В,М}} = E_{\Gamma} \cdot l_{\text{В,М}} = 12,34 \cdot 0,017 = 0,2 \text{ (В)};$$

$$U_{\Gamma,М} = E_{\text{В}} \cdot l_{\Gamma,М} = 12,34 \cdot 10^3 \cdot 0,021 = 259,14 \text{ (В)}.$$

4. Визначається допустиме коливання напруги живлення:

$$U_{\text{Д}} = U_{\text{Ж}} + \frac{U_{\text{Ж}} \cdot N}{100} \text{ (В)},$$

На ділянці системи живлення:

$$U_{\text{дж}} = U_{\text{ж}} + \frac{U_{\text{ж}} \cdot N}{100} = 12 + \frac{12}{100} \cdot 5 = 12,12 \text{ (В)}.$$

На ділянці прийомного та передавального блоків:

$$U_{\text{дм}} = U_{\text{м}} + \frac{U_{\text{м}} \cdot N}{100} = 5 + \frac{5}{100} \cdot 5 = 5,05 \text{ (В)}.$$

5. Визначаються коефіцієнти безпеки:

$$K_{\text{бв}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{в}}}, \quad K_{\text{бг}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{г}}}.$$

Для ділянки живлення:

$$K_{\text{бвж}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{дж}}}{U_{\text{вж}}} = 20 \cdot \lg \frac{12,12}{1,6} = 17,9 \leq 40 \text{ (дБ)};$$

$$K_{\text{бгж}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{дж}}}{U_{\text{гж}}} = 20 \cdot \lg \frac{12,12}{1357} = -40,63 \leq 40 \text{ (дБ)};$$

Для ділянки прийомного та передавального блоків

$$K_{\text{бвм}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{дм}}}{U_{\text{вм}}} = 20 \cdot \lg \frac{5,05}{0,2} = 28 \leq 40 \text{ (дБ)};$$

$$K_{\text{бгм}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{дм}}}{U_{\text{гм}}} = 20 \cdot \lg \frac{5,2}{259,14} = -33,6 \leq 40 \text{ (дБ)};$$

6. Результати розрахунків заносимо в таблицю 8.7

Таблиця 5.2 – Результати розрахунків коефіцієнтів безпеки гетерогенної безпроводної мережі.

| Дільниця | U _д , В | E _в , В/м | E _г , В/м | U _в , В | U _г , В | K _{бв} , дБ | K _{бг} , дБ |
|----------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Живлення | 12,12 | 12340 | 12,34 | 1,6 | 1357 | 17,9 | -40,63 |
| Приймний та пе-редавальний блоки | 5,05 | 12340 | 12,34 | 0,2 | 259,14 | 28 | -33,6 |

7. Дані таблиці аналізуємо і робимо висновки

За результатами розрахунків можна зробити висновок, що коефіцієнти безпеки набагато менше 40 дБ, тому необхідно застосовувати екранування.

5.3.3 Розробка заходів по підвищенню стійкості роботи гетерогенної безпроводної мережі в умовах дії загрозливих чинників НС

Тож гетерогенної безпроводної мережі є умовно стійкою в умовах впливу іонізуючого випромінювання. Допустимий час роботи системи в заданих умовах становить 2058,61 год., при рівні радіації 4,86 Р/год. Для додаткового захисту можна застосувати підбір радіаційно стійкої елементної бази та перебування блоків системи зв'язку в більш захищених приміщеннях.

Від впливу на систему ЕМІ необхідно застосувати додаткове екранування. Визначається перехідне гасіння енергії електричного поля екраном (А, дБ). Для сталеного екрану визначається за допомогою формули:

$$A = 5,2 \cdot t \cdot \sqrt{f}, \text{ (дБ)},$$

де t - товщина стінки екрану, см;

f – частота $f=13000$ Гц.

Для дільниці живлення:

$$A_{ГЖ}=35-(-40,63)=75,63 \text{ (дБ)},$$

$$t = \frac{A_{ГЖ}}{5,2\sqrt{f}} = \frac{75,63}{5,2\sqrt{13000}} = 0,128 \text{ (см)}.$$

Для дільниць приймального та передавального блоків:

$$A_{ГМ}=35-(-33,6)=68,6 \text{ (дБ)},$$

$$t = \frac{A_{ГЖ}}{5,2\sqrt{f}} = \frac{68,6}{5,2\sqrt{13000}} = 0,115 \text{ (см)}.$$

Отже даному підрозділі була проведена дослідження стійкості роботи гетерогенної безпроводної мережі в умовах дії іонізуючих випромінювань і електромагнітного імпульсу. В умовах дії іонізуючих випромінювань час роботи системи перевищив заданий час. Після застосування сталевого екрану коефіцієнт безпеки став не менше 40 дБ, а тому стільникова система є стійкою до ЕМІ і може працювати без збоїв.

Крім того, для захисту гетерогенної безпроводної мережі можна вжити такі заходи:

- використання в апаратурі стійких до радіації елементів і матеріалів;
- застосування різних загальних екранів за рахунок будівельних конструкцій та оздоблення;
- застосування активного захисту від дії радіації;
- використання схем малочутливих до зміни електричних параметрів;
- зменшення чутливості перемикальних схем до зміни вхідних сигналів і напруг джерел живлення;
- зниження напруги живлення до мінімально необхідного для функціонування приладу;
- застосування пристроїв та елементів схем, що вимикають радіотехнічні схеми на час дії радіації або стрибків напруги, що може також бути наведена електромагнітним імпульсом;
- збільшення відстані між елементами, які знаходяться під навантаженням або додаткова їх ізоляція і зменшення довжини струмопровідних частин обладнання та ін.
- для забезпечення нормованих параметрів інтенсивності теплового випромінювання в приміщенні потрібно використати кондиціонування повітря.

5.3.4 Висновки

Під час виконання даного розділу було розглянуто такі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, розраховано стійкість роботи та облась працездатності гетерогенної безпроводної мережі в умовах дії ЕМІ. В умовах дії іонізуючих випромінювань час роботи системи перевищив заданий час. При дії ЕМІ необхідно застосування сталевого екрану товщиною 0,128 мм для ділянки живлення та 0,115 мм для ділянки передавального та приймального блоків.

5.4 Висновки до розділу 5

В результаті написання цього розділу було розглянуто такі питання охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, визначення попереднє площі світлових прорізів у покритті в умовах природного верхнього освітлення, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки при проведенні дослідження моделей множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж, безпека у надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано метод прямого визначення початкових розщеплення рівнів парамагнітних крамерсових іонів в кристалічному полі. визначено початкові розщеплення, параметри спін-гамільтоніана і їх температурна залежність для іонів Fe^{3+} в кристалах андалузиту і рутилу. Прямі вимірювання початкових розщеплення і ширини ліній ЕПР міжблетних переходів крамерсовських іонів дозволяє з високою точністю визначити параметри локального кристалічного поля і величину їх розкиду, викликаного недосконаlostями кристалів.

2. У гранульованих ВТСП слабкозв'язаних структурах з розмірами, значно переважаючими довжину когерентності, виникають явища, характерні для джозефсонівських переходів, обумовлені когерентним рухом магнітних вихорів.

Виявлено і досліджено власне когерентне випромінювання ММХ з гранульованих ВТНП-мостікових структур довжиною значно перевершує довжину когерентності, і дано пояснення в рамках теорії когерентного руху магнітних вихорів.

3. Виявлено, що в двокомпонентним сумішах анізотропних металоксидів з різними коефіцієнтами Зеєбека в околиці концентрацій, відповідних перколяційним значенням, виникає термоерс більша, ніж у кожної компоненти в окремо. Дане явище відкриває новий шлях для підвищення термодобротності елементом Пельтьє.

4. У міліметровому і субміліметровому діапазонах довжин хвиль найбільш адекватними електродинамічними структурами для побудови функціональних пристроїв є металодіелектричні структури із зовнішніми еванесцентими полями. У ММХ і СубММХ діапазонах на основі ЗДВ розроблена гамма функціональних пристроїв - феритові вентиля, антени з частотним хитанням діаграми спрямованості, оптокерований модулятори і інтегральні вхідні модулі приймальних систем.

5. У багатошарових хвилевідно-діелектричних структурах з нелінійними і активними кристалами шляхом відповідного вибору формату структури і граничних умов можна досягти необхідних умов синхронізму для ефективного перетворення і посилення міліметрових терагерцових хвиль.

6. Вперше для бездисперсійної передачі надширокосмугових ТГц хвиль запропонований, вивчений і реалізований гнучкий хвилевід, що складається з паралельних скривлених металевих поверхонь.

Запропонований для субміліметрового діапазону хвилевід при порушенні квазі ТЕМ-хвилі забезпечує бездисперсійне поширення з малими дифракційними втратами і з високою щільністю потоку потужності поблизу хвильовопровідних поверхонь.

7. У радіолініях ММДХ дальність надійного зв'язку визначається тільки умовами поширення і практично не залежить від параметрів радіоприймальних пристроїв. Переважною архітектурою трансиверів ММДХ є прямий синтез і пряме перетворення сигналів.

8. У радарях з OFDM-сигналами і з QPSK-модуляцією шляхом визначення параметрів спотворення сигнальної решітки можливе одночасне визначення часу затримки (Відстань до цілі) і доплерівської частоти (радіальної швидкості мети). запропоновано і досліджено новий економічний метод обробки OFDM-радарних сигналів з QPSK-модуляцією для визначення дальності і радіальної швидкості цілей. Показано, що на основі векторного аналізу виникаючих спотворень QPSK-решітки відбитого сигналу можливе одночасне визначення швидкості і координати цілей.

СПИСКИ ЛІТЕРАТУРИ

1. Justin J. Stambaugh, Roy K. Lee and William H. Cantrell. The 4 GHz Bandwidth Millimeter- Wave Radar, Lincoln Laboratory Journal, v.19, No 2, pp. 64-76, 2012.
2. N. Gopalsami, S. Bakhtiari, T.W. Elmer, A.C. Raptis. Application of Millimeter Wave Radiometry for Remote Chemical Detection, IEEE Trans. on MTT, v.56, Issue 3, pp.700-709, 2009.
3. C. Duarte et al. CWLFM Radar for Ship Detection and Identification, IEEE A&E Systems, Feb. 2008.
4. D.T.Petkie, F.C. De Lucia, C. Casto, P. Helminger, E.L. Jacobs, S. Moyer, S. Murrill, C. Hafford, S. Griffin and C. Frank. Active and passive millimeter and submillimeter wave imaging, Proc. of SPIE, vol. 5989, pp. 598918-1-8, 2011.
5. Susan L. Dexheimer. Terahertz Spectroscopy: Principles and Application, CRC Press, 2008.
6. S. Rongan, T.S. Rappaport, E. Erkip. Millimeter-Wave Cellular Wireless Network: Potentials and Challenger, Proceedings of The IEEE, vol.102, N 3, pp.366-385, 2014.
7. C. Wang, C. Lin, Q. Chen, B. Lu, X. Deng, J. Zhang. A10-Gbit/s Wireless Communication Link Using 16-QAM Modulation in 140-GHz band, IEEE Trans. on MTT, vol. 61, Issue 7, pp. 2737-2746, 2013.
8. Т.Н. Нарытник, В.Л. Бабак, М.Е. Ильченко, С.А.Кравчук. Микроволновые технологии в телекоммуникационных системах. Київ: Техніка, 2000.
9. Song H-J., Kim J-Y., Ajito K., Kukutsu N., Yaita M. 50Gb/s Direct Conversion QPSK Modulator and Demodulator MMICS for Terahertz Communications at 300GHz, IEEE Trans. on MTT, vol. 62, Issue 3, pp. 600-609, 2014.
10. Karim Mazouni, Armin Zeitler, A Kiko Kohmura and Shunichi Futatsumori. 76.5 GHz millimeter-wave radar for foreign objects debris detection on airport runways, International Journal of Microwave and Wireless Technologies, vol.4, Issue 03, pp. 317-326, 2012.
11. D. Rousseau, F. Chapeau-Blundeu. Supra threshold stochastic resonance and signal-to-noise ratio improvement in arrays of comparators, Physical Letters A, 321 (2004) 280-290.
12. M. Scolnik. Radar Handbook 3rd ed. McGraw-Hill, 2008.

13. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами наукового напрямку економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. В.О. Козловський – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 22 с.

14. Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – Вінниця : ВДТУ, 2003. – 75с.

15. ГОСТ 12.0.003-74.ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

16. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.

17. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.

18. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. – 384 с.

19. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.

20. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.

21. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

22. Методичні вказівки до опрацювання розділу "Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях" в дипломних проектах і роботах студентів спеціальностей, що пов'язані з функціональною електронікою, автоматизацією та управлінням / Уклад. О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 64 с.

23. Правила улаштування електроустановок. 2-е вид., перероб. і доп. – Х: "Форт", 2009. – 736 с.

24. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.

25. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.

26. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.

27. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.

28. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97), МОЗ України. – К., 1997.

ДОДАТКИ

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток А
(обов'язковий)

Технічне завдання

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Б
(обов'язковий)

Топологія типової гетерогенної мережі

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток В
(обов'язковий)

Архітектура гетерогенної мережі зв'язку

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Г
(обов'язковий)

Структура суміщеної гетерогенної мережі і область моделювання

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Д
(обов'язковий)

Середній час передачі даних терміналом

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Е
(обов'язковий)

Середня швидкість передачі даних терміналом

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Є
(обов'язковий)

Алгоритми управління трафіком в інтегрованій гетерогенній мережі

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток Ж
(обов'язковий)

Порівняльний аналіз алгоритмів керування трафіком

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток 3
(обов'язковий)

Розподіл індивідуальної швидкості передачі даних

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток К
(Довідниковий)

Нормовані значення виробничих чинників

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

Додаток А
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав.кафедри ТКСТБ ВНТУ,
канд. техн. наук, професор
Г.Г.Бортник
“ _ ” _____ 2019 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛЕЙ МНОЖИННОГО ДОСТУПУ ТА
АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ ІФОРМАЦІЙНИМИ ПОТОКАМИ ДЛЯ
ГЕТЕРОГЕННИХ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ
08-34.МКР.012.00.000 ТЗ

Керівник роботи
к.т.н., доц. кафедри ТКСТБ ВНТУ
Васильківський М.В.

Виконавець: ст. гр. ТКС-18м
Юй Чанхао

Вінниця-2019

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “02” 10 2019 року № 254 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 02.09.2019 р.

Дата закінчення: 09.12.2019 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою даної магістерської кваліфікаційної роботи є розробка і дослідження моделей множинного доступу для оцінки показників якості обслуговування в гетерогенних бездротових мережах з набором технологій радіодоступу в умовах високої щільності розміщення пристроїв, а також розробка і дослідження алгоритмів перенаправлення інформаційних потоків для зниження навантаження на стільникову мережу методом вивантаження трафіку в мережі інших технологій радіодоступу.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- розробка технічного завдання;
- розробка і дослідження моделей множинного доступу користувачів для гетерогенних бездротових мереж з набором технологій радіодоступу в умовах високої щільності розміщення пристроїв з метою оцінки параметрів якості обслуговування, що включає в себе: моделювання гетерогенної мережі з набором інтегрованих між собою технологій радіодоступу; моделювання гетерогенної мережі з можливістю встановлення прямих з'єднань між пристроями; моделювання мережі радіодоступу для обслуговування великого числа пристроїв; моделювання мережі радіодоступу для обслуговування безлічі носячих пристроїв;

- розробка і дослідження алгоритмів перенаправлення потоків трафіку з метою зниження навантаження на стільникову мережу радіодоступу, а також оцінка їх характеристик в гетерогенних бездротових мережах з урахуванням обслуговування потоків трафіку від взаємодіючих пристроїв, що включає в себе: створення алгоритму з поділом користувальницької сесії для суміщеної мережі радіодоступу; створення алгоритму з одночасним підключенням користувача до декількох вузлів мережевої інфраструктури; створення і реалізація протоколу управління системою прямих з'єднань для гетерогенної мережі; створення алгоритму розподілу трафіку користувачів в гетерогенній системі прямих з'єднань.

Об'єкт дослідження є гетерогенна бездротова мережа з набором технологій радіодоступу при високій щільності розміщення пристроїв, а предмет дослідження становлять моделі множинного доступу для гетерогенної бездротової мережі і алгоритми управління потоками трафіку з метою зниження навантаження на стільникову мережу радіодоступу.

Предмет дослідження є способи множинного доступу для користувачів гетерогенних мереж мобільного зв'язку в умовах високої щільності розміщення пристроїв, а також ефективні алгоритми управління потоками трафіку з метою зниження навантаження на стільникову мережу передачі даних.

Основними завданнями роботи є:

- техніко-економічне обґрунтування доцільності даної розробки;
- телекомунікаційні радіосистеми міліметрового діапазону хвиль;
- структура гетерогенних мереж зв'язку 5G;
- інтеграція технологій радіодоступу і ущільнення мережі;
- аналіз економічної ефективності проведеної розробки;

дослідження питань безпеки життєдіяльності.

Розроблена модель гетерогенної мережі з набором інтегрованих між собою технологій радіодоступу, що враховує обслуговування потоків трафіку

(сесій) від безлічі користувачів і високу щільність розміщення вузлів мережевої інфраструктури, дозволяє оцінювати параметри якості обслуговування, такі як середнє число одночасно працюючих користувачів і ймовірність блокування їх сесій. Крім того, запропонований алгоритм з поділом користувальницької сесії може використовуватись для управління потоками трафіку в гетерогенній мережі з двома сполученими технологіями радіодоступу, яка характеризується високою щільністю розміщення вузлів мережевої інфраструктури, і дозволяє підвищити швидкість відправки даних користувачами, а також знизити середній час їх передачі.

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Робота базується на результатах звіту з переддипломної практики “Дослідження множинного доступу та алгоритмів керування інформаційними потоками для гетерогенних безпроводних мереж”, який виконувався у ВНТУ 2019/2020 н.р. Під час підготовки магістерської кваліфікаційної роботи будуть використані матеріали цього звіту.

Список використаних джерел розробки:

3.1 Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и применение / Бернард Скляр ; [пер. с англ]. – М.: Изд. Дом “Вильямс”, 2003. – 1104с.

3.2 Song H-J., Kim J-Y., Ajito K., Kukutsu N., Yaita M. 50Gb/s Direct Conversion QPSK Modulator and Demodulator MMICS for Terahertz Communications at 300GHz, IEEE Trans. on MTT, vol. 62, Issue 3, pp. 600-609, 2014.

3.3 S. Rongan, T.S. Rappaport, E. Erkip. Millimeter-Wave Cellular Wireless Network: Potentials and Challenger, Proceedings of The IEEE, vol.102, N 3, pp.366-385, 2014.

3.4 C. Wang, C. Lin, Q. Chen, B. Lu, X. Deng, J. Zhang. A10-Gbit/s Wireless Communication Link Using 16-QAM Modulation in 140-GHz band, IEEE Trans. on MTT, vol. 61, Issue 7, pp. 2737-2746, 2013.

3.5 Положення про кваліфікаційну роботу у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. О. Н. Романюк, Р. Р. Обертюх, Т. О. Савчук, Л. П. Громова – Вінниця : ВНТУ, 2015 – 27 с.

3.6 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проєктів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.7 Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проєктах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.8 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.9 Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. Под ред. Э.Т.Романычевой.- М: Радио и связь, 1989.

3.10 Бортник Г.Г., Васильківський М.В. Методичні вказівки до підготовки магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2018.- 50 с.

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, студент групи ТКС-18м Юй Чанхао

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження моделей множинного доступу до гетерогенних безпроводних мереж.

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- радіус гетерогенної безпроводної мережі – 2 км;
- радіус зони обслуговування – 100 м;
- густина розміщення – 100 на км²;
- радіус кластера – 10 м;
- інтенсивність надходження нових сесій – змінна;
- середній розмір файла інформаційного повідомлення – 1,5 Мбіт;
- смуга пропускання каналу передачі – 20 МГц;
- рівень шуму на вході приймача – -106 дБм;
- максимальна швидкість передачі даних – 300 Мбіт/с;
- значення SNR – 20 дБ;
- максимальний рівень потужності передавача – 23 дБм;
- поріг SNR при переключенні – 20 дБм.

При розробці ІКМ слід максимально використовувати стандартні та уніфіковані деталі.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

| № | Назва та зміст етапу | Термін виконання | | Очікувані результати | Звітна документація |
|----|---|------------------|--------------|----------------------|---------------------|
| | | початок | закінчення | | |
| 1. | Розробка технічного завдання (ТЗ) | 02.09.2019р. | 06.09.2019р. | Розроблене ТЗ | Додаток А |
| 2. | Техніко-економічне обґрунтування розробки (ТЕО) | 09.09.2019р. | 13.09.2019р. | Розроблене ТЕО | Вступ. Розділ 1. |

| | | | | | |
|-----|--|---------------|---------------|-----------------------------------|------------------------|
| 3. | Телекомунікаційні радіосистеми міліметрового діапазону хвиль | 16.09.2019р. | 04.10.2019р. | Проведений аналіз | Розділ 2 |
| 4. | Структура гетерогенних мереж зв'язку 5G | 07.10.2019р | 25.10.2019р. | Розроблена структура мережі | Розділ 3 |
| 5. | Інтеграція технологій радіодоступу і ущільнення мережі | 28.10.2019р. | 08.11.2019р. | Характеристики і параметри мережі | Розділ 4 |
| 6. | Аналіз економічної ефективності | 11.11.2019р. | 15.11.2019р. | Економічна частина МКР | Розділ 5 |
| 7. | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях | 18.11.2019р. | 22.11.2019р. | Частина ОТ та БНС | Розділ 6 |
| 8. | Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини | 25.11.2019р. | 29.11.2019р. | Оформлена документація | ПЗ та графічна частина |
| 9. | Нормоконтроль, попередній захист, рецензування МКР | 02.12. 2019р. | 06.12.2019р. | Позитивні відзиви | Відзив. рецензія |
| 10. | Захист МКР ЕК | | 09.12. 2019р. | Позитивний захист | Протокол ЕК |

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть розроблені:

- топологія типової гетерогенної мережі;
- архітектура гетерогенної мережі зв'язку;
- структура суміщеної гетерогенної мережі і область моделювання;
- алгоритми управління трафіком в інтегрованій гетерогенній мережі;
- середній час передачі даних терміналом;
- середня швидкість передачі даних терміналом;
- порівняльний аналіз алгоритмів керування трафіком;
- економічна частина МКР;

- розділ ОП та БНС;
- рекомендації щодо розподілу індивідуальної швидкості передачі даних.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій:

- Регіональний Центр експлуатації телекомунікаційної мережі України шляхом впровадження рекомендацій щодо розподілу індивідуальної швидкості передачі даних;

- ПАТ “Укртелеком” шляхом впровадження алгоритмів управління трафіком в інтегрованій гетерогенній мережі.

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується зниження навантаження на стільникову мережу передачі даних.

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

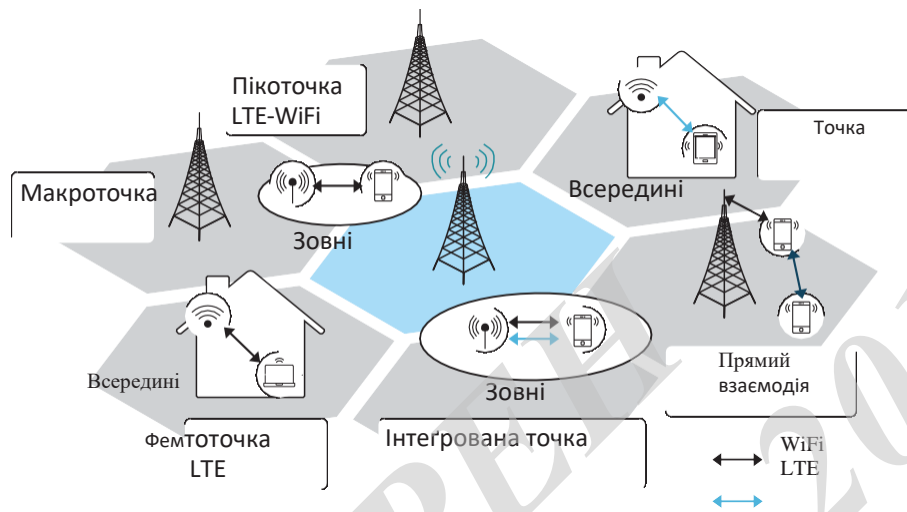
10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

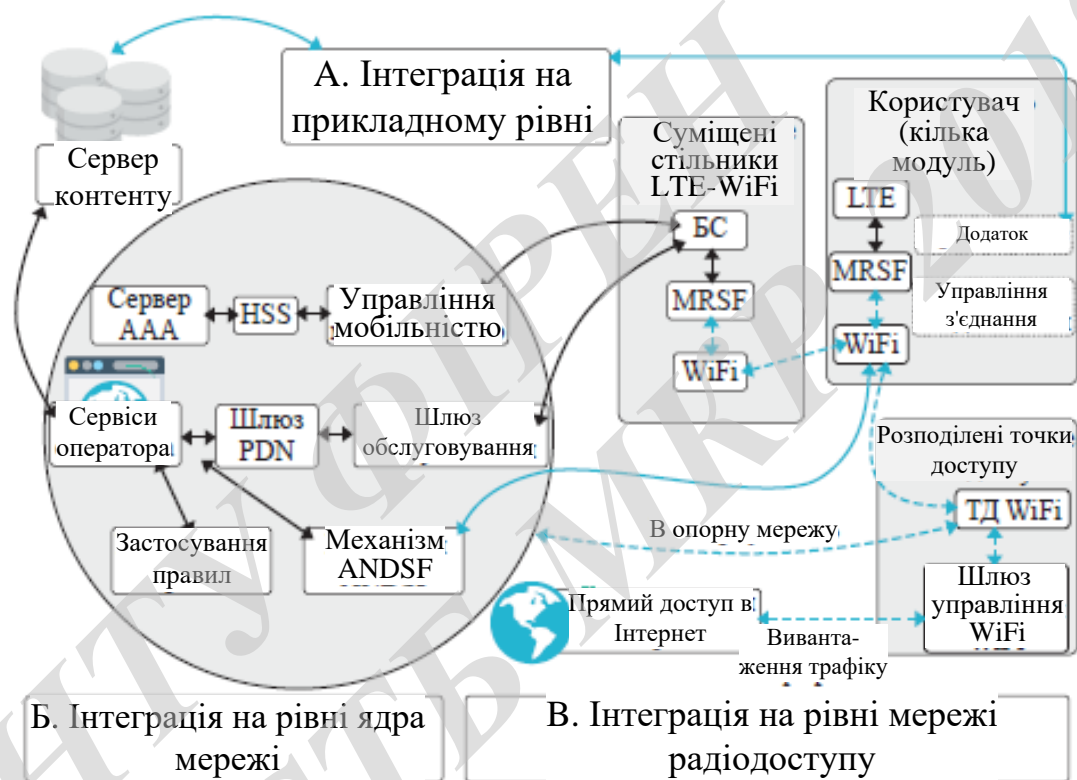
- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- топологію типової гетерогенної мережі;
- архітектуру гетерогенної мережі зв'язку;
- структуру суміщеної гетерогенної мережі і область моделювання;
- алгоритми управління трафіком в інтегрованій гетерогенній мережі;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо розподілу індивідуальної швидкості передачі даних.

11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

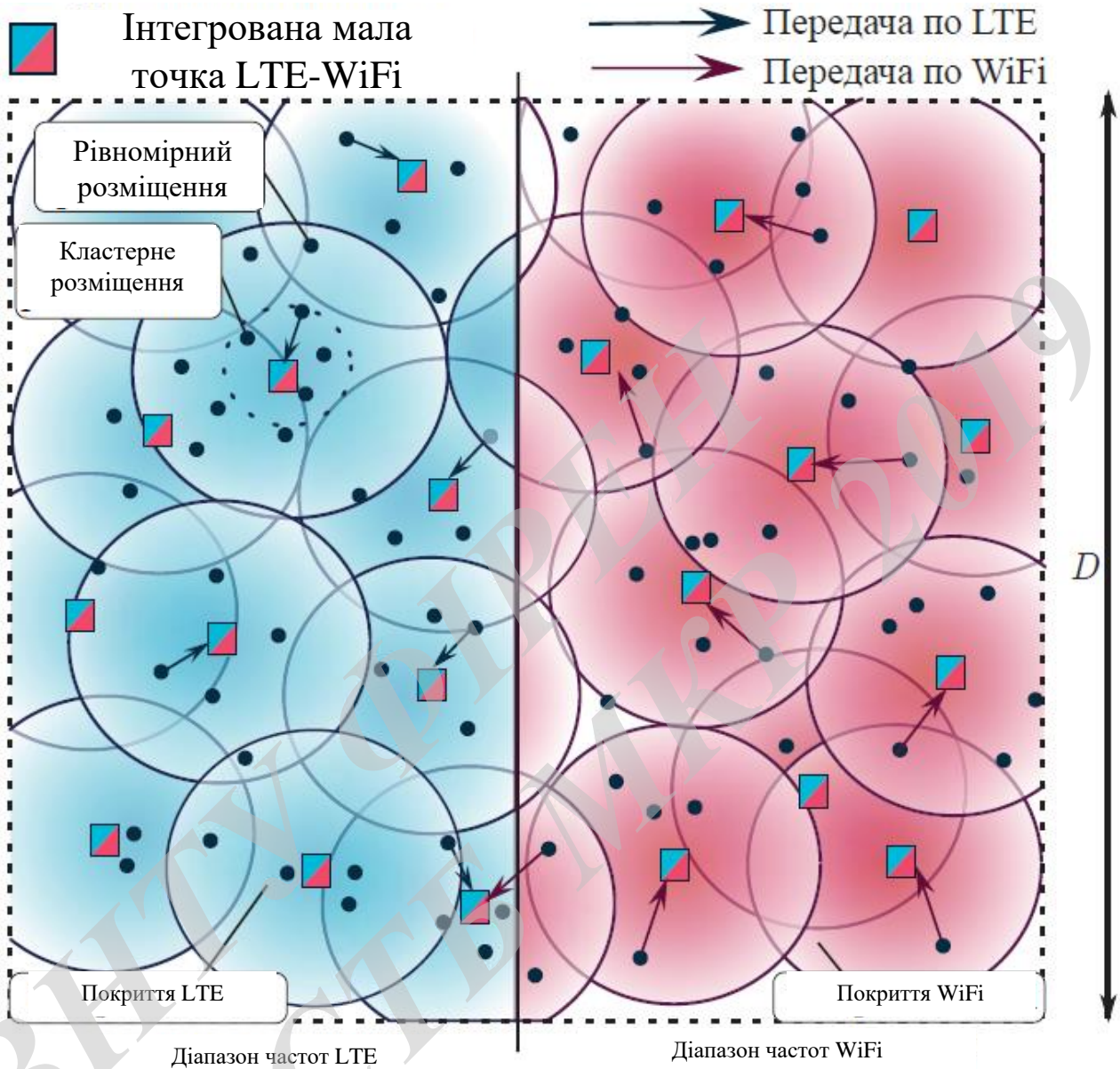
У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.



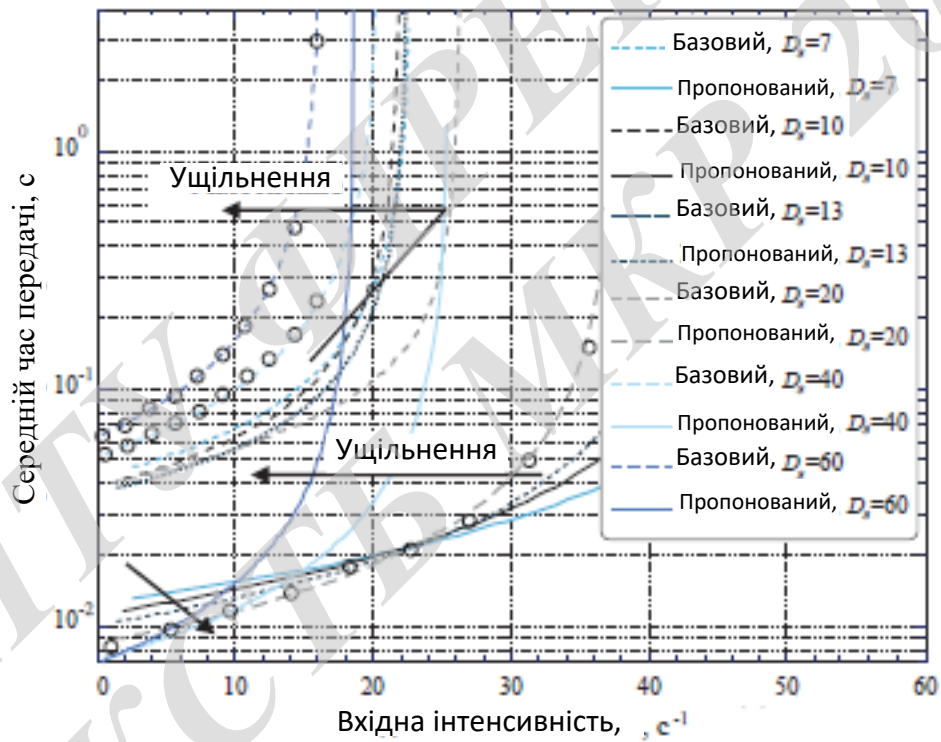
| | | | | | | | |
|-----------|--------------------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|---------|
| | | | | | 08-34. МКР.012.00.000 Е8 | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | |
| Розроб. | Юй Чанхао | | | | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Перевір. | Васильківський М.В | | | | | 1 | 1 |
| Реценз. | Тимчик С.В. | | | | ВНТУ, гр. ТКС-18м | | |
| Н. Контр. | Васильківський М.В | | | | | | |
| Затверд. | Бортник Г.Г. | | | | | | |
| | | | | | Топологія типової гетерогенної мережі | | |



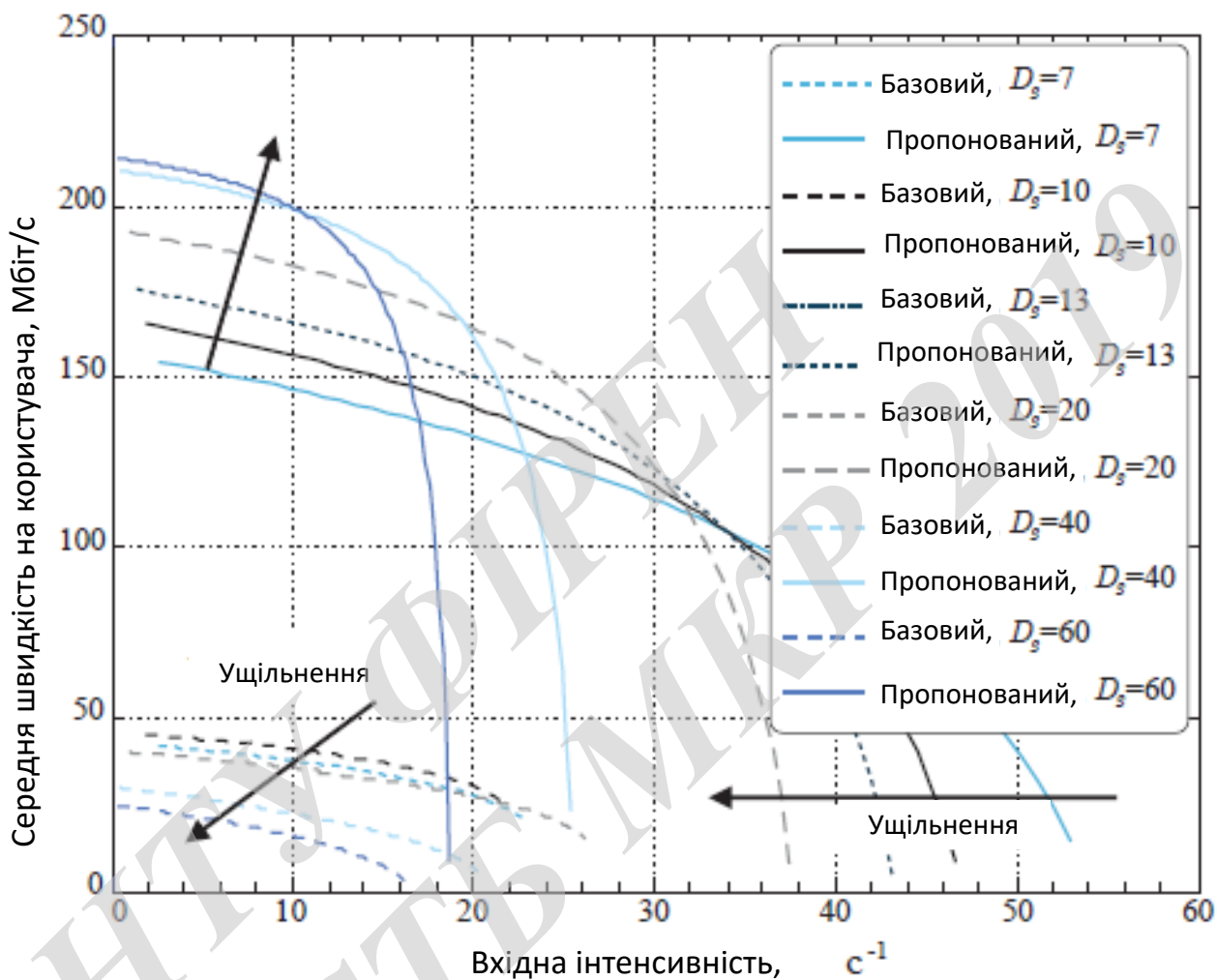
| | | | | | | | |
|-----------|------|--------------------|--------|------|---|------|---------|
| | | | | | 08-34. МКР.012.00.000 Е8 | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | Архітектура гетерогенної мережі зв'язку | | |
| Розроб. | | Юй Чанхао | | | | | |
| Перевір. | | Васильківський М.В | | | | | |
| Реценз. | | Тимчик С.В. | | | | | |
| Н. Контр. | | Васильківський М.В | | | | | |
| Затверд. | | Бортник Г.Г. | | | | | |
| | | | | | Літ. | Арк. | Аркушів |
| | | | | | | 1 | 1 |
| | | | | | ВНТУ, гр. ТКС-18м | | |



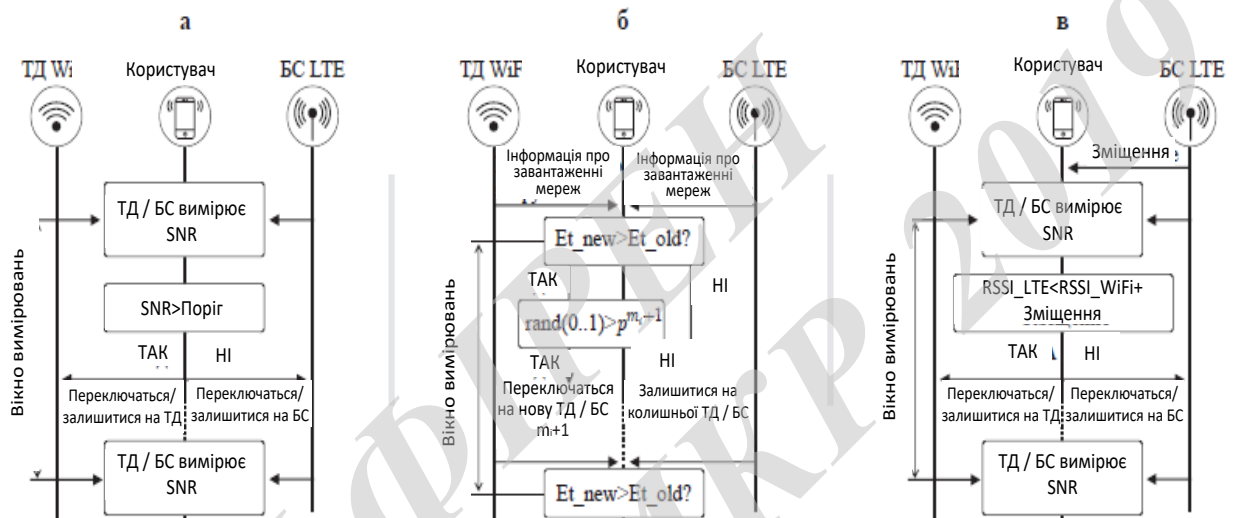
| | | | | | | | |
|---|--------------------|----------|--------|------|--------------------------|------|---------|
| | | | | | 08-34. МКР.012.00.000 Е8 | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | |
| Розроб. | Юй Чанхао | | | | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Перевір. | Васильківський М.В | | | | | 1 | 1 |
| Реценз. | Тимчик С.В. | | | | ВНТУ, гр. ТКС-18м | | |
| Н. Контр. | Васильківський М.В | | | | | | |
| Затверд. | Бортник Г.Г. | | | | | | |
| Структура суміщеної гетерогенної мережі і область моделювання | | | | | | | |



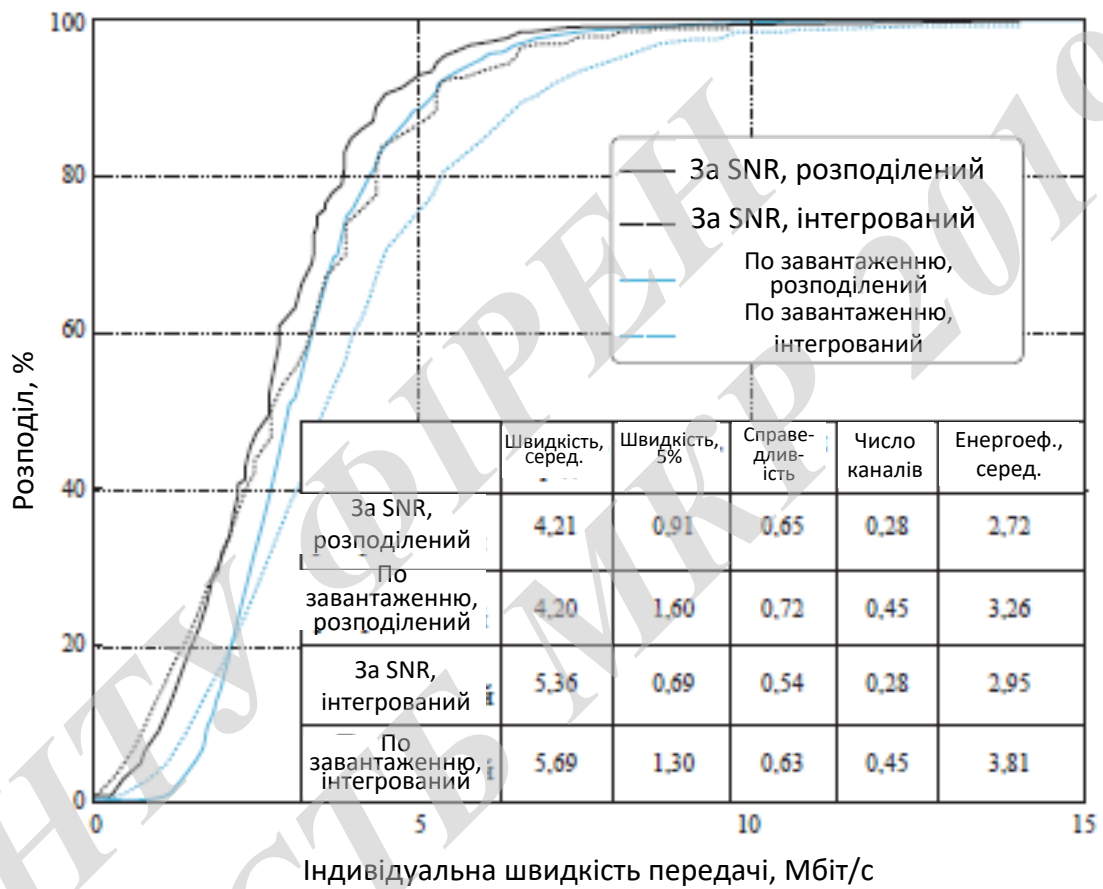
| | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|----------|--------|------|---|--|--|-------------------|------|---------|
| | | | | | 08-34. МКР.012.00.000 Е8 | | | | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | Середній час передачі даних терміналом | | | | | |
| Розроб. | Юй Чанхао | | | | | | | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Перевір. | Васильківський М.В | | | | | | | | 1 | 1 |
| Реценз. | Тимчик С.В. | | | | | | | ВНТУ, гр. ТКС-18м | | |
| Н. Контр. | Васильківський М.В | | | | | | | | | |
| Затверд. | Бортник Г.Г. | | | | | | | | | |



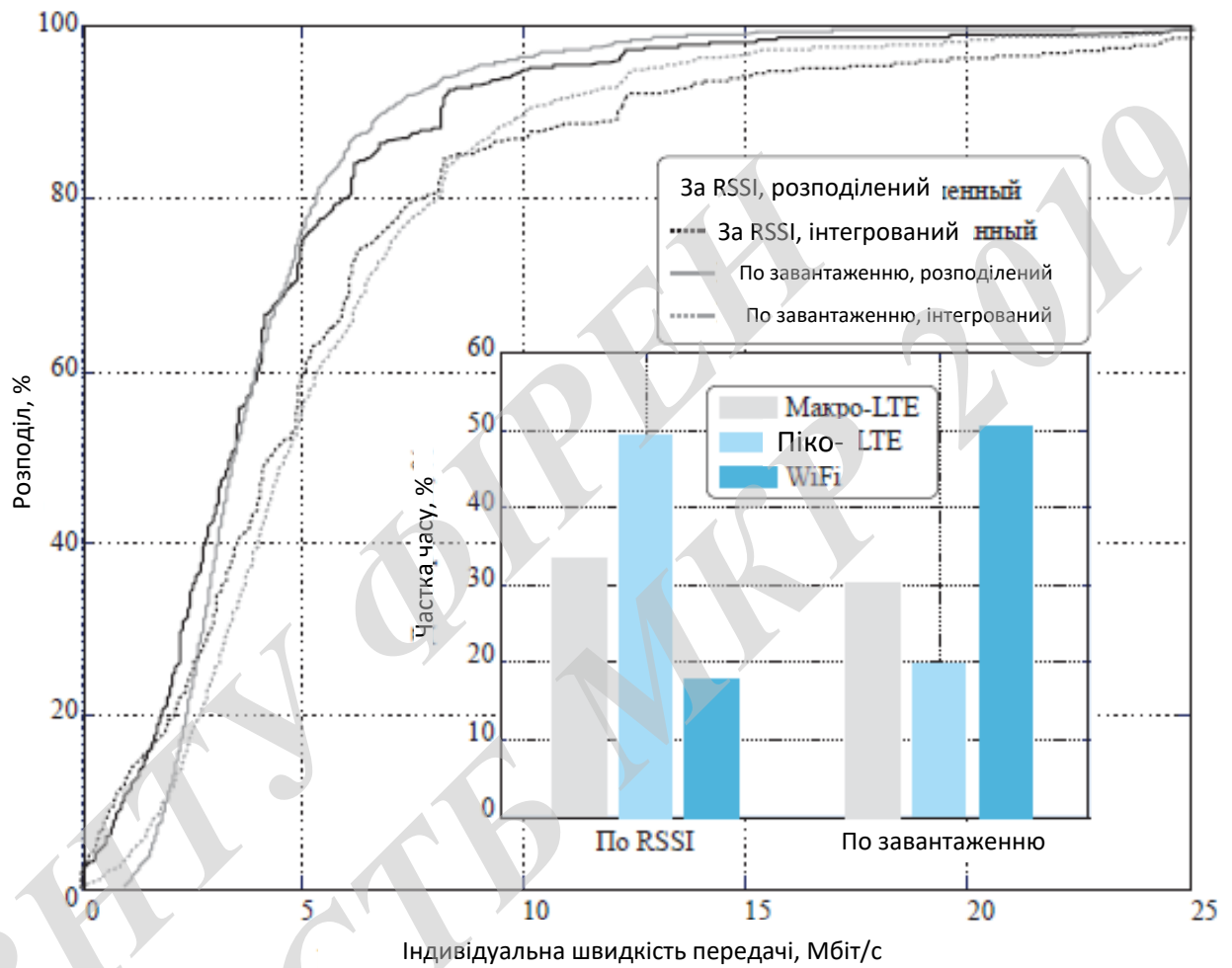
| | | | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|----------|--------|------|--|--|--|-------------------|------|---------|
| | | | | | 08-34. МКР.012.00.000 Е8 | | | | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | Середня швидкість передачі даних терміналом | | | | | |
| Розроб. | Юй Чанхао | | | | | | | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Перевір. | Васильківський М.В | | | | | | | | 1 | 1 |
| Реценз. | Тимчик С.В. | | | | | | | ВНТУ, гр. ТКС-18м | | |
| Н. Контр. | Васильківський М.В | | | | | | | | | |
| Затверд. | Бортник Г.Г. | | | | | | | | | |



| | | | | | | | | |
|-----------|--------------------|----------|--------|------|--|-------------------|------|---------|
| | | | | | 08-34. МКР.012.00.000 Е8 | | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
| Розроб. | Юй Чанхао | | | | Алгоритми управління трафіком в інтегрованій гетерогенній мережі | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Перевір. | Васильківський М.В | | | | | | 1 | 1 |
| Реценз. | Тимчик С.В. | | | | | ВНТУ, гр. ТКС-18м | | |
| Н. Контр. | Васильківський М.В | | | | | | | |
| Затверд. | Бортник Г.Г. | | | | | | | |



| | | | | | | | |
|-----------|--------------------|----------|--------|------|---|------|---------|
| | | | | | 08-34. МКР.012.00.000 Е8 | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | |
| Розроб. | Юй Чанхао | | | | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Перевір. | Васильківський М.В | | | | | 1 | 1 |
| Реценз. | Тимчик С.В. | | | | ВНТУ, гр. ТКС-18м | | |
| Н. Контр. | Васильківський М.В | | | | | | |
| Затверд. | Бортник Г.Г. | | | | | | |
| | | | | | Порівняльний аналіз алгоритмів керування трафіком | | |



| | | | | | | | |
|-----------|------|--------------------|--------|------|--------------------------|------|---------|
| | | | | | 08-34. МКР.012.00.000 Е8 | | |
| Змн. | Лист | № докум. | Підпис | Дата | | | |
| Розроб. | | Юй Чанхао | | | Літ. | Арк. | Аркушів |
| Перевір. | | Васильківський М.В | | | | 1 | 1 |
| Реценз. | | Тимчик С.В. | | | ВНТУ, гр. ТКС-18м | | |
| Н. Контр. | | Васильківський М.В | | | | | |
| Затверд. | | Бортник Г.Г. | | | | | |

Додаток К
Нормовані значення виробничих чинників

Таблиця К.1 – Нормовані допустимі параметри мікроклімату

| Період року | Категорія робіт | Температура повітря, °С для робочих місць | | Відносна вологість повітря, % | Швидкість руху повітря, м/с |
|-------------|-----------------|---|-------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | | постійних | непостійних | | |
| Холодний | Іб | 20-24 | 17-25 | 75 | ≤0,2 |
| Теплий | | 21-28 | 19-30 | 60 при 27°С | 0,1-0,3 |

Таблиця К.2 – ГДК шкідливих речовин [4]

| Назва шкідливої речовини | ГДК, мг/м ³ | Агрегатний стан | Клас небезпеки |
|--------------------------|------------------------|-----------------|----------------|
| Озон | 0,1 | Пара | 4 |
| Оксиди азоту | 5 | Пара | 2 |
| Пил | 4 | Аерозоль | 2 |

Таблиця К.3 – Число іонів у 1 см³ повітря приміщення під час роботи на ЕОМ

| Рівні | Мінімально необхідні | Оптимальні | Максимально допустимі |
|-----------|----------------------|------------|-----------------------|
| додатній | 400 | 1500-3000 | 50000 |
| від'ємний | 600 | 3000-5000 | 50000 |

Таблиця К.4 – Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення і мінімальні освітленості для штучного освітлення

| Характеристика зорової роботи | Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм | Розряд зорової роботи | Підрозряд зорової роботи | Контраст об'єкта розрізнення з фоном | Характеристика фону | Освітленість при штучному освітленні, лк | | | КПО для бокового освітлення, % | |
|-------------------------------|--|-----------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------|--|------------------------|----------|--------------------------------|------------|
| | | | | | | комбіноване | | загальне | Природного | Суміщеного |
| | | | | | | всього | у т. ч. від загального | | | |
| Середньої точності | 0,5-1 | IV | г | великий | середній | 300 | 150 | 150 | 1,5 | 0,9 |

Таблиця К.5 – Допустимі рівні шуму і еквівалентні рівні звуку

| Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц | | | | | | | | | Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА |
|--|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--|
| 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| 86 | 71 | 61 | 54 | 49 | 45 | 42 | 40 | 38 | 50 |

Таблиця К.6 – Допустимі рівні віброприскорення [6]

| Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц | | | | | | | | Коректовані рівні віброприскорення, дБА |
|--|----|------|----|-----|-----|-----|------|---|
| 8 | 16 | 31,5 | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | |
| 73 | 73 | 79 | 85 | 91 | 97 | 103 | 109 | 76 |

Таблиця К.7 – Значення мінімальних меж вогнестійкості приміщення [11]

| Ступінь вогнестійкості будівлі | Стіни | | | | | Колони | Східчасті майданчики | Плити та інші несучі конструкції | Елементи покриття | |
|--------------------------------|----------------------------|------------|-----------------|-------------|----------------|--------|----------------------|----------------------------------|-------------------|--|
| | Несучі та східчасті клітки | Самонесучі | Зовнішні несучі | Перегородки | Плити, прогони | | | | Балки, ферми | |
| 3 | REI 120 | REI 60 | E 15 | EI 15 | R 120 | R 60 | REI 45 | нн | нн | |
| | M0 | M0 | M0 | M1 | M0 | M0 | M1 | нн | нн | |

Примітка. R – втрати несучої здатності; E – втрати цілісності; I – втрати теплоізолювальної спроможності; M – показник здатності будівельної конструкції поширювати вогонь (межа поширення вогню); M0 – межа поширення вогню дорівнює 0 см; M1 – $M \leq 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M \leq 40$ см – для вертикальних і похилих конструкцій; M2 – $M > 25$ см – для горизонтальних конструкцій; $M > 40$ см – для вертикальних і похилих конструкцій, нн – не нормується.

Таблиця К.8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [13]

| Об'єм приміщення, тис. м ³ | Категорія пожежної безпеки | Ступінь вогнестійкості | Відстань, м, для щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м ² | | | Кількість людей на 1 м ширини евакуйоводу | Відстань між будівлями та спорудами, м, для ступеня їх вогнестійкості | | | | Найбільша кількість поверхів | Площа поверху в межах пожежного відсіку, м ² , для числа поверхів | | |
|---------------------------------------|----------------------------|------------------------|---|-----|-----|---|---|-----|-------|---|------------------------------|--|------------|--|
| | | | до 1 | 2-3 | 4-5 | | I, II | III | IV, V | 1 | | 2 | 3 і більше | |
| до 15 | Б | 3 | 40 | 25 | 15 | 45 | 9 | 12 | 15 | 1 | 5200 | – | – | |

Примітки: н.о. – не обмежується, н.н. – не нормується.