

Пояснювальна записка

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

на тему:

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ МЕРЕЖІ
МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛІННЯ
08-34.МКР.010.00.000 ПЗ

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

_____ Тищук Д.С.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ТКСТБ

_____ Семенова О.О.

« ____ » _____ 2019 р.

Рецензент: к.т.н., професор каф. БМІ

_____ Злепко С. М.

« ____ » _____ 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 Технології та засоби телекомунікацій

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

“ ___ ” _____ 2019 року

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

Тищуку Дмитру Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління

керівник роботи Семенова Олена Олександрівна, к. т. н, 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: ширина каналу 10 МГц; ширина ресурсного блоку – 180 кГц; кількість секторів – 3; вихідна потужність передавачів – 20 Вт; еквівалентна ізотропно-випромінювана потужність – 23 дБм; площа території – 224,9 км²; ефективна висота підйому антени базової станції – 40м; висота антени рухомої станції – 1,7м; середній трафік одного абонента в місяць – 30 Гбіт/міс.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ; техніко – економічне обґрунтування тематики; процес управління передачею потоків трафіку; дослідження адаптивних алгоритмів; обчислення характеристик сигналів; оцінювання мережі LTE; економічна частина; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; висновки; література; додатки.

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

- 1) Технічні характеристики стандарту LTE. Плакат
- 2) Алгоритм вивільнення частотного ресурсу. Плакат
- 3) Моделювання радіоканалу передачі. Плакат
- 4) Залежність втрат заявок. Плакат
- 5) Використання ресурсу стільника. Плакат.
- 6) Оцінка швидкості. Плакат

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічна частина	Семенова О.О., доцент каф. ТКСТБ		
Економічна частина	Адлер О.О., к.т.н., доцент		
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.	Дослідження адаптивних алгоритмів	04.10.2019р.	
4.	Обчислення характеристик сигналів	25.10.2019р.	
5.	Оцінювання мережі LTE	08.11.2019р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	15.11.2019р.	
7.	Аналіз безпеки життєдіяльності, цивільний захист	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 ДЕК	09.12. 2019р.	

Студент _____ Тищук Д.С.
(підпис)

Керівник роботи _____ Семенова О.О.
(підпис)

РЕФЕРАТ

УДК 621.396

Тищук Дмитро Сергійович. Підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 120с.

На українській мові. Бібліогр.: 38 назв; Рис.:32; Табл.: 23.

Дана магістерська робота присвячена дослідженню системи стільникового зв'язку та її основних характеристик. Оцінено показники функціонування системи. Промодельовано роботу каналів. Розраховано економічний ефект. Розглянуті питання безпеки життєдіяльності та охорони праці. Отримані результати задовольняють вимогам технічного завдання.

Ключові слова: мобільний, система, LTE.

ВНТУ ФІРМЕН
ТКСТЬ МКР 2019

ABSTRACT

UDK 621.396

Tyshchuk Dmytro Serhiiiovych. Increasing of operation efficiency for mobile networks of the fourth generation. Master thesis. – Vinnytsya: VNTU, 2019. – 120pp.

In Ukrainian language. Refs.: 38 titles; figs.: 32; tables: 23.

The master thesis is dedicated to researching the cellular communication system and its characteristics. System operation parameters have been evaluated. Channel operation has been simulated. The economic gain has been calculated. Problems of industrial and occupational safety have been considered. The obtained results satisfy preliminary specifications.

Keywords: mobile, system, LTE.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМАТИКИ РОБОТИ...	6
1.1 Огляд стану проблеми, яка виникла на сучасному етапі розвитку науки і техніки	6
1.2 Існуючі способи вирішення технічної проблеми, їхній аналіз та недоліки..	7
1.3 Обґрунтування вибору варіанту вирішення проблеми.....	9
1.4 Постановка задач дослідження.....	9
2 ПРОЦЕС КЕРУВАННЯ ПЕРЕДАЧЕЮ ПОТОКІВ ТРАФІКУ	10
2.1 Опис математичної моделі.....	11
2.2 Аналіз особливостей управління потоками користувальницької інформації	16
2.3 Аналіз результатів моделювання радіоканалу передачі між UE і eNodeB...	20
2.4 Побудова моделі обслуговування неоднорідного трафіку	25
3 ДОСЛІДЖЕННЯ АДАПТИВНИХ АЛГОРИТМІВ.....	28
3.1 Опис алгоритмів контролю доступом на мережі LTE.....	28
3.2 Чисельні результати і їх використання для планування значень структурних параметрів моделі.....	28
3.3 Результати оцінки швидкості передачі на фрагменті стільника мережі LTE	34
3.4 Дослідження алгоритму вибору співвідношення між мінімальною і максимальною швидкостями передачі файлів.....	38
4 ОБЧИСЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ.....	42
4.1 Розрахунок показників якості.....	42
4.2 Обчислення ймовірності бітової помилки.....	47
5 ОЦІНЮВАННЯ МЕРЕЖІ LTE.....	50
5.1 Оцінювання радіопокриття мережі.....	50
5.2 Оцінювання втрат.....	53
5.3 Оцінювання ємності мережі.....	54
6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	57

6.1 Аналіз комерційного потенціалу досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління	57
6.1.1 Визначення рівня комерційного потенціалу досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління	57
6.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи	59
6.2.1 Розрахунок витрат, що стосуються виконавців досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління	59
6.2.2 Розрахунок загальних витрат на дослідження з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління	62
6.2.3 Прогнозування витрат на виконання та впровадження досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління	63
6.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління	63
6.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності.....	65
6.4.1 Визначення абсолютної ефективності вкладених інвестицій у досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління	65
6.4.2 Розрахунок відносної ефективності вкладених коштів в НДДКР досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління	66
6.4.3 Розрахунок терміну окупності коштів, вкладених в наукову досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління	66

6.5 Висновок до розділу	67
7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	68
7.1 Технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці	68
7.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони	68
7.1.2 Виробниче освітлення	69
7.1.3 Виробничі віброакустичні коливання	70
7.1.4 Виробничі випромінювання	74
7.2 Технічні рішення щодо промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження	75
7.2.1 Безпека щодо організації робочих місць	75
7.2.2 Електробезпека	75
7.2.3 Пожежна безпека.....	76
7.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи мережі мобільного зв'язку четвертого покоління умовах дії загрозливих факторів надзвичайних ситуацій	79
7.3.1 Дослідження стійкості роботи мережі мобільного зв'язку четвертого покоління в умовах дії іонізуючих випромінювань.....	80
7.3.2 Дослідження стійкості роботи мережі мобільного зв'язку четвертого покоління в умовах дії електромагнітного імпульсу.....	81
7.3.3 Розробка превентивних заходів з підвищення стійкості роботи мережі мобільного зв'язку четвертого покоління в умовах надзвичайних ситуацій.....	83
7.4 Висновки до розділу.....	84
ВИСНОВКИ.....	85
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	87
ДОДАТКИ.....	90
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання.....	91
Додаток Б (обов'язковий) Технічні характеристики стандарту LTE. Плакат.	97

Додаток В (обов'язковий) Алгоритм вивільнення частотного ресурсу. Плакат.	99
Додаток Д (обов'язковий) Моделювання радіоканалу передачі. Плакат.....	101
Додаток Е (обов'язковий) Залежність втрат заявок. Плакат	103
Додаток Ж (обов'язковий) Використання ресурсу стільника. Плакат.....	105
Додаток И (обов'язковий) Оцінка швидкості. Плакат.....	107

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

ВСТУП

Актуальність теми. У наш час мережі безпроводного зв'язку є основним напрямком розвитку телекомунікацій. LTE є стандартом універсальних міських мереж, де широкопasmовий безпроводовий доступ застосовується широким спектром додатків, починаючи від традиційної передачі мови і закінчуючи сучасними мультимедійними додатками. Система LTE використовує відповідні протоколи взаємодії окремих вузлів мережі з метою керування процесом передачі пакетів по спільному каналу зв'язку. Наявність спільного каналу зв'язку, який використовується всіма абонентами – це спільна риса сучасних та перспективних безпроводних інфокомунікаційних систем. Така риса визначає проблеми підвищення ефективності та, відповідно, необхідності розроблення алгоритмів, котрі здатні забезпечити швидку та надійну передачу інформації, що призведе до підвищення коефіцієнта використання смуги пропускання, скорочення часу реагування базових станцій на запити мобільних станцій (АС), а також до забезпечення якості обслуговування для трафіку різного виду.

Аналіз останніх досліджень. В галузі забезпечення якості обслуговування важливою проблемою є проблема підвищення пропускної здатності базових станцій. З метою поліпшення ефективності та якості передачі даних в мережі LTE необхідною є розробка новітніх методів підвищення пропускної здатності за рахунок раціонального використання ресурсів [1-5].

Таким чином, задача розробки більш ефективних алгоритмів розподілу ресурсів та управління доступом є актуальною, так як це дасть змогу отримати більш високу пропускну здатність базових станцій при незбалансованому трафіку, зменшити затримку пакетів та підвищити ймовірність успішного з'єднання.

Мета та задачі дослідження. Метою даної магістерської роботи є підвищення ефективності функціонування мобільної мережі.

Для досягнення мети необхідно розв'язати такі задачі:

- дослідити процеси управління передачею трафіка;

- обґрунтувати адаптивні алгоритми;
- оцінити роботу мережі.

Об'єктом дослідження є процес передавання та обробки інформації в сучасних стільникових мережах зв'язку.

Предметом дослідження є методи оцінки та підвищення ефективності функціонування сучасних стільникових мереж зв'язку.

Методи дослідження. Для рішення поставлених завдань були використані методи теорії інформації та передавання сигналів, методи теорії телетрафіку, методи комп'ютерного моделювання та оптимізації.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

- обґрунтовано методи оптимізації процесів передавання та керування потоками даних;
- розроблено методологію підвищення ефективності функціонування стільникових мереж зв'язку.

Практичне значення роботи полягає у тому, що отримані результати, відкривають можливість виявити та запропонувати нові практичні шляхи для підвищення ефективності функціонування мобільних мереж під час їх впровадження на основі використання нових методів передавання даних.

Особистий внесок здобувача: здійснено оцінювання параметрів та характеристик мережі стільникового зв'язку четвертого покоління.

Апробація результатів роботи. Основні ідеї роботи доповідались і обговорювались на I-й міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем» СПРН-2019.

1 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕМАТИКИ РОБОТИ

1.1 Огляд стану проблеми, яка виникла на сучасному етапі розвитку науки і техніки

Мобільні мережі четвертого покоління засновані на використанні технологій багатостанційного доступу з ортогональною модуляцією OFDMA і методи просторового кодування сигналу MIMO, що дають можливість істотно збільшити передачу трафіку від абонентів.

Відмінними рисами цих мереж є: гнучкість архітектури, можливість динамічного зміни топології мережі при підключенні, пересуванні і відключенні мобільних абонентів, висока швидкість передачі інформації, високий ступінь захисту від несанкціонованого доступу, а також відмова від дорогої і не завжди можливої прокладки або оренди оптоволоконного або мідного кабелю. У мережах стандарту LTE керуючі функції перейшли до базових станцій, які, крім обслуговування радіочастини, стали приймати рішення про маршрутизацію абонентського трафіку. При цьому однією з головних проблем є проблема управління трафіком на радіоінтерфейсі з метою забезпечення заданих норм якості (QoS) по кожній наданій послугі більшості абонентів, в зокрема, для тих, хто перебуває в роумінгу.

Зростання обсягу мультимедійних мобільних додатків призводить до того, що необхідна якість обслуговування може бути забезпечена тільки при використанні ефективних методів підвищення пропускної здатності радіоінтерфейсу, так як саме при безпроводному доступі виникають різкі перекося навантаження через стохастичне переміщення абонентів [59].

Постійне здешевлення послуг на мобільний зв'язок, поява нових типів абонентських терміналів, розвиток сервісів по адресній передачі потокового відео веде до зростання трафіку реального часу, швидкість якого повинна бути постійною. При цьому прогнозується різке збільшення найближчим часом також трафіку від міжмашинної взаємодії (M2M), який, як правило, має еластичні

властивості і дозволяє змінювати швидкість передачі даних в деяких межах, залежно від умов на мережі.

Найбільш істотний вплив на управління продуктивністю в мобільних мережах чинять наступні фактори: порушення цілісності інформації команд управління мережевими процесами; блокування інформації; порушення логіки роботи програмного забезпечення.

Аналіз результатів роботи існуючих мереж LTE показав, що для їх управління використовується автоматична функція управління мережею SON, яка апаратно вбудовується в обладнання вузлів мережі. Однак ця функція може тільки вводити пороги по числу з'єднань, не обмежуючи при цьому швидкість передачі даних, що нерационально, зокрема, при організації роумінгу.

Спочатку моделі оцінки радіоресурсу мобільних мереж включали в себе лише однорідний тип трафіку, для якого були знайдені аналітичні рішення і розроблені рекурентні алгоритми. Пізніше були розроблені алгоритми рішення для різних видів трафіку, що має постійну швидкість. У зв'язку з появою додатків, які не потребують постійної швидкості передачі даних, почав здійснюватися облік моделей еластичного трафіку даних. Однак ці дослідження проводилися без урахування схем доступу, що реалізують пріоритетне обслуговування в мультисервісних мобільних мережах четвертого покоління.

У діючих і перспективних мобільних мережах зв'язку актуальною є задача зниження обмеженості ресурсів у зв'язку з появою сервісів, що вимагають великої швидкості передачі.

1.2 Існуючі способи вирішення технічної проблеми, їхній аналіз та недоліки

Число користувачів мережі LTE щорічно збільшується на 20,8% [1]. Важливу роль відіграють дефіцит частотного ресурсу та зниження пропускної здатності базових станцій, що призводять до обмеження у наданні мобільній станції доступу до середовища. В стандарті LTE в якості систем множинного доступу в

низхідному каналі застосовується OFDMA, а у висхідному каналі – SC-FDMA. І в висхідному, і в низхідному каналі застосовують такі види модуляції, як QPSK, 16QAM та 64QAM. Адаптивний вибір вищенаведених видів модуляції дозволяє забезпечити необхідну якість обслуговування та швидкість передачі інформації. Мережа LTE функціонує із коефіцієнтом перевикористання частот рівним одиниці, це означає, що усі базові станції працюють на одній несучій частоті. В даній системі внутрішньосистемні завади мінімізуються завдяки гнучкому частотному плану, координації завад між стільниками та частотно-селективній диспетчеризації. Незважаючи на це, проблема внутрішньосистемних завад залишається особливо гострою на границях стільників, що чинить суттєвий вплив на пропускну здатність базових станцій мережі і обмеження у наданні доступу.

Пропускна здатність базових станцій залежить від ймовірності помилки, часу очікування пакетів в черзі, часу обробки пакетів, точності оцінювання результатів вимірювання каналів та ймовірності з'єднання.

Для розв'язання задач підвищення пропускну здатності базових станцій мереж LTE важливим є вдосконалення методів адаптивної модуляції; розроблення методів раціонального розподілу частотних та часових ресурсів при доступі у систему із забезпеченням зменшення часу реагування базової станції на запити мобільної станції та зростання ймовірності успішного з'єднання; розроблення та аналіз методів оцінки результатів вимірювання у радіоканалах, що статистично пов'язані; розроблення методів зменшення часу оброблення пакетів при відповідній диспетчеризації ресурсів планувальника кадрів.

Проблемами забезпечення високої якості послуг та підвищення пропускну здатності каналів мережі LTE займалися такі вчені: Безрук В.М., Лемешко О.В., Беркман Л.Н., Бунін С.Г., Климаш М.М. Erik Dahlman, Dahrouj H., Dave C. Robinson та багато інших. Однак, у роботах вищезазначених авторів немає комплексного підхід до збільшення пропускну здатності із одночасним забезпеченням високої якості сприйняття послуг користувачами за рахунок підвищення ефективності розподілу ресурсів між користувачами у стільнику.

1.3 Обґрунтування вибору варіанту вирішення проблеми

У системі LTE три основні технології забезпечують високі значення пропускної здатності: мультиплексування за допомогою ортогонального частотно-го розділення OFDM, передавання сигналів за допомогою багатоантенних систем MIMO і еволюційна системна архітектура мережі.

Важливою задачею є вирішення протиріччя, яке полягає у розробленні методів оцінювання та підвищення пропускної здатності систем стільникового зв'язку з забезпечення високої якості обслуговування абонентів в умовах багатопроменевого просторового каналу із глибокими завмираннями сигналів. Можливе вирішення полягає у використанні відповідних антенних систем як на приймальній, так і на передавальній стороні каналу зв'язку паралельно із технологією OFDM. Поряд із пропускною здатністю базових станцій, важливим параметром системи є імовірність бітової помилки. Саме тому потрібно постійно підтримувати необхідний баланс між цими двома важливими для абонентів параметрами. Досягти цього можливо за рахунок удосконалення моделей та методів розподілу ресурсів у стільнику LTE.

Отже, у роботі будуть обґрунтовані методи підвищення ефективності функціонування мережі LTE за рахунок розроблення нових алгоритмів адаптації.

1.4 Постановка задач дослідження

Отже, для розв'язання проблеми підвищення ефективності функціонування, яка виникла на сучасному етапі розвитку науки і техніки, потрібно розв'язати наступні задачі:

- дослідити процеси управління передачею трафіка;
- обґрунтувати адаптивні алгоритми;
- оцінити роботу мережі.

2 ПРОЦЕС КЕРУВАННЯ ПЕРЕДАЧЕЮ ПОТОКІВ ТРАФІКУ

У мережах LTE існує декілька класів еластичного трафіку, тобто трафіку здатного пристосовуватися при передачі до змін затримки і пропускну здатності, продовжуючи задовольняти потреби додатків. Основними характеристиками цього типу трафіку є: короткий час обслуговування і низька інтенсивність надходження заявок. Термін «еластичний трафік» має на увазі, що швидкість його передачі може змінюватися в широких межах, при зміні навантаження на мережі. Однак, при виникненні нештатних (критичних) ситуацій на території стільника в системах M2M виникає лавиноподібне збільшення частки широко-смугового трафіку від різних систем телеметрії, моніторингу та вендрінга. При цих ситуаціях системи M2M можуть в разі збільшити навантаження на мережу, трафік від них робиться пульсуючим, що має потужні пікові викиди пакетів. У разі відсутності в мережах LTE необхідних механізмів управління потоками різнорідного трафіку, можуть виникнути значні втрати одного з його видів.

У праці [5] побудована модель обслуговування різнорідного трафіку на фрагменті мережі LTE, де показано, що необхідним є створення адаптивних механізмів управління передачею потоків еластичного трафіку, що дозволяють уникнути втрат при обмеженому обсязі ресурсів фрагмента мережі LTE. Одним з механізмів забезпечення якості обслуговування в пакетних мережах є резервування ресурсів. Резервування проводиться для певного потоку перед початком його передачі. Після резервування починається передача цього потоку з заданою якістю. Для забезпечення необхідної якості обслуговування резервування має бути доповнене механізмами управління трафіком, що включають в себе управління доступом, планування черг і інші. Важливою є розробка алгоритму доступу декількох потоків як еластичного трафіку, так і трафіку реального часу на фрагменті мережі LTE.

В даний час в мережі LTE алгоритми управління доступом контролюють все нові заявки на надходження трафіку, визначаючи, чи може вхідний трафік привести до перевантаження мережі, або до погіршення рівня якості обслугову-

вання вже наявного в мережі трафіку. При цьому алгоритми організації та планування черг пакетів дозволяють обмежувати пропускну здатність на виході вузла, розподіляючи її між кількома потоками, в залежності від вимог до пропускну здатності з боку кожного потоку.

2.1 Опис математичної моделі

Розглянемо фрагмент мережі LTE. Прийнемо, що максимальна загальна швидкість передачі в стільнику становить 40 Мбіт/с, позначимо її через C . Нагадаємо, що при передачі даних за допомогою кодека G.711 мовної канал має швидкість 64 кбіт/с (одна одиниця), а відеоканал високої чіткості має швидкість 2048 кбіт/с (32 одиниці). Таким чином, через один стільник можна передати або 625 каналів по одній одиниці, або 19 каналів по 32 одиниць.

При цьому питоме використання каналу при передачі мови складе

$$\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}, \quad b_1 = 1$$

де λ_1 – інтенсивність надходження заявок реального часу першого типу;

μ_1 – інтенсивність обслуговування заявок реального часу першого типу;

b_1 – швидкість передачі заявок першого типу;

n_1 – число заявок першого типу.

Питома використання каналу при передачі відео:

$$\rho_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2}, \quad b_2 = 1$$

де λ_2 – інтенсивність надходження заявок реального часу другого типу;

μ_2 – інтенсивність обслуговування заявок реального часу другого типу;

b_2 – швидкість передачі заявок другого типу;

n_2 – число заявок другого типу.

Введемо:

(n_1, n_2) – всі можливі стану системи.

Схема моделі доступу двошвидкісного трафіку представлена на рис. 2.1.

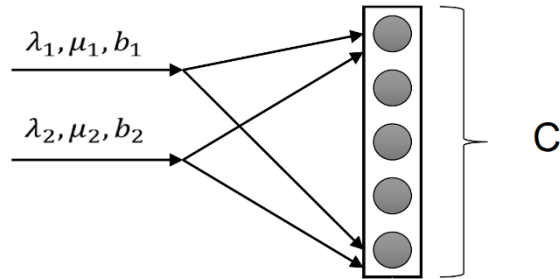


Рисунок 2.1 – Схема моделі доступу двошвидкісного трафіку

Простір станів системи описується:

$$X = \{(n_1, n_2) : n_1 \geq 0, n_2 \geq 0, n_1 b_1 + n_2 b_2 \leq C\}.$$

Графічно схему доступу при співвідношенні швидкостей 1:32 можна уявити простором станів у вигляді «сходів» з крайніми точками: (17,19), (49,18), (81,17), (113,16), (145,15), (177,14), (209,13), (241,12), (273, 11), (305,10), (337,9), (369,8), (401,7), (433,6), (465,5), (497,4), (529,3), (561, 2), (593,1), (625,0).

Для низькошвидкісних каналів підпростір прийому виглядає:

$$X_1 = \{(n_1, n_2) : n_1 b_1 + n_2 b_2 \leq C - b_1\}.$$

Стани відмови виникають при:

$$\bar{X} = X \setminus X_1 = \{(n_1, n_2) : n_1 b_1 + n_2 b_2 > C - b_1\}.$$

Для високошвидкісних каналів підпростір прийому виглядає:

$$X_2 = \{(n_1, n_2) : n_1 b_1 + n_2 b_2 \leq C - b_2\}.$$

А стани відмови виникають при:

$$\bar{X} = X \setminus X_2 = \{(n_1, n_2) : n_1 b_1 + n_2 b_2 > C - b_2\}.$$

Діаграма інтенсивностей переходів досліджуваного процесу представлена на рис. 2.2.

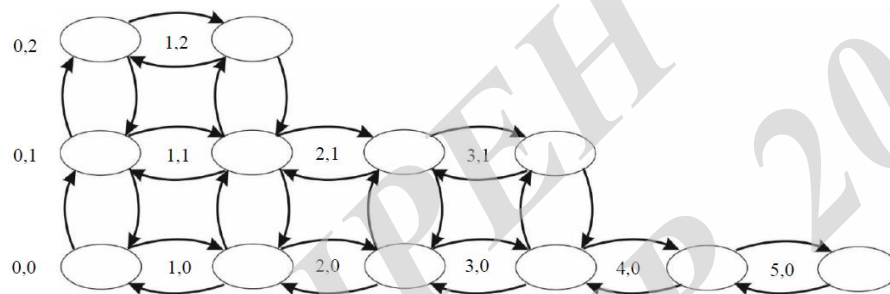


Рисунок 2.2 – Діаграма переходів досліджуваного процесу

Ця система може бути описана за допомогою рівнянь глобального і часткового балансу [8].

Для вирішення рівнянь глобального і часткового балансу цієї системи, спочатку розглянемо конкретний приклад для невеликих значень: $C = 5$, $b_1 = 1$, $b_2 = 2$, рис. 2.3, який в подальшому буде використаний для перевірки коректної роботи програми імітаційного моделювання, так як при малих числах простіше перевірити правильність роботи програми.

Використовуючи дану діаграму станів можна написати системи рівнянь глобального балансу з 12 рівнянь і часткового балансу, з 15 рівнянь. Система рівнянь глобального балансу:

$$(0,0) : (\lambda_1 + \lambda_2) p(0,0) = \mu_1 p(1,0) + \mu_2 p(0,1);$$

$$(1,0) : (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1) p(1,0) = 2\mu_1 p(2,0) + \mu_2 p(1,1) + \lambda_1 p(0,0);$$

$$(2,0): (\lambda_1 + \lambda_2 + 2\mu_1)p(2,0) = 3\mu_1p(3,0) + \mu_2p(3,1) + \lambda_1p(1,0);$$

$$(3,0): (\lambda_1 + \lambda_2 + 3\mu_1)p(3,0) = 4\mu_1p(4,0) + \mu_2p(4,1) + \lambda_1p(2,0);$$

$$(4,0): (\lambda_1 + 4\mu_1)p(4,0) = 4\mu_1p(4,0) + \lambda_1p(3,0);$$

$$(5,0): 5\mu_1p(5,0) = \lambda_1p(4,0);$$

$$(0,1): (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)p(0,1) = \mu_1p(1,1) + 2\mu_2p(0,2) + \lambda_2p(0,0);$$

$$(1,1): (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)p(1,1) = 2\mu_1p(2,1) + 2\mu_2p(1,2) + \lambda_1p(0,1) + \lambda_2p(1,0);$$

$$(2,1): (\lambda_1 + \mu_1 + 2\mu_2)p(2,1) = \lambda_1p(1,1) + \lambda_2p(2,0) + 3\mu_1p(3,1);$$

$$(3,1): (3\mu_1 + \mu_2)p(3,1) = \lambda_1p(2,1) + \lambda_2p(3,0);$$

$$(0,2): (\lambda_1 + 2\mu_2)p(0,2) = \mu_1p(1,2) + \lambda_2p(0,1);$$

$$(1,2): (\mu_1 + 2\mu_2)p(1,2) = \lambda_1p(0,2) + \lambda_2p(1,1).$$

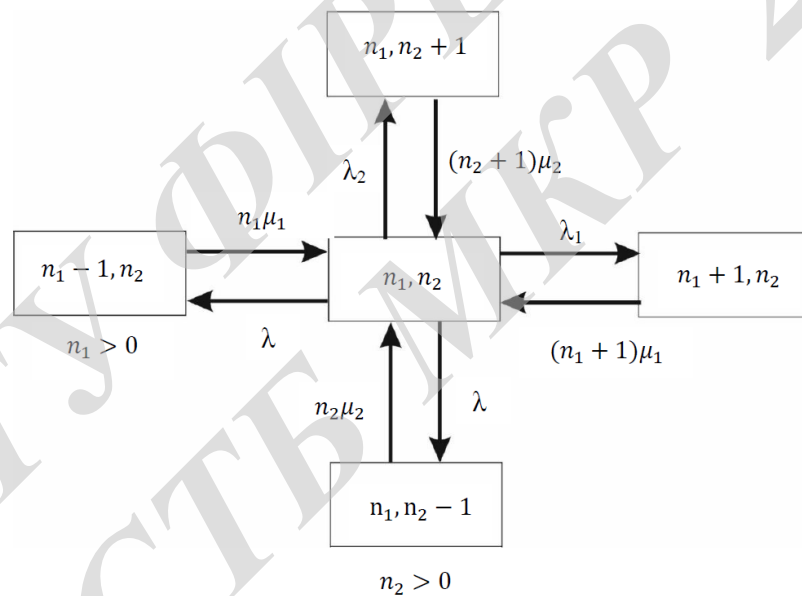


Рисунок 2.3 – Діаграма інтенсивностей переходів
для значень: $C = 5$, $b_1 = 1$, $b_2 = 2$

Дослідження цієї системи показали [14], що заявки з великим швидкістю зазнають і великих втрат, при цьому втрати низькошвидкісних заявок незначні, тому що вони одночасно займають менший транспортний ресурс. Але при цьому зростають втрати високошвидкісних заявок, так як їм відразу потрібно досить великий ресурс лінії. Для усунення цього недоліку необхідно викорис-

товувати механізми контролю за розподілом транспортного ресурсу між високошвидкісними і низькошвидкісними заявками.

Одним з таких механізмів є обмеження доступу з введенням гарантованого порога для інтернету низької трафіку. Тому запропоновано введення гарантованого порога для інтернету низької трафіку, яке дозволить знизити втрати високошвидкісних з'єднань. На існуючих мережах цей поріг повинен визначатися на основі постійних спостережень в мережі.

Розглянемо схему моделі доступу двошвидкісного трафіку з порогом для обслуговування низькошвидкісних з'єднань – N_1 (рис.2.4).

Простір станів системи описується:

$$X = \{(n_1, n_2) : N_1 \geq n_1 \geq 0, n_2 \geq 0, n_1 b_1 + n_2 b_2 \leq C\}.$$

Дана математична модель може бути розширена для більшого числа швидкостей. Наприклад, в неї можуть бути введені з'єднання для передачі сигналів міжмашинної взаємодії M2M з третьою постійною швидкістю, рівною 384 кбіт/с для передачі сигналів міжмашинної взаємодії M2M між стаціонарними пристроями, що знаходяться в мережі. Але для введення в модель цього виду трафіку, необхідні додаткові дослідження його параметрів.

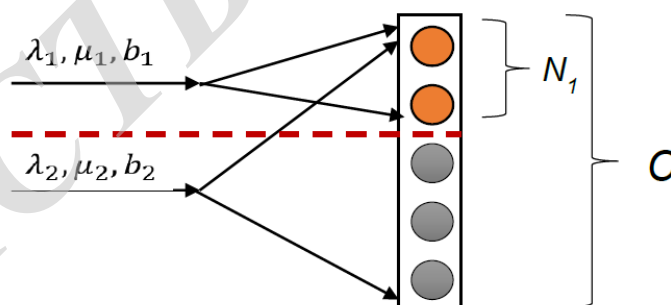


Рисунок 2.4 – Схема моделі доступу двошвидкісного трафіку з порогом для обслуговування низькошвидкісних з'єднань

2.2 Аналіз особливостей управління потоками користувальницької інформації

Рівнодоступні радіоресурси фрагмента мережі LTE при перевантаженнях можуть приводити до істотного падіння пропускної здатності фрагмента мережі LTE. Це відбувається при їх захопленні більш інтенсивними потоками окремих класів користувачів і повного блокування інших користувачів. Локальне управління на вузлах, що обмежують обсяг ресурсів, найбільш типове для перевантажень, викликаних різким збільшенням інтенсивності потоку викликів на одному або декількох вихідних напрямів вузла. У даній роботі запропонований спосіб підвищення пропускної спроможності мобільної мережі стандарту LTE, а саме – динамічне управління потоками користувальницької інформації, що має на увазі управління вхідним та вихідним навантаженнями на вузлах мобільної мережі, таких як MME, S-GW, PGW, PCRF, HSS/DNS/GW, а також адаптивну диспетчеризацію їх програм.

Управління в мережі LTE здійснює автоматична функція мережі SON, яка включає в себе три основних принципи: самоконфігурації, самооптимізації і самовідновлення. Принцип самоконфігурації, передбачає зменшення налаштованих вручну процесів при плануванні, налаштування і введенні в експлуатацію нового абонентського обладнання eNB, що забезпечує більш швидке розгортання мережі.

Для вибору чисельних значень мінімально і максимально допустимої швидкості передачі еластичного трафіку, необхідно розробити сукупність математичних моделей, які б підвищували ефективність спільного надходження і обслуговування заявок на передачу різнорідного трафіку сучасних комунікаційних додатків і провести дослідження побудованої моделі, після чого сформулювати рекомендації щодо застосування отриманих результатів.

На вузлах мобільної мережі LTE (таких як MME, S-GW, PGW, PCRF, HSS/ DNS/GW) [5] застосовується управління, відповідно до якого обмежується

або загальне число викликів на вузлі, або обсяг ресурсів, що виділяються для користувачів з різними класами обслуговування SLA.

Динамічним управлінням потоками на мережі, займаються алгоритми SON (Self Organizing Networks) [3]. У вдосконаленій архітектурі SAE введені дві нові функції: автоматичної самооптимізації управління мережею SON, які виникли через вимоги до складних мережевих мультитехнологій, передбачає інтеграцію 2G, 3G, 4G і WiMAX і функцію ієрархічного управління в мережі, реалізовану як у піко-, так і в фемтостільниках.

Функції самоврядування SON стандартизовані в рамках консорціуму 3GPP, вони є природним розвитком алгоритмів адаптивного управління. Саме ці функції дозволяють розширити область автоматизації процесів управління мережі в цілому.

При цьому перший принцип SON-самоконфігурації дозволяє налаштуватися на будь-яку з існуючих мережевих структур:

- централізовану, при якій алгоритми функцій SON розміщені в елементах системи управління на окремому сервері, який управляє базовими станціями eNodeB; така архітектура є вразливою з точки зору надійності;

- розподілену, при якій алгоритми функцій SON реалізовані безпосередньо в кожній базовій станції eNodeB, що дозволяє самостійно здійснювати управління окремою базовою станцією на основі результатів вимірювань; ця структура дозволяє зробити систему управління більш гнучкою, але ускладнює підвищення ефективності деяких загальних процедур;

- змішану, при якій відбувається комбіноване використання двох попередніх архітектур.

Другий принцип SON-оптимізації забезпечує досягнення максимальної ефективності функціонування обладнання eNodeB, за рахунок економії енергоспоживання, зниження інтерференції, максимальної дальності покриття та ємності стільників і т.д.

Розглянемо більш докладніше функції управління, що виконуються при самооптимізації, це:

1. Координація міжстільникової взаємодії ICIC. Відомо, що в мережах LTE головним видом внутрішньосистемних завад є вплив сусідніх стільників, як результат використання в мережі однієї спільної робочої частоти, тобто міжстільникова інтерференція. Переважання саме цієї завади пояснюється тим, що частотно-часовий ресурс всередині стільника є ортогональним. При цьому кожному абонентському терміналу виділяються ресурсні блоки, що не перекриваються. Ця функція також дозволяє обмежувати потужність передачі окремих блоків.

2. Координація радіопокриття мереж LTE і мереж поколінь 2G/3G. Коли мережа LTE розгорнута «поверх» мереж другого і третього поколінь з несучим радіопокриттям, функції SON забезпечують передачу даних в розривах цього радіопокриття за рахунок використання об'єднаного ресурсу мереж всіх поколінь. Це дозволяє також вирішувати завдання перерозподілу потоків різних видів трафіку. Наприклад, розвантажити мережу LTE від мовного трафіку і передавати його по мережах 2G/3G, а високошвидкісний трафік направляти в мережу LTE.

3. Мінімізація числа перевірочних тестів і вимірювань. При узгодженні інформації про стан мережі, одержуваної в автоматичному режимі від абонентських терміналів, рекомендується проведення тестів мережі на різних етапах її функціонування, що дозволяє скоротити витрати на її обслуговування.

Третій принцип SON – самовідновлення дозволяє службі експлуатації відновлювати мережу в напіваавтоматичному режимі в разі збою при обов'язковому виконанні функцій початкової діагностики працездатності мережі.

Алгоритми SON апаратно вбудовуються в обладнання всіх вузлів мережі [9]. У нових моделях смартфонів використовується спеціальне програмне забезпечення, при установці якого самі абоненти стають джерелами інформації про якість зв'язку. У мережах LTE базова станція eNodeB стає одним концентратором, що збирає і передає статистику про характеристики радіотракта.

При проектуванні і запуску мереж LTE, оператора цікавлять перспективи окупності обладнання, а також необхідний обсяг ресурсів мережі для обслуговування заявок з різними вимогами до рівня якості. Єдиними можливими інструментами для цього при впровадженні нових технологій в даний час є аналітичне та імітаційне моделювання. На засіданні робочих груп 3GPP [4] приймаються і коригуються певні параметри і сценарії моделювання. Існують і постійно поліпшуються виробниками програмного забезпечення комп'ютерні симулятори, які детально моделюють радіоінтерфейси мобільних мереж. Найбільш поширеною архітектурою симуляторів є дискретно-подієва. У ній основним елементом моделювання є подія, що відбувається в певний момент часу і приводить до зміни стану системи, це може бути: початок і завершення розмови, встановлення відеоз'єднання, зміна швидкості передачі, зміна кодека і т.п. Можливо моделювання як радіоканалу, так і алгоритмів протоколів управління, трафіку, мобільності абонентів і профілів їх обслуговування.

Таким чином, симулятори дозволяють вирішувати такі завдання:

- прогнозування середніх і максимальних показників продуктивності мережі;
- оцінка якості обслуговування з урахуванням впровадження нових послуг на мережі;
- оцінка потенційної стійкості мережі при збільшенні навантаження і пошук «вузьких місць» коли обсяг трафіку збільшується, наприклад, при проведенні великих заходів.

Однією з переваг імітаційного моделювання є його гнучкість, в залежності від поставлених цілей і наявної статистики. Нині розроблено симулятори LTE-Sim і ns-3 [2, 4], які дозволяють моделювати поряд з мережами LTE і мережі Wi-Fi, що важливо в зв'язку з розвитком гетерогенних технологій [7].

При моделюванні фрагмента мережі LTE використовуються наступні входні параметри: ширина частотного каналу, алгоритм управління радіоресурсами, топологія розміщення базової станції і її характеристики, параметри мобільності абонентів, параметри трафіку в мережі, характеристики абонентських

терміналів, параметри множинного доступу, алгоритми управління радіоресурсами, профілі обслуговування абонентів, технологія транспортної частини мережі.

Розглянемо детально процес моделювання радіоканалу передачі між призначеним для користувача обладнанням UE і базовою станцією eNodeB.

2.3 Аналіз результатів моделювання радіоканалу передачі між UE і eNodeB

Було проведено тестування і оцінка продуктивності каналів радіопередачі ресурсних блоків мережі LTE за допомогою пакета MATLAB і Simulink [8]. В якості вихідних даних прийнято: тип каналу передачі – R.12; режим передачі в обох напрямках – TDD; число переданих кадрів – 8.

Після вибору каналу передачі RMC, всі інші параметри налаштовуються програмно відповідно до специфікації 3GPP [78]. Для каналу передачі R.12 специфікацією 3GPP кількість ресурсних блоків задано рівним 6, кількість антен задано рівним 4 і т.д. Всі необхідні настройки перед генерацією спадного сигналу наведені на інтерфейсі, представленому на рис. 2.5.

Generate preset PDSCH reference measurement channel (RMC) waveforms. These are specified in TS 36.101 Annex A.3 for UE performance testing. Use the command line interface for full parameter control.

Parameter	Value
Reference channel	R.12 (TxDiver...)
Duplex mode	TDD
Transmission scheme	TxDiversity
Cell identity	0
RNTI	1
RV sequence	[0 1 2 3]
Rho (dB)	0
OCNG	Off
Number of subframes	8
Number of codewords	1
PMI set	[1]
Number of HARQ processes	7
Windowing (samples)	0
Waveform output variable	rmcwaveform
Resource grid output variable	rmcgrid
RMC configuration output variable	rmcconfig

RMC parameter summary	
Transmission scheme	TxDiversity
Number of downlink resource blocks	6
Number of allocated resource blocks	6
Cell-specific reference signal ports	4
Modulation scheme	QPSK
Transmission layers	4
Total info bits per frame per codeword	1024 bits

Note: * indicates value can change per subframe

Codeword input data

Transport info bit stream (codeword 1) User defined [1; 0; 0; 1]

Transport info bit stream (codeword 2) User defined [1; 0; 0; 1]

Generate waveform Help

Рисунок 2.5 – Параметри каналів передачі

Далі згенерований вихідний радіосигнал і побудовано графікі (рис. 2.6) На графіку представлені всі вісім кадрів комплексного сигналу контрольно-вимірювального каналу.

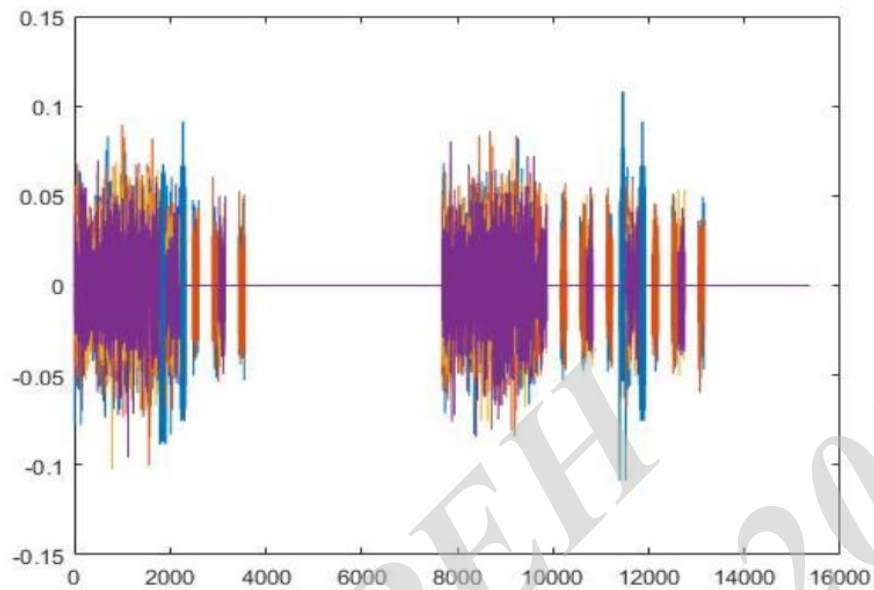


Рисунок 2.6 – Дійсна складова комплексного сигналу для каналу №12

Потім, MATLAB генерує точно такий же сигнал безпосередньо. Після цього випадковим чином створюються дані в часовому і частотному діапазонах. Після запуску програми на виконання на екрані відображається спектр сигналу.

На рис. 2.7 показано, що 6 ресурсних блоків контрольно-вимірювального каналу займають смугу сигналу шириною 1 МГц.

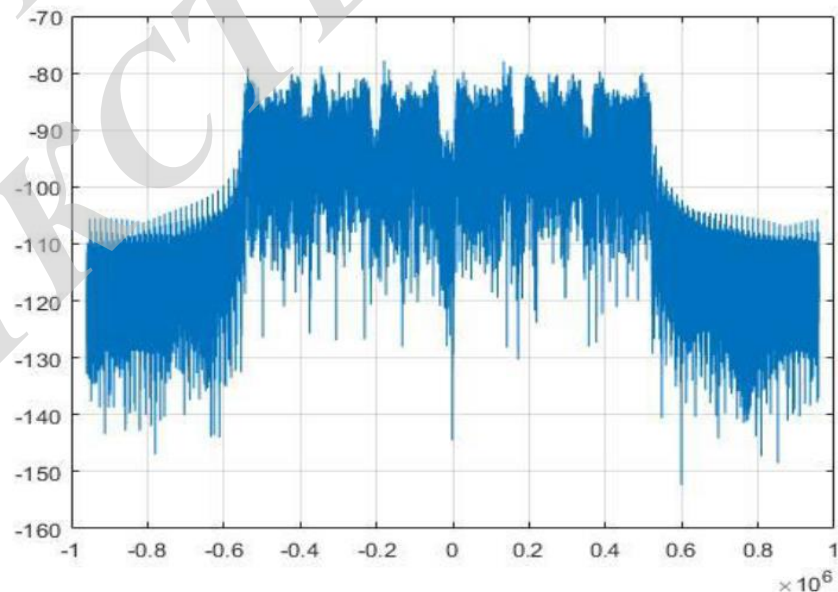


Рисунок 2.7 – Спектр сигналу

Потім, проводиться формування частотно-часової ресурсної сітки і при виведенні функції генерації OFDM символів «lteOFDMModulate» на екран, ми отримуємо сигнал, готовий для передачі в ефір (рисунок 2.8).

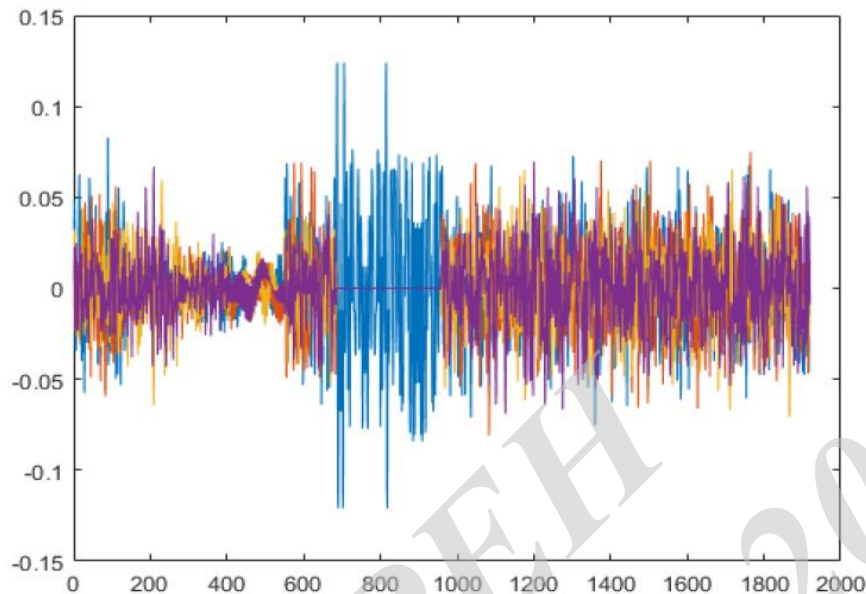


Рисунок 2.8 – Сигнал готовий для передачі в ефір

Після цього повинен бути проведений тест на пропускну здатність досліджуваного радіоканалу при початкових умовах відношення сигнал/шум – 2.3, 0.9, 3.3. Для тестування пропускну здатності використовується один кадр.

Потім була визначена мінімальна пропускну здатність для висхідного каналу при заданому співвідношенні сигнал/шум. При генерації сигналу, шум каналу додається до отриманого раніше сигналу, який потім демодулюється. Результатом дослідження є ресурсна сітка для кожної антени. Оцінка пропускну здатності каналу виконується для визначення пропускну здатності між кожною передачею і отриманням пари антен.

Пропускну здатність каналу приведена на рис.2.9–2.10 у відсотках від загального обсягу ємності фрагмента мережі і в Мбіт/с.

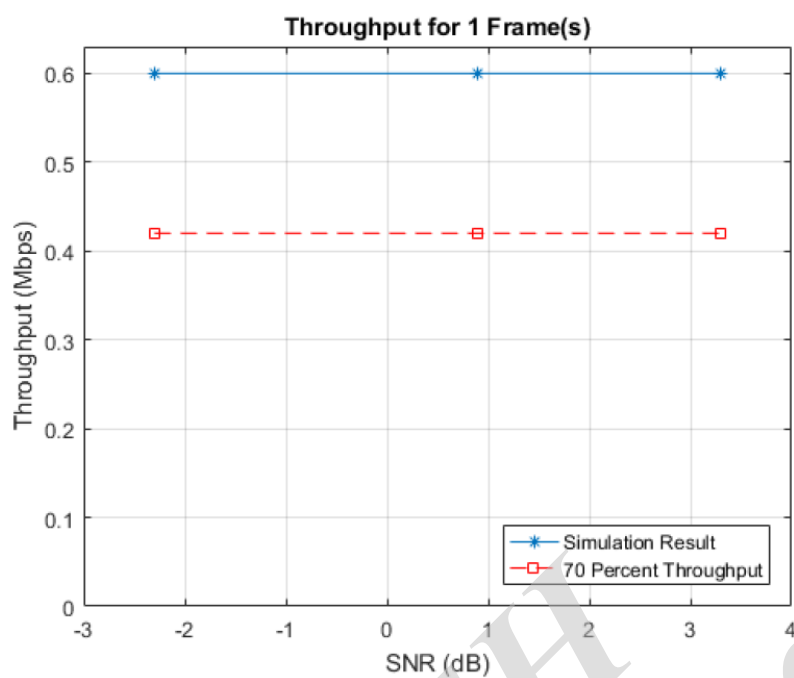


Рисунок 2.9 – Графік пропускної здатності каналу в Мбіт/с

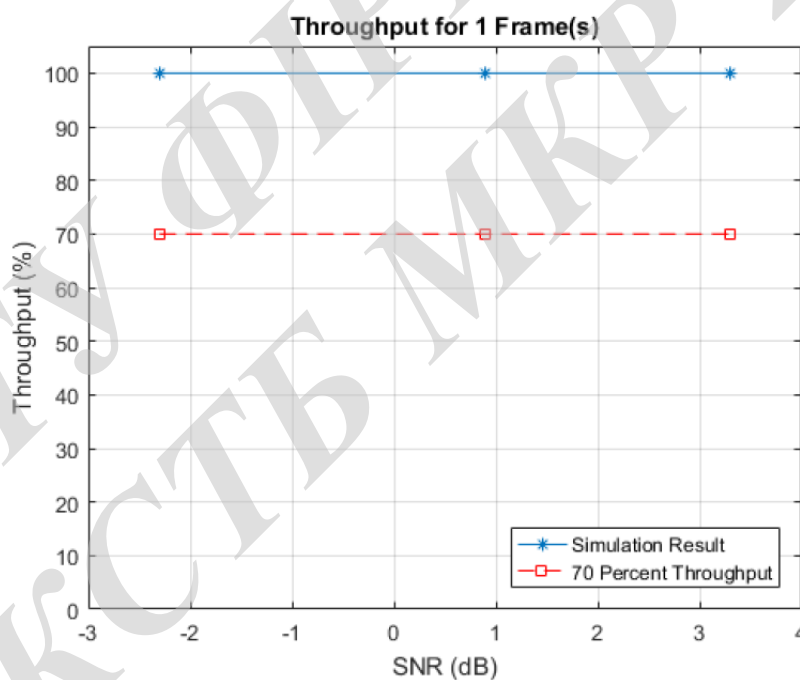


Рисунок 2.10 – Графік пропускної здатності в процентах

На рис. 2.11 зображений спектр досліджуваного сигналу. Жовтим кольором показаний сигнал в низхідному каналі передачі сигналу, синім – у висхідному каналі.

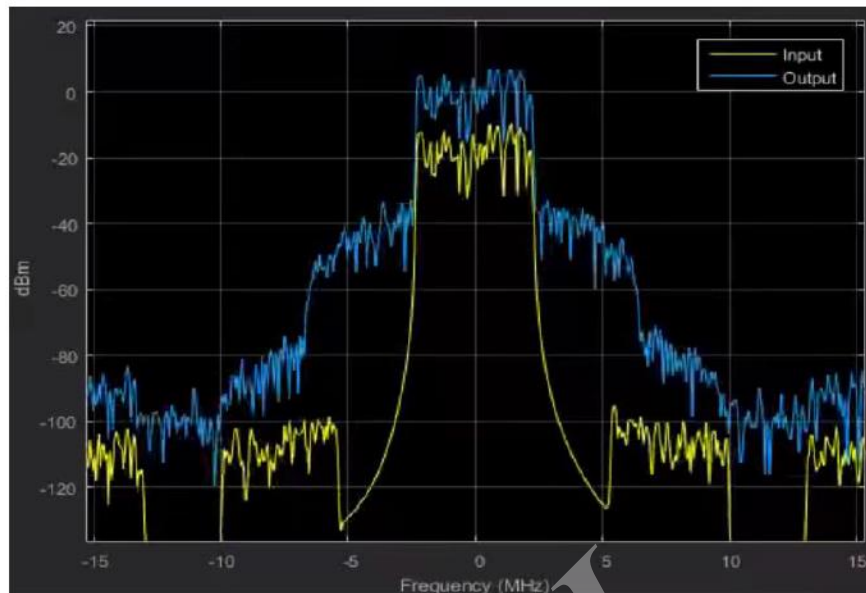


Рисунок 2.11 – Спектри сигналів низхідного і висхідного каналів

На рис. 2.12 представлені спотворення OFDM символів в частотно-часовому фазовому сузір'ї.

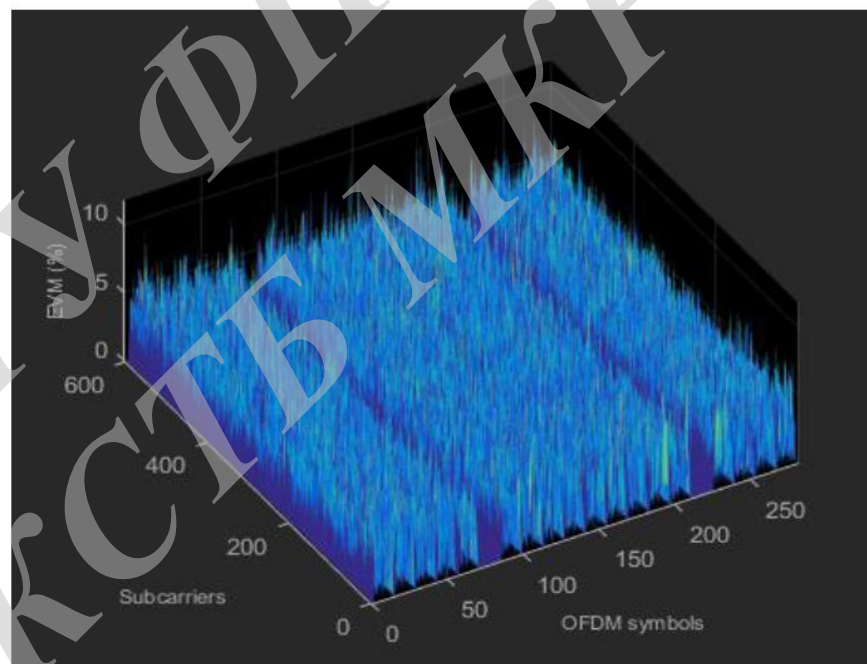


Рисунок 2.12 – Спотворення частотно-часового фазового сузір'я

На підставі проведених досліджень були отримані початкові дані для розробки математичної моделі обслуговування неоднорідного трафіку на фрагменті мережі LTE.

2.4 Побудова моделі обслуговування неоднорідного трафіку

Трафік в мережах LTE можна умовно розділити на трафік реального часу, який чутливий до затримок і повинен мати фіксовану швидкість передачі (мова, відеоконференції з різним ступенем якості і т.д.), і еластичний трафік, що відноситься до передачі даних, швидкість якого змінюється пропорційно пропускній здатності стільника, незадіяного в процесі передачі трафіку реального часу.

Саме властивості еластичного трафіку дають можливість істотно підвищити ефективність використання ресурсу передачі інформації. Це особливо важливо для перспективних мереж рухомого зв'язку, до яких відносяться мережі стандарту LTE, в яких в основному використовуються користувацькі пристрої з інтелектуальними модемами, що збільшують частку еластичного трафіку. Очевидно, що спільна передача різнорідного трафіку потребує засобів контролю, що забезпечують задані показники якості обслуговування заявок. Найпростіший спосіб контролю – це введення обмежувальних порогів на швидкість передачі еластичного трафіку даних.

Розглянемо процес побудови моделі. Через C позначимо швидкість передачі інформації, що забезпечується технічними можливостями окремого фрагмента мережі стандарту LTE. Процес надходження заявок обмежимо одним потоком заявок на обслуговування трафіку реального часу і одним потоком заявок на передачу еластичного трафіку даних. Приймемо, що заявки на передачу трафіку реального часу надходять по пуассонівському закону з інтенсивністю λ_r . Для обслуговування однієї заявки потрібно виділити з наявної пропускної спроможності стільника ресурс в розмірі c_r біт/с. Час обслуговування заявки реального часу t_r має експоненціальний розподіл із середнім $1/\mu_r$. Тут μ_r – параметр експоненціального розподілу.

Також приймемо, що процес надходження заявок на передачу даних також підпорядковується пуассонівському закону з інтенсивністю λ_d . Для обслуговування однієї заявки з наявної вільної пропускної спроможності стільника виділяється максимально можливий ресурс в розмірі c_d біт/с, що задовольняє

нерівності $c_1 \leq c_d \leq c_2$. Величини c_1 і c_2 задають відповідно мінімальну і максимальну швидкість завантаження файлів, прийнемо, що $c_1 \leq c_2$. У моделі прийнято, що обсяг переданого файлу даних має експоненціальне розподіл із середнім значенням F , вираженим в бітах. Очевидно, що час передачі файлу з використанням тільки мінімальної c_1 і тільки максимальної c_2 швидкостей має експоненціальний розподіл з параметрами відповідно $\mu_{d,1}$ і $\mu_{d,2}$. Значення параметрів $\mu_{d,1}$ і $\mu_{d,2}$ визначаються з співвідношень $\mu_{d,1} = c_1/F$ і $\mu_{d,2} = c_2/F$.

У моделі також прийнято, що заявки на передачу трафіку реального часу мають відносний пріоритет при використанні ресурсу передачі інформації. Позначимо через i_r і i_d число заявок на передачу трафіку, відповідно, реального часу і даних, що знаходяться на обслуговуванні в момент надходження заявки на передачу трафіку реального часу. Якщо фрагмент мережі має в своєму розпорядженні достатній вільний ресурс, тобто виконується нерівність $i_r c_r + i_d c_2 \leq C$, то заявка приймається на обслуговування і для цього виділяється ресурс в обсязі c_r біт/с.

Якщо зазначеної величини ресурсу немає, але виконується нерівність $i_r c_r + i_d c_1 + c_r \leq C$, то швидкість передачі всіх файлів, що знаходяться на обслуговуванні, зменшується з величини $C - i_r c_r / i_d$ до значення $C - (i_r + 1) c_r / i_d$. Оскільки справедливим є співвідношення $i_r c_r + i_d c_1 + c_r \leq C$, то нове значення швидкості передачі файлу буде не менше c_1 , тобто задовольняє прийнятим угодам про передачу файлів так як виконується нерівність: $C - (i_r + 1) c_r / i_d \geq c_1$.

Якщо виконується нерівність $i_r c_r + i_d c_1 + c_r \leq C$, то заявка на передачу файлів отримує відмову, оскільки в даній ситуації або немає вільного ресурсу в обсязі c_1 біт/с, або не можна отримати зазначену величину ресурсу зменшивши швидкість передачі i_d файлів, що знаходяться на обслуговуванні, тому вказана дія зменшить швидкість передачі всіх файлів до значення меншого ніж c_1 .

Для побудови моделі розподілу ресурсу проаналізуємо процес розподілу ресурсу в окремому стільнику мережі стандарту LTE. Позначимо через (i_r, i_d) вектор стану числа заявок, що знаходяться на обслуговуванні у стільнику. Тут i_r

– число заявок на передачу трафіку реального часу, i_d – число заявок на передачу файлів. Час обслуговування кожної з i_r заявок на передачу трафіку реального часу має експоненціальний розподіл з параметром μ_r . На обслуговування трафіку реального часу в стані (i_r, i_d) виділяється ресурс стільника в розмірі $i_r c_r$ біт/с.

Час обслуговування кожної з i_d заявок на передачу файлів в стані (i_r, i_d) також має експоненціальний розподіл. Позначимо параметр розподілу через μ_d . Величина μ_d залежить від ступеня завантаження стільника. Якщо виконується співвідношення $i_r c_r + i_d c_2 \leq C$, то кожен з i_d обслуговуваних файлів передається з максимально можливою швидкістю c_2 . У цій ситуації на обслуговування трафіку даних в стані (i_r, i_d) виділяється ресурс стільник в розмірі $i_d c_2$ біт/с. При цьому частина ресурсу стільника в розмірі $C - i_r c_r - i_d c_2$ залишається без функціонування в силу обмежень на максимально можливу швидкість передачі даних. Параметр розподілу часу обслуговування визначається зі співвідношення $\mu_{d,2} = c_2 / F$. Якщо ж виконується зворотнє співвідношення $i_r c_r + i_d c_2 > C$, то кожен з i_d обслугованих у стані (i_r, i_d) файлів передається зі швидкістю $C - i_r c_r / i_d$. У цій ситуації на обслуговування трафіку даних виділяється ресурс стільника в розмірі $C - i_r c_r$ біт/с і весь ресурс стільника задіяний на обслуговування вхідного трафіку. Параметр розподілу часу передачі файлу визначається зі співвідношення $\mu_d = C - i_r c_r / i_d F$.

Позначимо через $c_{r,d}$ величину ресурсу зайнятого в стані (i_r, i_d) на обслуговування прийнятих заявок. Таким чином, при зміні швидкості передачі в тій же пропорції змінюється середнє значення залишкового часу обслуговування заявки на передачу файлу. Швидкість передачі даних змінюється динамічно відповідно до завантаження стільника. При малому завантаженні фрагмента мережі LTE дані передаються з максимально можливою швидкістю c_2 , яка підтримується технічними можливостями системи LTE, при великому завантаженні мережі – зі швидкістю c_1 . Відзначимо, що при цьому використовується ресурс, а, отже, і швидкість передачі трафіку сервісів реального часу не змінюються.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ АДАПТИВНИХ АЛГОРИТМІВ

3.1 Опис алгоритмів контролю доступом на мережі LTE

Одним з механізмів забезпечення якості обслуговування в пакетних мережах є резервування ресурсів [4]. Резервування проводиться для певного потоку заявок на передачу пакетів перед початком передачі. Після резервування починається передача цього потоку з заданою якістю. Для забезпечення необхідної якості обслуговування резервування повинне бути доповнено механізмами управління доступом і алгоритмами організації і планування черг.

Алгоритми управління доступом контролюють надходження нових заявок на передачу трафіку через мережу, визначаючи, чи може вхідний трафік привести до перевантаження мережі або до погіршення рівня якості обслуговування вже наявного в мережі трафіку.

Алгоритми організації і планування черг дозволяють обмежувати пропускну здатність всередині вузла комутації, розподіляючи її між декількома потоками, в залежності від вимог до пропускну здатності з боку кожного потоку.

3.2 Чисельні результати і їх використання для планування значень структурних параметрів моделі

На підставі моделі виконаємо аналіз основних ймовірнісних характеристик моделі передачі трафіку M2M в умовах його збільшення. Розглянемо спочатку моделювання для процесу, заснованого на такому прикладі. Нехай задані фіксовані значення вхідних параметрів: $C = 100\text{Мбіт/с}$, $c_r = 3\text{Мбіт/с}$, $c_1 = 1\text{Мбіт/с}$, $c_2 = 5\text{Мбіт/с}$, $F = 16\text{Мбіс}$, $\mu_r = 1/300$. Прийmemo середній час передачі трафіку реального часу $T_r = 300\text{с}$, а середні мінімальний і максимальний часи передачі файлу складають, відповідно, $T_{d,1} = F/c_1 = 3,2$, $T_{d,2} = F/c_2 = 16$. Прийmemo, що при виникненні нештатної ситуації заявки на передачу трафіку даних надходять в сто разів частіше, ніж заявки на передачу трафіку реального часу, тобто вико-

нується співвідношення $\lambda_r = 100\lambda_d$. Позначимо через ρ потенційне завантаження одиниці ресурсу передачі стільника, його значення ρ визначиться з співвідношення:

$$\rho = \frac{\lambda_r \cdot \frac{1}{\mu_r} \cdot c_r + \lambda_d \cdot F}{C}.$$

Проведемо розрахунок залежностей характеристик моделі в зоні перевантаження при збільшенні ρ в інтервалі від 0,75 до 1,25. На рис. 3.1 показані результати розрахунку втрат заявок реального часу λ_r і заявок на передачу даних λ_d при значному збільшенні ρ . Очевидно, що з ростом завантаження одиниці ресурсу втрати заявок ростуть. Темпи зростання частки втрачених заявок стають особливо значними, коли завантаження системи наближається до одиниці, а потім переходить в зону повного навантаження (ρ більше 1). Показано, що частка втрачених заявок на передачу трафіку реального часу зростає швидше частки втрачених заявок на передачу файлів.

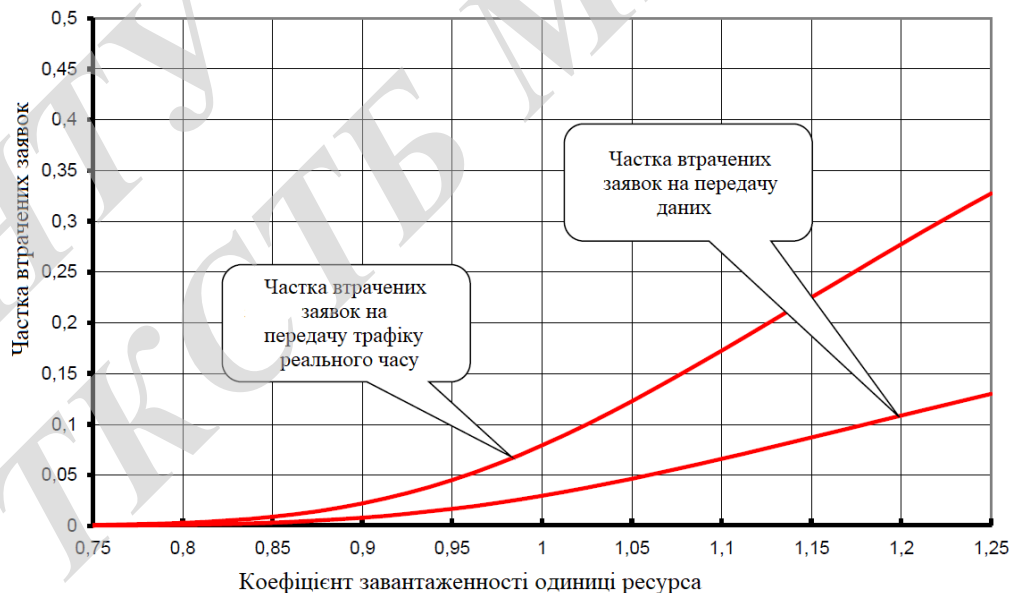


Рисунок 3.1 – Результати розрахунку втрат заявок з ростом мінімального потенційного завантаження одиниці ресурсу передачі стільника вхідним трафіком

На рис. 3.2. показані результати розрахунку частки часу повного завантаження ресурсу стільника π_f при збільшенні завантаження одиниці ресурсу ρ . Ця характеристика приймає значення більше 0,5 при збільшенні завантаження одиниці ресурсу стільника до значення 0,9. При подальшому збільшенні параметра ρ повне завантаження ресурсу стільника прагне до одиниці.

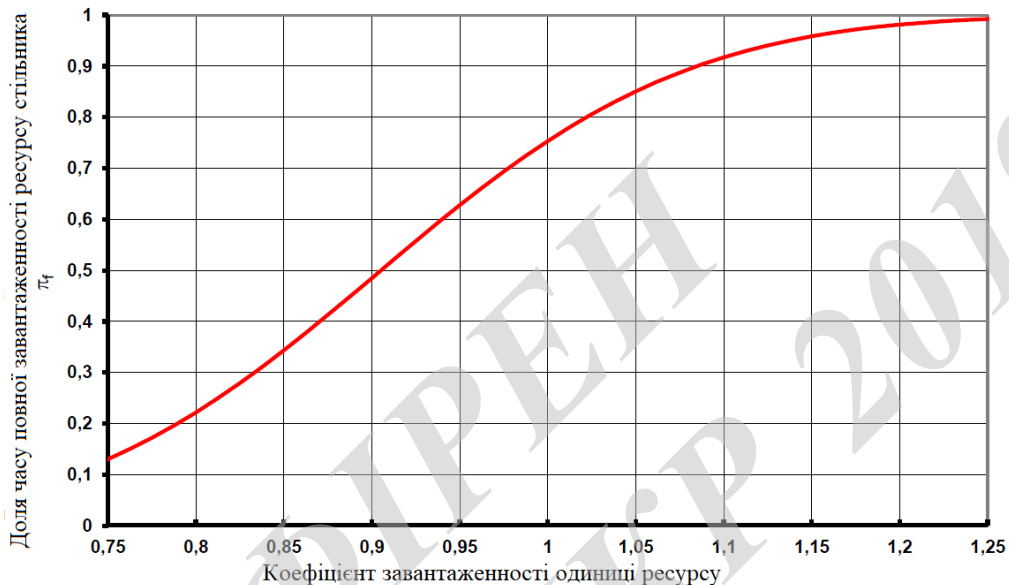


Рисунок 3.2 – Результати розрахунку частки часу повного завантаження ресурсу стільника при збільшенні мінімального потенційного завантаження одиниці ресурсу передачі стільника вхідним трафіком

На рис. 3.3 представлено результати розрахунку середнього числа m_f і середнього m_d , що знаходяться в стільнику на обслуговуванні при різкому збільшенні ρ .

Дослідження показали, що з ростом ρ середнє число прийнятих на обслуговування заявок на передачу трафіку реального часу спочатку зростає, а потім починає зменшуватися. Це відбувається через те, що мінімальний ресурс передачі, необхідний для обслуговування однієї заявки на передачу файлів зазвичай менше, ніж ресурс, необхідний для передачі трафіку реального часу. Тому заявки на передачу файлів даних витісняють з обслуговування заявки на передачу

трафіку сервісів реального часу. Цей ефект також відомий при обслуговуванні мультисервісного трафіку реального часу [15].

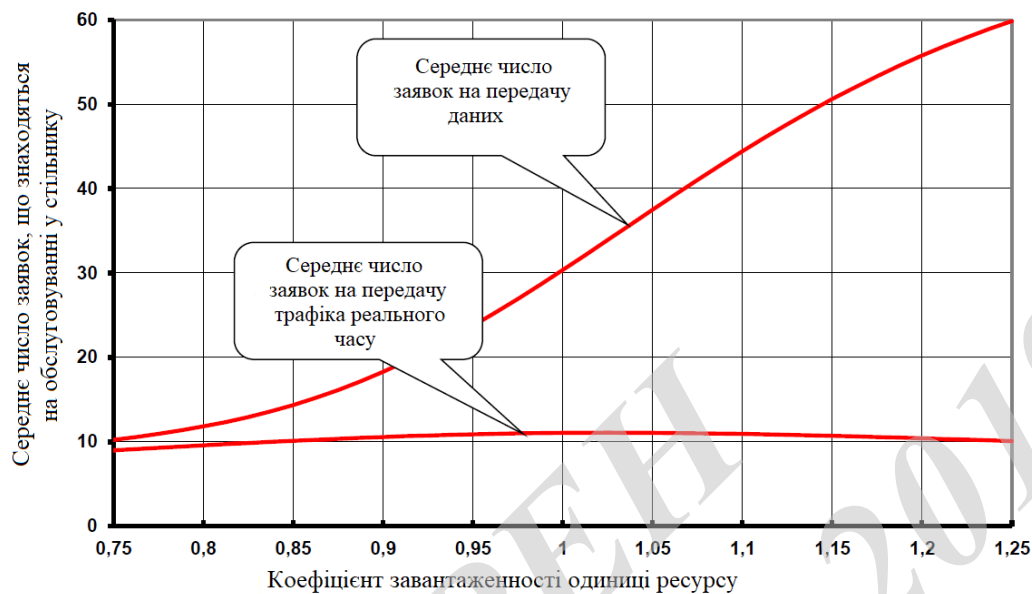


Рисунок 3.3 – Середнє число заявок, що знаходяться в стільнику на обслуговуванні при збільшенні завантаження одиниці ресурсу передачі стільника вхідним трафіком

На рис. 3.4 показані результати розрахунку середніх значень розподілу швидкостей всередині стільники – s_r і s_d , використаних відповідно на передачу трафіку сервісів реального часу і трафіку даних. Видно, що з зростанням завантаження одиниці ресурсу ρ продуктивність стільника, спочатку зростає, а потім починає зменшуватися. Це відбувається через те, що мінімальний ресурс, необхідний для обслуговування однієї заявки на передачу файлів менше ресурсу, необхідного для передачі трафіку реального часу. З цієї причини заявки на передачу файлів витісняють з обслуговування заявки на передачу трафіку сервісів реального часу. На рис. 3.4 також показано сумарне використання ресурсу стільника. З ростом завантаження одиниці ресурсу ρ воно прагне до максимальної пропускної здатності стільника $C = 100$ Мбіт/с.

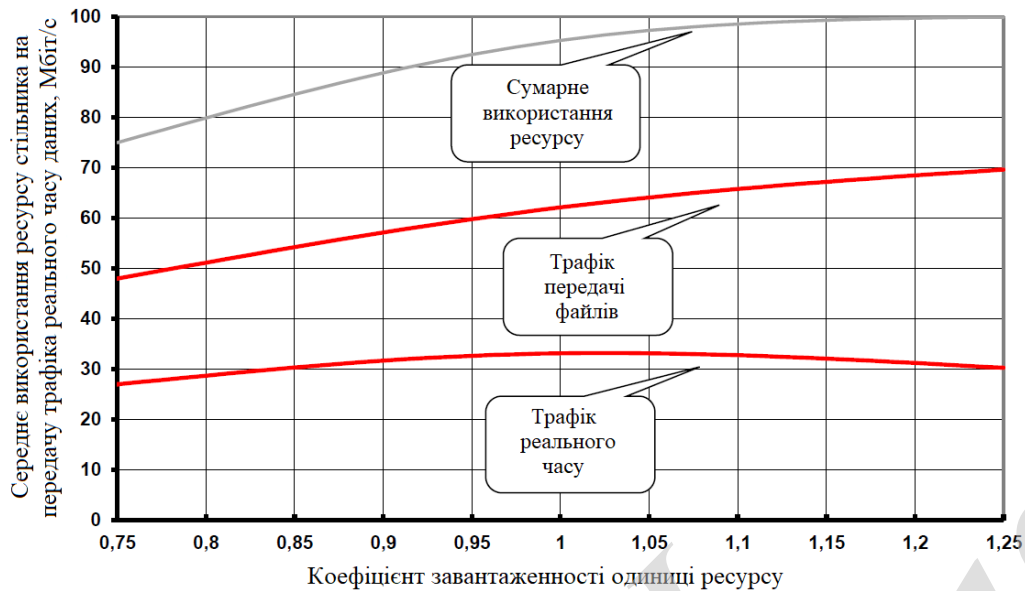


Рисунок 3.4 – Середнє використання ресурсу стільника на передачу трафіку реального часу і даних при збільшенні мінімального потенційного завантаження одиниці ресурсу передачі стільника вхідним трафіком

З умов побудови моделі слідує, що при малому завантаженні стільника дані будуть передаватися з максимально допустимою швидкістю. В розглянутому прикладі це характеристика швидкості передачі трафіку даних c_d , вона буде прагнути до 5 Мбіт/с. На рис. 3.5 показані результати розрахунку швидкості передачі трафіку даних c_d . Можна побачити, що з ростом одиниці завантаження ресурсу ρ трафік даних поступово починає обслуговуватися з мінімально допустимою швидкістю $c_1 = 1$ Мбіт/с.

На рис. 3.6 показані результати розрахунку середнього часу передачі файлу T_d при збільшенні одиниці завантаження ресурсу ρ . При цьому середній час передачі файлу збільшується, починаючи з величини 3,2 с, коли на передачу файлу використовується максимально можливий ресурс стільника k_f , і прагне до 16 с, відповідно до мінімальної величини ресурсу, що виділяється на передачу файлу.

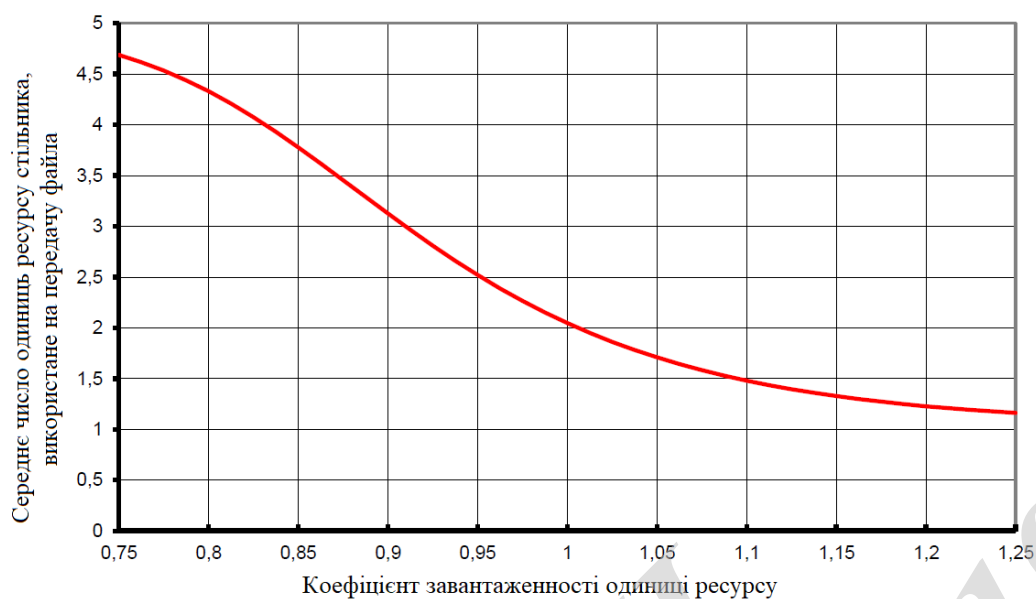


Рисунок 3.5 – Середнє використання ресурсу стільника на передачу файлу при збільшенні мінімального потенційного завантаження одиниці ресурсу передачі стільника вхідним трафіком

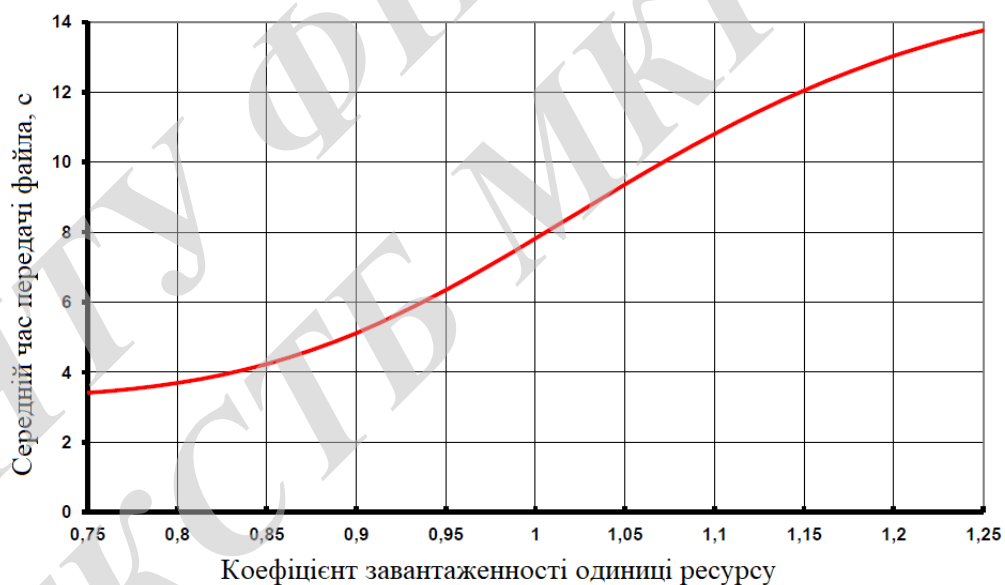


Рисунок 3.6 – Середній час передачі файлу при збільшенні мінімального потенційного завантаження одиниці ресурсу передачі стільника вхідного трафіка

3.3 Результати оцінки швидкості передачі на фрагменті стільника мережі LTE

Розглянемо завдання планування допустимих обсягів трафіку і ресурсу передачі інформації. Навантажувальними параметрами моделі є значення інтенсивностей трафіку реального часу λ_r і трафіка даних λ_d . Параметрами, що визначають використання і розподіл ресурсу передачі інформації є значення швидкостей C , c_r , c_1 , c_2 . Зрозуміло, що методом перебору можна вирішувати задачу оцінки будь-якого з перерахованих параметрів при фіксованих значеннях інших. Як функціонал, що визначає якість обслуговування заявок, найбільш доцільно взяти частку заявок на передачу трафіку реального часу π_r , яким відмовлено в доступі, а також частку заявок на передачу трафіку даних (файлів) π_d , яким також відмовлено в доступі.

При вирішенні задачі планування ресурсу передачі інформації обидва показника можуть набувати різних значень. Надалі прийнято, що як основне значення частки втрачених заявок використовується значення π , яке визначається зі співвідношення

$$\pi = \max(\pi_r, \pi_d). \quad (3.1)$$

Іншим важливим параметром, що оцінює тільки якість обслуговування заявок на передачу файлів даних, виберемо значення середнього часу передачі файлу T_d .

Проведемо оцінку передавального ресурсу стільника, достатнього для обслуговування вхідних потоків трафіку з заданою якістю. Якість обслуговування заявок оцінимо за допомогою формули (3.1), взявши $\pi = 0,05$.

Фіксовані параметри надходження трафіку і його обслуговування отримані при наступних значеннях параметрів моделі: $C = 100 \text{ Мбіт/с}$,

$c_r = 3 \text{ Мбіт/с}$, $c_1 = 1 \text{ Мбіт/с}$, $c_2 = 5 \text{ Мбіт/с}$, $F = 16 \text{ Мбіт}$, $\mu_r = 1/300$, $\lambda_r = 0,05$, $\lambda_d = 5$.

При даних значеннях параметрів величини втрат визначаються при $\pi_r = 0,3274$, $\pi_d = 0,1299$. Тобто кожне з значень параметрів перевищує нормативну величину втрат $\pi = 0,05$. Почнемо послідовно збільшувати C швидкість передачі інформації (каналу) в стільнику поки максимальне значення втрат не стане менше $0,05$. Результати обчислень наведені на рис. 3.7. Тут показані дані розрахунку втрат заявок π_r і π_d з ростом загальної швидкості передачі C . Як і слід було очікувати, з ростом швидкості C втрати заявок падають.

Починаючи зі значення $C = 118 \text{ Мбіт/с}$ втрати заявок на передачу даних стають менше $0,05$, а починаючи зі значення $C = 129 \text{ Мбіт/с}$ втрати заявок на передачу трафіку сервісів реального часу також стають менше $0,05$. Таким чином, рішення задачі отримано при $C = 129 \text{ Мбіт/с}$.

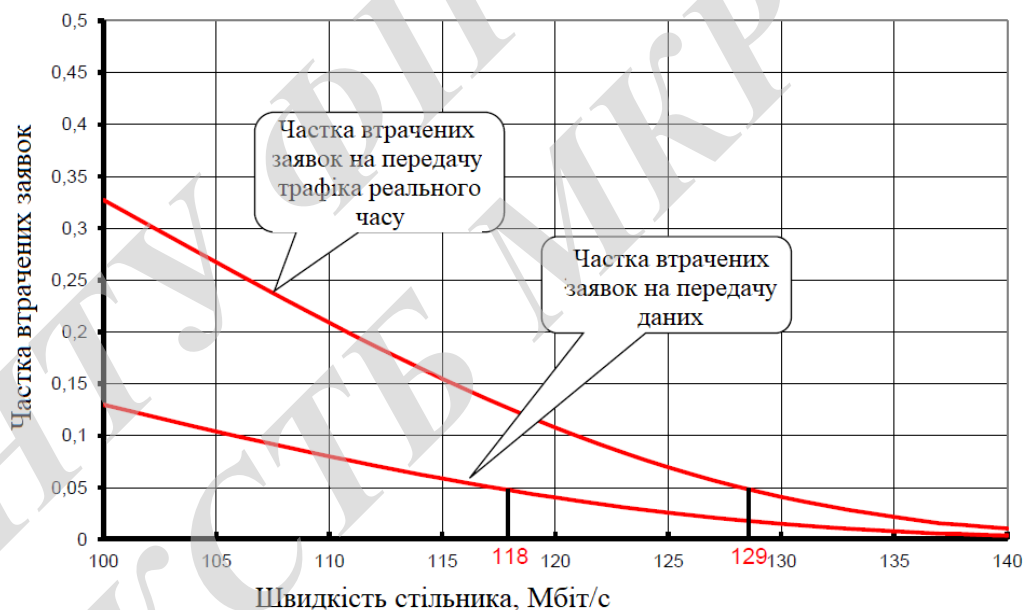


Рисунок 3.7 – Результати оцінки швидкості передачі на фрагменті стільника мережі LTE, що забезпечує обслуговування заданих потоків заявок на передачу трафіку даних і трафіку сервісів реального часу, із заданою величиною максимальних втрат

Часто необхідно при визначенні передавального ресурсу стільника визначити величину середнього часу доставки файлу, достатнього для обслуговування надходять потоків трафіку з заданою якістю. Припустимо, що в моделі, результати розрахунків якій представлені на рис. 3.7, необхідно додатково забезпечити середній час передачі файлу T_d не більше 5 с. Тоді підбір передавального ресурсу стільника відбуватиметься до тих пір, поки одночасно з умовою (3.1) не виконається і це обмеження. Результати рішення задачі представлені на рис. 3.8. Тут показані значення середнього часу передачі файлу T_d зі збільшенням значення швидкості з'єднання C .

Як і слід було очікувати, з ростом C величина часу доставки файлу T_d падає. Починаючи зі значення швидкості $C = 137$ Мбіт/с, втрати заявок на передачу даних і трафіку сервісів реального часу стають менше 0,05, а середній час передачі файлу – менше 5 с. Таким чином, рішення задачі отримано при $C = 137$ Мбіт/с.

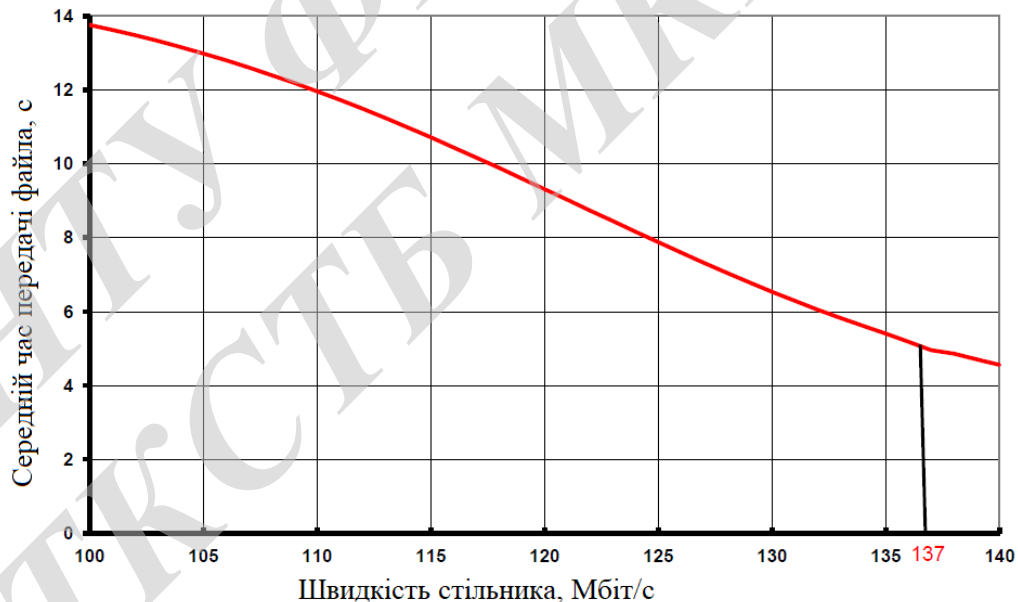


Рисунок 3.8 – Результати оцінки швидкості стільника, що забезпечує обслуговування заданих потоків заявок на передачу трафіку даних і трафіку сервісів реального часу, з заданими величинами максимальних втрат і середнього часу передачі файлу

Аналогічним чином можна підбирати максимально допустимий обсяг трафіку, який може бути пропущений в стільнику при фіксованій пропускній здатності C і заданій величині максимальних втрат (як нормативний показник можна також використовувати і обмеження на середній час передачі файлу). Для цього при інших фіксованих параметрах моделі величина завантаження одиниці ресурсу стільника зменшується поки не будуть виконані обмеження на якість обслуговування заявок.

Результати обчислень наведені на рис. 3.9, де показані дані розрахунку втрат заявок реального часу π_r і заявок на передачу даних π_d зі зменшенням значення завантаження ρ . Як і слід було очікувати, з зменшенням ρ втрати заявок падають. Для значень ρ менше 0,95 втрати заявок на передачу даних і втрати заявок на передачу трафіку сервісів реального часу стають менше 0,05. Таким чином, рішення задачі отримано при $\rho = 0,95$.

Конкретні значення λ_r і λ_d слідують зі співвідношення, що визначає ρ , наведеного вище. Для вирішення сформульованої задачі також потрібно знати співвідношення між інтенсивностями кожного з аналізованих типів трафіку.



Рисунок 3.9 – Результати оцінки максимально допустимого обсягу трафіку, який може бути пропущений в стільнику при фіксованій пропускній здатності стільника C із заданою величиною максимальних втрат

3.4 Дослідження алгоритму вибору співвідношення між мінімальною і максимальною швидкостями передачі файлів

Розглянемо задачу вибору співвідношення між мінімальною c_1 і максимальною c_2 швидкостями передачі файлів. Очевидно, що при виконанні співвідношення $c_1 = c_2$ процес обслуговування даних описується моделлю Ерланга. Збільшуючи далі швидкість передачі даних c_2 , оператор мережі прискорює передачу файлів, використовуючи пропускну здатність стільника, незадіяну на обслуговування трафіку реального часу. Проілюструємо це чисельним прикладом. Розглянемо модель стільника з наступними значеннями чисельних параметрів: $C = 100$ Мбіт/с, $c_r = 3$ Мбіт/с, $c_1 = 1$ Мбіт/с, $c_2 = 1$ Мбіт/с, $F = 16$ Мбіт, $\mu_r = 1/300$, $\Delta r = 0,04$, $\lambda_d = 4$ заяв/с. Як вже було сказано, при цьому виборі вхідних параметрів процес обслуговування заявок в стільнику описується мультисервісної моделлю Ерланга. Якщо тепер збільшувати c_2 при фіксованих інших значеннях параметрів, то характеристики пропускну здатності стільника поліпшуються за рахунок прискореної передачі файлів. Покажемо це на численних прикладах.

Результати обчислень наведені на рис. 3.10, де показані дані розрахунку втрат заявок реального часу π_r і передачі файлів даних π_d зі збільшенням значення швидкості c_2 від 1 Мбіт/с до 40 Мбіт/с. Як і слід було очікувати, з ростом швидкості c_2 втрати заявок падають. Це відбувається не тільки для заявок на передачу файлів, але також і для заявок на передачу трафіку сервісів реального часу. Така залежність виникає в результаті прискореного звільнення ресурсу. При розглянутих умовах максимальний ефект досягається вже при $c_2 = 10$ Мбіт/с. Подальше збільшення c_2 несуттєво позначається на значеннях параметрів.

Таким чином, дослідження показали, що вибір інтервалу зміни швидкості передачі файлів залежить від співвідношення між параметрами і може бути виконаний з використанням побудованої моделі та алгоритмів оцінки її характеристик.



Рисунок 3.10 – Залежність втрат заявок при збільшенні максимальної доступності ресурсу для передачі трафіку даних

Розглянемо при цих же умовах зміну інших характеристик моделі.

На рис. 3.11 показані результати розрахунку частки часу повного завантаження ресурсу стільника π_f при збільшенні швидкості s_2 . Як і слід було очікувати, з ростом швидкості s_2 завантаження стільника збільшується. Коливання кривої пов'язані з можливостями розміщення заявок при фіксованій величині загальної швидкості каналу передачі S .

На рис. 3.12 показані результати розрахунку середнього числа заявок кожної категорії m_r і m_d , що знаходяться в стільнику на обслуговуванні при збільшенні швидкості передачі файлів даних s_2 . Видно, що з ростом швидкості s_2 середнє число прийнятих на обслуговування заявок на передачу даних різко зменшується.

Це пов'язано з тим, що вони швидше покидають систему, отримавши додаткові можливості для прискореного обслуговування.

На рис. 3.13 показані результати розрахунку середніх значень розподілу швидкостей s_r і s_d всередині фрагмента мережі і їх суми, використаних відповідно на передачу трафіку сервісів реального часу і даних. З ростом швидкості

передачі даних s_2 , зміна використання ресурсу відбувається тільки в початковий момент, потім вона не настільки значна.

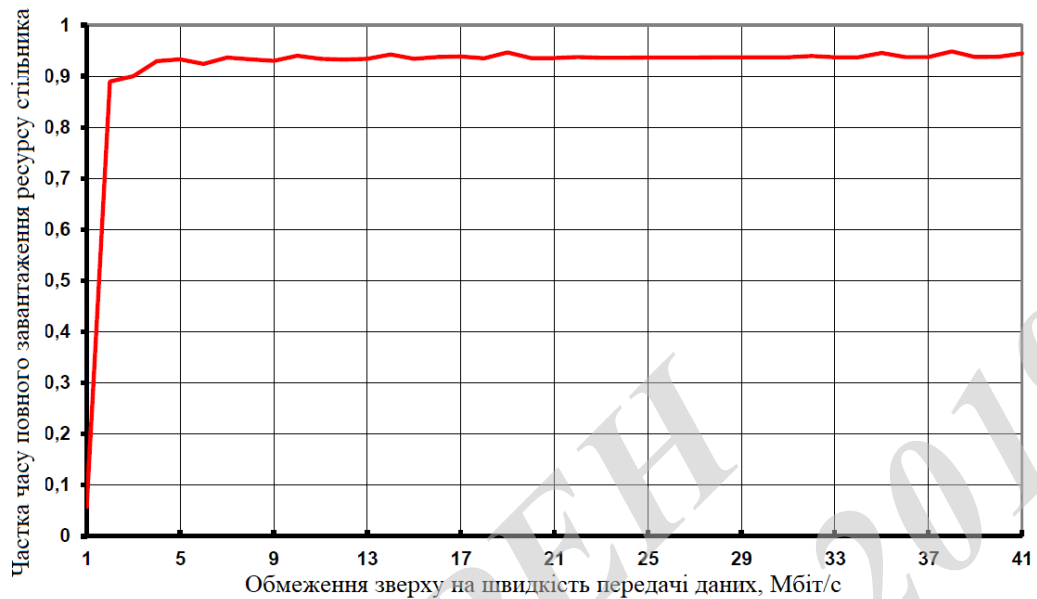


Рисунок 3.11 – Результати розрахунку частки часу повного завантаження ресурсу стільника при збільшенні максимальної доступності ресурсу для передачі трафіку даних

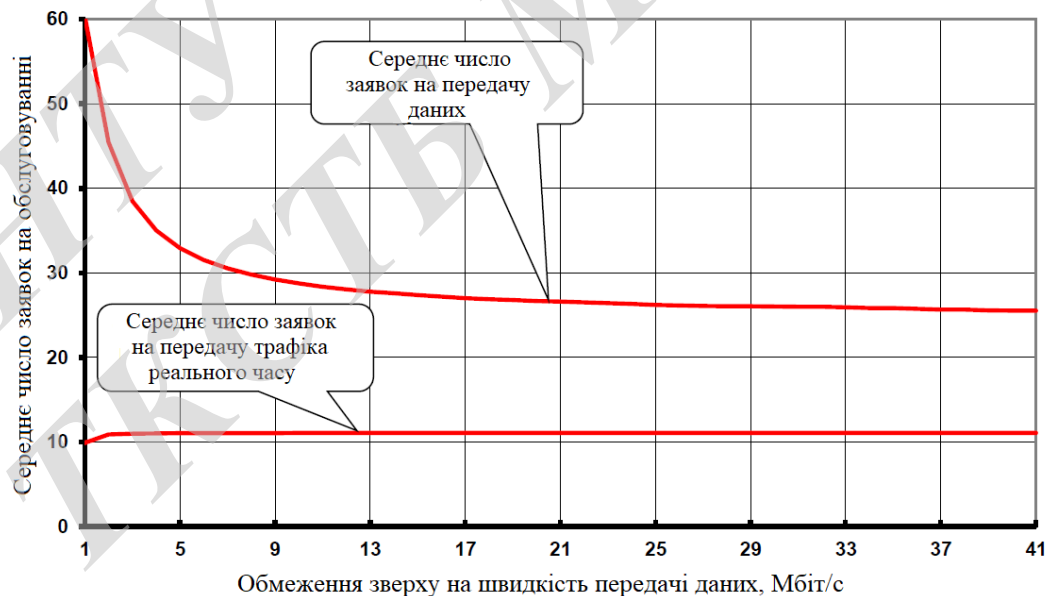


Рисунок 3.12 – Середнє число заявок, що знаходяться в стільнику на обслуговуванні при збільшенні максимальної доступності ресурсу для передачі трафіка даних передачу

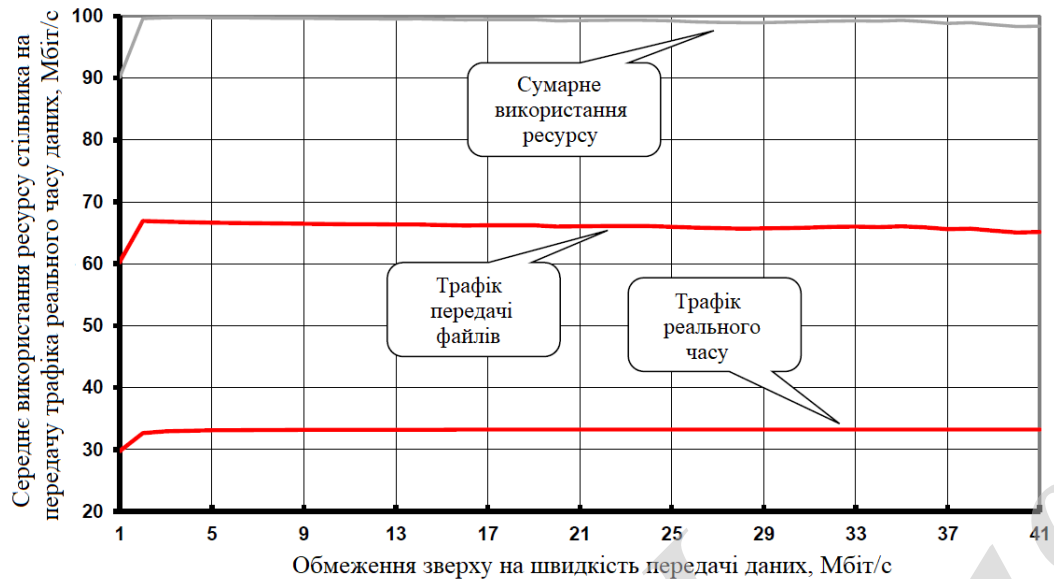


Рисунок 3.13 – Середнє використання ресурсу стільника на передачу трафіку реального часу і даних при збільшенні максимальної доступності ресурсу для передачі трафіку даних

На рис. 3.14 показані результати розрахунку середнього використання ресурсу стільника s_d на передачу файлу. З ростом швидкості передачі даних s_2 ця характеристика збільшується, але її зміна відбувається тільки в початковий момент.

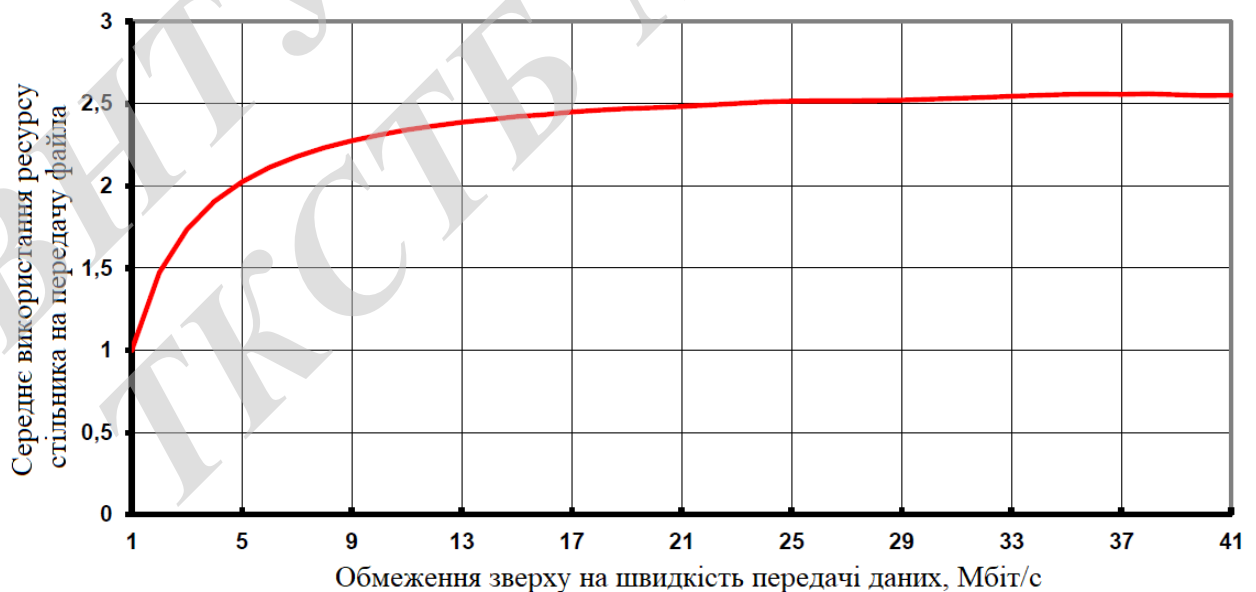


Рисунок 3.14 – Середнє використання ресурсу стільника на передачу файлу при збільшенні максимальної доступності ресурсу для передачі трафіку даних

4 ОБЧИСЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛІВ

4.1 Розрахунок показників якості

Як відомо, основним призначенням каналу зв'язку є передавання дани. При цьому, на якість переданих сигналів впливає багато факторів. Основними причинами зниження якості сигналів є спотворення сигналу та зниження значення відношення сигнал/шум (SNR). Також важливим показником є ймовірність появи бітової помилки (BER Bit Error Rate) в залежності від заданого значення відношення сигнал/шум SNR.

У аналогових системах як критерій якості застосовується показник S/N, кистрий визначає відношення середньої потужності корисного сигналу до середньої потужності шуму. У цифрових системах цей критерій позначають як E_b/N_0 і обчислюють за формулою

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{ST_b}{N/W},$$

де E_b – енергія біта,

S – потужність сигналу,

T_b – час передачі одного біта,

N_0 – спектральна щільність потужності шуму,

N – потужність шуму,

W – ширина смуги пропускання.

Оскільки час та швидкість передавання біта є взаємно протилежними, маємо:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S/R}{N/W},$$

де R – бітова швидкість.

Представимо вираз для відношення сигнал/шум у такому вигляді:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \cdot \frac{W}{R}.$$

Метрикою якості системи стільникового зв'язку може бути графік залежності ймовірності появи помилкового біта BER від відношення E_b/N_0 . У цифрових системах стільникового зв'язку передавання символів виконується протягом часу передавання одного символу. При цьому, по відношенню до одного символу інформації, потужність знаходиться прямопропорційна швидкості передачі. Зокрема, для опису цифрового сигналу найбільш зручним параметром є енергія, котру можна подати як проінтегровану за часом потужність. Для цифрових систем зв'язку таким параметром є вищеописаний нормований параметр E_b/N_0 .

Порівняння різних цифрових системи має виконуватися на бітовому рівні за допомогою критерію якості. Саме тому, в цифрових системах більш зручним є параметр E_b/N_0 , а не S/N , котрий більше підходить для аналогових систем.

Так як поняття спектральної щільності потужності шуму використовується для опису нормованого параметру E_b/N_0 , необхідно докладніше визначити поняття потужності шуму. Найчастіше для опису моделі випадкового процесу застосовують шум, що описується за допомогою гаусівського розподілу. Зокрема, шум виникає як результат одночасного впливу ряд випадкових джерел, незалежних один від одного. Як приклад рівномірного шуму можна назвати тепловий шум, обумовлений броунівським рухом електронів у провіднику. Цей шум називають білим.

Враховуючи той факт, що на вході приймального пристрою каналу систем мобільного зв'язку використовуються фільтри, будемо вважати, що реальний білий шум є ідеальним. Такий шум обмежується за спектром, а це означає, його потужність також є кінцевою. Для розрахунку потужності реального біло-

го шуму в смузі частот використовуємо спектральну щільність потужності шуму:

$$N_0 = N/W.$$

Найбільша потужність шуму від теплового джерела:

$$N = kTW,$$

де $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ (Дж/К) – постійна Больцмана.

T – абсолютна температура джерела шуму, яка вимірюється в Кельвінах

Найбільш зручними для розрахунків є формули

$$N = -228,6 + 10\lg(T) + 10\lg(W), \text{ дБ} \cdot \text{Вт}$$

$$N_0 = -228,6 + 10\lg(T), \text{ дБ} \cdot \text{Вт/Гц}$$

Так як енергія сигналу $E = ST_0$, а потужність шуму $N = N_0W$, де T_0 – час передачі сигналу, маємо такий вираз

$$\frac{E}{N} = \frac{SWT_0}{N}.$$

Величина WT_0 – це коефіцієнт перерахунку відношення енергій корисного сигналу і шуму у відношення їх середніх потужностей.

При передачі цифрового сигналу з форматом модуляції QAM число рівнів амплітуд визначається за виразом:

$$L = \sqrt{M},$$

де M – розрядність модуляції.

Енергія символу сигналу визначається так:

$$ES = E_b \log_2(L).$$

Коли в основній смузі частот передаються багаторівневі імпульси, які збігаються зі смугою Найквіста, де $WN = 1/2T_b$, потужність символу визначається так:

$$S = \frac{E_b}{T_0} \log_2 L.$$

Потужність шуму визначається так

$$N = N_0 \frac{1}{2} T_b.$$

Отже, співвідношення сигнал/шум має наступний вигляд:

$$\frac{S}{N} = 2(\log_2 L) \frac{E_b}{N_0}.$$

або такий вигляд:

$$\frac{S}{N} = \frac{E_b}{N_0} + 10 \log_2 m,$$

де $m = 2(\log_2 L) = \log_2 M$ – це коефіцієнт мапінгу, тобто число бітів на один символ інформації).

Отже, для сигналів з модуляцією 16-QAM різниця між відношеннями S/N і E_b/N_0 складає 6 дБ.

Відношення несуча/шум (C/N) – це ще один показник, який характеризує відношення потужностей. Зокрема, він показує, у скільки разів потужність прийнятої модульованої високочастотної несучої на виході приймального фільтра є більшою за потужність шуму N .

Ця залежність визначається формулою:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} + 10 \lg \frac{W}{f_s \cdot m},$$

де f_s – символна швидкість,

C – потужність прийнятої модульованої несучої.

Для визначення захисного відношення необхідно врахувати такі параметри, як смуга частот, метод кодування шум, значення коефіцієнта заокруглення.

В реальних умовах для більш точного обчислення відношення сигнал/шум застосовується коректуюча формула:

$$\frac{C}{N} = \frac{E_b}{N_0} + 10 \lg \left(\frac{\log_2 M}{1 + a} \right),$$

де a – коефіцієнт округлення спектра.

При цьому формула перерахунку виводиться із припущення, що ідеальної цифровий мобільної системи реальна смуга шуму для займає смугу частот рівну:

$$W = (1 + \alpha) f_s,$$

а потужність несучої визначається таким чином:

$$C = E_b \log_2(M) \cdot f_s.$$

Також чинить вплив на канал зв'язку тип згорткового кодування. Коефіцієнт, який коректує помилки FEC може приймати значення від 1/2 до 7/8. Чим нижчий коефіцієнт FEC, тим нижчою є швидкість передавання даних. При значенні коефіцієнта FEC = 1/2, величина E_b/N_0 знизиться в два рази, тобто на 3 дБ. На практиці це означає, що половина потужності сигналу витрачається на величину FEC. Отже, значення сигнал/шум E_b/N_0 підвищують на величину, рівну $10\lg(1/FEC)$ відносно до значення C/N. Так, при швидкості кодування $R_C = 1/2$ рівень помилки FEC складе 3 дБ, а при $R_C = 7/8$ 0,58 дБ. Але, при $R_C = 1$, коефіцієнт FEC дорівнює нулю.

Для визначення якості каналу зв'язку застосовують два подібних поняття: швидкість появи бітової помилки (BER) та ймовірність появи бітової помилки (BER). На практиці зручніше використовувати поняття BER, цю величини тому можна фізично виміряти.

4.2 Обчислення ймовірності бітової помилки

Показник BER можна легко обчислити використовуючи формулу перерахунку при заздалегідь відомому рівні SNR:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{C}{N} - 10\lg \frac{208}{188} - 10\lg m + 10\lg \frac{1}{CR} ,$$

де CR – швидкість кодування.

В гаусовському каналі ймовірність бітової помилки обчислюється так:

$$P_b \approx \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} \cdot Q \cdot \sqrt{\left(\frac{3\log_2 L}{L^2-1}\right) \cdot \frac{2E_b}{N_0}} ,$$

де Q(x) – таблична величина, що не розраховується безпосередньо.

Але, значення параметра Q(x) для $x < 3$ можна обчислити так:

$$Q(x) \approx \frac{1}{2\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right).$$

На практиці з метою мінімізації розрахунків можна користуватися графіками залежності BER від SNR, поданими у логарифмічному масштабі [18].

Тепер розраховуємо ймовірність появи бітових помилок при заданій величині відношення сигнал/шум.

Треба підтвердити той факт, що при використанні модуляції 64QAM при заданому значенні SNR = 18,9 дБ рівень помилок BER не буде перевищувати значення 10^{-6} .

Таким чином, маємо :

$$\begin{aligned} P_b &\approx \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} \cdot Q \cdot \sqrt{\left(\frac{3\log_2 L}{L^2-1}\right) \cdot \frac{2E_b}{N_0}} = \\ &= \frac{2(1-8^{-1})}{\log_2 8} \cdot Q \cdot \sqrt{\left(\frac{3\log_2 8}{8^2-1}\right) \cdot \frac{2E_b}{N_0}} = \frac{7}{12} \cdot Q \cdot \sqrt{\frac{2}{7} \cdot \frac{E_b}{N_0}}. \end{aligned}$$

Звідси отримуємо $x = 2/7$

Тепер переводимо отримане відношення сигнал/шум в одиниці:

$$18,9 \text{ дБ} = 10^{1.89} = 78.$$

Після підставлення значень $Q(x)$ і SNR отримуємо:

$$Q \cdot \sqrt{x \cdot \frac{E_b}{N_0}} = Q \cdot \sqrt{\frac{2}{7} \cdot 78} = 1,24 \cdot 10^{-6};$$

$$P_b = BER = \frac{7}{12} Q \cdot \sqrt{\frac{2}{7} \cdot \frac{E_b}{N_0}} = 7 \cdot 10^{-7}.$$

Як видно із вищепроведених розрахунків, що заданому значенні відношення сигнал/шум $SNR = 18,9\text{дБ}$ рівень бітовиз помилок BER також відповідає вимогам якості, які висуваються до каналу зв'язку системи LTE.

Для модуляції типу 16QAM виконаємо аналогічний розрахунок при заданому $SNR = 13,5\text{ дБ}$

$$P_b \approx \frac{2(1-L^{-1})}{\log_2 L} \cdot Q \cdot \sqrt{\left(\frac{3\log_2 L}{L^2-1}\right) \cdot \frac{2E_b}{N_0}} =$$

$$= \frac{2(1-4^{-1})}{\log_2 4} \cdot Q \cdot \sqrt{\left(\frac{3\log_2 4}{4^2-1}\right) \cdot \frac{2E_b}{N_0}} = \frac{3}{4} \cdot Q \cdot \sqrt{\frac{4}{5} \cdot \frac{E_b}{N_0}}$$

Звідси отримуємо, $x = 4/5$.

Тепер переводимо отримане значення відношення сигнал/шум у одиниці:

$$13,5\text{дБ} = 10^{1,35} = 22,4.$$

Після підставлення значень $Q(x)$ та SNR отримуємо:

$$Q \cdot \sqrt{x \cdot \frac{E_b}{N_0}} = Q \cdot \sqrt{\frac{4}{5} \cdot 22,4} = 1,21 \cdot 10^{-5};$$

$$P_b = BER = \frac{3}{4} Q \cdot \sqrt{5 \cdot \frac{E_b}{N_0}} = 9 \cdot 10^{-6}.$$

Як видно із вищепроведених розрахунків, що заданому значенні відношення сигнал/шум $SNR=13,5\text{дБ}$ рівень бітовиз помилок BER також відповідає вимогам якості, які висуваються до каналу зв'язку системи LTE.

5 ОЦІНЮВАННЯ МЕРЕЖІ LTE

5.1 Оцінювання радіопокриття мережі

Розглянемо базову станцію, радіочастотний блок кожного сектора якої оснащено двома прийомопередавачами, причому вихідна потужність передавачів складає 20 Вт (43 дБм). Радіочастотний блок встановлено у безпосередній близькості від антени. Базова станція працює на низьхідній лінії в режимі MIMO 2×2 з застосуванням крос-поляризаційної антени. Енергетичний бюджет розрахуємо для обладнання користувача на границі стільника. Це означає, що сигнали від базової станції приймаються з малим співвідношенням сигнал/шум (SNR), тобто базова станція передає сигнали на обладнання користувача у режимі рознесеної передачі. При додаванні в просторі потужностей сигналів двох передавачів одержується енергетичний виграш у 3дБ. Нехай обладнання користувача – це USB-модем із однією передавальною і двома приймальними антенами класу 3 — ЕІВП 23 дБм.

Максимально допустимі втрати обчислюються за формулою:

$$L_{MAPL} = P_{EIRP} - S_{RX} + G_{RXA} - L_{RXF} - M_{BUILD} - M_{INT} - M_{SHADE} + G_{HO} ,$$

де P_{EIRP} – ЕІВП передавача;

S_{RX} – чутливість приймача;

G_{RXA} – коефіцієнт підсилення антени приймача;

L_{RXF} – втрати в фідерному тракті приймача;

M_{BUILD} – запас на проникнення сигналу в приміщення;

M_{INT} – запас на внутрішньосистемні завади;

M_{SHADE} – запас на затінення;

G_{HO} – виграш від хендовера.

ЕІВП передавача визначається з виразу:

$$P_{EIRP} = P_{TX} + G_{TX.DIV} + G_{TXA} - L_{TXF},$$

де P_{TX} – вихідна потужність передавача;

$G_{TX.DIV}$ – вигреш від складання потужності передавачів;

G_{TXA} – коефіцієнт підсилення антени передавача;

L_{TXF} – втрати в фідерному тракті передавача.

Чутливість приймача розраховується так:

$$S_{RX} = P_N + M_{SNR} + L_N.$$

де P_N – потужність теплового шуму приймача;

M_{SNR} – необхідне відношення сигнал/шум приймача;

L_N – коефіцієнт шуму приймача.

Потужність теплового шуму приймача обчислюємо за виразом

$$P_N = 10 \lg(100kTB),$$

де k – постійна Больцмана;

T – абсолютна температура;

B – шумова смуга приймача.

$$B = N_{RB} \cdot \Delta f_k,$$

де N_{RB} – число виділених ресурсних блоків;

Δf_k – смуга частот одного радіоканалу.

Запас на внутрішньосистемні завади визначається так [11]:

$$M_{INT} = -10 \lg(1 - \eta),$$

де η – відносна завантаженість комірки.

Характеристики планованої мережі подані в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 - Характеристики мережі LTE

Параметр	DL	UL
Швидкість передачі даних на краю стільника, Мбіт/с	4210	128
Схема модуляції і кодування	64QAM	16QAM
Вихідна потужність передавача, дБм	43	23
Виграш від додавання потужності передавачів, дБ	3	0
Коефіцієнт підсилення передавальної антени, дБі	18	0
Втрати у фідерному тракті передавача, дБ	0,4	0
EIRP передавача, дБм	63,6	23
Число виділених ресурсних блоків	50	2
Ширина РБ, кГц	180	180
Потужність теплового шуму приймача, дБм	-104,43	-118,41
Коефіцієнт шуму приймача, дБ	7	2
Необхідне співвідношення сигнал/шум	7	11,5
Чутливість приймача, дБм	-90,43	-104,91
Коефіцієнт підсилення приймальної антени, дБі	0	18
Втрати у фідерному тракті приймача, дБ	0	0,4
Відносна завантаженість стільника	84%	50%
Запас на внутрішньосистемні завади, дБ	7,96	3,01
Запас на проникнення сигналу у приміщення, дБ	17	17
Запас на затінення, дБ	8	8
МДВ на лінії, дБ	121,08	117,5

5.2 Оцінювання втрат

Визначаємо втрати за моделлю Окамура-Хата:

$$L = 46,3 + 33,9 \lg(F) - 13,82 \lg(H_{BC}) - aH_{AC} + (44,9 - 6,55H_{BC}) \cdot \lg R + C,$$

де F – частота сигналу;

H_{BC} – висота підйому антени базової станції;

H_{AC} – висота антени мобільної станції;

R – відстань між передавачем і приймачем;

C – постійна, для середніх міст та приміських районів $C = 0$, для великих міст $C = 3$.

Коефіцієнт aH_{AC} розраховується таким чином:

$$aH_{AC} = (1,1 \lg F - 0,7) \cdot H_{AC} - 1,56 \lg F - 0,8.$$

Площа покриття трисекторного сайту обчислюється за формулою:

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{2} R^2.$$

Кількість сайтів, необхідна для покриття території визначимо так:

$$N_{eNB} = \frac{S}{S_{eNB}},$$

де S – площа території населеного пункту.

Результати розрахунків подано в табл. 2.2.

Таблиця 5.2 – Оцінка радіопокриття

Параметр	Щільна забудова	Середня забудова	Рідка забудова	Відкрита місцевість	Всього
1	2	3	4	5	6
% місцевості	20	45	20	15	100
Площа міста за класами, км ²	45	101,2	45	33,7	224,9
Запас на проникнення сигналу у приміщення	20	17	12	8	
МДВ на лінії, дБ	114,5	117,5	122,5	126,5	
Частота сигналу, МГц	2100				
Ефективна висота підйому антени БС, м	40				
Висота антени МС, м	1,7				
Коефіцієнт, що враховує особливості середовища	0,64				
Постійна	3	0	0	0	
Радіус стільника, км	0,19	0,29	0,4	0,52	
Площа покриття сайту, км ²	0,07	0,16	0,31	0,54	
Число сайтів	1092	1100	251	110	2553

5.3 Оцінювання ємності мережі

Середня пропускна здатність одного сектора розраховується так:

$$R = S \cdot W \cdot T,$$

де S – середня спектральна ефективність;

W – ширина каналу

T – частка тривалості кадру на лінії вгору або вниз.

Середня пропускна здатність eNB визначається так як.

$$R_{eNB} = R \times 3.$$

Результати розрахунку подані у таблиці 5.3

Таблиця 5.3 – Результати розрахунку середньої пропускної здатності

Параметр	DL	UL
Співвідношення тривалості кадрів	100%	100%
Спектральна ефективність, біт/с/Гц	2,93	1,254
Ширина каналу, МГц	10	10
Середня пропускна здатність сектору, Мбіт/с	29,30	12,54
Середня пропускна здатність БС, Мбіт/с	87,9	37,62

Сумарна пропускна здатність такої мережі в напрямку до абонента складе

$$R_{NW} = R_{eNB(DL)} \cdot R_{eNB}.$$

Усереднений трафік абонента в ГНН:

$$R_{ГНН} = \frac{T_T \cdot 8}{N_{ГНН} \cdot N_D},$$

де T_T – середній трафік одного абонента у місяць;

$N_{ГНН}$ – число ГНН в день;

N_D – число днів у місяці.

Усереднений трафік абонента на лінії «вниз» в ГНН:

$$R_{DL} = R_{ГНН} \cdot S_{DL},$$

де S_{DL} – частка трафіку на лінії «вниз»;

Ємність мережі обчислюється так:

$$N_{AB} = \frac{R_{NW}}{R_{DL}}.$$

Результати розрахунків зведені в таблицю 5.4.

Таблиця 5.3 – Результати розрахунків

Параметр	Значення
Середній трафік одного абонента в місяць, Гбіт/міс	30
Число ГНН в день	10
Число днів у місяці	30
Усереднений трафік абонента в ГНН, Мбіт/с	0,8
Доля трафіка на DL	80%
Усереднений трафік абонента на DL в ГНН, Мбіт/с	0,64
Загальний трафік в мережі, Гбіт/с	53
Число абонентів в мережі, тисяч	63

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Аналіз комерційного потенціалу досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління

6.1.1 Визначення рівня комерційного потенціалу досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління, створеної в результаті науково-технічної діяльності. В результаті оцінювання можна буде зробити висновок щодо напрямів (особливостей) організації подальшого її впровадження з врахуванням встановленого рейтингу.

Для проведення технологічного аудиту залучимо 3-х незалежних експертів. У нашому випадку такими експертами будуть керівник магістерської роботи та провідні викладачі випускової та споріднених кафедр.

Оцінювання комерційного потенціалу досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління будемо здійснювати за 12-ю критеріями згідно рекомендацій.

Результати оцінювання комерційного потенціалу досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління заносимо до таблиці 6.1.

За даними таблиці 6.1 робимо висновок щодо рівня комерційного потенціалу досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління. При цьому користуємося рекомендаціями, наведеними в таблиці 6.2.

Таблиця 6.1. - Результати оцінювання комерційного успіху досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління

Критерії	Експерти		
	Барась С.Т., к.т.н., професор	Барась С.Т., к.т.н., професор	Барась С.Т., к.т.н., професор
	Бали, виставлені експертами		
1	3	2	2
2	2	2	2
3	3	2	3
4	2	3	3
5	2	2	1
6	2	3	3
7	2	4	3
8	2	2	2
9	1	2	3
10	2	2	3
11	3	3	3
12	2	2	1
Сума балів	26	29	29
Середньоарифметична сума балів, СБ	28		

Таблиця 6.2 – Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 50	Високий

Таким чином, робимо висновок, щодо рівня комерційного потенціалу нашої досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління – середній.

6.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи

6.2.1 Розрахунок витрат, що стосуються виконавців досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління

Основна заробітна плата кожного із розробників (дослідників) Z_0 , якщо вони працюють в наукових установах бюджетної сфери:

$$Z_0 = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (6.1)$$

де M – місячний посадовий оклад конкретного розробника (інженера, дослідника, науковця тощо), грн.

У 2019 році величини окладів (разом з встановленими доплатами і надбавками) рекомендується брати в межах (5000...10000) грн. за місяць; T_p – число робочих днів в місяці; приблизно $T_p = (21...23)$ дні; t – число робочих днів роботи розробника (дослідника).

Зроблені розрахунки зводимо до таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Заробітна плата розробників

Посада	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник	8000	381	10	3810
Інженер-програміст	6000	286	3	858
Консультанти	4500	214	2	428
Всього:		5096		

Додаткова заробітна плата Зд всіх розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховується як (10...12)% від суми основної заробітної плати всіх розробників та робітників, тобто:

$$Зд = 0,1 \cdot (Зр + Зо) = 0,1 \cdot (5096) = 509,6 \text{ грн.} \quad (6.2)$$

Нарахування на заробітну плату Нзп розробників та робітників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховуються за формулою: де Зо – основна заробітна плата розробників, грн.; Зр – основна заробітна плата робітників, грн.; Зд – додаткова заробітна плата всіх розробників та робітників, грн.; β – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування, % (приймаємо для 1-го класу професійності ризику 22%).

$$\begin{aligned} \text{Нзп} &= 0,22 \cdot (Зр + Зо + Зд) = 0,22 \cdot (5096 + 509,6) = \\ &= 1233 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (6.3)$$

Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень А, які використовувались під час (чи для) виконання даного етапу роботи.

Дані відрахування розраховують по кожному виду обладнання, приміщенням тощо.

У спрощеному вигляді амортизаційні відрахування А в цілому бути розраховані за формулою:

$$A = \frac{Ц \cdot \text{На}}{100} \cdot \frac{T}{12},$$

де Ц – загальна балансова вартість всього обладнання, комп'ютерів, приміщень тощо, що використовувались для виконання даного етапу роботи, грн.; На – річна норма амортизаційних відрахувань. Для нашого випадку можна прийняти, що На = (10...25)%; Т – термін, використання обладнання, приміщень тощо, місяці.

Таблиця 6.4 - Амортизаційні відрахування

Найменування	Ціна, грн.	Норма амортизації, %	Термін використання, м.	Сума амортизації
1. Основні засоби, обладнання, комп'ютери тощо	12000	20	2	200
2. Приміщення кафедри та факультету	150000	10	2	2500
Всього			2700	

Витрати на комплектуючі К, що були використані під час виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$K = \sum_{i=1}^n N_i \cdot C_i \cdot K_i, \text{ грн}$$

де N_i – кількість комплектуючих i -го виду, шт.; C_i – ціна комплектуючих i -го виду, грн.; K_i – коефіцієнт транспортних витрат, $K_i = (1, 1 \dots 1, 15)$; n – кількість видів комплектуючих.

Таблиця 6.5 - Комплектуючі, що використані на розробку

Найменування матеріалу	Ціна за одиницю, грн.	Витрачено	Вартість, грн.
Диск	20	1	20
Заправка для катриджа	50	1	50
Папір	100	2	200
Ручка	10	1	10
Всього, з урахуванням коефіцієнта транспортних витрат		308	

Витрати на силову електроенергію Ve , якщо ця стаття має суттєве значення для виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою:

$$Ve = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_p, \text{ грн}$$

V – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2019 р. $V \approx 8,45$ грн./кВт; P – установлена потужність обладнання, кВт; Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин, K_p – коефіцієнт використання потужності; $K_p < 1$.

Потужність обладнання складає – 0,5 кВт.

Кількість годин роботи складає – 100 годин.

Коефіцієнт викор. потужності -0,9.

$Ve=380$ грн.

Інші витрати V_{in} охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо.

Інші витрати I_v можна прийняти як (100...300)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які були виконували дану роботу, тобто:

$$I_v = 3 \cdot (Z_o + Z_p) = 3 \cdot (5096) = 15288 \text{ грн.} \quad (6.4)$$

Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати на виконання даної частини (розділу, етапу) роботи – V .

$$V = 25515 \text{ грн.}$$

6.2.2 Розрахунок загальних витрат на дослідження з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління

Загальна вартість всієї наукової роботи визначається за Взаг формулою:

$$\text{Взаг} = \frac{I_{\text{в}}}{\alpha} = \frac{15288}{0,6} = 25480 \text{ грн,} \quad (6.5)$$

де α – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець даного етапу роботи, у відн. одиницях.

6.2.3 Прогнозування витрат на виконання та впровадження досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління

Прогнозування загальних витрат ЗВ на виконання та впровадження досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління здійснюється за формулою:

$$\text{ЗВ} = \frac{\text{Взаг}}{\beta} = \frac{25480}{0,1} = 254800 \text{ грн,} \quad (6.6)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи.

Так, якщо розробка знаходиться: на стадії науково-дослідних робіт, то $\beta \approx 0,1$; на стадії технічного проектування, то $\beta \approx 0,2$; на стадії розробки конструкторської документації, то $\beta \approx 0,3$; на стадії розробки технологій, то $\beta \approx 0,4$; на стадії розробки дослідного зразка, то $\beta \approx 0,5$; на стадії розробки промислового зразка, $\beta \approx 0,7$; на стадії впровадження, то $\beta \approx 0,9$.

6.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління

З метою прогнозування комерційних ефектів від реалізації досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четверто-

го покоління складемо таблицю вихідних показників, за рахунок яких і відбуватиметься отримання комерційного ефекту.

Таблиця 6.6 – Вихідні дані для прогнозування комерційного ефекту від реалізації досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління

Рік реалізації розробки	1
Кількість од. реалізації, шт.	1

Збільшення чистого прибутку підприємства Π_i для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою:

$$\Delta \Pi_i = \sum_{i=1}^n (\Delta \Pi_0 \cdot N + \Pi_0 \cdot \Delta N) \cdot \rho \cdot \gamma \cdot \left(1 - \frac{v}{100}\right) \quad (6.7)$$

де $\Delta \Pi_0$ – покращення основного оціночного показника від впровадження результатів розробки у даному році. Зазвичай таким показником може бути ціна одиниці нової розробки; N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки; ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки; Π_0 – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки; n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки; λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. У 2018 р. ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт – 0,8333. З 2014 року ставка податку на додану вартість встановлена на рівні 17%, а коефіцієнт – 0,8547; ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту. Рекомендується приймати –

0,2...0,3; v – ставка податку на прибуток. У 2018 році – 21%, у 2013 році – 19%, а з 2014 року – 16%.

Збільшення чистого прибутку підприємства П_і протягом першого року складе: 788200 грн.

6.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності

6.4.1 Визначення абсолютної ефективності вкладених інвестицій у досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління

Для цього користуються формулою:

$$E_{абс} = (ПП - PV), \quad (6.8)$$

де ПП – приведена вартість всіх чистих прибутків, що їх отримає підприємство (організація) від реалізації результатів наукової розробки, грн.; PV – теперішня вартість інвестицій $PV = ZB$, грн.

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою:

$$ПП = \sum_1^t \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t} \quad (6.9)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн.; t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки; τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1; t – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки „0”.

$$ПП = 788200 \text{ грн.},$$

$$E_{абс} = 788200 - 254800 = 533400 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління.

6.4.2 Розрахунок відносної ефективності вкладених коштів в НДДКР досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління

Для цього користуються формулою:

$$E_B = \sqrt[T]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 \quad (6.10)$$

де E_{abc} – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн.; PV – теперішня вартість інвестицій $PV = ZB$, грн.; T – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_B = 0,76$$

Далі, розрахована величина E_B порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування, що дорівнює:

$$\tau = d + f, \quad (6.11)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2018 році в Україні $d = (0,14...0,2)$; f – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,1)$, але може бути і значно більше.

$$E_B = 0,76 \geq \tau = 0,2 + 0,1 = 0,3.$$

Оскільки величина $E_B > \tau_{\min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

6.4.3 Розрахунок терміну окупності коштів, вкладених в наукову досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління

Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій
Ток можна розрахувати за формулою:

$$\text{Ток} = \frac{1}{E_{\text{в}}} = \frac{1}{0,76} = 1,31 \text{ року.} \quad (6.12)$$

6.5 Висновок до розділу:

Оскільки Ток < 3...5-ти років, то фінансування даної наукової досліджень з підвищення ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління є доцільним.

ВНТУ ФІРЕН
ТКСТЬ МКР 2019

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

У цьому розділі проводиться аналіз шкідливих, небезпечних [1] та уражаючих для людини і навколишнього довкілля факторів, які виникають при проведенні дослідження ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління. Тут розглядаються, зокрема, технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці, обґрунтування вибору раціонального методу захисту від шуму, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження, безпека в надзвичайних ситуаціях.

7.1 Технічні рішення з виробничої санітарії та гігієни праці

7.1.1 Мікроклімат та склад повітря робочої зони

Вибираємо для приміщення для проведення дослідження ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління, категорію важкості робіт за фізичним навантаженням – легка Іа.

Згідно із [18] допустимі параметри температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні для холодного та теплого періодів року приведені у таблиці 7.1 додатку 7. Для опромінення менше 25% поверхні тіла людини, допустима інтенсивність теплового опромінення складає 100 Вт/м².

Вміст шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинен перевищувати гранично допустимих концентрацій (ГДК) в повітрі робочої зони та підлягає систематичному контролю з метою запобігання можливості перевищення ГДК, значення яких для роботи з ЕОМ наведено в таблиці 7.2 додатку 7.

При використанні ЕОМ джерелом забруднення повітря є також іонізація молекул речовин, які містяться у повітрі. Рівні додатних та від'ємних іонів повинні відповідати [20] і наведені в таблиці 7.3 додатку 7.

Для встановлення необхідних за нормативами параметрів мікроклімату та складу повітря робочої зони передбачено: в приміщенні має бути розміщена си-

стема опалення для холодного і кондиціонування для теплого періодів року; припливно-витяжна система вентиляції, а при несприятливих погодних умовах кондиціонування.

7.1.2 Виробниче освітлення

Для створення гігієнічних раціональних умов на робочих місцях значні вимоги висуваються до якісних та кількісних показників освітлення.

З погляду задач зорової роботи в приміщенні, в якому проводиться робота з дослідження ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління, згідно [19] знаходимо, що вони відносяться до IV розряду зорових робіт. Приймаємо контраст об'єкта з фоном – середній, а характеристику фону – середню, яким відповідає підрозряд зорових робіт *в*.

Нормативні значення коефіцієнта природного освітлення (КПО) та мінімальні значення освітленості при штучному освітленні приведені в таблиці 7.4 додатку 7. Оскільки приміщення знаходиться в м. Вінниця (2-га група забезпеченості природним світлом), а світлові пройми орієнтовані за азимутом 180° , то для таких умов КЕО визначатиметься за формулою [19, 20]

$$e_N = e_n m_N [\%], \quad (7.1)$$

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

m_N – коефіцієнт світлового клімату;

N – порядковий номер групи забезпеченості природним світлом.

За відомими значеннями отримаємо нормовані значення КПО для бокового та суміщеного освітлення:

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

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

Для встановлення нормативних значень параметрів освітлення передбачено: при недостатньому природному освітленні в світлу пору доби доповнення штучним за допомогою газорозрядних ламп з утворенням системи суміщеного освітлення; використання загального штучного освітлення в темну пору доби.

7.1.3 Виробничі віброакустичні коливання

Зважаючи на те, що під час експлуатації пристроїв крім усього іншого обладнання використовується устаткування, робота якого супроводжується шумом та вібрацією, необхідно передбачити захист від шуму та вібрації.

Встановлено, що приміщення, в якому проводиться робота з дослідження ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління може мати робочі місця із шумом та вібрацією, що спричиняється вентиляторами блоку живлення ЕОМ та кулерами мікропроцесора, відеоадаптера.

З метою запобігання травмуванню працюючих від дії шуму він підлягає нормуванню. Головним нормативом з питань виробничого шуму, діючим в нашій країні, є [21], у відповідності з яким допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні шуму на робочих місцях у виробничих приміщеннях не повинні бути більшими ніж значення, що приведені в таблиці 7.5 додатку 7. Норми виробничих вібрацій наведені в таблиці 7.6 додатку 7 для локальної вібрації.

Для обґрунтування вибору раціонального методу захисту від шуму необхідно визначити частоту звукових коливань, які у даному приміщенні створюються приводом вентилятора від електродвигуна. Ця частота визначається за формулою:

$$f = \frac{n}{60} \text{ [Гц]}, \quad (7.2)$$

де $n = 3000$ об/хв – частота обертання валу електродвигуна.

Для вибору ефективнішого методу захисту від шуму розглянемо найбільш поширені способи захисту від шуму: звукоізоляцію та звукопоглинання.

Звукоізоляція одношарової перегородки визначається за такою формулою:

$$R = 20 \lg(m_o f) - 47,5 \text{ [дБ]}, \quad (7.3)$$

де m_o – маса 1 м^2 огороження, кг/м^2 .

В якості ізолюючого матеріалу вибираємо гіпсобетонну панель, для якої $m_o = 115 \text{ кг/м}^2$.

Підставляючи відомі значення у формули (7.2, 7.3) отримаємо

$$f = \frac{3000}{60} = 50 \text{ (Гц)};$$

$$R = 20 \lg(115 \cdot 50) - 47,5 = 25,8 \text{ (дБ)}.$$

Визначимо фактичну звукоізоляцію за формулою:

$$R_\phi = R + 10 \lg \frac{A}{S_i} \text{ [дБ]}, \quad (7.4)$$

де A – еквівалентна площа звукопоглинання тихого приміщення, м^2 ;

S_i – площа звукоізолюючої перегородки, м^2 .

Знаючи габарити приміщення визначимо еквівалентну площу звукопоглинання тихого приміщення

$$A = 2(ab + ah + bh) \text{ [м}^2\text{]}, \quad (7.5)$$

де a, b, h – довжина, ширина, висота приміщення відповідно, м.

Розміри приміщення (м): $9 \times 7 \times 3,4$.

Знайдемо площу звукоізолюючої перегородки, прийнявши, що вона встановлюється на стіну з розмірами $a \times h$ за формулою:

$$S_i = ah \text{ [м}^2\text{]}. \quad (7.6)$$

Підставляючи відомі значення у формули (7.5, 7.6, 7.4) отримаємо

$$A = 2(9 \cdot 7 + 9 \cdot 3,4 + 7 \cdot 3,4) = 234,8 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$S_i = 9 \cdot 3,4 = 30,6 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$R_{\phi} = 25,8 + \lg \frac{234,8}{30,6} = 26,6994 \text{ (дБ)}.$$

Знаючи габарити приміщення визначимо об'єм приміщення за формулою

$$V = abh \text{ [м}^3\text{]}, \quad (7.7)$$

де a , b , h – довжина, ширина, висота приміщення відповідно, м.

Підставляючи відомі значення у формулу (7.7) отримаємо

$$V = 9 \cdot 7 \cdot 3,4 = 214,2 \text{ (м}^3\text{)}.$$

За значенням об'єму приміщення та частотою визначаємо постійну приміщення $B = 9$. Задамося площею звукопоглинального личкування $S_{лнч} = 50 \text{ м}^2$.

Визначимо загальну площу огорожувальних поверхонь приміщення

$$S_{огор} = 2h(a + b) \text{ [м}^2\text{]}. \quad (7.8)$$

Визначимо середній коефіцієнт звукопоглинання приміщення

$$\alpha = \frac{B}{B + S_{огор}}. \quad (7.9)$$

Визначимо значення звукопоглинання неличкованих огорожувальних поверхонь

$$A_1 = \alpha(S_{огор} - S_{лич}) [m^2]. \quad (7.10)$$

Підставляючи відомі значення у формули (7.8, ..., 7.10) отримаємо

$$S_{огор} = 2 \cdot 3,4(9 + 7) = 108,8 (m^2);$$

$$\alpha = \frac{9}{9 + 108,8} = 0,08;$$

$$A_1 = 0,08(108,8 - 50) = 4,7 (m^2).$$

Вибираємо марку личкувальної плити – "Вініпор" (напівжорсткий) з ревербаційним коефіцієнтом звукопоглинання личкування при частоті $f = 50$ Гц $\alpha_{лич} = 0,06$. В якості штучного поглинача приймаємо куб із стороною 400 мм з еквівалентною площею звукопоглинання при частоті $f = 50$ Гц $A_{шт} = 0,14 m^2$. Приймаємо кількість штучних звукопоглиначів $n_{шт} = 100$ шт.

Визначимо значення додаткового звукопоглинання, що забезпечується личкуванням та штучними звукопоглиначами

$$\Delta A = \alpha_{лич}S_{лич} + A_{шт}n_{шт} [m^2]. \quad (7.11)$$

Визначимо середній коефіцієнт звукопоглинання приміщення після встановлення звукопоглинальних конструкцій

$$\alpha_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{S_{огор}}. \quad (7.12)$$

Визначимо постійну приміщення після проведення акустичної обробки

$$B_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{1 - \alpha_1} [m^2]. \quad (7.13)$$

Таким чином, знаходимо максимальне зниження рівня звукового тиску

$$\Delta L = 10 \lg \frac{B_1}{B} \text{ [дБ]}. \quad (7.14)$$

Підставляючи відомі значення у формули (7.11, ..., 7.14) отримаємо

$$\Delta A = 0,06 \cdot 50 + 0,14 \cdot 100 = 17 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$\alpha_1 = \frac{4,7 + 17}{108,8} = 0,2;$$

$$B_1 = \frac{4,7 + 17}{1 - 0,2} = 27,13 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$\Delta L = 10 \lg \frac{27,13}{9} = 3,9234 \text{ (дБ)}.$$

Оскільки $R = 26,6994 \text{ (дБ)} > \Delta L = 3,9234 \text{ (дБ)}$, то як метод захисту від шуму остаточно вибираємо звукоізоляцію.

7.1.4 Виробничі випромінювання

Величина напруженості електромагнітного поля на робочих місцях з персональними ЕОМ мають не 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) згідно [30].

З метою забезпечення 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.

7.2 Технічні рішення щодо промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження

7.2.1 Безпека щодо організації робочих місць

Робочі місця з відеодисплейним терміналом зобов'язані розміщатися на відстані не менше ніж 1,5 м від стіни з вікнами, від інших стін – на віддалі 1 м, між собою на відстані не менше ніж 1,5 м. При розміщенні робочих місць потрібно виключити можливість прямого засвічування екрану джерелом природного освітлення. Робоче місце доцільно розміщати так, щоб природне світло падало на нього збоку, бажано зліва [23].

Розташовувати відеодисплейний термінал на робочому місці необхідно так, щоб поверхня екрана повинна знаходитись на віддалі 0,4-0,7 м від очей працівника. Висота робочої поверхні столу під час виконання роботи сидячи повинна регулюватися у діапазоні 0,68-0,8 м. Робочий стіл повинен мати простір для ніг висотою не менше 0,6 м, шириною не менше ніж 0,5 м, глибиною на рівні колін не менше 0,45 м та на рівні витягнутої ноги не менше як 0,65 м [24].

7.2.2 Електробезпека

Причинами ураження електричним струмом в даному приміщенні можуть бути: робота під напругою при ремонтних роботах, несправність устаткування, випадкове торкання до струмоведучих частин або металевих частин, що опинилися під напругою. Згідно [25] дане приміщення відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом через наявність значної (більше 75 %) вологості. Тому безпека експлуатації електрообладнання повинна забезпечуватись комплексом заходів, які включають використання ізоляції струмоведучих частин, захисних блокувань, захисного заземлення тощо [26].

7.2.3 Пожежна безпека

Згідно [27] приміщення, де проводиться робота з дослідження ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління, відноситься до категорії пожежної небезпеки В. 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 7.7. В таблиці 7.8 приведено протипожежні норми проектування будівель і споруд.

Вибираємо, що приміщення, в якому проводиться робота з дослідження, має бути оснащено двома вогнегасниками, пожежним щитом, ємністю з піском [28].

Додаток 7

Нормовані значення виробничих чинників

Таблиця 7.1 – 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	Іа	21-25	18-26	75	≤0,1
Теплий		22-28	20-30	55 при 28°С	0,1-0,2

Таблиця 7.2 – ГДК шкідливих речовин [20]

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

Таблиця 7.3 – Число іонів у 1 см³ повітря приміщення при роботі на ЕОМ

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

Таблиця 7.4 – Нормативні значення КПО і мінімальні освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Підрозряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фону	Освітленість для штучного освітлення, лк			КПО для бокового освітлення, %	
						комбіноване		загальне	Природного	Суміщеного
						всього	у т. ч. від загального			
Середньої точності	0,5-1	IV	V	середній	середній	400	200	200	1,5	0,9

Таблиця 7.5 – Допустимі рівні звукового тиску і еквівалентні рівні звуку

Рівні звукового тиску в дБ в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц									Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку, дБА
1,5	3	25	50	100	200	400	800	1600	
6	1	1	4	9	5	2	0	8	50

Таблиця 7.6 – Допустимі рівні віброприскорення [22]

Гранично допустимі рівні віброприскорення, дБ, в октавних полосах з середньо-геометричними частотами, Гц								Коректовані рівні віброприскорення, дБА
	6	1,5	3	25	50	5	1	
						2	1	
							00	000
						9	1	1
3	3	9	5	1	7	03	09	76

Таблиця 7.7 – Мінімальні межі вогнестійкості приміщення [27]

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 7.8 – Протипожежні норми проектування будівель і споруд [29]

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорія пожежної небезпеки	Ступінь вогнестійкості	Відстань, м, для щільності людського потоку в загальному проході, осіб/м ²			Кількість людей на 1 м ширини евакуиходу	Відстань між будівлями та спорудами, м, при ступені їх вогнестійкості			Найбільша кількість поверхів	Максимально допустима площа поверху, м ² , для кількості поверхів		
			до 1	2-3	4-5		I,II	III	IV,V		1	2	3 і більше
до 15	В	3	100	60	40	110	9	12	15	3	5200	3500	2600

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

7.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях. Дослідження стійкості роботи мережі мобільного зв'язку четвертого покоління умовах дії загрозливих факторів надзвичайних ситуацій

Експлуатація радіоелектронної апаратури (РЕА) в умовах дії радіоактивних випромінювань має наступні особливості: РЕА може миттєво втратити працездатність при певних рівнях радіації; в елементах схем РЕА можуть початись незворотні та зворотні процеси.

При електромагнітному імпульсі можуть спостерігатись високі імпульси напруг і струмів у провідниках та кабелях зв'язку, електропередач, систем обчислювальних машин та автоматичних систем управління, антенах радіостанцій та ін.

Наведений в проводі електромагнітний імпульс може розповсюджуватися на великі відстані, і викликати зміни електричних характеристик електронних приладів. За відсутності спеціальних мір захисту електромагнітний імпульс може спричинити пошкодження радіоелектронної апаратури управління зв'язку, порушення роботи електричних пристроїв, підключених до зовнішніх ліній.

З метою запобігання цього проведемо розрахунки стійкості роботи мережі мобільного зв'язку четвертого покоління в умовах дії іонізуючих випромінювань, електромагнітного імпульсу та приймаються рішення щодо захисту елементів РЕА.

7.3.1 Дослідження стійкості роботи мережі мобільного зв'язку четвертого покоління в умовах дії іонізуючих випромінювань

Вихідні дані: рівень радіації через 1 год після аварії $P_{1max} = 4,14$ Р/год; максимальне значення часу, протягом якого повинна працювати апаратура $t_{pmax} = 5500$ год або 3 роки; коефіцієнт ослаблення радіації $K_{осл} = 1$; час початку опромінення $t_n = 1$ год.

Як критерій стійкості роботи приймаємо максимальне значення експозиційної дози, при якому РЕА мережі мобільного зв'язку четвертого покоління буде працювати з необхідною якістю протягом часу напрацювання на відмову.

Дослідження стійкості роботи проводимо в такій послідовності:

Проводимо аналіз приладу і визначаємо радіоелектронні елементи елементи, від яких залежить його функціонування.

Визначаємо максимально допустимі експозиційні дози, при яких в елементах можуть виникнути зворотні зміни, але елемент ще буде працювати. Дані заносимо до табл. 7.9.

Таблиця 7.9 – Максимально допустимі експозиційні дози блоків мережі

№	Елементи мережі мобільного зв'язку	$D_{зв.і}, Р$	$D_{зв}, Р$
1	Діоди КС168	10^5	10^4
2	Резистори МЛТ	10^6	
3	Конденсатори К50-6	10^6	
4	Транзистори серії КП	10^4	
5	Мікросхеми ТРІС6В595	10^5	

За мінімальним значенням $D_{зв.i}$ визначаємо границю стійкості роботи РЕА мережі мобільного зв'язку четвертого покоління в цілому. Це значення заносимо в табл. 7.9.

Граничне значення дози:

$$D_{зр} = K_{над} \cdot D_{зв} \cdot K_{осл} [P]; \quad (7.15)$$

$$D_{зр} = 0,93 \cdot 10^4 \cdot 1 = 0,93 \cdot 10^4 (P),$$

де $K_{над}$ – коефіцієнт надійності (приймається $K_{над} = 0,93$).

Можлива доза опромінення елементної бази в заданих умовах складає

$$D_M = \frac{2P_{1max} (\sqrt{t_k} - \sqrt{t_n})}{K_{осл}} [P]; \quad (7.16)$$

$$D_M = \frac{2 \cdot 4,14 \cdot (\sqrt{5500} - \sqrt{1})}{1} = 605,78 (P).$$

Оскільки $D_M = 605,78 P < D_{зр} = 930 P$, то РЕА мережі мобільного зв'язку четвертого покоління буде працювати протягом потрібного гарантійного часу (3 роки) стійко із заданим рівнем надійності.

7.3.2 Дослідження стійкості роботи мережі мобільного зв'язку четвертого покоління в умовах дії електромагнітного імпульсу

Початкові дані: $E_B = 10,13$ кВ/м; $U_{жс} = 220 \pm 5\%$ В; $l_\Gamma = 0,85$ м; $l_B = 0,25$ м.

Як критерій стійкості роботи радіоелектронних систем в цих умовах приймаємо коефіцієнт безпеки:

$$K_\delta = 201g \frac{U_\delta}{U_{\delta(z)}} \geq 40 [\text{дБ}], \quad (7.17)$$

де U_d – допустимі коливання $U_{жс}$;

$U_{\epsilon(z)}$ – напруга наведення в вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах.

Розраховуємо горизонтальну складову напруженості електромагнітного поля за формулою

$$E_z = 10^{-3} E_{\epsilon} \text{ [кВ/м]}, \quad (7.18)$$

де E_B – вертикальна складова напруженості електромагнітного поля, кВ/м.

Визначаємо вертикальну та горизонтальну напруги наведення на струмопровідних частинах РЕА за формулами:

$$U_{\epsilon} = E_z l_{\epsilon} \text{ [В]}, \quad (7.19)$$

$$U_z = E_{\epsilon} l_z \text{ [В]}, \quad (7.20)$$

де l_{ϵ} , l_z – довжини вертикальної та горизонтальної струмопровідних частин РЕА відповідно, м.

Визначаємо допустиме коливання напруги живлення:

$$U_d = U_{жс} + \frac{U_{жс}}{100} N \text{ [В]}, \quad (5.21)$$

де $U_{жс}$ – робоча напруга живлення, В;

N – допустимі коливання напруги, %.

Після підстановки відомих значень у формули (5.18, ..., 5.21, 5.17) отримаємо:

$$E_z = 10^{-3} \cdot 10,13 = 0,01 \text{ (кВ/м)};$$

$$U_{\epsilon} = 0,01 \cdot 1000 \cdot 0,25 = 2,5 \text{ (В)};$$

$$U_2 = 10,13 \cdot 1000 \cdot 0,85 = 8610,5 \text{ (В)};$$

$$U_{\partial} = 220 + \frac{220}{100} \cdot 5 = 231 \text{ (В)};$$

$$K_{\partial v} = 20 \lg \frac{231}{2,5} = 113,0 \text{ (дБ)};$$

$$K_{\partial z} = 20 \lg \frac{231}{8610,5} = -40,2 \text{ (дБ)}.$$

Оскільки ($K_{\partial v} = 113,0$ дБ) $>$ ($K_{\text{ном}} = 40$ дБ) і ($K_{\partial z} = -40,2$ дБ) $<$ ($K_{\text{ном}} = 40$ дБ), то робота мережі мобільного зв'язку четвертого покоління є нестійкою до дії електромагнітного імпульсу.

7.3.3 Розробка превентивних заходів з підвищення стійкості роботи мережі мобільного зв'язку четвертого покоління в умовах надзвичайних ситуацій

Найефективнішим способом підвищення стійкості роботи РЕА є екранування системи або її елементів. З цією метою проводиться розрахунок екрану. Визначаємо перехідне затухання енергії електричного поля сталевим екраном:

$$A = K_{\text{ном}} - K_{\text{мін}} \text{ [дБ];} \quad (7.22)$$

$$A = 40 - (-40,2) = 80,2 \text{ (дБ)},$$

де $K_{\text{ном}}$ – номінальний коефіцієнт безпеки ($K_{\text{ном}} = 40$ дБ);

$K_{\text{мін}}$ – мінімальний розрахунковий коефіцієнт безпеки.

Товщину захисного екрану знаходимо за формулою:

$$t = \frac{A}{k\sqrt{f}} \text{ [см];} \quad (7.23)$$

$$t = \frac{80,2}{5,2 \cdot \sqrt{15000}} = 0,126 \text{ (см)} = 1,26 \text{ (мм)},$$

де k – коефіцієнт, що для сталюого екрана дорівнює 5,2;

f – найбільш характерна частота ($f = 15000$ Гц).

Зростання стійкості роботи мережі мобільного зв'язку четвертого покоління можна досягти через посилення найбільш слабких елементів і ділянок системи, а також завчасним проведенням комплексу технологічних, інженерно-технічних та організаційних заходів, що спрямовані на максимальне зменшення дії уражаючих факторів та створення передумов для відновлення працездатності приладу.

7.4 Висновки до розділу

Під час виконання даного розділу було розглянуто такі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, як технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, обґрунтування вибору раціонального методу захисту від шуму, технічні рішення з промислової та пожежної безпеки під час проведення дослідження ефективності функціонування мережі мобільного зв'язку четвертого покоління, безпека в надзвичайних ситуаціях.

Також у даному розділі нами досліджено стійкість роботи мережі мобільного зв'язку четвертого покоління в умовах впливу загрозових чинників НС. Встановлено, що оскільки $D_m = 605,78 \text{ Р} < D_{sp} = 930 \text{ Р}$, то РЕА мережі мобільного зв'язку четвертого покоління буде працювати протягом потрібного гарантійного часу (3 роки) стійко із заданим рівнем надійності. З дослідження впливу електромагнітного імпульсу на стійкість роботи мережі мобільного зв'язку четвертого покоління можна сказати, що система РЕА виявилася нестійкою в роботі. Застосування екранування РЕА сталюим екраном товщиною 1,26 мм для перехідного затухання енергії 80,2 дБ значно підвищує її стійкість в умовах дії електромагнітного імпульсу.

ВИСНОВКИ

Однією із проблем створення та розвитку сучасних безпроводових систем зв'язку є розробка методів оцінки, забезпечення та підвищення ефективності їх функціонування. При цьому актуальною науково-технічною задачею є підвищення якості прийняття послуг у мережах четвертого покоління на основі адаптації радіоканалу та покращення показників розподілу ресурсів.

Побудована і досліджена нова математична модель на обмеження швидкості еластичного виду трафіку, що враховує спільне надходження і обслуговування заявок реального часу і заявок еластичного трафіку на передачу даних. При цьому показано, що трафік реального часу має відносний пріоритет в занятті ресурсу, зменшуючи при необхідності швидкість передачі даних, яка змінюється в фіксованих межах, відображаючи еластичні властивості трафіку передачі даних.

При побудові моделі спільного обслуговування трафіку сформульовано визначення основних показників якості обслуговування заявок сервісів реального часу і еластичного трафіку. Серед яких: частки заявок, які отримали відмову в доступі, середнє використання ресурсу передачі інформації для кожного виду трафіку окремо і сумарно, середній час доставки файлу даних, середнє використання ресурсу передачі стільника на передачу одного файлу даних та ін. Значення показників виражені через стаціонарні ймовірності окремих станів моделі.

Отримано система рівнянь рівноваги, що зв'язує значення стаціонарних ймовірностей розробленої моделі спільного обслуговування різнорідного трафіку. Розроблено алгоритм її вирішення. Досліджено залежності між параметрами заявок.

Показано, що при локальному зменшенні ймовірності втрат заявок на передачу даних, зростають втрати заявок через неконтрольоване захоплення ресурсів мережі. Запропоновано введення гарантованого порога на максимальну

швидкість еластичного трафіку, показано, що на існуючих мережах цей поріг повинен визначатися на основі постійних спостережень.

Досліджено чисельні властивості показників спільного обслуговування заявок, які показали ефективність спільної передачі трафіку реального часу і еластичного трафіку даних з метою підвищення завантаження ресурсу фрагмента мережі. Побудована модель дає можливість чисельно оцінити переваги спільної передачі різних видів трафіку.

Розглянуто рішення задач планування пропускної здатності фрагмента мережі, а також допустимого обсягу трафіку, який може бути переданий з заданими показниками якості. Розглянуто рішення задачі визначення співвідношення між обмеженнями на швидкість передачі даних з метою підвищення ефективності використання ресурсу фрагмента мережі.

В економічній частині роботи були розрахована вартість розробки, виробнича собівартість, ціна реалізації та термін окупності нового пристрою.

В розділі "Безпека життєдіяльності" проаналізовані умови праці в лабораторії для досліджень, виконано організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні заходи та протипожежні заходи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вишнеvский В.М. Технология сотовой связи LTE – почти 4G / Вишнеvский В.М., Красилов А.С., Шахнович И.В. // Электроника: Наука, Технология, Бизнес.– 2009. – Вып. 1. – С. 10-16.
2. Гельгор А. Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учебное пособие/ А. Л. Гельгор, Е. А. Попов. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. — 204 с.
3. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура. М.: Эко-Трендз. 2010. 284 с.
4. Сайко В. Г. Сети мобильного WiMax и LTE: состояние и перспективы / В. Г. Сайко // Зв’язок. – 2015. – № 3. – С. 16 – 21.
5. Тихвинский В.О. Использование радиочастотного спектра сетями LTE и LTE Advanced / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев // Электросвязь. – 2014 – №5. – С. 10-13.
6. Хлапонін Ю. І. Формування діаграми спрямованості антенних систем технології МІМО мережі LTE / Ю. І. Хлапонін // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. - 2015. - № 1(9). - С. 23-26.
7. Марчук А.В. Адаптивная модуляция в каналах МІМО/ Марчук А.В., Вадиа З., Ал-Джанаби Х. // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. –2010. – Вып. 163. – С.122–128.
8. Лошаков В. А. Адаптивная пространственная обработка сигналов в системах LTE с МІМО / В.А. Лошаков, В.Г. Лихограй, Х. Д. Ал-Джанаби, Н. Т. Насиф //Вестник НГУ ХПИ №11, 2013. – С. 100–107.
9. Глоба Л. С. Розвантаження мобільних мереж за допомогою поєднання технологій Wi-Fi offload та LTE. Хендовер між двома технологіями / Л. С. Глоба, В. В. Курдеча, Р. Р. Дундяк // Молодий вчений. - 2016. - № 6. - С. 195-198.
10. Дегтяренко И.В. Модель розвитку мережі мобільного оператора при використанні технології LTE/SON / И.В. Дегтяренко, Д.С. Шахов, Д.А. Кнерцер, А.А. Орехов // Наукові праці Донецького національного технічного університе-

ту. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск: 20 (182). Стр. 130-136.

11. Ткаченко В. В. Перспективи та рекомендації по впровадженню стільникового зв'язку 4-го покоління / В. В. Ткаченко, Р. С. Одарченко, В. С. Повхліб, Т. Р. Андрійченко // Проблеми навігації та управління рухом : Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів; Київ, 21–22 листопада 2011 р. : тези доповідей/редкол. :М. С. Кулик та ін. — К. : НАУ, 2011. — С. 122.

12. Ткаченко В. В. Вітчизняні перспективи розвитку технології LTE / В. В. Ткаченко, І. О. Дударчук, К. В. Дружиніна // Проблеми навігації та управління рухом : Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів; Київ, 23–24 листопада 2010 р. : тези доповідей/ редкол.: М.С. Кулик та ін. — К. : НАУ, 2010. — С. 105.

13. Ткаченко В. В. Методи прогнозування попиту на послуги мереж LTE / В. В. Ткаченко, Р. С. Одарченко, Ю. О. Петрова // Політ-2011. Сучасні проблеми науки: міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів, 7–9 квітня 2010 р.: тези доп. — К. : НАУ, 2011. — С. 30.

14. Єрохін В. Ф. Аналіз і прогноз розвитку систем мобільного зв'язку загального користування / В. Ф. Єрохін, Б. А. Гиндич, О. В. Кувшинов. — Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ „КПІ” № 1. — 2011. — С. 54–64.

15. Одарченко Р.С. Дослідження структури мережі LTE та можливостей її оптимізації. Актуальні питання забезпечення кібернетичної безпеки та захисту інформації: зб. матеріалів доп. учасн. наук.- практи. конф., 25-28 лютого 2015 р. Київ. 2015. С. 80-82.

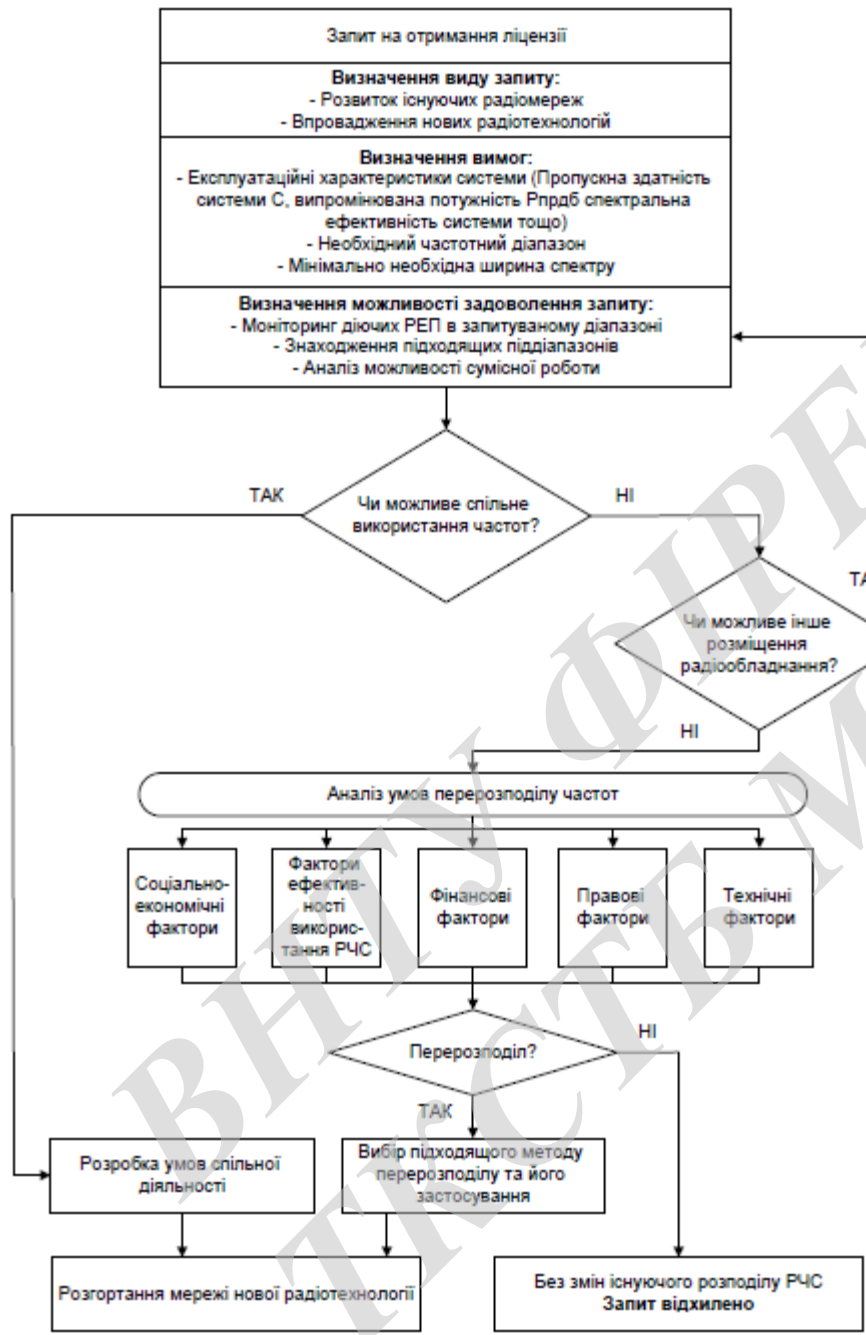
16. Одарченко Р.С. , Даков С. Ю. Основні тренди в розвитку безпроводових стільникових мереж. Комп'ютерні системи і мережні технології: зб. матеріалів доп. учасн. VIII міжнародної науково-технічної конференції , 21-23 квітня 2015 р. Київ. 2015. С. 51-52.

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

18. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень.
19. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення.
20. Пособие по расчету и проектированию, естественного, искусственного и совмещенного освещения НИИСФ – М.: Стройиздат. 1985. – 384 с.
21. ДСН 3.3.6-037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
22. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій.
23. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
24. 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.
25. ДНАОП 0.00-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. – К. : Держнаглядохоронпраці, 1998. – 382 с.
26. ДБН В.2.5-27-2006. Захисні заходи електробезпеки в електроустановках будинків і споруд.
27. ДБН В.1.1.7-2002. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
28. НАПБ Б.03.001-2004. Типові норми належності вогнегасників.
29. СНиП 2.09.02-85. Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений.
30. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97), МОЗ України. – К., 1997.

Характеристика		Значення
Смуга частот, МГц		1; 4; 3; 5; 10; 15; 20
Метод багатостанційного доступу	Низхідний канал	OFDM
	Висхідний канал	SC-FDMA
Символьна швидкість, символів/с		14000
Завадостійке кодування		загортальні коди, турбокоди
Тривалість радіокадра, мс		10
Мінімальний інтервал між кадрами, мс		1
Стандартний крок між піднесними, кГц (канал "вниз")		15
Інформаційна одиниця в каналі		ресурсний блок
Кількість піднесних на ресурсний блок (займаюча ресурсним блоком смуга)		12(180 кГц)
Циклічний префікс, мкс	Стандартний	4,7 (5,2 –перед першим символом)
	Розширений	16,7
Дуплексний режим		Частотний (FDD)
		Часовий (TDD)
Модуляція сигналу		QPSK, 16QAM, 64QAM
Максимальна ефективна випромінююча потужність, дБм	UE	23
	eNodeB	46

				08-34.МКР.010.00.001 Е8			
Змн. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Технічні характеристики стандарту LTE Плакат	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Тишук						
Перевір.	Семенова						
Т.Контр.							
Реценз.							
Н.Контр.	Семенова			ВНТУ, ТТК-18М			
Затверд.	Бортник						



				08-34.МКР.010.00.002 Е8				
Зміст	Лист	№ докум.	Підпис	Лат	Алгоритм вивільнення частотного ресурсу	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Тищук			Плакат			
Перевір.		Семенова						
Т.Контр.						Арк. 1	Аркушів 1	
Реценз.								
Н.Контр.		Семенова						
Затверд.		Бортник						
						ВНТУ, ТТК-18М		

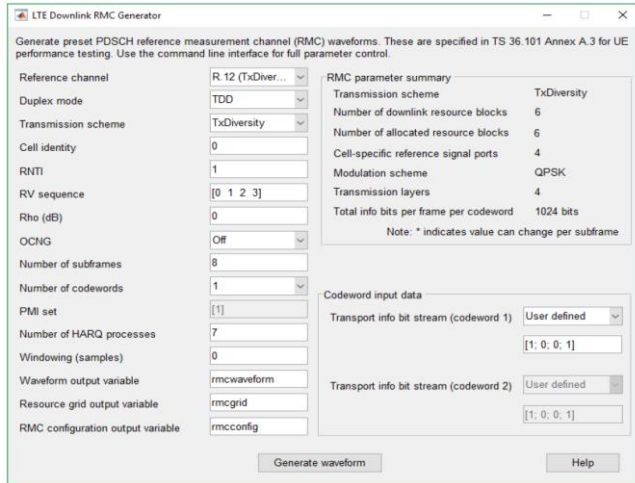


Рисунок 1 – Параметри каналів передачі

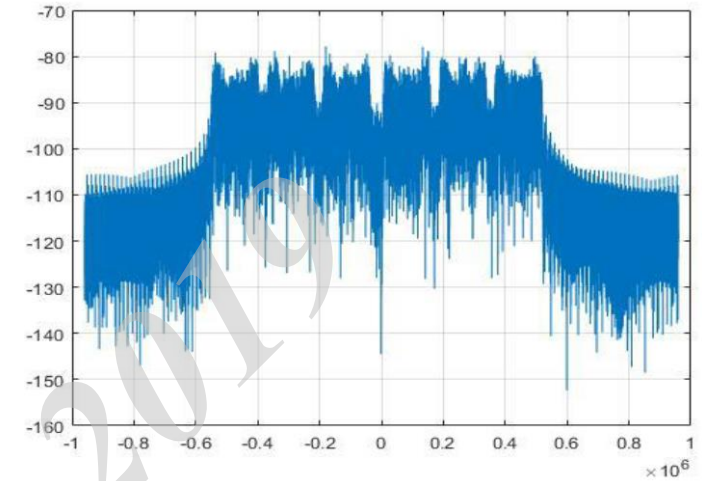


Рисунок 2 – Спектр сигналу

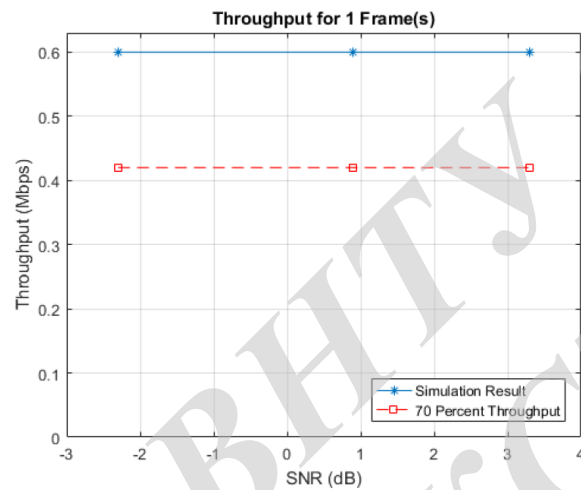


Рисунок 3 – Графік пропускної здатності каналу в Мбіт/с

					08-34.МКР.010.00.003 Е8				
Змн. Лист	№ докум.	Підпис	Дат.	Моделювання радіоканалу передачі Плакат			Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Тищук								
Перевір.	Семенова								
Т.Контр.									
Реценз.									
Н.Контр.	Семенова						Арк. 1	Аркушів 1	
Затверд.	Бортник						ВНТУ, ТТК-18М		

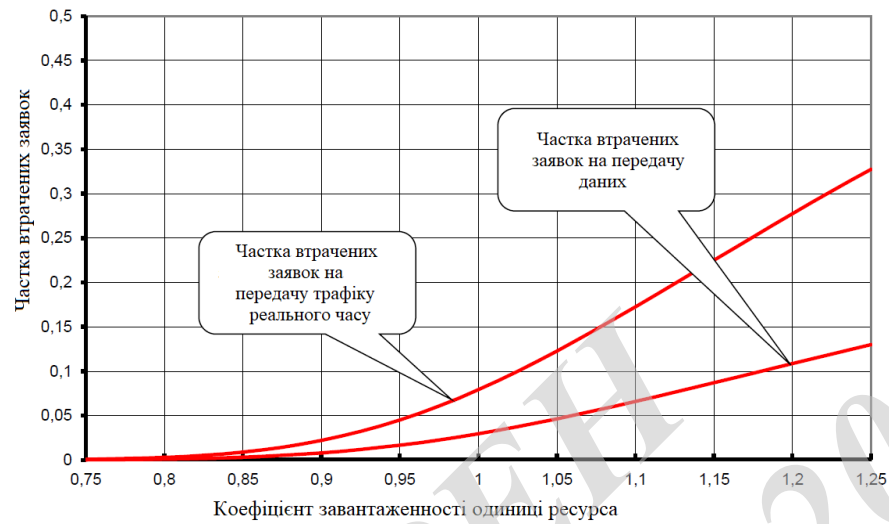


Рисунок 1 – Результати розрахунку втрат заявок з ростом мінімального потенційного завантаження

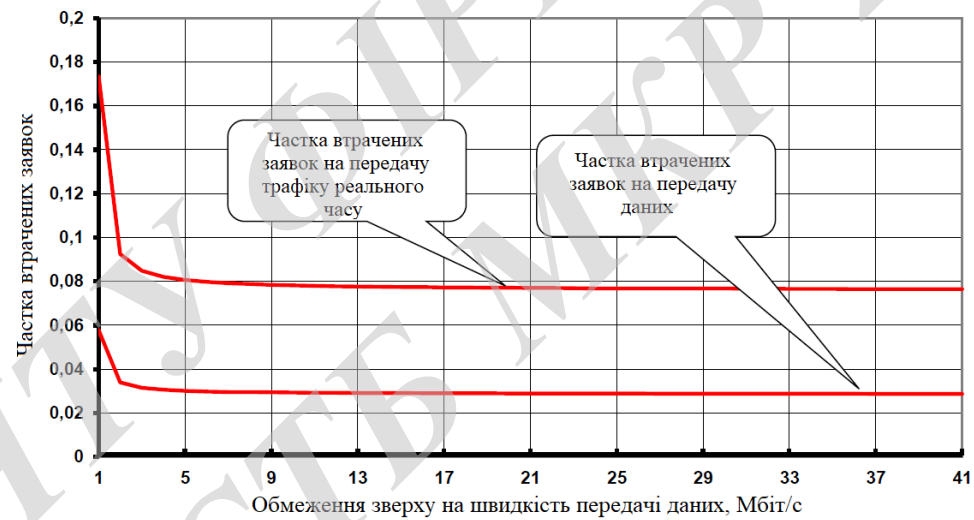


Рисунок 2 — Залежність втрат заявок при збільшенні максимальної доступності ресурсу

					08-34.МКР.010.00.004 Е8			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дат.	Залежність втрат заявок Плакат	Літ.	Маса	Масштаб
	Розроб.	Тищук						
	Перевір.	Семенова						
	Т.Контр.							
	Реценз.							
	Н.Контр.	Семенова				Арк. 1		Аркушів 1
	Затверд.	Бортник				ВНТУ, ТТК-18М		

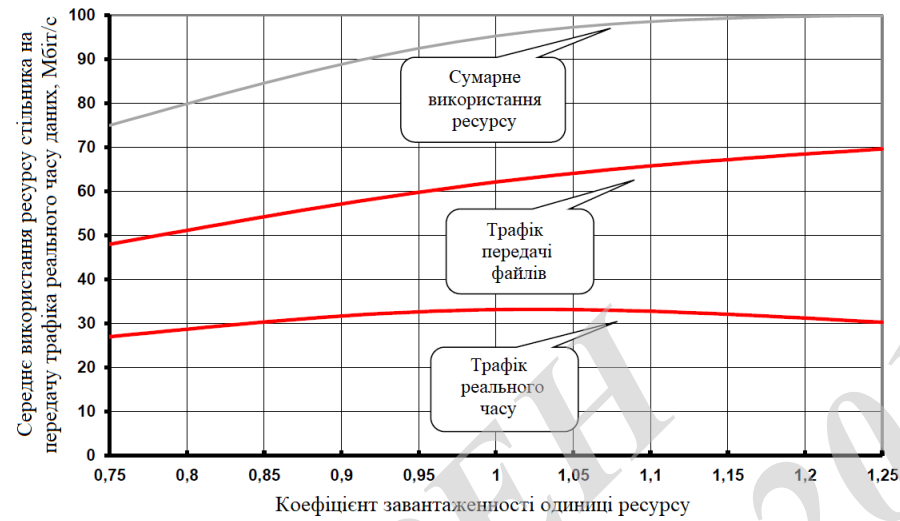


Рисунок 1 – Середнє використання ресурсу стільника на передачу трафіку реального часу і даних

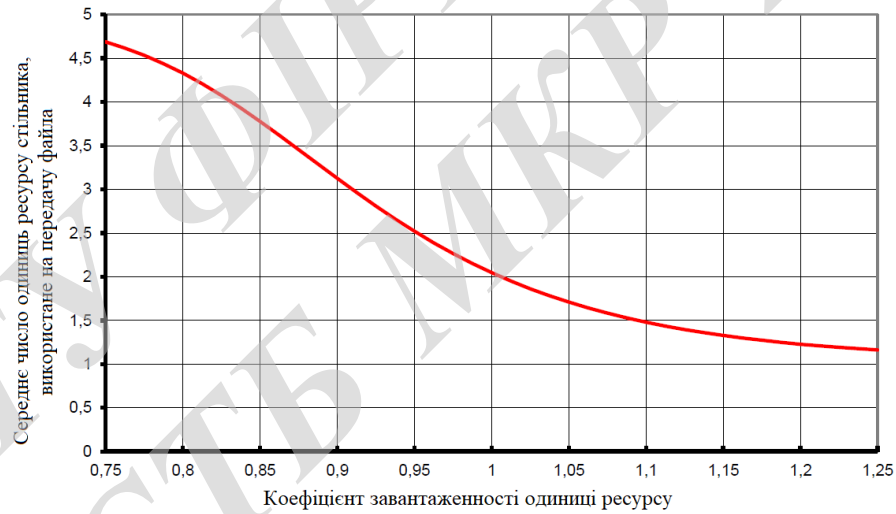


Рисунок 2 – Середнє використання ресурсу стільника на передачу файлу

					08-34.МКР.010.00.005 Е8				
Змін Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Використання ресурсу стільника Плакат			Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Тищук								
Перевір.	Семенова								
Т.Контр.									
Реценз.									
Н.Контр.	Семенова				Док. 1		Аркушів 1		
Затверд.	Бортник				ВНТУ, ТТК-18М				



Рисунок 1 – Результати оцінки швидкості передачі на фрагменті стільника

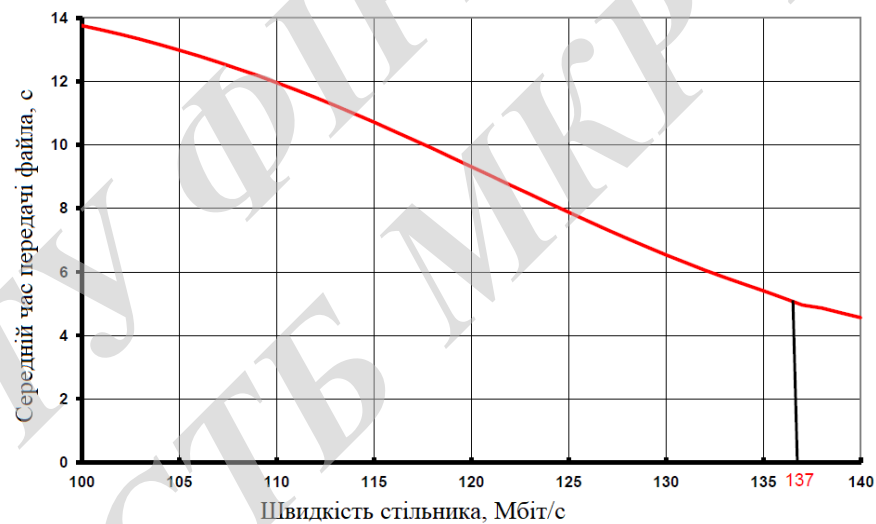


Рисунок 2 – Результати оцінки швидкості стільника

					08-34.МКР.010.00.006 Е8			
Змін	Лист	№ докум.	Підпис	Дат.	Оцінка швидкості Плакат	Літ.	Маса	Масштаб
	Розроб.	Тишук						
	Перевір.	Семенова						
	Т.Контр.							
	Реценз.							
	Н.Контр.	Семенова				Дрк. 1		Аркушів 1
	Затверд.	Бортник				ВНТУ, ТТК-18М		