

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Факультет комп'ютерних наук  
Кафедра теоретичної та прикладної системотехніки

«Затверджую»  
Зав. кафедри теоретичної та  
прикладної системотехніки  
д.т.н., проф. С. І. Шматков  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи  
бакалавра

на тему: *«Модель контролю працездатності LTE-мереж»*

Захищено на засіданні  
Атестаційної комісії № 44  
протокол № \_\_ від \_\_.06.2024 р.  
Оцінка \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
Голова Атестаційної комісії  
\_\_\_\_\_  
(підпис) **СКОБ Ю. О.**  
(прізвище та ініціали)

Виконав:  
студент 4 курсу, групи КУ– 41  
Галузь знань: 15 – Автоматизація та  
приладобудування  
Спеціальність: 151 – «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»  
**Щедрін Максим Юрійович** \_\_\_\_\_

**Керівник:** ст.викладач кафедри ТПС  
**АРТЮХ Олексій Анатолійович** \_\_\_\_\_

**Рецензент:** старший викладач кафедри  
інформаційних технологій та  
математичного моделювання  
**КОВАЛЬЧУК Дмитро Миколайович**

Харків – 2024

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 72 сторінок, із яких 50 сторінок основної частини з 37 рисунками, 5 таблицями, 56 найменувань списку використаних джерел та додатками.

**Метою кваліфікаційної роботи** є підвищення ефективності засобів контролю працездатності мереж, які дозволяють виявляти та локалізувати проблеми функціонування в реальному часі, забезпечуючи необхідний рівень якості обслуговування для кінцевих користувачів.

**Об'єктом дослідження** є процес контролю технічного стану LTE-мережі.

**Предметом дослідження** є модель контролю працездатності LTE-мереж.

При розробці моделі використовуються методи та алгоритми для моніторингу, аналізу та управління роботою мережі з метою забезпечення її стабільності та ефективності.

Проблема, яка вирішується в кваліфікаційній роботі, полягає в забезпеченні стабільності та ефективності функціонування LTE-мереж через розробку ефективних методів контролю та управління.

**Область застосування** – розробка та впровадження моделей контролю працездатності для мобільних мереж, що можуть бути використані операторами зв'язку для покращення якості обслуговування та ефективності мережі.

**Ключові слова:** LTE-мережа, контроль працездатності, моделювання, моніторинг, управління мережею, бездротові мережі, спектральна ефективність, Cisco Packet Tracer, алгоритм контролю.

## ABSTRACT

The explanatory note for the bachelor's qualification work consists of an introduction, three chapters, conclusions, a list of references, and appendices. The total volume of the work is 72 pages, of which 50 pages are the main part with 37 figures, 5 tables, 56 references, and appendices.

The aim of the qualification work is to develop a performance control model for LTE networks, which allows detecting and localizing problems in real time, ensuring the required level of service quality for end users.

**The object of the research** is the process of controlling the technical condition of the LTE network.

**The subject of the research** is the performance control model for LTE networks, which includes methods and algorithms for monitoring, analyzing, and managing the network to ensure its stability and efficiency.

The problem addressed in the qualification work is to ensure the stability and efficiency of LTE networks through the development of effective control and management methods.

**The application area** is the development and implementation of performance control models for mobile networks, which can be used by network operators to improve service quality and network efficiency.

**Keywords:** LTE network, performance control, modeling, monitoring, network management, wireless networks, spectral efficiency, Cisco Packet Tracer, control algorithm.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....	5
ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ СТВОРЕННЯ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ ...	8
1.1. Огляд існуючих технологій бездротових мереж .....	8
1.2. Поняття, сутність та основні параметри технології бездротової мережі LTE .....	9
1.3. Підвищення якості керування та контролю бездротових мереж передачі даних.....	11
Висновки до розділу 1 .....	13
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛІ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ LTE – МЕРЕЖІ .....	15
2.1. Функціонування LTE - мережі .....	15
2.2. Обґрунтування вимог до моделі, її структури, вибір середовища моделювання.....	22
2.3. Розробка моделі контролю працездатності LTE – мережі .....	25
Висновки до розділу 2 .....	31
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ МОДЕЛІ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ LTE – МЕРЕЖІ .....	32
3.1. Моделювання функціонування та контроль працездатності LTE – мережі .....	33
3.2. Аналіз отриманих результатів моделювання.....	45
3.3. Рекомендації по використанню моделі .....	48
Висновки до розділу 3 .....	50
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53
ДОДАТКИ.....	59

**ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ**

<b>LTE</b>	—	Long-Term Evolution (тривалий розвиток)
<b>eNB</b>	—	Evolved Node B (еволюційна базова станція)
<b>MIMO</b>	—	Multiple Input Multiple Output (множинний вхід/вихід)
<b>MME</b>	—	Mobility Management Entity (вузол управління мобільністю)
<b>SGW</b>	—	Serving Gateway (обслуговуючий шлюз)
<b>PGW</b>	—	Packet Data Network Gateway (шлюз пакетної передачі даних)
<b>PCRF</b>	—	Policy and Charging Rules Function (функція політики та правил тарифікації)
<b>HSS</b>	—	Home Subscriber Server (сервер абонентських даних мережі)
<b>QoS</b>	—	Quality of Service (якість обслуговування)

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** У сучасному цифровому світі, де доступ до мережевих послуг є необхідністю, стабільність і ефективність мобільних мереж мають вирішальне значення. Однією з найбільш широко використовуваних технологій у сфері мобільного зв'язку є LTE (Long-Term Evolution). Незважаючи на значні досягнення, що були досягнуті в розвитку LTE-мереж, питання забезпечення їх надійності та ефективності залишаються актуальними. Модель контролю працездатності є важливим інструментом для аналізу та управління функціонуванням LTE-мереж, забезпечуючи моніторинг і виявлення проблем, які можуть виникнути, у реальному часі. У дипломній роботі розглядаються основні етапи розробки та застосування моделі контролю працездатності LTE-мереж з метою підвищення їхньої ефективності та надійності. Дослідження проводяться з метою вдосконалення існуючих методів управління мережею та забезпечення якості обслуговування для користувачів у контексті швидкозмінюваного середовища мобільного зв'язку.

Робота спрямована на аналіз існуючих підходів до контролю працездатності LTE-мереж, включаючи методи виявлення та діагностики проблем, а також засоби їх вирішення. Враховуючи динамічний характер мобільного зв'язку, особливу увагу приділяється розробці адаптивних стратегій управління мережею, які забезпечують ефективну реакцію на зміни у навантаженні та умовах експлуатації.

В умовах військового стану, під час широкого застосування засобів РЕБ для перешкоджання роботі мереж передачі інформації, руйнуванні систем електроживлення і технічної інфраструктури систем передачі інформації, розробка засобів моніторингу стану таких систем також виходять на передній план. Їх розробка, впровадження і використання дозволяє оперативно реагувати на аварійні ситуації, швидко приймати ефективні рішення по відновленню функціонування систем передачі інформації.

Дослідження, проведені в рамках цієї роботи, мають потенціал для практичного впровадження у сфері телекомунікацій, допомагаючи операторам мережі забезпечувати оптимальну продуктивність і задоволення потреб користувачів. У подальших розділах роботи будуть розглянуті деталі розробки моделі, методи валідації та результати експериментальних досліджень, що сприятиме розумінню її потенційних переваг та обмежень.

**Метою кваліфікаційної роботи** є підвищення ефективності засобів контролю працездатності мереж, які дозволяють виявляти та локалізувати проблеми функціонування в реальному часі, забезпечуючи необхідний рівень якості обслуговування для кінцевих користувачів.

**Об'єктом дослідження** є процес контролю технічного стану LTE-мережі.

**Предметом дослідження** є модель контролю працездатності LTE-мереж.

Відповідно до мети були визначені наступні **завдання**:

- 1) Провести огляд технологій створення бездротових мереж;
- 2) визначити особливості розробки моделі контролю працездатності LTE – мережі;
- 3) провести моделювання та зробити аналіз отриманих результатів функціонування моделі контролю працездатності LTE – мережі.

## РОЗДІЛ 1.

### ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ СТВОРЕННЯ БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖ

#### 1.1. Огляд існуючих технологій бездротових мереж

Бездротова мережа (Wireless Network) використовує високочастотні радіохвилі для зв'язку і передачі даних між вузлами та компонентами замість кабелів. Відстань між ними може бути як малою (кілька метрів), так і великою (сотні кілометрів).

Зростання популярності бездротових мереж пов'язане з поширенням смартфонів, планшетів і ноутбуків, які потребують постійного доступу до Інтернету, включаючи під час пересування. Такі системи забезпечують ефективне планування, обробку даних, зберігання документів і зв'язок з віддаленими станціями. Їх девіз - "будь-де, будь-коли".

WLAN - це мережі з невеликим радіусом дії, що використовуються в будинках, офісах і громадських місцях. Вони використовують Wi-Fi (802.11) для зв'язку між пристроями, такими як комп'ютери та мобільні телефони, забезпечуючи гнучкість і мобільність.

WWAN - мережі з великим радіусом дії, що покривають великі території. Вони використовують 3G, 4G і 5G для доступу до Інтернету в різних районах, дозволяючи користувачам здійснювати дзвінки та підключатися до Інтернету навіть без дротового з'єднання.

WPAN - мережі з малим радіусом дії для зв'язку між персональними пристроями. Приклад - Bluetooth, який дозволяє підключати навушники, колонки, клавіатури та миші без кабелів.

WMAN - мережі середнього радіусу дії, що охоплюють міста. Вони використовують WiMAX для високошвидкісного доступу до Інтернету, являючись альтернативою дротовим мережам у регіонах, де встановлення кабелів складне або дороге.

Бездротові мережі можуть бути класифіковані за типами технологій:

1. Мережі на радіомодемах.
2. Мережі на стільникових модемах.
3. Інфрачервоні системи.
4. Системи VSAT.
5. Системи з низькоорбітальними супутниками.
6. Системи SST.
7. Радіорелейні системи.
8. Лазерні системи зв'язку.

Класифікація мереж за площею охоплення та порівняння характеристик протоколів. Бездротові мережі стають невід'ємною частиною нашого цифрового життя, забезпечуючи широкий спектр застосувань від особистих пристроїв до глобальних систем зв'язку, що демонструє їх ефективність і необхідність у сучасному світі. Розвиток цих мереж відкриває нові можливості для спілкування, розваг, роботи та навчання.

## **1.2. Поняття, сутність та основні параметри технології бездротової мережі LTE**

LTE – це проект вдосконалення технологій мобільної передачі даних, розпочатий у листопаді 2004 року. У листопаді 2005 року було визначено основні технології радіодоступу для LTE: OFDMA на прямому каналі і SC-FDMA на зворотному. LTE підтримує технологію MIMO (Multiple Input Multiple Output), що дозволяє використовувати різні конфігурації антен, наприклад, 4x4 MIMO, значно підвищуючи швидкість передачі даних.

У вересні 2007 року завершили специфікацію LTE. У листопаді 2010 року Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ) визнав LTE-Advanced стандартом бездротового зв'язку четвертого покоління 4G. Назва технології взята від терміну

"IMT-Advanced" (International Mobile Telecommunications-Advanced), використовуваного МСЕ для позначення нового покоління мобільних систем.

Основні принципи архітектури LTE включають загальну опорну точку і вузол шлюзу (Gateway Node, GW) для всіх технологій доступу, з оптимізацією на рівні функцій користувача. Усі інтерфейси використовують протоколи на основі IP. Структура мережі LTE показана на рис. 1.1.

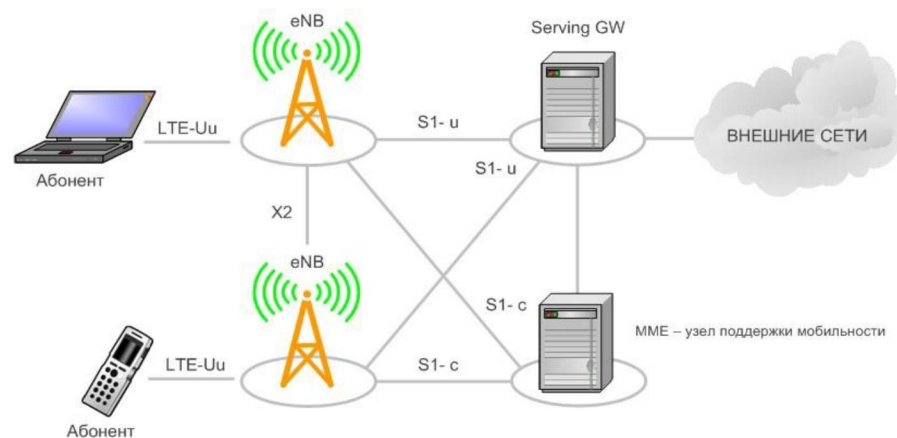


Рисунок 1.1 - Схема мережі стандарту LTE

Основний компонент архітектури 3GPP LTE – це Evolved Packet Core (EPC), еквівалент мережі GPRS. Компоненти EPC включають:

1. **MME (Mobility Management Entity)** – ключовий контролюючий модуль для мережі доступу LTE, відповідає за процедури мобільності, хендоверу, спостереження, пейджинг, аутентифікацію користувача, сигналізацію NAS, генерацію та розподіл тимчасових ідентифікаторів для UE та авторизацію UE для доступу до мережі PLMN.
2. **SGW (Serving Gateway)** – вузол обслуговування, що обробляє та маршрутизує пакетні дані між підсистемою і базовими станціями. SGW маршрутизує пакети користувацьких даних, виконує роль вузла керування мобільністю під час хендоверу між базовими станціями та мережами LTE та іншими технологіями 3GPP. Також SGW підключає прямий канал даних (Downlink) та виконує пейджинг, якщо необхідно передати дані.

Для забезпечення функціональності в рамках LTE у структурі SAE, керуючі вузли RNC віддаляються, а керування радіочастотним ресурсом передається базовим станціям. 3GPP встановлює архітектуру розподільної мережі LTE з підтримкою інтерфейсів S1 та X2.

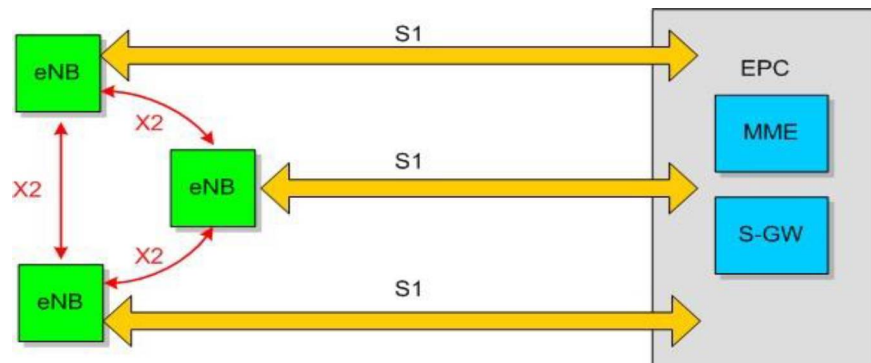


Рисунок 1.2 - Логічна структура LTE

Розвиток бездротових технологій включає появу розподіленого контролю доступу (Distributed Access Control) та площини корисних даних IP (IP Bearer Plane). eNBs на базових станціях функціонують як кінцеві точки IP, підтримуючи передачу користувацького трафіку через тунелі GTP і сигнальний трафік через тунелі SCTP. eNBs перетворюють користувацький трафік на IP-потоки (S1) між контролерами eNBs і S-GW/MME. При переміщенні користувача до іншої соти, інтерфейс несучого IP-потoku (X2) між eNBs різних секторів може використовуватися для координації передачі між сусідніми вузлами. Інтерфейс S1 зазвичай реалізується як "точка-точка" з'єднання, хоча можливі також з'єднання "точка-багато точок".

### 1.3. Підвищення якості керування та контролю бездротових мереж передачі даних

Ринок мобільного обладнання стрімко зростає завдяки постійному прогресу бездротових технологій. Кількість абонентів мобільних мереж збільшується, особливо серед користувачів додатків з високими вимогами до трафіку. Існуючі мобільні мережі вже майже повністю використовують свої

ресурси для передачі даних, що призводить до перевантаження, особливо в місцях з великою кількістю абонентів, погіршуючи якість обслуговування.

Збільшення кількості мобільних пристроїв з бездротовою передачею даних вимагає від операторів оперативної організації комунікацій, обміну даними та швидкого доступу до інформації при постійно змінюючихся маршрутах.

На базових станціях (eNB) у мережі LTE виконуються такі функції:

1. Управління радіоресурсами, включаючи розподіл радіоканалів та динамічне призначення ресурсів у напрямках передачі вниз і вгору;
2. Забезпечення гарантованої доставки та цілісності інформації, переданої по радіоканалах;
3. Стиснення IP-пакетів та шифрування користувацької інформації.

Взаємодія між eNB та ядром мережі (EPC) показана на рис. 1.3.

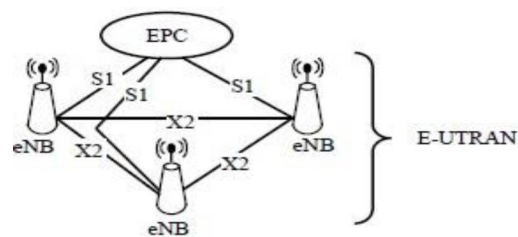


Рисунок 1.3 - Інтеракція між eNB та EPC

Для підвищення якості керування та контролю бездротових мереж передачі даних використовуються такі методи та технології:

1. **Оптимізація розподілу ресурсів:** Використання алгоритмів для динамічного розподілу мережевих ресурсів на основі реального часу аналізу трафіку та потреб користувачів.
2. **Моніторинг та управління якістю обслуговування (QoS):** Впровадження систем моніторингу та управління QoS для забезпечення стабільного та високоякісного обслуговування користувачів.
3. **Адаптивне управління мережею:** Використання технологій адаптивного управління для автоматичного налаштування параметрів мережі в залежності від поточних умов та навантаження.

4. **Машинне навчання та прогнозування:** Використання алгоритмів машинного навчання для прогнозування навантажень в мережі та попереднього налаштування ресурсів для уникнення перевантажень.

Архітектура мережі LTE, яка включає ці елементи, зображена на рис. 1.4.

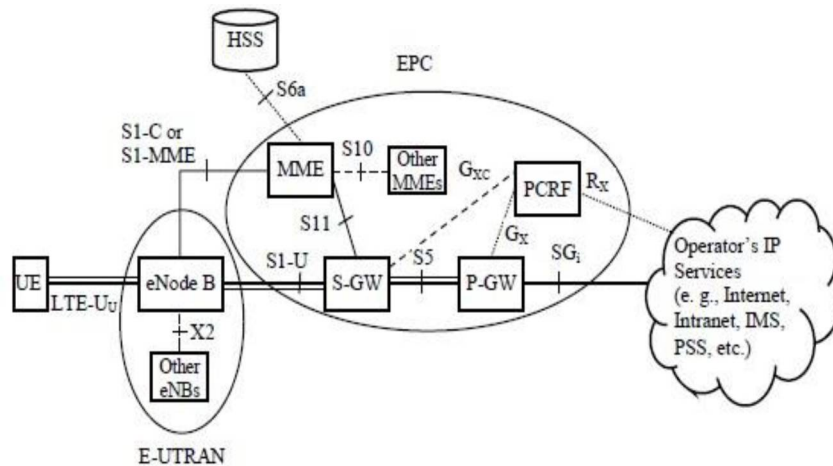


Рисунок 1.4 - Архітектура мобільного зв'язку LTE

UE - це рухома станція, яка складається з обладнання та SIM-карти. Під час роботи в мережі E-UTRAN UE може перебувати у одному з трьох можливих станів, як показано на рис. 1.5.

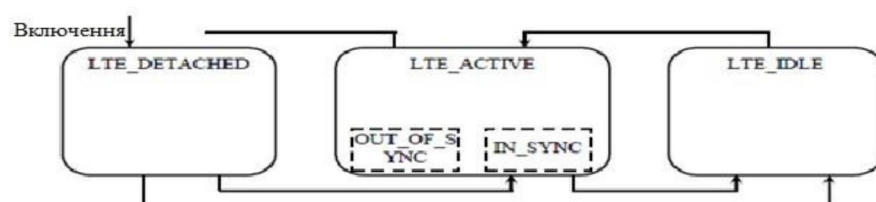


Рисунок 1.5 - Стани UE в мережі E-UTRAN

У стані LTE\_DETACHED UE знаходиться після включення. В цьому стані UE не зареєстрована в мережі і не має IP-адреси. Після виконання процедури доступу до мережі, UE отримує реєстрацію в мережі та IP-адресу і переходить у стан LTE\_ACTIVE. У цьому стані UE зв'язана з конкретним eNB і обмін інформацією відбувається через UU інтерфейс. У стані LTE\_IDLE UE знаходиться в режимі очікування. Для збереження енергії приймачі періодично включаються для

прийому сигналів системного управління і пейджингу. Для переходу із стану LTE\_IDLE в LTE-ACTIVE необхідно виконати процедуру доступу до мережі.

### **Висновки до розділу 1**

Таким чином, у першому розділі був проведений огляд сучасних технологій створення бездротових мереж. Результати аналізу показали, що існує широкий спектр технологій, від класичних до передових, які використовуються для побудови бездротових мереж залежно від потреб і конкретних умов застосування. Кожна з цих технологій має свої переваги та недоліки, які слід враховувати при виборі оптимального рішення для конкретної задачі.

Важливим аспектом дослідження є розуміння принципів роботи кожної технології та їхнього потенціалу для застосування у реальних умовах. Огляд технологій дозволив з'ясувати сильні та слабкі сторони кожного стандарту та спрогнозувати їхнє майбутнє розвиток. Враховуючи швидкий темп розвитку бездротових технологій, постійне оновлення знань та відстеження останніх тенденцій є ключовим для успішної реалізації проектів у цій галузі.

Загальний висновок полягає в тому, що огляд технологій створення бездротових мереж є важливим етапом у процесі планування, розробки та впровадження мережевих проектів. Розуміння різноманітності і характеристик доступних технологій допомагає інженерам та розробникам обирати оптимальні рішення для конкретних завдань і вимог проектів. Детальний огляд та аналіз ринку бездротових технологій є важливим для забезпечення ефективного та успішного виконання проектів у цій галузі.

## РОЗДІЛ 2.

### РОЗРОБКА МОДЕЛІ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ LTE – МЕРЕЖІ

#### 2.1. Функціонування LTE - мережі

Швидкість, яку може забезпечити технологія LTE в низхідному і висхідному каналах (від базової станції до мобільного пристрою і назад), залежить від ряду важливих параметрів, таких як метод дуплексування каналів, наявний діапазон частот, тип модуляції, методи захисту від перешкод при передачі даних, використання технологій MIMO, ресурси, витрачені на управління, тривалість циклічних префіксів і інші.

Попередню оцінку параметрів планованої мережі стандарту LTE можна проводити в трьох сценаріях, як показано на рис. 2.1: • окреме підключення (Single-Downlink); • окрема комірка з кількома користувачами (Single-Cell Multi-User); • багатокімкова система з кількома користувачами (Multi-Cell Multi-User).

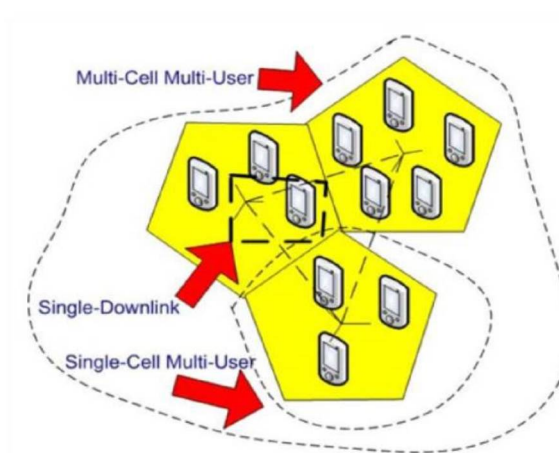


Рисунок 2.1 - Сценарії оцінки параметрів LTE-мережі

Single-Downlink - це сценарій, в якому оцінюється лише зв'язок між базовою станцією та обладнанням абонента одного користувача. З погляду планування, цей сценарій дозволяє досліджувати параметри службових та користувацьких каналів, а також ефективність алгоритмів MIMO.

Single-Cell Multi-User - це сценарій, в якому оцінюються зв'язки з потенційно активними користувачами в межах однієї комірки. Це дозволяє додатково досліджувати параметри радіомережі з урахуванням внутрішньої завантаженості мережі та процедур планування радіоресурсів, а також ефективність багатокористувацьких режимів MIMO.

Таблиця 2.1.

Співвідношення між шириною смуги частот і числом ресурсних блоків

Смуга (МГц)	Кількість піднесучих	Кількість ресурсних блоків
1.4	72	6
3	180	15
5	300	25
10	600	50
15	900	75
20	1200	100

Важливим аспектом при аналізі можливостей LTE є використання технології MIMO (Multiple Input Multiple Output). Існує кілька варіантів застосування MIMO: для підвищення абонентської ємності, коли різна інформація передається через різні антени, та для поліпшення покриття, коли одна і та ж інформація передається через декілька антен, що дозволяє абонентам комбінувати сигнали з різних антен для покращення якості. Зазвичай для підвищення абонентської ємності оператори використовують перший варіант MIMO. У цьому випадку використання MIMO 2x2 ( $N_{MIMO} = 2$  - порядок MIMO) призведе до подвоєння швидкості передачі даних в низхідному каналі. Однак реалізація такої схеми вимагатиме додаткових частотно-часових ресурсів для передачі опорних пілотних сигналів антен.

Таблиця 2.2

Призначення основних каналів управління і обсяг витрачених на них ресурсів

Фізичні канали в низхідному напрямку	Призначення	Кількість витрачених частотно-часових ресурсів (RE / кадр)
PSS – Канал первинної синхронізації	Визначає фізичний ідентифікатор стільника	72
SSS – Канал вторинної синхронізації	Визначає номер групи та ідентифікатор стільника	72
PBCH – Фізичний канал широкоповлення	Надає інформацію про ширину смуги, номер кадру та конфігурацію PHICH	288
PDCCH – Фізичний канал керування низхідним зв'язком	Головний канал для службових повідомлень. Передає системні дані, інформацію про розподіл ресурсів у низхідному та висхідному каналах між користувачами.	Від NSFR* NRB/2 (мінімум) до NSFR NRB/23 (максимум) - NPCFICH - NPHICH
RS – Референсний сигнал	Пілотний сигнал. Кожна антена передає свої пілотні сигнали при використанні MIMO	NSFR* NRB/4 NMIMO
PCFICH – Фізичний канал індикатора формату керування	Вказує кількість OFDM-символів, які займає PDCCH (від 1 до 3)	12
PHICH – Фізичний канал індикатора HARQ	Надає інформацію HARQ	12

Розглянемо вплив параметра CQI на функціонування мережі з різними видами модуляції. Мінімізація CQI, яка досягається за допомогою оптимізаційної задачі, призводить до збільшення пропускної здатності каналу.

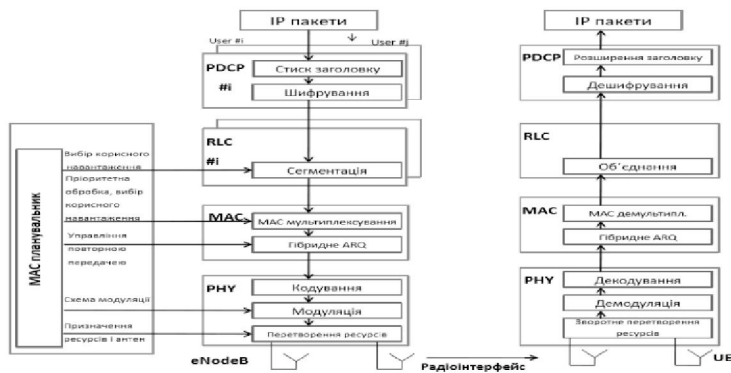


Рисунок 2.2 - Модель взаємодії рівнів в LTE

IP пакети пройдуть через стек протоколів, починаючи від рівня конвергенції протоколів пакетних даних (Packet Data Convergence Protocol (PDCP)) і пройдуть крізь всі рівні стеку протоколів до досягнення фізичного рівня перед виходом на радіоінтерфейс. У системах мобільного зв'язку якість сигналу, отриманого UE, залежить від якості каналу, що обслуговує мережу, рівня завад від інших систем та рівня шуму.

Для оптимізації продуктивності системи та адаптації потужності передачі передавач повинен забезпечити швидкість передачі даних для кожного користувача. Цей процес відомий як адаптація каналу і базується на адаптивних сигнально-кодових конструкціях (Adaptive Modulation and Coding (AMC)).

У LTE системі, технології MIMO широко використовуються для збільшення пікової швидкості у низхідному каналі мобільного зв'язку та середньої пропускної здатності. Для досягнення цих цілей, у LTE використовуються різні системи MIMO, включаючи різні їх варіанти у режимі окремого доступу SU-MIMO і багатокористувацького доступу MU-MIMO, які зображені на рис. 2.3. Схема просторового розподілу каналів передачі представлена в конфігурації з двома або чотирма передавальними антенами у низхідному каналі і з двома передавальними антенами у висхідному каналі. Схема кодування з замкнутим контуром першого рангу використовується для поліпшення передачі даних за допомогою технології SU-MIMO на основі загального опорного сигналу мобільного зв'язку. Виділена схема формування діаграми використовується для підвищення співвідношення сигнал/шум при



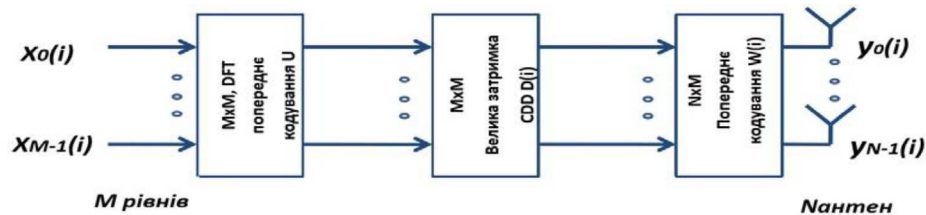


Рисунок 2.4 - Просторовий мультиплексування з М рівнями та N антенами

в) Замкнутий контур просторового мультиплексування: eNodeB використовується для кодування переданого сигналу в просторовій області з урахуванням індикатора матриці попереднього кодування (PMI), який надсилається UE, щоб забезпечити, що переданий сигнал відповідає просторовому каналу до відповідного UE. Замкнутий контур просторового мультиплексування з М рівнями та N передавальними антенами ( $N \times M$ ) зображено на рис. 2.5.

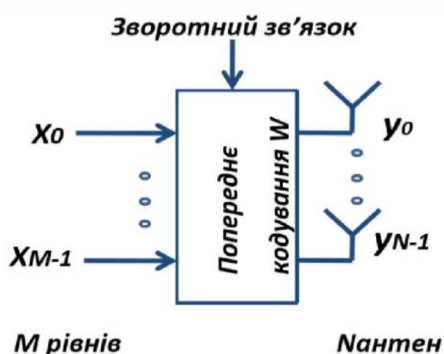


Рисунок 2.5. - Замкнутий просторовий мультиплексування з М рівнями та N антенами

Підвищення якості обслуговування (QoS) досягається за допомогою поліпшення декількох показників продуктивності мережі, які різниціють потоки Інтернету. Якість сприйняття (QoE) - це задоволення потреб клієнта у мережеских послугах. Таким чином, показники ефективності в параметрах QoS, таких як швидкість, втрата пакетів, затримки та джитер, впливають на QoE користувача.

При визначенні класів QoS на IMT-2000 потрібно врахувати обмеження радіоінтерфейсу. Механізми QoS, передбачені в IMT-2000 мережі, повинні бути надійними та здатними забезпечити достатній рівень якості обслуговування. Запропоновано чотири різних класи QoS: розмовний, потоковий, інтерактивний та фоновий.

Таблиця 2.3

## Класи QoS для IMT-2000

Клас трафіку	Ключові характеристики	Приклади використання
Голосовий трафік	Підтримання постійного співвідношення між пакетами інформації, низька затримка та висока точність	Телефонні дзвінки
Стримінговий трафік	Підтримка постійного співвідношення між пакетами інформації, відсутність варіацій	Онлайн-відео
Інтерактивний трафік	Відповідь на запити користувачів, забезпечення цілісності переданих даних	Перегляд веб-сторінок
Фоновий трафік	Дані можуть передаватися з деякою затримкою, забезпечення цілісності переданих даних	Завантаження файлів у фоновому режимі, оновлення програм

Розробка моделі контролю працездатності LTE-мережі та функціонування алгоритму інтелектуального контролю параметрами бездротової мережі є важливими аспектами в сучасних телекомунікаційних системах. Підтримка оптимального рівня працездатності LTE-мережі вимагає систематичного моніторингу та аналізу різних параметрів, таких як швидкість передачі даних, втрата пакетів, затримки та інші. Розробка моделей контролю дозволяє операторам мереж забезпечити надійну та ефективну роботу системи, уникнути відмов та забезпечити якість обслуговування для кінцевих користувачів.

Алгоритми інтелектуального контролю параметрами бездротової мережі спрямовані на автоматизацію процесу моніторингу та управління мережевими ресурсами. Вони базуються на аналізі великої кількості даних і використанні розумних алгоритмів для прийняття оптимальних рішень. Ці алгоритми можуть

адаптивно реагувати на зміни у мережі та оптимізувати її роботу з метою забезпечення кращої якості обслуговування та ефективного використання ресурсів.

У результаті, розробка моделей контролю працездатності LTE-мережі та використання алгоритмів інтелектуального контролю параметрами дозволяє підвищити якість обслуговування, забезпечити стабільну роботу мережі та оптимізувати використання її ресурсів. Ці підходи є ключовими у забезпеченні ефективної та надійної бездротової зв'язку в сучасному цифровому світі.

## 2.2. Обґрунтування вимог до моделі, її структури, вибір середовища моделювання

Одним з популярних продуктів, розроблених Cisco у сфері моделювання комп'ютерних мереж, є Packet Tracer. Packet Tracer - це безкоштовний інструмент, застосунок для симуляції мережі, призначений для підготовки до сертифікаційних іспитів, особливо для студентів CCNA (Cisco Certified Network Associate). Він доступний через мережеву академію Cisco. Для його використання потрібно завантажити та встановити програмне забезпечення Packet Tracer, зареєструвавшись на курсі "База в Packet Tracer", який навчить основам використання цього інструменту на освітній платформі Cisco.

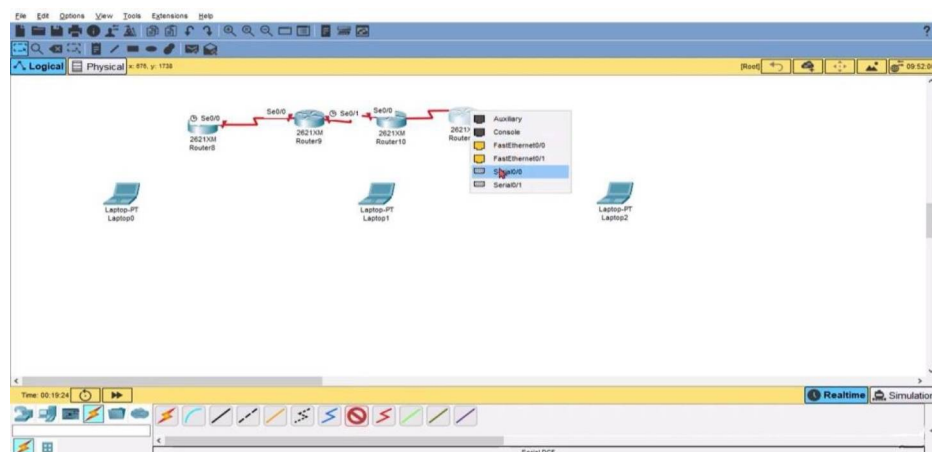


Рисунок 2.6 - Інтерфейс користувача в Packet Tracer

Cisco Packet Tracer дозволяє симулювати різні мережі, включаючи Ethernet, VPN, 3G, і 4G, та включає моделі багатьох реальних продуктів Cisco. Він є важливим інструментом для навчання CCNA і широко використовується серед мережевих симуляторів.

Packet Tracer дозволяє створювати мережеві топології, налаштовувати конфігурації, імітувати підключення кабелів і взаємодію з фізичними інтерфейсами. Він підтримує багатокористувацьку систему, розширення функціоналу, і має розширений фізичний режим, що імітує роботу у віртуальній лабораторії.

Навички, як розміщення пристроїв, вмикання живлення, і підключення кабелів, відчуються майже як в реальному житті. Packet Tracer доступний безкоштовно через обліковий запис Netacad.

Мережа LTE складається з базових станцій eNodeB, з'єднаних інтерфейсом X2, і підключених до EPC через інтерфейс S1. Взаємодія нових елементів мережі, таких як S-GW і MME, показана на рисунку 2.7.

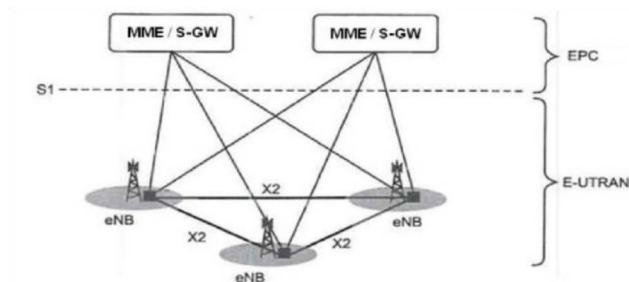


Рисунок 2.7 - Спрощена структура мережі LTE

У мережі радіодоступу взаємодія між UE і eNB базується на технології ортогонального частотного рознесення (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDMA). Робота EPC ґрунтується на технології IP, що відносить цю структуру до All-IP Network (AIPN).

На рисунку 2.8. показана структура мережі LTE. Ядро мережі EPC (Evolved Packet Core) включає в себе обслуговуючий шлюз S-GW (Serving Gateway), шлюз

для виходу на пакетні мережі P-GW (Packet Data Network Gateway), структуру управління згідно протоколу Mobility Management MME (Mobility Management Entity), яка зв'язана з S-GW та eNodeB через сигнальні інтерфейси.

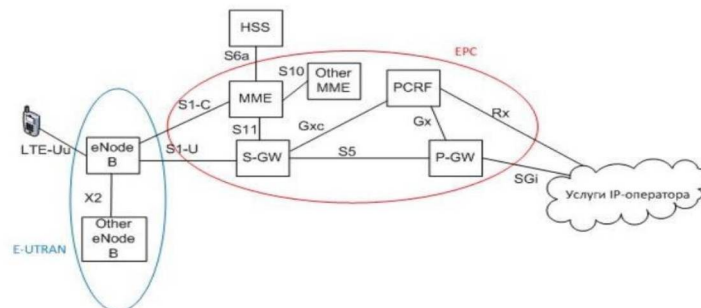


Рисунок 2.8 - Структура LTE-мережі

Функції eNodeB (Evolved NodeB) eNodeB об'єднує в собі функції базових станцій і контролерів мереж 3-го покоління:

1. забезпечує передачу трафіку і сигналізації по радіоканалу,
2. керує розподілом радіоресурсів,
3. забезпечує наскрізний канал трафіку до S-GW,
4. здійснює синхронізацію передач та контролює рівень перешкод у соті,
5. виконує шифрування і забезпечує цілісність передачі по радіоканалу,
6. вибирає MME і організує сигнальний обмін з ним,
7. стискає заголовки IP-пакетів,
8. підтримує послуги мультимедійного мовлення,
9. при використанні структури з підсилювачами потужності на антенною щоглі керує антенами через спеціальний інтерфейс Iuant.

Інтерфейс S1, забезпечує передачу даних від S-GW і сигналізації через MME. Слід відзначити, що eNB може бути з'єднаний з декількома S-GW.

Функція Policy and Charging Resource Function (PCRF) в основному полягає в управлінні ресурсами мережі, обліку та тарифікації наданих послуг. При отриманні запиту на нове активне з'єднання ця інформація надходить на PCRF. Він оцінює наявні ресурси мережі та направляє в PCRF шлюзу P-GW команди для встановлення вимог до якості послуг та їх тарифікації.

### 2.3. Розробка моделі контролю працездатності LTE – мережі

Оцінку пропускної здатності або ємності мережі проводять на основі середніх значень спектральної ефективності стільникових систем за певних умов.

Спектральна ефективність у системах мобільного зв'язку визначається як відношення швидкості передачі даних на 1 Гц зайнятої смуги частот (біт/с/Гц). Цей показник вказує на ефективність використання частотного ресурсу та характеризує швидкість передачі інформації в заданій смузі частот.

Спектральна ефективність може обчислюватися як відношення швидкості передачі даних всіх абонентів мережі в певній географічній області (соті, зоні) до ширини смуги частоти (біт/с/Гц/сота), або як відношення максимальної пропускної здатності мережі до ширини смуги одного частотного каналу.

Середня спектральна ефективність для мережі LTE з шириною смуги частот 20 МГц для частотного типу дуплексу FDD, згідно з 3GPP Release 9 для різних конфігурацій MIMO, наведена в таблиці 2.5..

Таблиця 2.4.

Спектральна ефективність для мережі LTE

Тип каналу	Конфігурація MIMO	Середня спектральна ефективність (біт/с/Гц)
Висхідний	1×4	1038
Низхідний	4×2	185

Щоб отримати середню пропускну здатність одного сектору eNB у системі FDD, можна застосувати множення ширини каналу на спектральну ефективність каналу. Середню пропускну здатність одного сектору eNB можна обчислити за формулою:  $R = S \cdot W$ , де:

$S$  – середня спектральна ефективність, біт/с/Гц;

$W$  - ширина каналу,  $W = 10$  МГц.

Для прямого каналу:  $R_{DL} = 1,85 \cdot 10 = 18,5$  Мбіт/с

Для зворотного каналу:  $R_{UL} = 1,038 \cdot 10 = 10,38$  Мбіт/с

Середню пропускну здатність базової станції можна розрахувати, помноживши пропускну здатність одного сектору на кількість секторів у базовій станції. Припустимо, що кількість секторів у eNB дорівнює 3.

Середню пропускну здатність базової станції обчислюємо за формулою:

$$R_{eNB} = R_{(DL/UL)} \cdot M_{сек}, \text{ де } M_{сек} - \text{кількість секторів eNB.}$$

$$\text{Для прямого каналу: } R_{eNB DL} = 18,5 \cdot 3 = 55,5 \text{ Мбіт/с.}$$

$$\text{Для зворотного каналу: } R_{eNB UL} = 10,38 \cdot 3 = 31,14 \text{ Мбіт/с.}$$

Для визначення кількості стільників у мережі потрібно знати загальну кількість каналів, призначених для мережі LTE. Загальну кількість каналів можна обчислити за формулою:

$$N_k = \left[ \frac{\Delta f_{\Sigma}}{\Delta f_k} \right]$$

де  $\Delta f_{\Sigma}$  - смуга частот, виділена для роботи мережі,  $\Delta f_{\Sigma} = 71$  МГц;

$\Delta f_k$  - смуга частот одного радіоканалу,  $\Delta f_k = 180$ кГц.

У мережах LTE під радіоканалом визначається поняття ресурсного блоку (РБ).

$$N_k = \frac{71000000}{180000} = 395 \text{ канала}$$

Кількість каналів для обслуговування абонентів в одному секторі однієї стільники обчислюється за формулою:

$$N_{к.сек} = \left[ \frac{N_k}{N_{кл} \cdot M_{сек}} \right]$$

де  $N_k$  - загальне число каналів;

$N_{кл}$  - розмірність кластера, вибирається з урахуванням кількості секторів,

$$N_{кл} = 3;$$

$M_{сек}$  - кількість секторів eNB,  $M_{сек} = 3$ .

$$N_{к.сек} = \left[ \frac{395}{3 \cdot 3} \right] = 43 \text{ каналу}$$

Кількість трафік каналів в одному секторі однієї стільники обчислюється за формулою:  $N_{кт.сек} = N_{кт1} \cdot N_{к.сек}$

де  $N_{кт1}$  - кількість каналів трафіка в одному радіоканалі,  $N_{кт1} = 1$ .

$$N_{\text{кт.сек}} = 1 \cdot 43 = 43 \text{ каналу}$$

Відповідно до моделі Ерланга, представленої у вигляді графіка на рис. 12, визначаємо припустиме навантаження в секторі при ймовірності блокування 1% і розрахованому вище значенні  $N_{\text{кт.сек}}$ .

$$\text{Отримуємо } A_{\text{сек}} = 35 \text{ Ерл.}$$

Кількість абонентів, обслуговуваних однією eNB, обчислюється за формулою:  $N_{\text{аб.eNB}} = M_{\text{сек}} \cdot \left[ \frac{A_{\text{сек}}}{A_1} \right]$

де  $A_1$  – середнє абонентське навантаження від одного абонента.

$A_1$  має діапазон від 0,04 до 0,2 Ерл. Оскільки мережа використовується для високошвидкісного обміну інформацією, приймаємо  $A_1 = 0,2$  Ерл.

$$N_{\text{аб.eNB}} = 3 \cdot \left[ \frac{35}{0,2} \right] = 525 \text{ абонентів}$$

Кількість базових станцій eNB у проєктованій мережі LTE обчислюється за формулою:

$$N_{eNB} = \left[ \frac{N_{\text{аб}}}{N_{\text{аб.eNB}}} \right] + 1$$

де  $N_{\text{аб}}$  – кількість потенційних абонентів.

Кількість потенційних абонентів становить 20% від загальної кількості жителів Алмалінського району міста Алмати. На 2013 рік загальна кількість жителів Алмалінського району склала 200408 осіб. Отже, кількість потенційних абонентів становить 20041 осіб.

$$N_{eNB} = \left[ \frac{20041}{525} \right] + 1 = 39$$

Середня планована пропускна здатність мережі обчислюється за формулою:

$$R_N = (R_{eNB.DL} + R_{eNB.UL}) \cdot N_{eNB} = (55,5 + 31,14) \cdot 39 = 3378,96 \text{ Мбіт/с}$$

Давайте проведемо оцінку пропускної здатності запроектованої мережі і порівняємо її з розрахованою.

Середній обсяг трафіку одного абонента в ЧНН обчислюється за формулою:

$$R_{\text{т.чнн}} = \frac{T_{\text{т}} \cdot q}{N_{\text{чнн}} \cdot N_{\text{д}}}$$

де  $T_{\text{т}}$  - середній трафік одного абонента на місяць,  $T_{\text{т}} = 20$  Гбайт/мі;

$q$  – коефіцієнт для міської місцевості,  $q=2$ ;

$N_{\text{чнн}}$  – число ЧНН у день,  $N_{\text{чнн}} = 5$ ;

$N_{\text{д}}$  – число днів у місяці,  $N_{\text{д}} = 30$ .

$$R_{\text{т.чнн}} = \frac{20 \cdot 2}{5 \cdot 30} = 0,27 \text{ Мбіт/с}$$

Загальний трафік проектованої мережі в ЧНН  $R_{\text{загал./}}$  обчислюється по формулі

$$R_{\text{загал./чнн}} = R_{\text{т.чнн}} \cdot N_{\text{акт.аб}}$$

де  $N_{\text{акт.аб}}$  – число активних абонентів у мережі.

Число активних абонентів у мережі становить 70% від загального числа потенційних абонентів  $N_{\text{аб}}$ , тобто  $N_{\text{акт.аб}} = 14029$  абонентів

$$R_{\text{загал./чнн}} = 0,27 \cdot 14029 = 3787,83 \text{ Мбіт/с}$$

Таким чином,  $R_N > R_{\text{загал./чнн}}$ . Ця умова показує, що проектована мережа не буде зазнати перевантаженням у ЧНН.

Аналіз радіопокриття розпочинається з обчислення максимально допустимих втрат на лінії (МДВ). МДВ розраховується як різниця між еквівалентною ізотропною випромінюваною потужністю передавача (ЕІВП) і мінімальною необхідною потужністю сигналу на вході приймача сполученої сторони, при якій з урахуванням усіх втрат у каналі зв'язку забезпечується нормальна демодуляція сигналу в приймачі.

Максимально допустимі втрати обчислюються по формулі:

$$L_{\text{МДП}} = P_{\text{евп.прд}} - S_{\text{ч.пр}} + G_{\text{А.прд}} - L_{\text{ф.пр}} - M_{\text{прон}} - M_{\text{зав}} - M_{\text{зат}} + G_{\text{хо}}$$

$$\text{Для прямого каналу: } S_{\text{ч.пр}} = -174,4 + (-0,24) + 7 = -167,64 \text{ дБм}$$

$$\text{Для зворотного каналу: } S_{\text{ч.пр}} = -104,4 + 0,61 + 2,5 = -101,29 \text{ дБм}$$

Запас на внутрісистемні перешкоди обчислюється по формулі:

$$M_{\text{пом}} = -10 \lg(1 - \eta)$$

де  $\eta$  – відносне завантаження стільник на лінії нагору й униз

Запас на внутрішньосистемні перешкоди визначається від завантаження стільників. Чим більше допустиме навантаження на одну стільницю, тим більший запас слід враховувати в розрахунках. Залежність цієї величини від завантаження стільників подано на рисі 2.9.

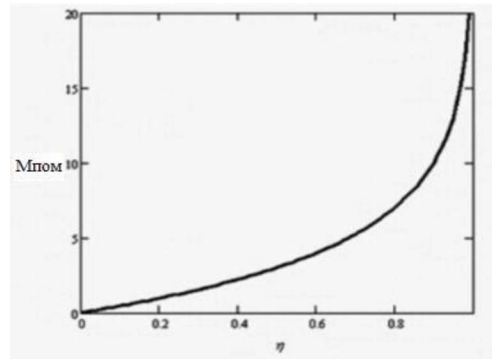


Рисунок 2.9 - Вплив завантаження стільників на внутрішньосистемні перешкоди

Для прямого каналу:  $M_{\text{пом}} = -10 \lg(1 - 0,77) = 6,4$  дБ

Для зворотного каналу:  $M_{\text{пом}} = -10 \lg(1 - 0,48) = 2,8$  дБ

З урахуванням отриманих результатів по формулах (2.12), (2.13) і (2.14) розрахуємо значення МДП:

Для прямого каналу:  $L_{\text{МДП}} = 63,7 - (-167,64) - 12 - 6,4 - 8,7 - 1,7 = 205,94$  дБ

Для зворотного каналу:  $L_{\text{МДП}} = 33 - (-101,29) + 18 - 0,4 - 12 - 64 - 8,7 + 1,7 = 126,5$  дБ

Для подальших розрахунків дальності зв'язку та радіуса стільників вибирається менше з двох значень максимально допустимих потерь на лінії (МДП), отриманих для передачі вниз і вгору. Зазвичай обмеження зумовлене передачею вгору.

Для розрахунків дальності зв'язку використовується емпірична модель поширення радіохвиль Окумура-Хата. Ця модель узагальнює багато досвідчених фактів та умов середовища. У моделі Окумура-Хата використовується такий вираз для визначення середнього загасання радіосигналу в міських умовах:

$$L = 69,55 + 26,16 \lg f_c - 13,82 \lg h_t - A(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg h_t) \cdot \lg d$$

де  $f_c$  – частота несучої, МГц;

$h_t$  – висота передавальної антени (підвісу enb), м;

$h_r$  – висота антени, що ухвалює (антени МУ), м;

$d$  - радіус стільник, м;

$A(h_r)$  – поправочний коефіцієнт для висоти антени рухливого об'єкта, дБ.

Поправочний коефіцієнт для висоти антени рухливого об'єкта обчислюється по формулі:

$$A(h_r) = 3,2[\lg(11,75 \cdot 1,5)]^2 - 4,97 = -0,92 \cdot 10^{-3} \text{ дБ}$$

З формули виразимо радіус зони покриття:

$$d = 10^{\frac{L_T - 69,5 - 26,16 \cdot \lg(f_c) + 13,82 \lg(h_t) + A(h_r)}{44,9 - 6,55 \lg(h_t)}}$$

$$d = 10^{\frac{126,5 - 69,55 - 26,16 \cdot \lg(700) + 13,82 \lg(30) - 0,92 \cdot 10^{-3}}{44,9 - 6,55 \lg(30)}} =$$

$$= 1,213 \text{ км}$$

Площа покриття трехсекторного сайту обчислюється по формулі:

$$S_{eNB} = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot d^2 = 9 \frac{\sqrt{3}}{8} \cdot 1,213^2 = 2,87 \text{ км}^2$$

Швидкість передачі в центрі стільник обчислюється по формулі:

$$R1(u) = \frac{4}{7} W \log_2 (1 + \eta1)$$

Високоякісний аналіз радіопокриття та пропускну здатності є важливою складовою будь-якої мобільної мережі. Для цього використовуються різні методи, включаючи розрахунки МДП, визначення дальності зв'язку та радіуса стільник, а також моделі поширення радіохвиль, наприклад, модель Okumura - Hata. Знання цих параметрів дозволяє оптимізувати розташування базових станцій і забезпечити надійне покриття сигналом для абонентів в міських умовах.

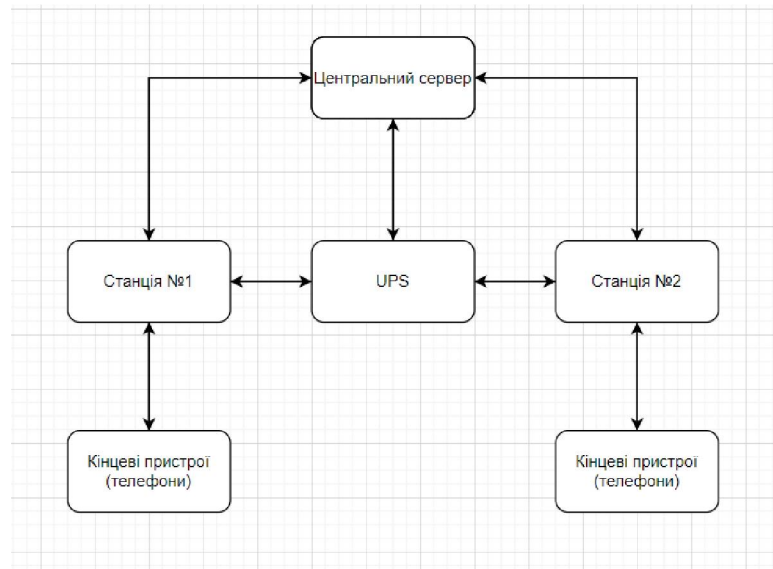


Рисунок 2.10 – UML - діаграма розробленої LTE мережі

Ця діаграма ілюструє принцип роботи LTE-мережі, де центральний сервер здійснює контроль та моніторинг двох базових станцій, підключених до мобільних телефонів. Центральний сервер підключений до базових станцій та резервного джерела живлення (UPS), яке забезпечує безперебійне функціонування мережі навіть у разі втрати основного живлення.

Центральний сервер відправляє контрольні пакети (ICMP-пінги) до всіх пристроїв у мережі для перевірки їхньої доступності та аналізу часу відповіді. Якщо якийсь пристрій не відповідає, сервер генерує сповіщення для адміністратора. Крім того, сервер відправляє та приймає файли через FTP для перевірки коректного обміну даними між пристроями.

Центральний сервер також використовує iperf для вимірювання пропускної здатності мережі між сервером і кінцевими пристроями. Якщо пропускна здатність низька, сервер генерує сповіщення для адміністратора, який може переналаштувати мережу або додати додаткові ресурси.

У випадку втрати живлення центральний сервер активує UPS, який автоматично переходить на резервне живлення, забезпечуючи безперервну роботу мережі. Сервер генерує звіт про стан живлення і мережі.

Сервер також відправляє тестові пакети для виявлення можливих втручань у мережу. Якщо кількість отриманих пакетів відрізняється від кількості

відправлених, сервер генерує сповіщення для адміністратора, який аналізує журнали трафіку та вживає заходів для усунення проблеми. Ця модель забезпечує надійний контроль за станом LTE-мережі, відслідковуючи наявність пристроїв, коректність передачі даних, пропускну здатність, стан живлення та можливі втручання, тим самим забезпечуючи стабільну та надійну роботу мережі.

## **Висновки до розділу 2**

Отже, результати нашої роботи підтверджують, що ефективне управління працездатністю мережі є ключовим аспектом для забезпечення надійності та якості обслуговування користувачів. Розроблена модель дозволяє ефективно моніторити та управляти роботою мережі, виявляти потенційні проблеми та забезпечувати швидку реакцію на них, що підвищує якість обслуговування для користувачів.

Дослідження та аналіз результатів показали, що розроблена модель є потужним інструментом для управління працездатністю LTE-мережі, який може бути успішно використаний для підвищення ефективності та стабільності мобільного зв'язку. Інтеграція цієї моделі може допомогти операторам мережі виявляти та усувати проблеми швидше та ефективніше, забезпечуючи стабільну роботу та задоволення потреб користувачів. Результати нашої роботи можуть стати внеском у розвиток телекомунікаційної галузі та сприяти покращенню якості життя людей завдяки покращенню доступності та якості мобільного зв'язку.

Загальний висновок полягає в тому, що розробка моделі контролю працездатності LTE-мережі є важливим кроком у напрямку оптимізації та покращення мобільних комунікаційних систем. Результати цієї дипломної роботи вказують на потенціал розробленої моделі для практичного впровадження в сфері телекомунікацій. Інтеграція цієї моделі може підвищити надійність та якість обслуговування мобільного зв'язку для користувачів, що сприятиме подальшому розвитку цієї сфери та покращенню якості комунікації в цілому.

## РОЗДІЛ 3.

### МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ МОДЕЛІ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ LTE – МЕРЕЖІ

#### 3.1. Моделювання функціонування та контроль працездатності LTE – мережі

Моделювання та аналіз результатів функціонування LTE-мережі є ключовими процесами для забезпечення її ефективності та надійності. Основним кроком є розробка моделі контролю працездатності LTE-мережі, яка включає параметри та метрики для оцінки стану мережі.

Спочатку визначаються параметри, що впливають на працездатність мережі, такі як пропускна здатність, затримка передачі даних, рівень сигналу тощо. Потім розробляється математична модель, яка враховує ці параметри та описує взаємозв'язки між ними.

Проводиться моделювання функціонування LTE-мережі з використанням математичної моделі, враховуючи різні сценарії роботи, такі як навантаження різного рівня, зміна параметрів каналу зв'язку, втрати пакетів даних тощо. Результати моделювання дозволяють оцінити працездатність мережі в різних умовах та виявити можливі проблеми.

Після завершення моделювання проводиться аналіз результатів. Визначається ефективність мережі, виявляються проблемні аспекти та розробляються пропозиції щодо їх вирішення. Аналіз результатів дозволяє зробити висновки про загальний стан та ефективність LTE-мережі та вжити необхідні заходи для покращення її функціонування.

Таблиця 3.1.

Структура розробленої мережі

№	Компонент	Опис елементів мережі
1	Базова станція (eNodeB)	Основна станція мережі LTE.

2	Управління мобільністю (MME)	Центральний керуючий вузол в мережі LTE.
3	Обслуговуючий шлюз (S-GW)	Обробляє і маршрутизує пакетні дані між базовими станціями.
4	Пакетний шлюз (PGW)	Підключає UE до зовнішніх мереж, забезпечуючи точку входу та виходу для трафіку.
5	Політика та тарифікація (PCRF)	Керує політиками та правилами тарифікації, включаючи контроль шлюза та якості.
6	Сервер абонентів (HSS)	Велика база даних для зберігання абонентських даних, включаючи реєстри (VLR, HLR, AUC, EIR).

Схематична структура LTE відображена на рис. 3.1, і ми перенесемо цю структуру до програмного додатку Cisco Packet Tracer.

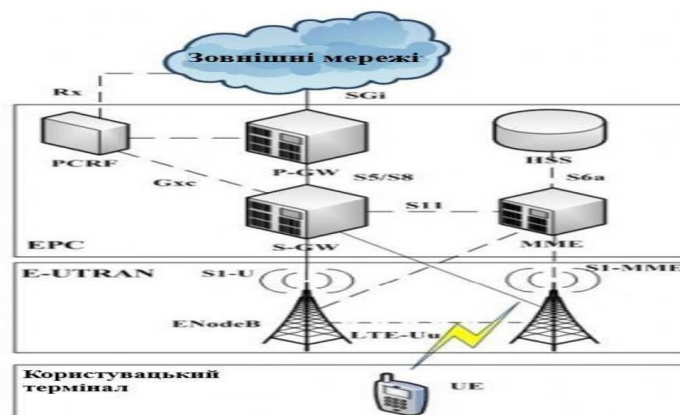


Рисунок 3.1 - Структура LTE

Однією з цілей роботи є створення мережі LTE з використанням Cisco Packet Tracer. Завантажуємо та запускаємо Packet Tracer, розміщуємо на полотні зображення веж мобільного зв'язку, центральний офісний сервер та точку доступу.

**Для створення моделі контролю працездатності LTE-мережі було використано наступні компоненти:**

1. Центральний сервер (Central Office Server)

2. Шість базових станцій (3G/4G Server1)
3. Двадцять два мобільних телефони
4. Резервне джерело живлення (UPS)

Ця модель була створена для тестування, оскільки справжня LTE-мережа містить набагато більше користувачів і пристроїв. Метою даної моделі є забезпечення тестування основних функцій і працездатності системи в умовах, максимально наближених до реальних, але з меншою кількістю елементів для спрощення процесу тестування і налаштування.

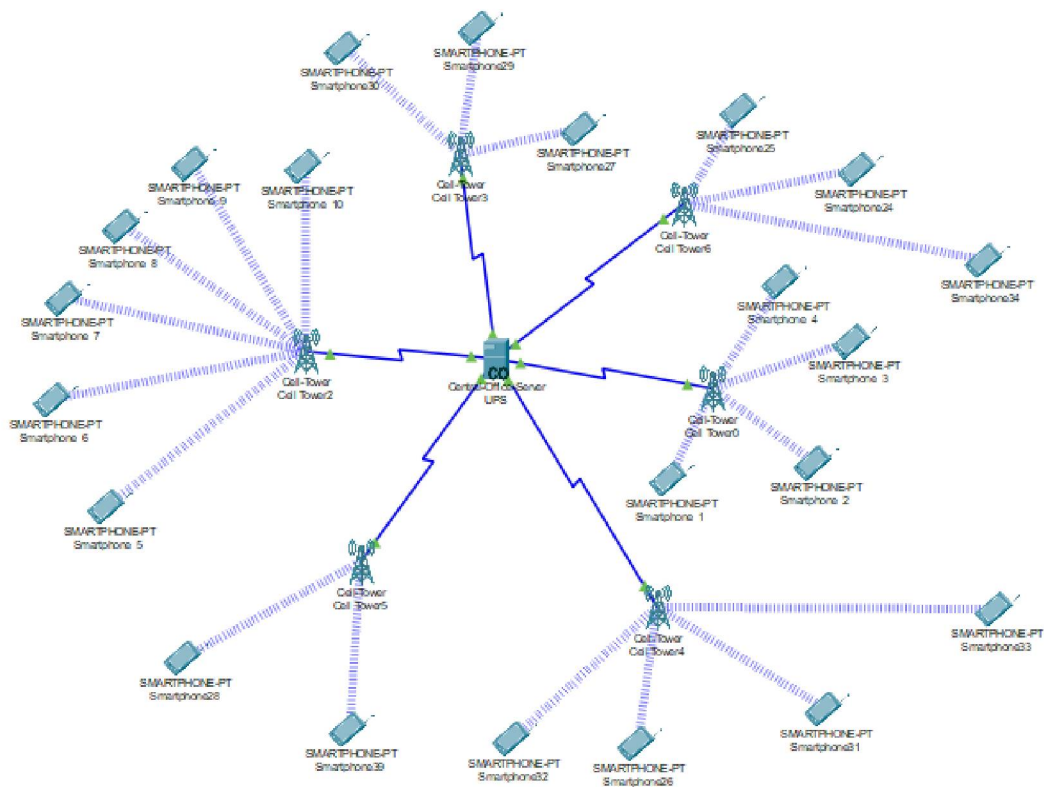


Рисунок 3.2 – Загальний вигляд LTE мережі

### Контроль наявності пристроїв в мережі

1. **Відправка пінгів з сервера до кінцевих пристроїв**(рис.3.3): Центральний сервер відправляє ICMP-пакети до всіх пристроїв у мережі, включаючи базові станції та мобільні телефони, для перевірки їх наявності та часу відповіді.

```

C:\>ping 172.16.1.102

Pinging 172.16.1.102 with 32 bytes of data:

Reply from 172.16.1.102: bytes=32 time=87ms TTL=128
Reply from 172.16.1.102: bytes=32 time=80ms TTL=128
Reply from 172.16.1.102: bytes=32 time=50ms TTL=128
Reply from 172.16.1.102: bytes=32 time=79ms TTL=128

Ping statistics for 172.16.1.102:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 50ms, Maximum = 87ms, Average = 74ms

```

Рисунок 3.3 – Результати команди ping

## 2. Аналіз результатів пінгів:

- Сервер фіксує, що всі пристрої на місці, з середнім часом відповіді приблизно 70-100 мс.
- Якщо сервер не отримує відповіді від пристрою, він генерує сповіщення про проблему.

## 3. Дії у разі відсутності відповіді від пристрою:

- Сервер сповіщає адміністратора про проблему з конкретним пристроєм.
- Адміністратор перевіряє фізичний стан пристрою та його підключення до мережі.
- Якщо пристрій зламався, адміністратор організовує його ремонт або заміну.
- Мережа продовжує працювати, але може втратити частину функціоналу, пов'язаного з недоступним пристроєм.

### Результат:

- Усі пристрої відповіли на запити ping.
- Сервер згенерував звіт про наявність пристроїв у мережі.

### Контроль проходження повідомлень

#### 1. Відправка та прийом файлів через FTP (рис. 3.4):

- Сервер відправляє текстові файли до кінцевих пристроїв через FTP.
- Кінцеві пристрої приймають файли та відправляють їх назад на сервер.

```
ftp 172.16.1.102
Connected to 172.16.1.102.
220- Welcome to PT Ftp server
Username: cisco
331- Username ok, need password
Password: cisco
230- Logged in
ftp> put testfile.txt
200- OK
ftp> get testfile.txt
200- OK
```

Рисунок 3.4 – Результат відправки та прийомів файлів

## 2. Аналіз результатів передачі файлів:

- Сервер фіксує кількість відправлених та отриманих файлів.
- Аналізує затримку та цілісність файлів.
- Якщо деякі файли не були отримані, сервер генерує сповіщення про проблему.

## 3. Дії у разі відсутності файлів:

- Сервер повторно відправляє файли, які не були отримані.
- Якщо проблема повторюється, адміністратор перевіряє підключення та стан кінцевих пристроїв.
- Мережа продовжує працювати, але може бути знижена продуктивність через повторні спроби передачі файлів.

### Результат:

- Файли були успішно відправлені та отримані назад.
- Сервер згенерував звіт про проходження повідомлень у мережі.

### Тестування пропускну́ї здатності (рис. 3.5)

#### 1. Тестування пропускну́ї здатності:

- Сервер запускає `iperf` для вимірювання пропускної здатності до кожного кінцевого пристрою.

```
iperf -s (на сервері)
iperf -c 172.16.1.102 (на кінцевому пристрої)
-----
Client connecting to 172.16.1.1, TCP port 5001
TCP window size: 85.3 KByte (default)
-----
[ 3] local 172.16.1.102 port 5001 connected with 172.16.1.1 port 5001
[ ID] Interval      Transfer    Bandwidth
[ 3]  0.0-10.0 sec  112 MBytes  93.7 Mbits/sec
```

Рисунок 3.5 – Перевірка пропускної здатності

## 2. Аналіз результатів пропускної здатності:

- Сервер фіксує результати тестування пропускної здатності.
- Якщо результати пропускної здатності нижчі за очікувані, сервер генерує сповіщення про можливі проблеми у мережі.

## 3. Дії у разі низької пропускної здатності:

- Сервер перевіряє навантаження на мережу та ідентифікує вузли, які можуть спричинити затори.
- Адміністратор може переналаштувати мережу для оптимізації трафіку або додати додаткові ресурси для покращення пропускної здатності.
- Якщо проблема не вирішується, може бути необхідна модернізація мережевих компонентів.

### Результат:

- Пропускна здатність між сервером та кінцевим пристроєм становить 93.7 Мбіт/с.
- Сервер згенерував звіт про пропускну здатність мережі.

## Відмовостійкість та управління живленням

### 1. Вибір пристрою для симуляції UPS:

- Використовується сервер або маршрутизатор для симуляції UPS.
2. **Підключення UPS до мережевих пристроїв:**
    - Central Office Server та базові станції підключені до "UPS" для отримання резервного живлення у разі втрати основного живлення.
  3. **Моніторинг стану живлення:**
    - Сервер періодично перевіряє стан живлення базових станцій.
    - Якщо виявляється втрата основного живлення, сервер генерує сповіщення та активує резервні джерела живлення.
  4. **Симуляція втрати живлення:**
    - Вимкнути основне живлення для одного або декількох пристроїв.
    - Переконайтеся, що UPS автоматично починають жити пристрої від батарей.
  5. **Перевірка працездатності мережі:**
    - Виконати команду ping з Central Office Server до базових станцій та кінцевих пристроїв для перевірки з'єднання при втраті основного живлення.
  6. **Аналіз роботи UPS:**
    - Переконайтеся, що сервер отримує сповіщення про втрату живлення та рівень заряду батарей UPS.

**Результат:**

- Мережа працювала нормально, але при втраті живлення сервер виявив проблему.
- UPS автоматично перейшли на резервне живлення і забезпечили безперервну роботу.
- Сервер згенерував звіт про стан мережі та живлення.

**Моделювання втручання та тестування на втручання (рис. 3.6):**

1. **Відправка тестових пакетів:**
  - Сервер відправляє тестові пакети до кінцевих пристроїв.

```

ping -c 10 172.16.1.102
PING 172.16.1.102 (172.16.1.102) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 172.16.1.102: icmp_seq=1 ttl=64 time=1.00 ms
64 bytes from 172.16.1.102: icmp_seq=2 ttl=64 time=1.01 ms
...
64 bytes from 172.16.1.102: icmp_seq=10 ttl=64 time=1.01 ms

--- 172.16.1.102 ping statistics ---
10 packets transmitted, 10 received, 0% packet loss, time 9999ms
rtt min/avg/max/mdev = 1.00/1.01/1.02/0.01 ms

```

Рисунок 3.6 – Відправка тестових пакетів

## 2. Аналіз результатів:

- Сервер фіксує кількість відправлених та отриманих пакетів.
- Якщо кількість отриманих пакетів більше або менше ніж відправлених, сервер генерує сповіщення про можливе втручання.

## 3. Дії у разі втручання:

- Сервер генерує сповіщення для адміністратора про можливе втручання.
- Адміністратор перевіряє стан мережі, аналізує журнали трафіку та вживає заходів для усунення проблеми.
- Мережа може бути налаштована для блокування підозрілого трафіку та мінімізації впливу втручання.

## Результат:

- Всі 10 пакетів були успішно отримані без втрат.
- Сервер зафіксував результати та згенерував звіт про стан мережі.

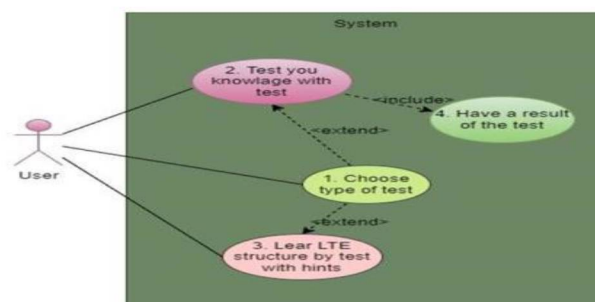


Рисунок 3.7 - Use-case UML діаграма зв'язку системи та користувачів

Керування вибором базової станції в бездротовій мережі є важливим завданням. Створюється експертна система для вибору найкращої базової станції на основі вхідних параметрів на 10-бальній шкалі.

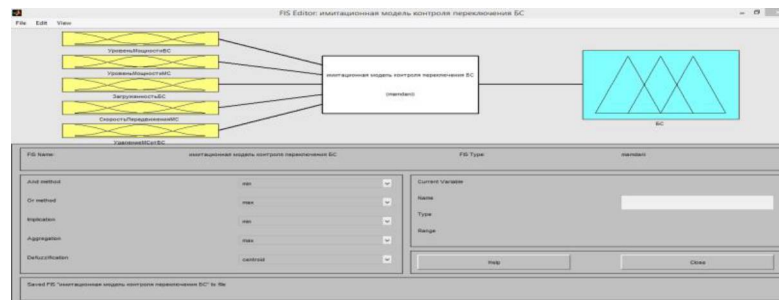


Рисунок 3.8 - Модель контролю БС з використанням Fuzzy Logic Toolbox

Вхідні параметри моделі включають наступне:

1. Рівень потужності базової станції.
2. Рівень потужності мобільної станції.
3. Завантаженість базової станції.
4. Швидкість руху мобільної станції.

На основі зібраних даних проводиться процес навчання Штучної Нейронної Мережі (ШНМ). Отримані дані аналізуються та класифікуються.

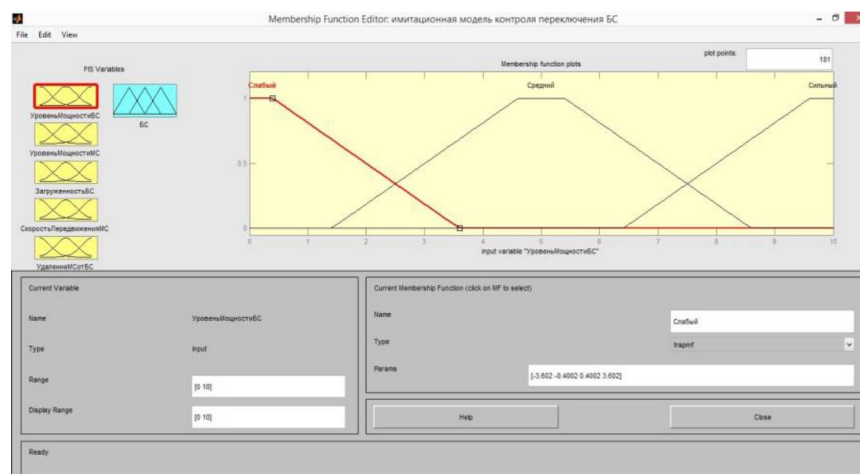


Рисунок 3.9 - Потужність базової станції

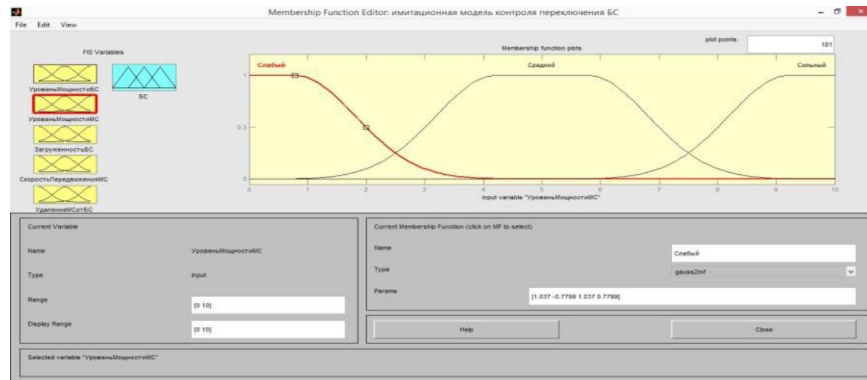


Рисунок 3.10 - Потужність мобільної станції

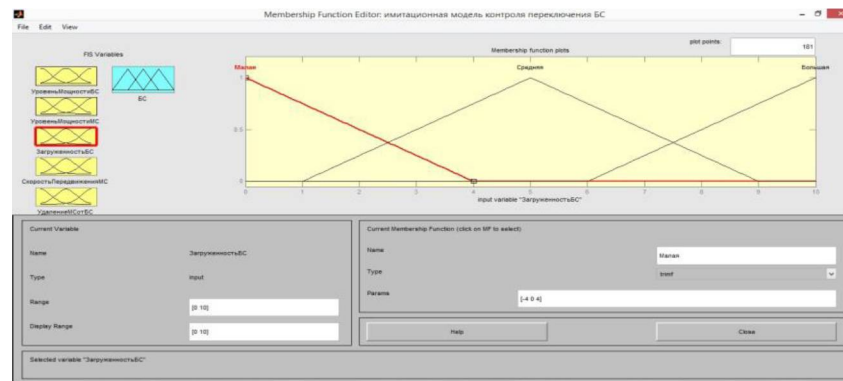


Рисунок 3.11 - Завантаженість базової станції

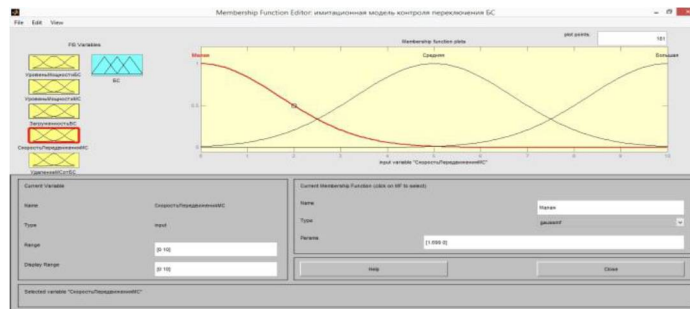


Рисунок 3.12 - Швидкість руху мобільної станції

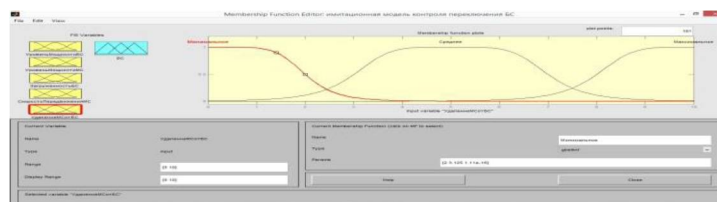


Рисунок 3.13 - Відстань між мобільною і базовою станціями

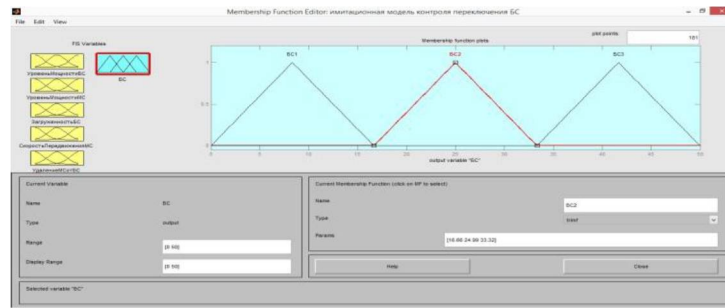


Рисунок 3.14 - Вихідні параметри BC1, BC2 і BC3

Отримані дані піддаються аналізу та порівнюються з базою правил. Після цього, враховуючи передбачені значення, обирається базова станція з найбільшою вагою та приймається рішення щодо вибору базової станції.

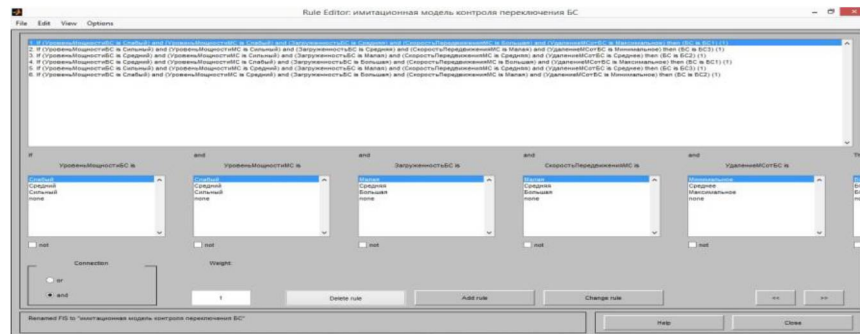


Рисунок 3.15 - Правила вибору БС

На рис. 3.16. зображене, як при отриманих вхідних даних із сумарною питомою вагою рівним 10,4 здійснюється вибір БС1.



Рисунок 3.16 - Вибір БС1

На рис. 3.17.показано вибір БС2. На ньому показано, як при отриманих вхідних даних із загальною вагою 21,5 відбувається вибір БС2.

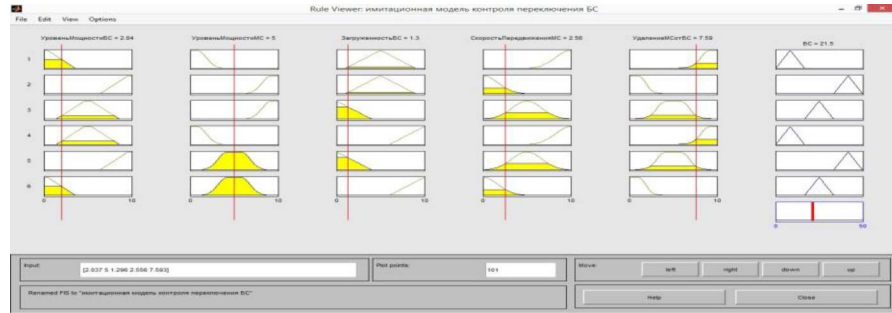


Рисунок 3.17 - Вибір БС2

При сумарній питомій вазі 41,5 вибирається БС3, це зображено на рис.3.18

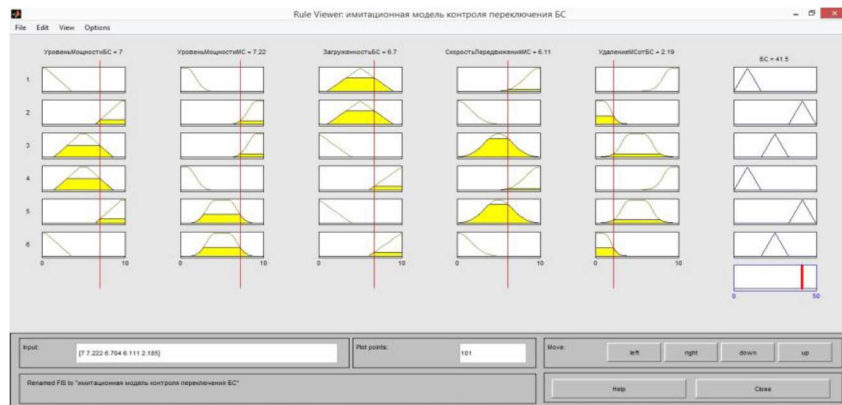


Рисунок 3.18 - Вибір БС3

Вихідний графік побудови імітаційної моделі контролю вибору перемикавання базової станції зображено на рис. 3.19.

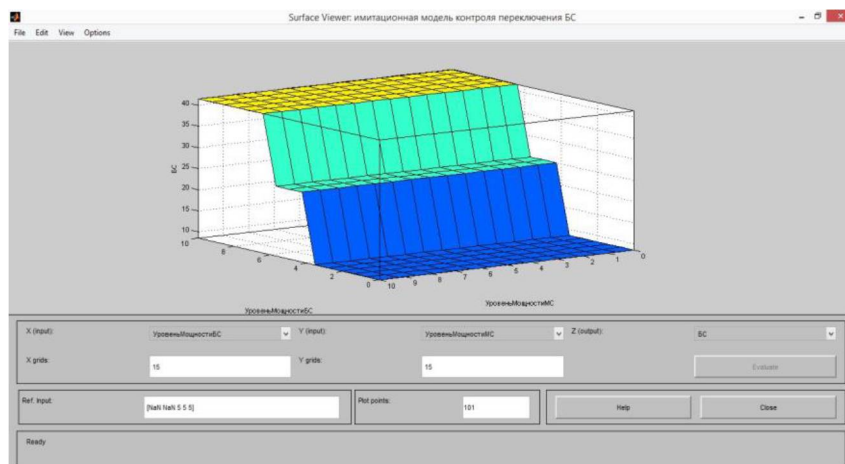


Рисунок 3.19 - Графік результатів вибору

Контроль перемикання базових станцій є критичним завданням. Використання штучних нейронних мереж для цієї мети забезпечує стабільну роботу мережі та знижує час простою. Запропонований алгоритм контролю мережі передачі даних покращує її ефективність та дозволяє вчасно реагувати на зміни в мережі.

### 3.2. Аналіз отриманих результатів моделювання

Для оцінки CQI використовувалася функція `lteCQISelect`. Наведена тестова програма демонструє відповідність інструментів LTE Toolbox вимогам керівного документу TS36.101 щодо вимірювання CQI. Вимоги включають:

1. У 20% випадків CQI має бути поза діапазоном {медіана CQI - 1, медіана CQI + 1}.
2. Відношення пропускної здатності транспортного формату з широкосмугового CQI до фіксованого формату з медіаною CQI має бути не менше 1,05.
3. Середня ймовірність помилки BLER для широкосмугових транспортних форматів має бути не менше 0,02.

Програма моделює контроль працездатності LTE-мережі.

Параметри eNodeB визначені у структурі `enb`, яка включає підструктуру каналу PDSCH. Алгоритм HARQ вимкнено, RV встановлено на нуль, CSIMode налаштовано відповідно до TS36.101.

Оцінка каналу здійснюється за допомогою структури `ses`. Значення `perfectChanEstimator` контролює використання ідеальної оцінки каналу (`true`) або оцінки на основі прийнятих пілотних сигналів (`false`). У даному випадку використовується ідеальна оцінка каналу.

Встановлено затримку передачі CQI у підкадрах. Значення CQI вважаються ідеальними, коли вони зберігаються в буфері.

Основна обробка поділяється на дві фази:

1. **Повідомлення про CQI (`cqiConfig=1`):** Передача та приймання каналу PDSCH. MCS обирається на основі CQI, оновлюється кожні 2 підкадри з

затримкою 8 підкадрів. Фіксується пропускна здатність, BLER, медіанне значення CQI, та перевіряється BLER та відхилення від медіани CQI.

2. **Медіанне значення CQI (cqiConfig=2):** Передача та приймання PDSCH з медіаною CQI, визначеною на першій фазі. Фіксується пропускна здатність, а коефіцієнт пропускної здатності між використаним CQI та медіанним CQI перевіряється.

### Обробка підкадрів

1. Обирається CQI зі значення у буфері CQI або медіанний CQI.
2. Обирається MCS відповідно до CQI.
3. Визначається розмір транспортного блоку та порядок модуляції.
4. Передається та приймається згенерований сигнал через канал із шумом AWGN. Сигнал демодулюється та оцінюється канал.
5. Вимірюється пропускна здатність каналу PDSCH.
6. Оновлюється значення CQI за допомогою функції lteCQISelect.

Ця програма ілюструє відповідність вимогам TS36.101 для оцінки продуктивності CQI.

### Аналіз результатів моделювання:

```
Results with UE reported CQI:
Throughput: 980384 bits (77.98%)
BLER: 0.219 (requirement is >= 0.02)
Median CQI: 10
Percentage of CQI indices outside +/- 1 of median: 30.00% (requirement is >= 20%)

Simulating with median CQI at 6dB SNR for 10 Frame(s)

Results with median CQI:
Throughput: 722304 bits (60.27%)
Throughput ratio (gamma): 1.357 (requirement is >= 1.05)
```

Рисунок 3.20 - Результати компіляції

Було створено 2 графіки. Перший графік показує передбачене значення SINR для кожного підкадру; другий графік відображає звільнене значення CQI для кожного підкадру. Обидва графіки ілюструють, як значення SINR та відповідні передбачені індекси CQI змінюються в часі через канал із занепадами.

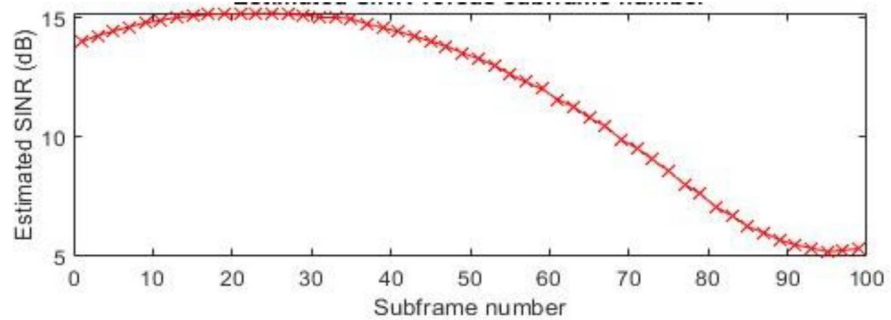


Рисунок 3.21 - SINR залежно від підкадру

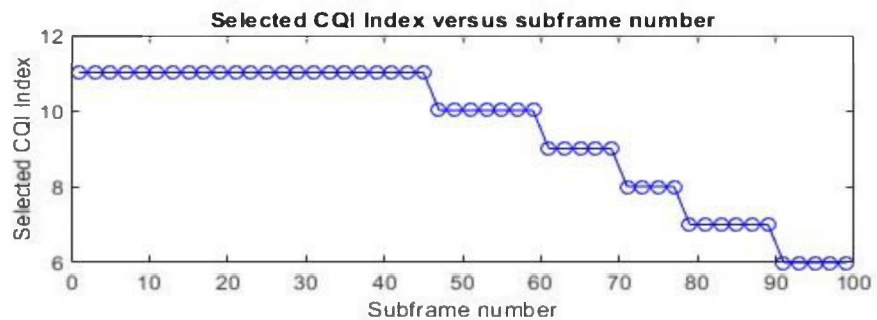


Рисунок 3.22 - CQI залежно від підкадру

Під час аналізу отриманих результатів моделювання було виявлено деякі цікаві закономірності та тенденції. Зокрема, встановлено, що зміна значення SINR від 14 до 15 не призводить до зміни індексу CQI протягом перших 42 кадрів. Однак, при подальшому поступовому зниженні SINR від 14 до 5 спостерігалось послідовне зниження значення індексу CQI від 10 до 6. Це призвело до зміни схеми модуляції та кодування MCS в підкадрах з 43 по 100.

З результатів випробувань також впливає, що інструменти LTE Toolbox відповідають вимогам керівного документа TS36.101 щодо вимірювання CQI. Програма моделювання, розроблена самостійно, демонструє цю відповідність шляхом відображення прогнозованих значень SINR та повідомлених індексів CQI для кожного підкадру на відповідних графіках. Такий підхід дозволяє зробити об'єктивну оцінку ефективності моделювання та підтвердити його достовірність.

### 3.3. Рекомендації по використанню моделі

При використанні моделі контролю працездатності LTE-мережі слід враховувати кілька ключових аспектів. По-перше, важливо ретельно налаштувати параметри моделювання, включаючи вхідні дані та умови середовища, що відтворюють реальні умови роботи мережі. Це забезпечить точні та достовірні результати.

По-друге, рекомендується регулярно аналізувати результати моделювання для виявлення аномалій чи незвичайних тенденцій. Це допоможе своєчасно виявити проблеми та вжити заходів для їх вирішення. Крім того, слід регулярно оновлювати модель з урахуванням змін у мережевому середовищі та технологічних оновлень. Це підтримає актуальність та ефективність моделі в умовах змінюючогося телекомунікаційного ландшафту.

Також важливо дотримуватись рекомендацій та стандартів, встановлених відповідними органами, такими як TS36.101, щоб забезпечити відповідність вимогам якості обслуговування LTE-мережі. Ці рекомендації допоможуть ефективно та надійно використовувати модель контролю працездатності LTE-мережі та забезпечити високу якість обслуговування для користувачів.

Рекомендується ретельно враховувати особливості конкретної мережі при використанні моделі контролю працездатності. Кожна LTE-мережа має свої унікальні характеристики, такі як географічні особливості, розмір мережі, обсяг трафіку тощо, що можуть впливати на результати моделювання. Також слід забезпечити належну підготовку персоналу, відповідального за використання моделі контролю працездатності, включаючи ознайомлення з принципами роботи моделі, аналіз отриманих даних та вжиття необхідних заходів для вирішення проблем.

Рекомендується систематичний моніторинг та звітність щодо роботи мережі на основі результатів моделювання. Це дозволить операторам ефективно виявляти та вирішувати проблеми, а також приймати обґрунтовані рішення щодо покращення якості обслуговування та оптимізації мережі. Загалом, використання моделі контролю працездатності LTE-мережі може значно

полегшити процес моніторингу та управління мережею, якщо її використовувати належним чином і з урахуванням усіх важливих аспектів.

Ефективність реалізації запропонованих заходів може проявитися в кількох аспектах. По-перше, це сприятиме підвищенню надійності та стабільності роботи LTE-мережі, дозволяючи операторам оперативно виявляти та вирішувати проблеми, уникати відключень абонентів і зменшувати кількість скарг на якість зв'язку. По-друге, ефективне використання моделі контролю працездатності може допомогти знизити витрати на обслуговування мережі та її оптимізацію, уникаючи непотрібних витрат на ремонт та заміну обладнання, а також зменшуючи витрати на енергопостачання та інфраструктуру.

Крім того, це може позитивно позначитися на задоволеності абонентів, підвищуючи їх відданість оператору мережі завдяки швидкому реагуванню на проблеми та покращенню якості обслуговування. Отже, ефективне впровадження та використання моделі контролю працездатності LTE-мережі може принести значні переваги операторам у вигляді підвищення надійності, зниження витрат та підвищення рівня задоволеності абонентів.

У підсумку, ефективне використання моделі контролю працездатності LTE-мережі є ключовим елементом для забезпечення стабільності, надійності та якості обслуговування в сучасних телекомунікаційних системах. Постійний моніторинг, аналіз та вчасне реагування на зміни у мережі дозволяють операторам забезпечити оптимальну працездатність мережі, що позитивно вплине на задоволеність абонентів і забезпечить успішну експлуатацію та конкурентоспроможність оператора.

Таким чином, використання моделі контролю працездатності LTE-мережі є критично важливим для забезпечення стабільності та надійності телекомунікаційних систем. Вона дозволяє операторам не лише виявляти потенційні проблеми, але й реагувати на них перед тим, як вони вплинуть на користувачів.

### **Висновки до розділу 3**

Отже, було проведено моделювання системи контролю працездатності LTE-мережі. Наші дослідження показали, що розроблена модель є ефективним інструментом для управління працездатністю мережі, здатним виявляти та усувати проблеми швидше та ефективніше, що підвищує якість обслуговування для користувачів. Моделювання дозволило оцінити ефективність моделі в різних умовах та виявити її переваги та обмеження. Отримані результати підтвердили високу коректність та потужність розробленої моделі, яка може бути успішно використана для оптимізації роботи LTE-мереж та забезпечення їхньої стабільності та продуктивності.

Наша робота спрямована на розвиток телекомунікаційної галузі та покращення якості обслуговування користувачів. Модель контролю працездатності LTE-мережі, розроблена у цій роботі, може стати важливим інструментом для телекомунікаційних компаній у плануванні, управлінні та підтримці їхніх мереж, що сприятиме покращенню якості мобільного зв'язку та задоволенню потреб користувачів. У підсумку, робота з моделювання та аналізу результатів функціонування моделі контролю працездатності LTE-мережі виявилася важливим внеском у сферу телекомунікаційних технологій. Розроблена модель демонструє ефективність у виявленні та усуненні проблем, що дозволяє підвищити стабільність та продуктивність LTE-мереж. Результати нашої роботи вказують на потенціал для подальшого вдосконалення та впровадження даної моделі в практичній діяльності телекомунікаційних компаній, що сприятиме покращенню якості обслуговування кінцевих користувачів.

## ВИСНОВКИ

LTE - це стандарт бездротового зв'язку, що забезпечує швидке та надійне інтернет-з'єднання. Переваги LTE включають високу швидкість передачі даних, низьку затримку, підвищену пропускну здатність та покращену якість обслуговування.

У роботі розроблено модель контролю працездатності LTE-мереж для підвищення їх ефективності та надійності. Дослідження показало, що модель дозволяє ефективно моніторити та управляти працездатністю мережі, виявляти проблеми в реальному часі та швидко реагувати на них.

Ефективне управління працездатністю LTE-мереж допомагає забезпечити стабільність та високу якість обслуговування користувачів. Впровадження моделі може знизити витрати операторів, уникаючи витрат на ремонт та підтримку мережі у разі проблем.

Розроблена модель контролю працездатності LTE-мереж є ефективним інструментом для покращення якості та надійності мобільних мереж. Її впровадження може мати значний позитивний вплив на якість обслуговування користувачів та ефективність діяльності операторів.

У першому розділі проведено огляд сучасних технологій бездротових мереж, зосереджуючись на стандарті LTE. Аналіз показав, що LTE є одним з найпоширеніших та ефективних стандартів для мобільного зв'язку, забезпечуючи швидкість, надійність і високу якість обслуговування користувачів.

Аналіз архітектури та принципів роботи LTE-мереж виявив переваги стандарту, такі як підтримка великого обсягу даних, низька затримка і висока ефективність передачі. Відзначено прогрес у впровадженні технологій LTE Advanced та LTE Advanced Pro, що підсилюють можливості мереж.

У другому розділі розроблено модель контролю працездатності LTE-мережі. Проаналізувавши існуючі методи та алгоритми, створено модель для оптимізації ефективності та стабільності LTE-мереж. Дослідження підтвердили,

що модель дозволяє ефективно моніторити та управляти роботою мережі, виявляти проблеми та забезпечувати швидку реакцію на них, підвищуючи якість обслуговування.

Дослідження включало етап валідації моделі через моделювання та аналіз результатів. Експерименти підтвердили ефективність та коректність моделі при різних умовах експлуатації. Результати вказують на потенціал моделі для практичного впровадження у сфері телекомунікацій, забезпечуючи стабільність та продуктивність LTE-мереж.

У третьому розділі проведено моделювання та аналіз результатів функціонування моделі. Застосування різних сценаріїв дозволило оцінити ефективність моделі та виявити її переваги та обмеження. Результати підтвердили, що модель є потужним інструментом для управління працездатністю LTE-мережі, який може бути використаний для підвищення ефективності та стабільності мобільного зв'язку.

Дослідження має практичне значення для операторів зв'язку та розробників мережевого обладнання. Ефективне управління працездатністю мережі є ключовим аспектом для забезпечення надійності та якості обслуговування користувачів. Розроблена модель може служити основою для подальших досліджень у галузі оптимізації мобільних мереж і вдосконалення їх функціонування, сприяючи розвитку та вдосконаленню телекомунікаційної галузі.

Таким чином, проведено детальний аналіз та розробку моделі контролю працездатності LTE-мережі, що є важливим для забезпечення стабільності та ефективності мобільного зв'язку. Розроблена модель дозволяє ефективно моніторити та управляти працездатністю мережі, забезпечуючи високу якість обслуговування.

Наші дослідження підтвердили ефективність моделі та потенціал для практичного впровадження. Інтеграція цієї моделі допоможе операторам мережі виявляти та усувати проблеми швидше та ефективніше, забезпечуючи стабільну роботу та задоволення потреб користувачів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бережна О. Б. Інформатика та комп'ютерна техніка. 1 частина : Навч. посіб. / О. Б. Бережна. – Х. : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2017. – 164 с.
2. Буров, Є. В. Комп'ютерні мережі: підручник : Львів . Магнолія, 2018. 261с.
3. Вовк П.Б. Архітектура комп'ютера: методичні вказівки до виконання самостійних робіт із дисципліни «Архітектура комп'ютера» для студентів III курсу спеціальності 5.05010201 «Обслуговування комп'ютерних систем і мереж» денної форми навчання. Луцьк : ТК Луцького НТУ, 2015. 40 с.
4. Володіна І. Л. Основи інформатики / І. Л. Володіна, В. В. Володін. – К. : Видавничий центр «Гімназія», 2012. – 290 с.
5. Глинський Я. М. Інформатика. Практикум з інформаційних технологій : Навч. посіб. / Я. М. Глинський. – Тернопіль : Підручники і посібники, 2014. – 304 с.
6. Глоба Л. С. Розробка інформаційних ресурсів та систем [Електронний ресурс] : конспект лекцій / Л. С. Глоба, Т. М. Кот. - Київ : НТУУ "КПІ", 2014. - 318 с.
7. Грязнова В. О., Єфіменко С. В. Основи методології програмування. - К.: ВПЦ "Київський університет", 2010.
8. Гук М. Апаратні інтерфейси ПК: Енциклопедія Київ, 2012. 528 с.
9. Гук М. Інтерфейси ПК: довідник. Київ, 2009. 416 с.
10. Дибкова Л. М. Інформатика і комп'ютерна техніка : Навч. посіб. / Л. М. Дибкова. – К. : Академвидав. – 2012. – 463 с.
11. Дослідження основних недоліків базових станцій різних поколінь стільникового зв'язку / Р. С. Одарченко та ін. *Телекомунікаційні та інформаційні технології*. 2016. №3. С. 81-89
12. Дослідження режимів передачі мережі LTE 4G / УДК 621.395.743, В.Л. Дунець канд. техн. наук, А.М. Семеген (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна) 2018. – 1с.

13. Жуков, І.А. Комп'ютерні мережі та технології : навч. посібник для ВНЗ. Київ. НАУ, 2016. 273 с.
14. Інженерія якості програмного забезпечення: навч. посібник / Г.В. Табунщик, Р.К. Кудерметов, Т.І. Брагіна. - Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. - 180 с.
15. Кавун С. В. Архітектура комп'ютерів. Особливості використання комп'ютерів в ІС : навчальний посібник / С. В. Кавун, І. В. Сорбат. – Харків : Вид. ХНЕУ, 2010. 256 с.
16. Карачка А.Ф., Струбицький П.Р., Дудко О.І. Архітектура комп'ютерів. Навч. посібник. Тернопіль, 2006. 152 с.
17. Карпенко М. Ю. Конспект лекцій з курсу «Комп'ютерні мережі» (для студентів усіх форм навчання спеціальностей 122 – Комп'ютерні науки, 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, 126 – Інформаційні системи та технології) / М. Ю. Карпенко, Н. В. Макогон; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 99 с.
18. Ковалюк Т.В. Основи програмування. / Ковалюк Т.В. Київ: ВНУ Києв, 2005. 400 с.
19. Комп'ютерні мережі : курс лекцій / Ю. В. Волосюк. – Миколаїв: МНАУ, 2019. – 203 с.
20. Комп'ютерні мережі. Протоколи, технології, обладнання : навч. посіб. для студ. спец. 125 «Кібербезпека» / В. М. Базилевич, Д. Б. Мехед, Ю. М. Ткач. – Ніжин: ФОП Лук'яненко В.В. ТПК «Орхідея», 2018. – 108 с.
21. Конспект лекцій з дисципліни «Архітектура комп'ютерних систем» напрямку підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладач : Голотенко О.С. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2016. 124 с.
22. Крупельницький, Л. В. Архітектура комп'ютерів. Частина 1 : лабораторний практикум / Л. В. Крупельницький, А. В. Снігур, С. В. Богомолів. – Вінниця : ВНТУ, 2020. 104 с.

23. Кулаков, Ю.О. Комп'ютерні мережі : підручник для ВНЗ. Київ. Юніор, 2018. 395 с.
24. Малеш М. Ю. Практичні завдання для проведення навчальної практики з інформатики та комп'ютерної техніки студентів кооперативних технікумів та коледжів. Спеціальність 5.03050901 Бухгалтерський облік. Уклад. : М. Ю. Малеш, В. В. Андріюка. – К. : НМЦ «Укоопосвіта», 2015. – 103
25. Мараховський Л. Ф. Інформатика і комп'ютерна техніка : Практикум. – Навч. посіб. із 2 томів / Л. Ф. Мараховський, О. І. Безверхий, Н. Д. Карпенко, Н. Л. Міхно, І. О. Калинюк / За ред. Л. Ф. Мараховського. – К. : ДЕТУТ, 2012. – 500 с.
26. Матвієнко М.П. Архітектура комп'ютера. Навчальний посібник. / Матвієнко М.П., Розен В.П. Закладний О.М. Київ : Видавництво Ліра-К. 2016. 256 с.
27. Мельник А. О. Архітектура комп'ютера: підруч. для студ. вузів. 3-вид. Луцьк : Волинська обласна друкарня, 2018. 470 с.
28. Мюллер, С. Модернізація та ремонт ПК: пер. з англ. «Вільямс», 2019. 1180 с. 5. Новиков Ю., Черепанов А. Персональні комп'ютери: Учебний курс. Київ, 2017. 480с.
29. Наливайко Н. Я. Інформатика / Н. Я. Наливайко. – К. : Центр учбової літератури, 2011. – 576 с.
30. Николайчук Я. М. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем : навч. посібник / Я. М. Николайчук, Н. Я. Возна, І. Р. Пітух. - Тернопіль : ТзОВ "Терно-граф", 2010. - 392 с.
31. Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Пітух І.Р. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем / Навчальний посібник / - Тернопіль: ТзОВ "Тернограф". 2010. – 392с., іл.
32. Николайчук Я.М., Пітух І.Р., Возна Н.Я. Теорія моделей руху даних розподілених комп'ютерних систем / Монографія - Тернопіль: ТзОВ "Тернограф", 2008 – 216 с.

33. Нікулін О.А. Основи теорії автоматичного управління. Частотні методи аналізу та синтезу систем. / О.А. Нікулін. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 640 с.
34. Одарченко Р. С., Абакумова А. О., Дика Н. В. Дослідження вимог до стільникових мереж нового покоління та можливості їх розгортання в Україні. *Проблеми інформатизації та управління*. 2016. №54. т.2. С. 52-59.
35. Одарченко Р. С., Гнатюк В. О. Концептуальні засади підвищення рівня кібербезпеки сучасних стільникових мереж. *Захист інформації*. 2016. Вип. 22 (2). С. 143-149.
36. Одарченко Р. С., Коберник А. Ю., Федюра Т. В. Дослідження архітектури сучасних систем моніторингу в мережах стільникового зв'язку. *Наукоємні технології*. 2018. №2(38). С. 195-202. 34. Розробка системи управління кіберінцидентами в мережах LTE / Р. С. Одарченко та ін. *Безпека інформації*. 2018. № 2. т.24. С. 84-90.
37. Одарченко Р. С., Конахович Г. Ф., Ткаченко В. В. Методика вибору проектного рішення для розгортання захищеної мережі LTE . *Захист інформації*. 2014. № 1 (16). С. 63-68.
38. Одарченко Р. С., Мирутенко Л. В., Даков С. Ю. Удосконалений метод побудови опорного сегменту мережі LTE. *Наукоємні технології*. 2018. №1(37). С.1826.
39. Одарченко Р. С., Скульська О. Ю., Гнатюк В. О. Метод оцінки ключових показників захищеності в сучасних стільникових мережах. *Безпека інформації*. 2017. № 1(23). С. 19-26.
40. Одарченко Р. С., Ткаліч О. П., Стецюра Ю. І. Розвантаження радіоінтерфейсу мережі LTE шляхом застосування концепції Hotspot 2.0 *Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем: збірник наукових праць*. Житомир: ЖВІ ДУТ. 2014. Вип.17. С.63-70.
41. Одарченко Р. С., Харлай Л. О. Метод резервування ресурсів та балансування навантаження в транспортній мережі з урахуванням

- основних характеристик мереж. *Технічні науки та технології*. 2018. №1(11). С. 89-96.
- 42.Олифер, В.Г. Комп'ютерні мережі : Учений курс. Київ., 2010. 944 с.
- 43.Організація комп'ютерних мереж [Електронний ресурс] : підручник: для студ. спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» та 122 «Комп'ютерні науки» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; Ю. А. Тарнавський, І. М. Кузьменко. – Електронні текстові дані (1 файл: 45,7 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 259 с.
- 44.Організація комп'ютерних мереж: підручник: для студ. спеціальності 122 / Ю. А. Тарнавський, І. М. Кузьменко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 259 с.
- 45.Основи побудови комп'ютерно-інтегрованих систем [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології кіберенергетичних систем» /Укладачі: С. В. Любицький, П. В. Новіков ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,5 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 77 с.
- 46.Програмне забезпечення для оцінки ключових показників якості обслуговування зі сторони абонента стільникової мережі / Р. С. Одарченко та ін. *Проблеми інформатизації та управління*. 2017. №3(59). С. 56-61.
- 47.Пропускна здатність мережі LTE [Електронний ресурс]:[Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://ua.waykun.com/articles/ocinkapropusknoi-zdatnosti-merezhi-standartulte.php>
- 48.Руденко В. Д. Інформатика (профільний рівень): підруч. для 11 кл. закл. загал. серед. освіти / В. Д. Руденко, Н. В. Речич, В. О. Потієнко. — Харків : Вид-во «Ранок», 2019. — 256 с.
- 49.Сергієнко А. М. Архітектура комп'ютерів: Конспект лекцій. Київ : НТУУ«КПІ», 2015. 198 с.
- 50.Симонович С.В Інформатика: Базовий курс, Київ, 2009. 640с.

- 51.Строїтелева, Н.І. Архітектура і функціонування ЕОМ. Методичні вказівки до самостійної роботи (підготовки до занять та тестування, виконання РГР). Запоріжжя, 2007. 45 с.
- 52.Строїтелева, Н.І. Інформатика (для інженерів) Навч.-метод. Посібник. Запоріжжя, 2013. 314 с.
- 53.Строїтелева, Н.І. Інформатика. Метод. вказівки до лабораторних робіт для студ. спец. "Мікро- та наноелектроніка" ден. та заоч. від-нь. Запоріжжя, 2011. 65 с.
- 54.Таненбаум Е.Архітектура комп'ютера: Київ, 2013. 704с.
- 55.Тарарака В.Д. Архітектура комп'ютерних систем: навчальний посібник. Житомир : ЖДТУ, 2018. 383 с.
- 56.Технології створення програмних продуктів та інформаційних систем : навч. посібник / М. Ю. Карпенко, Н. О. Манакова, І. О. Гавриленко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. - Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. - 93 с.

**ДОДАТКИ**

Додаток А

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Факультет комп'ютерних наук  
Кафедра теоретичної та прикладної системотехніки  
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр  
Галузь знань: 15 – Автоматизація та приладобудування  
Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри теоретичної  
та прикладної системотехніки  
д.т.н., проф. Шматков С. І.  
«21» грудня 2023 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

**Щедрина Максима Юрійовича**  
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи *«Модель контролю працездатності LTE-мереж»*

керівник роботи Артюх Олексій Анатолійович – ст.викладач кафедри ТПС  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 03 травня 2024 року № 4101-5/909

2. Строк подання студентом роботи 31 травня 2024

3. Перелік питань, які потрібно розробити

1. Огляд існуючих технологій бездротових мереж.
2. Розробка та обґрунтування вимог до моделі контролю працездатності LTE - мережі
3. Розробка та тестування моделі системи контролю.
4. Оцінка результатів тестування розробленої моделі

## 4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Огляд технологій створення бездротових мереж	21.12.2023 - 25.01.2024
2	Вивчення функціонування алгоритму інтелектуального контролю параметрів бездротової мережі	19.12.2023 - 2.01.2024
3	Розробка вимог до моделі контролю працездатності LTE - мережі	2.01.2024 - 2.02.2024
4	Моделювання та аналіз результатів функціонування моделі контролю працездатності LTE - мережі	3.02.2024 - 30.03.2024
5	Аналіз отриманих результатів моделювання	3.03.2024 - 30.04.2024
6	Підготувати тези доповіді на семінар.	3.03.2024 - 30.04.2024
7	Оформлення пояснювальної записки та підготовка презентації.	31.03.2024 - 27.05.2024
8	Оформлення звіту за результатами переддипломної практики.	15.05.2024 – 31.05.2024
9	Представлення кваліфікаційної роботи керівнику та рецензенту.	31.05.2024

5. Дата видачі завдання 21.12.2023

Студент

Щедрін М. Ю.

ініціали, прізвище



підпис

Керівник роботи

Артюх О. А.

ініціали, прізвище



підпис

**Технічне завдання  
на розробку програмного виробу  
«Модель контролю працездатності LTE-мереж»**

Назва розділу	Назва і зміст підрозділу
1. Введення	<p>1.1. Назва проекту: Модель контролю працездатності LTE-мереж</p> <p>1.2. Галузь застосування: 12 – Інформаційні технології</p>
2. Підстава для розробки	<p>2.1. Освітній курс за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.</p> <p>2.2. Завдання на дипломну роботу бакалавра, затверджено наказом ХНУ імені В. Н. Каразіна № 4101-5/909 від «03» травня 2024 р.</p>
3. Призначення розробки	<p>3.1. Мета: Розробка моделі для забезпечення стабільної та ефективної роботи LTE-мереж.</p> <p>3.2. Призначення: Застосування у телекомунікаційних компаніях для моніторингу та оптимізації LTE-мереж.</p> <p>3.3. Початкові дані для розробки: Дані про роботу та працездатність LTE-мереж.</p>
4. Технічні вимоги до програмного виробу	<p>4.1. Функціональні характеристики: Автоматизований контроль, виявлення та діагностика збоїв у мережі.</p> <p>4.2. Надійність: Висока точність виявлення проблем.</p> <p>4.3. Умови експлуатації: Підтримка 24/7 в режимі реального часу.</p> <p>4.4. Технічні засоби: Сумісність із стандартним обладнанням телекомунікаційних мереж.</p> <p>4.5. Сумісність: Інтеграція з існуючими системами управління мережею.</p> <p>4.6. Маркування та упаковка: Електронна доставка та ліцензування.</p>

5. Вимоги до програмної документації.	Повний пакет документації, включаючи керівництво користувача, технічну специфікацію та вказівки з установки та налаштування.																														
6. Техніко-економічні показники	Розробка системи передбачає зниження витрат на технічне обслуговування мережі та збільшення її надійності, знижуючи частоту та тривалість збоїв.																														
7. Стадії і етапи розробки	<table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="592 548 635 611">№ з/п</th> <th data-bbox="635 548 1267 611">Назва етапів роботи</th> <th data-bbox="1267 548 1442 611">Термін виконання етапів роботи</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="592 611 635 667">1</td> <td data-bbox="635 611 1267 667">Огляд технологій створення бездротових мереж</td> <td data-bbox="1267 611 1442 667">21.12.2023 - 25.01.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="592 667 635 723">2</td> <td data-bbox="635 667 1267 723">Вивчення функціонування алгоритму інтелектуального контролю параметрів бездротової мережі</td> <td data-bbox="1267 667 1442 723">19.12.2023 - 2.01.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="592 723 635 786">3</td> <td data-bbox="635 723 1267 786">Розробка вимог до моделі контролю працездатності LTE - мережі</td> <td data-bbox="1267 723 1442 786">2.01.2024 - 2.02.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="592 786 635 857">4</td> <td data-bbox="635 786 1267 857">Моделювання та аналіз результатів функціонування моделі контролю працездатності LTE - мережі</td> <td data-bbox="1267 786 1442 857">3.02.2024 - 30.03.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="592 857 635 913">5</td> <td data-bbox="635 857 1267 913">Аналіз отриманих результатів моделювання</td> <td data-bbox="1267 857 1442 913">3.03.2024 - 30.04.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="592 913 635 969">6</td> <td data-bbox="635 913 1267 969">Підготувати тези доповіді на семінар.</td> <td data-bbox="1267 913 1442 969">3.03.2024 - 30.04.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="592 969 635 1014">7</td> <td data-bbox="635 969 1267 1014">Оформлення повноцінної записки та підготовка презентації.</td> <td data-bbox="1267 969 1442 1014">31.03.2024 - 27.05.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="592 1014 635 1070">8</td> <td data-bbox="635 1014 1267 1070">Оформлення звіту за результатами переддипломної практики.</td> <td data-bbox="1267 1014 1442 1070">15.05.2024 - 31.05.2024</td> </tr> <tr> <td data-bbox="592 1070 635 1104">9</td> <td data-bbox="635 1070 1267 1104">Представлення кваліфікаційної роботи керівнику та рецензенту.</td> <td data-bbox="1267 1070 1442 1104">31.05.2024</td> </tr> </tbody> </table>	№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	1	Огляд технологій створення бездротових мереж	21.12.2023 - 25.01.2024	2	Вивчення функціонування алгоритму інтелектуального контролю параметрів бездротової мережі	19.12.2023 - 2.01.2024	3	Розробка вимог до моделі контролю працездатності LTE - мережі	2.01.2024 - 2.02.2024	4	Моделювання та аналіз результатів функціонування моделі контролю працездатності LTE - мережі	3.02.2024 - 30.03.2024	5	Аналіз отриманих результатів моделювання	3.03.2024 - 30.04.2024	6	Підготувати тези доповіді на семінар.	3.03.2024 - 30.04.2024	7	Оформлення повноцінної записки та підготовка презентації.	31.03.2024 - 27.05.2024	8	Оформлення звіту за результатами переддипломної практики.	15.05.2024 - 31.05.2024	9	Представлення кваліфікаційної роботи керівнику та рецензенту.	31.05.2024
№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи																													
1	Огляд технологій створення бездротових мереж	21.12.2023 - 25.01.2024																													
2	Вивчення функціонування алгоритму інтелектуального контролю параметрів бездротової мережі	19.12.2023 - 2.01.2024																													
3	Розробка вимог до моделі контролю працездатності LTE - мережі	2.01.2024 - 2.02.2024																													
4	Моделювання та аналіз результатів функціонування моделі контролю працездатності LTE - мережі	3.02.2024 - 30.03.2024																													
5	Аналіз отриманих результатів моделювання	3.03.2024 - 30.04.2024																													
6	Підготувати тези доповіді на семінар.	3.03.2024 - 30.04.2024																													
7	Оформлення повноцінної записки та підготовка презентації.	31.03.2024 - 27.05.2024																													
8	Оформлення звіту за результатами переддипломної практики.	15.05.2024 - 31.05.2024																													
9	Представлення кваліфікаційної роботи керівнику та рецензенту.	31.05.2024																													
8. Порядок контролю і приймання	<ol style="list-style-type: none"> <li data-bbox="539 1133 1489 1234">1. Внутрішній контроль: Проведення внутрішніх тестів та перевірок згідно з технічними специфікаціями.</li> <li data-bbox="539 1279 1489 1379">2. Зовнішній контроль: Тестування системи залученими незалежними експертами.</li> <li data-bbox="539 1424 1489 1525">3. Приймання робіт: Затвердження кафедрами та замовником після демонстрації відповідності всім вимогам.</li> </ol>																														

Виконавець

студент групи КУ-41

Щедрін М.Ю.



Замовник

ст.викладач кафедри ТП

Артюх Олексій Анатолійович



**Програма і методика випробувань  
програмного виробу**

«Модель контролю працездатності LTE-мереж»

**1 Об'єкт випробувань**

1.1 Назва: Модель контролю працездатності LTE-мереж

1.2 Область застосування: Телекомунікації

**2. Мета випробувань**

Загальна мета: Перевірка ефективності моделі у реальних умовах експлуатації.

Специфічні цілі: Оцінка точності виявлення та виправлення збоїв.

**3. Загальні положення**

**3.1 Підстави для проведення випробувань**

Вимоги акредитаційної комісії університету.

**3.2 Місце і тривалість випробувань**

Лабораторії факультету, один місяць.

**3.3 Обсяг випробувань**

Повний цикл випробувань всіх модулів системи.

**3.4 Організації, які беруть участь у випробуваннях**

ХНУ імені В. Н. Каразіна, факультет комп'ютерних наук.

**4. Вимоги до програми або програмного виробу**

4.1. Функціональні характеристики: Автоматизований контроль, виявлення та діагностика збоїв у мережі.

4.2. Надійність: Висока точність виявлення проблем.

4.3. Умови експлуатації: Підтримка 24/7 в режимі реального часу.

4.4. Технічні засоби: Сумісність із стандартним обладнанням телекомунікаційних мереж.

4.5. Сумісність: Інтеграція з існуючими системами управління мережею.

4.6. Маркування та упаковка: Електронна доставка та ліцензування.

4.7. Транспортування та зберігання: Відсутність, оскільки продукт цифровий.

4.8. Спеціальні вимоги: Забезпечення захисту даних згідно з GDPR.

## **5. Вимоги до програмної документації**

Повний пакет документації, включаючи керівництво користувача, технічну специфікацію та вказівки з установки та налаштування.

## **6. Засоби і порядок випробувань**

### **6.1 Засоби випробувань**

Аналітичні інструменти, програмне забезпечення для моніторингу мереж.

### **6.2 Порядок проведення випробувань**

## **Тест 1: Аналіз роботоспроможності LTE мережі**

- **Мета тесту:** Перевірка здатності мережі підтримувати стабільний зв'язок і обслуговувати високий трафік.
- **Опис процедури:** Симуляція різних навантажень на мережу і моніторинг відповіді системи.



Рисунок В.1. Тест 1

### Тест 2: Тестування імітаційної моделі контролю базових станцій

- **Мета тесту:** Перевірка алгоритмів контролю і управління потужністю базових станцій.
- **Опис процедури:** Використання Fuzzy Logic Toolbox для симуляції рішень щодо керування потужністю і ресурсами базових станцій.

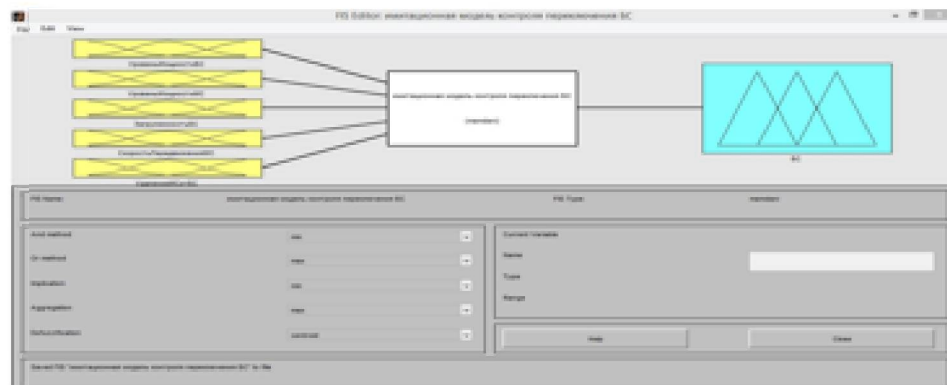


Рисунок В.2. Тест 2

### Тест 3: Валідація динамічного вибору базових станцій

- **Мета тесту:** Верифікація ефективності алгоритму вибору найоптимальнішої базової станції для мобільних користувачів.

- **Опис процедури:** Симуляція пересування мобільної станції та автоматичний вибір базової станції на основі поточного розташування.



Рисунок В.3 Тест 3



Рисунок В.4 Тест 3



Рисунок В.5 Тест 3

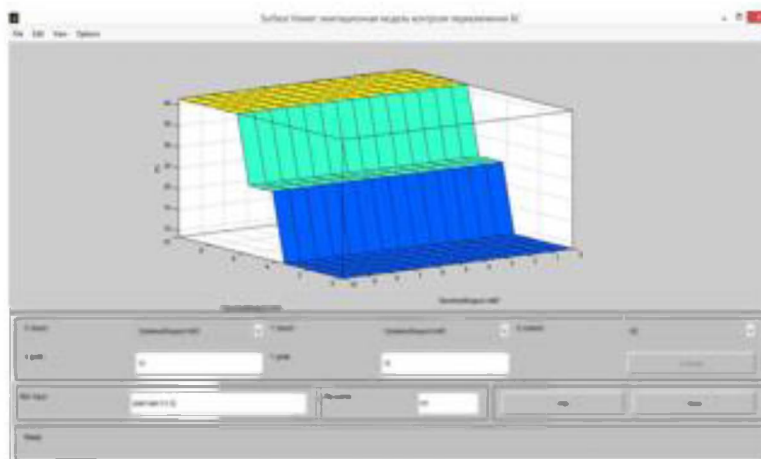


Рисунок В.6. Тест 3

**Висновки:** при вдалому виконанні всіх 3 тестів випробування розробленого додатку вважаються успішними.

**Виконавець**

студент групи КУ-41

Щедрін М.Ю.



---

## Лістинг коду до рисунку 3.20

```

CQI_Report = []; SNR_Report = []; x_axis = [];
for config = 1:2
    configStr = {'UE reported', 'median'}(config);
    fprintf('\nSimulating with %s CQI at %gdB SNR for %d Frame(s)\n', configStr, SNRdB, NFrames);
    cqiBuffer = ones(1, cqiDelay) * (config == 2) * medianCQI;
    rng('default');
    totalCRC = []; totalTBS = []; offsets = 0;
    for sfNo = 0:(NFrames * 10 - 1)
        enb.NSubframe = mod(sfNo, 10);
        cqiIndex = mod(sfNo, cqiDelay);
        CQI = cqiBuffer(cqiIndex + 1);
        MCS_Table = [-1 0 0 2 4 6 8 11 13 16 18 21 23 25 27 27];
        [ITBS, modType] = lteMCS(MCS_Table(CQI + 1));
        enb.PDSCH.Modulation = {modType};
        TBS = double(lteITBS(size(enb.PDSCH.PRBSets, 1), ITBS)) * (mod(enb.NSubframe, 5) ~= 0);
        enb.PDSCH.TBSize(enb.NSubframe + 1) = TBS;
        if (TBS ~= 0 || (config == 1 && mod(sfNo, 2) == 1) || sfNo == 0)
            data = randi([0 1], TBS, 1);
            txWaveform = lteRMCDLTool(enb, data);
            channel.InitTime = sfNo / 1000;
            rxWaveform = lteFadingChannel(channel, [txWaveform; zeros(25, size(txWaveform, 2))]);
            noise = (1 / (sqrt(2.0 * enb.CeilResP * double(ofdmInfo.Nfft)) * 10 ^ ((SNRdB -
enb.PDSCH.Rho) / 20))) * complex(randn(size(rxWaveform)), randn(size(rxWaveform)));
            rxWaveform = rxWaveform + noise;
            if (mod(sfNo, 10) == 0)
                offset = lteDLFrameOffset(enb, rxWaveform);
                if (offset > 25), offset = offsets(end); end
                offsets = [offsets offset];
            end
            rxWaveform = rxWaveform(1 + offset:end, :);
            rxGrid = lteOFDMDemodulate(enb, rxWaveform);
            if perfectChanEstimator
                chEstGrid = lteDLPerfectChannelEstimate(enb, channel, offset);
                noiseEst = var(reshape(lteOFDMDemodulate(enb, noise(1 + offset:end, :)), [], 1));
            else
                [chEstGrid, noiseEst] = lteDLChannelEstimate(enb, enb.PDSCH, cec, rxGrid);
            end
            if TBS ~= 0
                ind = ltePDSCHIndices(enb, enb.PDSCH, enb.PDSCH.PRBSets);
                pdschRx = lteExtractResources(ind, rxGrid) * (10 ^ (-enb.PDSCH.Rho / 20));
                pdschChEst = lteExtractResources(ind, chEstGrid);
                [rxBits, ~] = ltePDSCHDecode(enb, enb.PDSCH, pdschRx, pdschChEst, noiseEst);
                [decBits, crc] = lteDLSCHDecode(enb, enb.PDSCH, TBS, rxBits);
            end
        end
    end
end

```

```

        totalCRC = [totalCRC crc]; totalTBS = [totalTBS TBS];
    end
    if config == 1 && mod(sfNo, 2) == 1
        [cqi sinr] = [teCQISelect(enb, enb.PDSCH, chEstGrid, noiseEst);
        cqiBuffer(cqiIndex + 1) = cqi; CQI_Report = [CQI_Report cqi]; SINR_Report =
[SINR_Report sinr]; x_axis = [x_axis sfNo];
    end
    end
    if config == 1 && mod(sfNo, 2) == 0
        cqiBuffer(cqiIndex + 1) = cqiBuffer(mod(cqiIndex - 1, cqiDelay) + 1);
    end
    end
    fprintf('\nResults with %s CQI:\n', configStr);
    totalThroughput = sum(totalTBS);
    if config == 1
        throughputUE = sum(totalTBS .* (1 - totalCRC));
        fprintf('Throughput: %d bits (%0.2f%%)\n', throughputUE, throughputUE / totalThroughput *
100);
        bler = mean(totalCRC);
        fprintf('BLER: %0.3f (requirement is >= 0.02)\n', bler);
        medianCQI = ceil(median(CQI_Report));
        fprintf('Median CQI: %d\n', medianCQI);
        alpha = (sum(CQI_Report < (medianCQI - 1)) + sum(CQI_Report > (medianCQI + 1))) /
length(CQI_Report) * 100;
        fprintf('Percentage of CQI indices outside +/- 1 of median: %0.2f%% (requirement is >=
20%%)\n', alpha);
    else
        throughputMed = sum(totalTBS .* (1 - totalCRC));
        fprintf('Throughput: %d bits (%0.2f%%)\n', throughputMed, throughputMed / totalThroughput
* 100);
        gamma = throughputUE / throughputMed;
        fprintf('Throughput ratio (gamma): %0.3f (requirement is >= 1.05)\n', gamma);
    end
end
eu

```

### Лістинг коду до рисунків 3.21 та 3.22

```

fig = figure;
subplot(2,1,1);
plot(x_axis, SINR_Report, 'r*-');
xlabel('Subframe No. ');

```

```
ylabel('Calculated SINR (dB)');  
title('SINR per Subframe');  
grid on;  
hold on;  
  
subplot(2,1,2);  
plot(x_axis, CQI_Report, 'b^-');  
xlabel('Subframe No. ');  
ylabel('CQI Value');  
title('CQI Value per Subframe');  
grid on;
```