

**Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»**

**Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра**

студентки Кондратьєвої Юлії Андріївни

академічної групи 172–17–1

спеціальності 172 «Телекомунікації і радіотехніка»

за освітньо-професійною програмою Телекомунікації і радіотехніка

на тему Дослідження застосування найпростішої стільникової мережі стандарту GSM-1800 в передмісті

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Горєв В.М.			
розділів:				
спеціальний	Горєв В.М.			
економічний	Романюк Н.М.			
Рецензент	Шедловський І.А.			
Нормоконтролер	Гусєв О.Ю.			

**Дніпро
2021**

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
д.т.н., професор _____ Корнієнко В.І.
«___» _____ 2021 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавра

студентці Кондратьєвій Ю.А. академічної групи 172–17–1

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

за освітньо-професійною програмою 172 «Телекомунікації і радіотехніка»

на тему: Дослідження застосування найпростішої стільникової мережі стандарту GSM-1800 в передмісті

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання. Постановка задачі	Огляд літератури за темою, обґрунтування поставленої задачі	11.02.2021 – 11.03.2021
Спеціальна частина	Наближений пошук вагової функції фільтра Колмогорова-Вінера для фрактального гаусівського шуму на основі функцій Уолша та порівняння отриманих розв'язків з поліноміальними	11.03.2021 – 01.05.2021
Економічний розділ	Розрахунок трудомісткості та капітальних витрат	01.05.2021 – 01.06.2021

Завдання видано

В. М. Горєв

Дата видачі 11.02.2021

Дата подання до екзаменаційної комісії 05.06.2021

Прийнято до виконання

Ю. А.
Кондратьєва

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 69 с., 9 рис., 8 табл., 4 додатки, 13 джерел.

Об'єкт дослідження: найпростіша модель мережі стандарту GSM-1800.

Предмет дослідження: геометричні, енергетичні параметри мережі та параметри надійності мережі.

Мета дипломного проекту: проектування та дослідження найпростішою мережі стандарту GSM-1800, розрахунок геометричних параметрів стільників; кластерної структури, балансу потужностей, максимального часу автономної роботи та надійності мережі.

У першому розділі роботи наведено базові відомості про стільниковий зв'язок, розглянуто секторизацію стільників та поняття кластера, також вказано базову інформацію про системи масового обслуговування та виведено відому формулу Ерланга.

В спеціальній частині розраховано кількість та геометричні розміри стільників, запропоновано кластерну структуру мережі. Розраховано баланс потужностей та показано, що сигнал буде доходити від базової станції до абонентської і навпаки навіть на границях стільників. Наведено розрахунок максимального часу автономної роботи системи від акумуляторних батарей. Наведено розрахунок таких параметрів надійності системи як напрацювання на відмову та коефіцієнт готовності системи, показано, що ці значення відповідають нормам.

В економічній частині розраховано капітальні витрати на побудову мережі та експлуатаційні витрати на її обслуговування.

Підхід, описаний у проекті, може бути використаний для планування стільникових мереж у передмістях.

СТІЛЬНИКОВА МЕРЕЖА, СТАНДАРТ GSM-1800, РАДІУС
СТІЛЬНИКА, КЛАСТЕР, БАЛАНС ПОТУЖНОСТЕЙ, ЧАС АВТОНОМНОЇ
РОБОТИ, НАПРАЦЮВАННЯ НА ВІДМОВУ, КОЕФІЦІЄНТ ГОТОВНОСТІ

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 69 с., 8 рис., 8 табл., 4 приложения, 13 источников.

Объект исследования: простейшая модель сети стандарта GSM-1800.

Предмет исследования: геометрические, энергетические параметры сети и параметры надежности сети.

Цель дипломного проекта: проектирование и исследования простой сети стандарта GSM-1800, расчет геометрических параметров сотов; кластерной структуры, баланса мощностей, максимального времени автономной работы и надежности сети.

В первом разделе работы приведены базовые сведения о сотовой связи, рассмотрены секторизации сотов и понятия кластера, также указано базовую информацию о системах массового обслуживания и выведено известную формулу Эрланга.

В специальной части рассчитано количество и геометрические размеры сот, предложено кластерную структуру сети. Рассчитан баланс мощностей и показано, что сигнал будет доходить от базовой станции к абонентской и наоборот даже на границах сот. Приведен расчет максимального времени автономной работы системы от аккумуляторных батарей. Приведен расчет таких параметров надежности системы как наработка на отказ и коэффициент готовности системы, показано, что эти значения соответствуют нормам.

В экономической части рассчитаны капитальные затраты на построение сети и затраты на ее обслуживание.

Подход, описанный в проекте, может быть использован для планирования сотовых сетей в пригородах.

СОТОВАЯ СЕТЬ, СТАНДАРТ GSM-1800, РАДИУС СОТ, КЛАСТЕР, БАЛАНС МОЩНОСТИ, ВРЕМЯ НАДЕЖНОСТИ, НАРАБОТКА НА ОТКАЗ, КОЭФФИЦИЕНТ ГОТОВНОСТИ

ABSTRACT

Explanatory note: 69 p., 8 fig., 8 tables., 4 appendices, 13 sources.

Object of research: the simplest model of the GSM-1800 standard network.

Subject of research: geometric, energy parameters of the network and parameters of network reliability.

The purpose of the diploma project: design and research of the simplest network of GSM-1800 standard, calculation of geometrical parameters of cells; cluster structure, power balance, maximum battery life and network reliability.

The first section of the paper provides basic information about cellular communication, discusses the sectorization of cells and the concept of cluster, also provides basic information about queuing systems and derives the well-known Erlang formula.

In a special part the number and geometrical sizes of cells are calculated, the cluster structure of a network is offered. The power balance is calculated and it is shown that the signal will reach from the base station to the subscriber station and vice versa, even at the cell boundaries. The calculation of the maximum battery life of the system from batteries is given. The calculation of such parameters of system reliability as failure time and system readiness coefficient is given, it is shown that these values correspond to the norms.

In the economic part, the capital costs for the construction of the network and operating costs for its maintenance are calculated.

The approach described in the project can be used to plan cellular networks in the suburbs.

CELLULAR NETWORK, GSM-1800 STANDARD, CELLULAR RADIUS, CLUSTER, POWER BALANCE, AUTONOMOUS WORK TIME, FAILURE TIME, COOFET

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БС – базова станція;

АС – абонентська станція;

ДСА – діаграма спрямованості антени;

СМО – система масового обслуговування;

АБ – акумуляторна батарея

ДБЖ – джерело безперебійного живлення

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 СТАН ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	11
1.1 Стан питання.....	11
1.1.1 Базові поняття про стільникові мережі.....	11
1.1.2 Деякі відомості про стандарти GSM-900 та GSM-1800, технології CDMA та TDMA	12
1.1.3 Кластери. Секторизовані та несекторизовані стільники. Діаграма спрямованості.....	16
1.1.4 Ідея повторного використання частот.....	17
1.1.5 Системи масового обслуговування.....	18
1.1.6 Формула Ерланга для системи масового обслуговування з відмовами. Визначення Ерланга як одиниці розмірності трафіку.....	20
1.1.7 Фідери, антени, камбайнери, контролери, малошумові підсилювачі, мультиплексори.....	21
1.1.8 Джерела безперебійного живлення.....	24
1.1.9 Надійність системи.....	26
1.2 Постановка задачі.....	27
1.3 Висновки.....	28
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	29
2.1 Розрахунок кількості та розмірів стільників стандарту GSM-1800.....	29
2.2 Розрахунок балансу потужностей.....	35
2.2.1 Хід сигналу від базової станції до абонентської.....	36
2.2.2 Хід сигналу від абонентської станції до базової.....	43
2.3 Розрахунок електропостачання базової станції.....	45
2.4 Розрахунок Надійності мереж.....	48
2.5 Висновки.....	52
3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	55
3.1 Техніко-економічне обґрунтування.....	55
3.2 Вибір обладнання.....	55

3.3 Капітальні витрати	56
3.4 Експлуатаційні витрати.....	58
3.5 Висновки.....	61
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	64
ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломної роботи.....	66
ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії.....	67
ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу.....	68
ДОДАТОК Г. Відгук керівника дипломної роботи.....	69

ВСТУП

Як нам вже відомо, у сучасні дні стільниковий зв'язок являється одним з найпоширеніших в Україні та у світі, тому планування та побудова стільникових мереж досі являється актуальною задачею сучасних телекомунікацій.

Під час виконання роботи, заради простоти у нашому проекті була використана найпростіша модель стільникової мережі, в якій мережа складається з ідентичних ідеально правильних шестикутників, в центрі кожного з них знаходиться лише одна базова станція. Дана модель буде роботоспроміжною лише у випадку, коли поверхня на якій знаходиться мережа - ідеально рівна без різноманітних забудов, та коди населення розселене рівномірно. Очевидно, що дана модель - не працює для міст. Для сільської місцевості вона також не буде підходити бо населення не розселене рівномірно у сільській місцевості. З іншого боку у передмістях майже завжди відсутня забудова многоповерховими будівлями та населення розселене приблизно рівномірно, тому з цього випливає, що для передмість на рівній місцевості ця модель може бути застосовною. Під час виконання проекту, нами розглядається планування стільникової мережі для передмістя з фіксованою площею та кількістю населення.

Відповідно до відомого з джерел літератури алгоритмом, нами було розраховано геометричні розміри стільників та кількість частотних каналів у стільнику, також було запропоновано використовувати відповідну кластерну структуру мережі. Також було використано модель мережі як системи масового обслуговування з урахуванням відмов, вхідний потік заявок вважається найпростішим. З урахуванням цих факторів на основі моделі втрат Окумура-Хата нами було розраховано баланс потужностей у мережі, також ми застосували оцінки на втрати у фідерах і комбайнерах та коефіцієнти підсилення антен, які відомі з джерел літератури. Доведено, що навіть за той умови, якщо абонентська станція знаходиться на межі стільника, то сигнал з достатньою потужністю буде доставлений від базової станції до абонентської та

навпаки. З літератури було розраховано максимальний можливий час автономної роботи базової станції від акумуляторних батарей та параметри надійності системи, також для спрощення розрахунку ми вважаємо ймовірність безвідмовної роботи системи - експоненціально падаючою з часом. Також доведено, що параметри надійності системи відповідають всім необхідним нормам.

Далі у економічній частині було успішно розраховано капітальні витрати на установку мережі та її експлуатаційні витрати на обслуговування.

Розглянутий у проекті метод може бути успішно приміненний до планування та установки реальних стільникових мереж у передмістях на ідеально рівній місцевості.

1 СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Стан питання

1.1.1 Базові поняття про стільниковий зв'язок і стільники

Однією з важливих задач для телекомунікацій на сьогоднішній день є задача розвитку мереж передачі мови та даних, особливо в передміській місцевості, де ємність і надійність існуючих мереж наразі не відповідає сучасним потребам.

Стільниковий зв'язок [1] є одним із видів мобільного радіозв'язку, основною особливістю якого є структура, при якій загальна зона покриття ділиться на шестикутники (стільники), у центрі кожного з яких розміщена центральна станція.

Основні складові стільникової мережі — це стільникові телефони і базові станції. Базові станції звичайно розташовують на дахах будинків і окремих вежах. Увімкнений стільниковий телефон прослуховує радіоефір, шукаючи сигнал базової станції. Після цього телефон посилає станції свій унікальний ідентифікаційний код. Телефон і станція підтримують постійний радіоконтакт, періодично обмінюючись пакетами даних

На ідеальній (рівній і без забудови) поверхні зона покриття однієї базової станції являє собою коло, тому складена з них мережа має вигляд шестикутних зон, оскільки з можливих варіантів без пробілів і перекриття (трикутник, шестикутник, квадрат) він найближчий до кола.

Приклад побудови такої мережі надано на рис. 1.1.

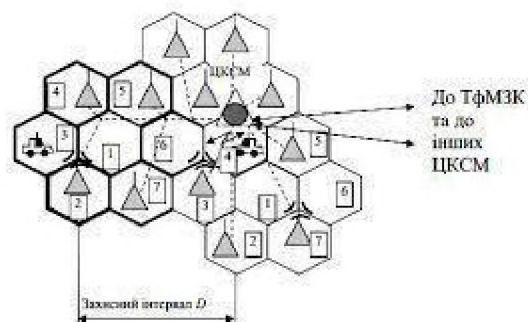


Рисунок 1.1 – Приклад побудови стільникової мережі рухомого зв'язку.

Стільник GSM-мережі [1] – це зона, яку охоплює одна або декілька базових станцій, де відбувається прийом та передача на фіксованій кількості частот. Приклад стільнику зображений на рис. 1.2.

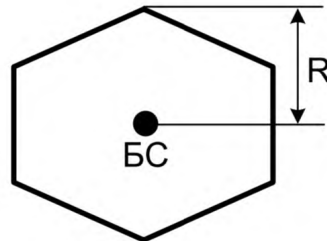


Рисунок 1.2 – Секторизований стільник

Але на практиці через те що, що на шляху поширення сигналу існує величезна кількість перешкод, від яких він відбивається, форма стільнику може бути не шестикутною, особливо на території міст. Форма стільнику залежить від особливостей ландшафту і штучних нерівностей місцевості, а також висоти, на якій встановлені антени, і кутів нахилу антен.

Зазвичай одній соті відповідає одна базова станція, але якщо район, який планує охопити оператор стільникового зв'язку, густонаселений і з великою абонентською активністю, то однієї базової станції може не вистачати. В такому випадку разом можуть сполучатися дві або більше базових станцій.

Тому цікавою та актуальною задачею є дослідження та розрахунок найпростішої стільникової мережі. У даній роботі буде досліджуватись мережа стандарту GSM-1800 у передмісті з кількістю населення 30 тис. та площею 50 км².

1.1.2 Деякі відомості про стандарти GSM-900 та GSM-1800, технології CDMA та TDMA

GSM (Global System for Mobile Communications) – глобальна система зв'язку з рухомими об'єктами) глобальний цифровий стандарт для мобільного

стільникового зв'язку другого покоління (2G - цифровий стільниковий зв'язок), з поділом частотного каналу за принципом TDMA.

Стандарт GSM є цифровим і забезпечує високу якість і конфіденційність зв'язку і надає абонентам великий набір послуг: автоматичний роумінг, прийом / передача даних, SMS-сервіс, голосова та факсимільна пошта.

Стандарт працює на чотирьох різних діапазонах частот: 900 МГц, 1800 МГц, 1900 МГц та 850 МГц.

GSM мережа [3] – це найпоширеніший стандарт зв'язку в світі на сьогоднішній день. Практично всі сучасні провайдери в Європі використовують стандарти GSM 1800 та GSM 900, тому найбільш популярними є дводіпазонні телефонні апарати GSM 900/1800 – при включенні такої телефон сам за частки секунди визначає, на якій частоті сигнал краще, та налаштовується на неї.

GSM-900 працює на частотному діапазоні 890-915МГц, і використовується для обміну інформацією між мобільною станцією і базовою приймально-передавальною станцією (вихідна лінія зв'язку) і 935-960МГц для низхідній лінії. Це забезпечує 124 радіочастотних каналу (канали 1 - 124), розташовані на відстані 200кГц.

GSM-1800 в свою чергу працює в частотному діапазоні від 1710 МГц до 1785 МГц при передачі даних з мобільного станції на базову приймально-передавальних та 1805-1880 МГц для іншого напрямку. Його особливості:

- Він забезпечує 374 каналу (512-885) і двобічний інтервал в 95 МГц.
- Максимальна випромінювана потужність мобільних телефонів стандарту GSM-1800 - 1Вт, для порівняння у GSM-900 - 2Вт.
- Більший час безперервної роботи без підзарядки акумулятора і зниження рівня радіовипромінювання.
- Висока ємність мережі, що важливо для великих міст.
- Можливість використання телефонних апаратів, що працюють в стандартах GSM-900 та GSM-1800 одночасно.

Особливість GSM-1800 полягає в тому, що зона охоплення для кожної базової станції значно менше, ніж в стандартах GSM-900, AMPS / DAMPS, NMT-450. Необхідно більше число базових станцій. Чим вище частота випромінювання, тим менше проникаюча здатність (характеризується т. Н. Глибиною скін-шару) радіохвиль і тим менше здатність відбиватися і огинати перешкоди.

Різниця між GSM-900 та GSM-1800 полягає в тому, що GSM-900 має подвійне охоплення порівняно з GSM-1800. Це пов'язано з тим, що в міру збільшення частоти розмір осередку зменшується через збільшення втрат в дорозі. Тому для забезпечення повного охоплення конкретної території в GSM-1800 необхідно встановити більшу кількість веж, ніж в GSM-900. Але оскільки в діапазонах GSM-1800 є більше частот, то є більше можливостей забезпечити хорошим трафіком.

TDMA (англ. Time Division Multiple Access - множинний доступ з поділом за часом) [1] - спосіб використання радіочастот, коли в одному частотному інтервалі знаходяться кілька абонентів, де кожний абонент використовує різний тимчасовий слот (інтервал) для передачі. Таким чином, TDMA надає кожному користувачеві повний доступ до інтервалу частоти протягом короткого періоду часу (в GSM один частотний інтервал ділиться на 8 тимчасових слотів).

У загальному вигляді в стандарті GSM тимчасова діаграма процесу передачі з використанням методу TDMA виглядає наступним чином (рис. 2.32):

- спочатку здійснюється перетворення аналогового мовного сигналу в цифрову послідовність;

- цифрова послідовність піддається кодуванню, шифруванню, при цьому використовуються:

- а) блочне кодування - для швидкого виявлення помилок при прийомі сигналів;

- б) зверточне кодування - для виправлення одиночних помилок;

- в) переміщення - для перетворення пакетів помилок в одиночні помилки.

CDMA (англ. Code Division Multiple Access - множинний доступ з кодовим поділом (МДКР)) - технологія зв'язку, зазвичай радіозв'язку, при якій канали передачі мають загальну смугу частот, але різні кодують послідовності. Технологія CDMA забезпечує високу якість сигналу при зниженні випромінюваної потужності і рівня шумів. В результаті можна добитися мінімальної середньої вихідної потужності, значення якої в сотні разів менше значень вихідної потужності інших, використовуваних в даний час стандартів. Це дозволяє зменшити вплив на організм людини і збільшити тривалість безперебійної роботи без підзарядки акумулятора.

Переваги CDMA:

- Гнучкий розподіл ресурсів. При кодовому поділі немає суворого обмеження на число каналів. Зі збільшенням числа абонентів поступово зростає ймовірність помилок декодування, що веде до зниження якості каналу, але не до відмови обслуговування.
- Більш висока захищеність каналів. Виділити потрібний канал без знання його коду вельми важко. Вся смуга частот рівномірно заповнена шумоподібним сигналом.
- Телефони CDMA мають меншу пікову потужність випромінювання і тому дозволяють більш економно витратити батарею.

Максимальний теоретичний радіус стільнику GSM-1800 складає 10км [1], а мінімальний радіус стільнику оцінюється як 0,5 км. Пов'язано це з передачею даних між сусідніми базовими станціями (Хендоверів).

Хендовер [1] (англ. Handover) – це процес передачі обслуговування абонента під час виклику або сесії передачі даних від однієї базової станції до іншої. Хендовер дає можливість абонентам не бути прив'язаним до будь-якої географічної точки і дає можливість пересуватися в межах мережі оператора без розриву з'єднання. Причиною хендовера може бути, наприклад, погіршення якості сигналу від поточної базової станції з яких-небудь іншими ознаками.

Зокрема між абонентом і БС може виникнути перешкода, погіршитися погодні умови, яка обслуговує базова станція або її частина може вийти з ладу і т.п.

1.1.3 Кластери. Секторизовані та несекторизовані стільники. Діаграма спрямованості

У класичній теорії стільникового планування, стільники групуються в кластери, в кожному кластері використовується фіксований набір частот, який повторюється через певну відстань.

Кластер [1] – це сукупність сусідніх стільників, у яких немає можливості використовувати повторні частоти через взаємні перешкоди. Основним принципом стільникового зв'язку є повторне використання частот в несуміжних стільниках.

На практиці в мережах GSM використовують кластери з секторизованими сотами типу 3/9 і 4/12. Це дозволяє отримувати на границі стільників відношення сигнал / перешкода з ймовірністю близько 80% не гірше норми 9 дБ. Типи кластерів зображені на рис. 1.3 (зліва направо приведені кластери: 3/9, 4/12, 7/21).

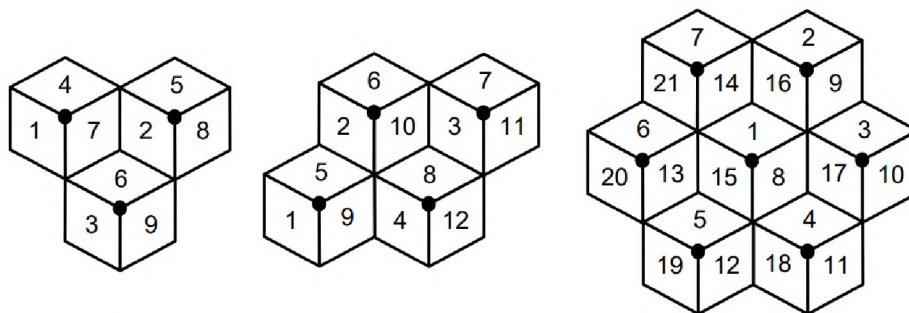


Рис. 1.3 - Типи кластерів

Стільники можуть бути секторизованими та несекторизованими. Нехай M – число секторів в стільнику. Якщо, $M = 1$, то стільник несекторизований. Якщо $M > 1$, то на базовій станції ставлять M антен під кутом $360^\circ/M$ один

до одного, ширина діаграми спрямованості кожної з антен дорівнює $360^\circ/M$.

Зазвичай використовують $M = 3$ або $M = 6$.

Якщо стільники несекторизовані, то мобільні телефони отримують перешкоди від усіх сусідніх БС. Це пов'язано з тим, що БС має неспрямовані антени і вилучає однаковий сигнал потужності в усіх напрямках.

Секторизовані ж стільники допомагають мінімізувати перешкоди і дозволяють використовувати одні і ті ж самі частоти у стільниковій мережі.

Діаграма спрямованості антени [1] - це графічне зображення залежності коефіцієнта посилення спрямованого дії антени від напрямку антени в площині. Термін "діаграма спрямованості" також можна застосувати до інших пристроїв, які випромінюють сигнал різного походження, наприклад: сигнал, який випромінює акустичні системи. За діаграмою спрямованості антени також можна визначити положення і розмір сліпої зони антени. Приклад діаграми спрямованості зображений на рис. 1.4.

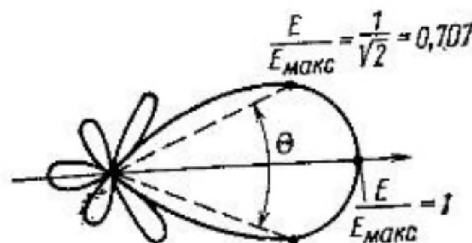


Рис. 1.4 – Приклад діаграми спрямованості

1.1.4. Ідея повторного використання частот

Ідея повторного використання частот полягає в тому, що в сусідніх фрагментах системи використовуються різні смуги частот, а через кілька фрагментів ці смуги повторюються. Це дозволяє при обмеженій загальній смузі частот охопити системою велику зону обслуговування і істотно підвищити ємність системи.

Повторне використання частот може бути жорстким, м'яким та дробовим.

У стільникових GSM-мережах використовується лише жорстке повторне використання частот.

Жорстким повторним використанням смуг частот каналів називають варіант, коли вся смуга частот розділена на фіксовану кількість смуг, які виділяються стільникам відповідно до деякої певної моделлю повторного використання (за аналогією з GSM).

Кожна з комірок обслуговується своїм передавачем з невисокою вихідною потужністю і обмеженим числом каналів зв'язку. Це дозволяє без перешкод використовувати повторно частоти каналів цього передавача в іншій, розташованій за значна відстань, осередку. Теоретично такі передавачі можна використовувати і в сусідніх осередках. Але на практиці зони обслуговування сот можуть перекриватися під дією різних факторів, наприклад, внаслідок зміни умов поширення радіохвиль. Тому в сусідніх осередках використовуються різні частоти.

М'яким повторним використанням смуг частот каналів називають варіант, коли вся смуга частот розділена на фіксовану кількість смуг. Для кожної стільники одна з цих смуг виділена абонентам, що знаходяться на кордоні стільники, а решта смуги використовуються абонентами, що знаходяться поблизу базової станції.

При дробовому повторному використанні смуг частот каналів для обслуговування абонентів, які знаходяться поблизу базової станції використовується загальна смуга частот. Інші можливі смуги використовуються абонентами віддаленими від базової станції (що знаходяться на краю стільники).

1.1.5 Системи масового обслуговування

На практиці систему зв'язку можна представити у вигляді системи масового обслуговування.

Система масового обслуговування (СМО) - це система, яка обслуговує вимоги, що надходять до неї (заявки). Вимоги (заявки) на обслуговування надходять через дискретні (постійні або випадкові) інтервали часу. Важливо знати закон розподілу вхідного потоку. Канали (прилади) необхідні для обслуговування цих заявок. Обслуговування триває деякий час, постійний або випадковий. Приклад найпростішої системи СМО приведений на рис. 1.5.

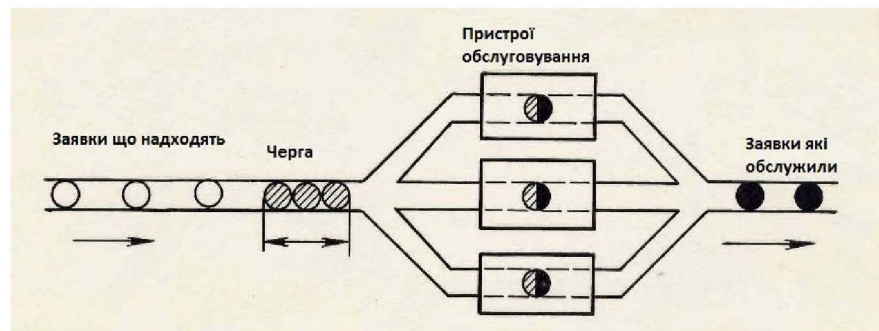


Рис. 1.5 – СМО

Основні складові СМО:

- Вимога (заявка) — запит на обслуговування.
- Вхідний потік вимог — сукупність вимог, що надходять у СМО.
- Час обслуговування - період часу, протягом якого обслуговується вимогу.
- Математична модель СМО - це сукупність математичних виразів, що описують вхідний потік вимог, процес обслуговування та їх взаємозв'язок.

Процес роботи СМО є випадковим процесом з дискретними станами та неперервним часом. Стан СМО змінюється стрибком в моменти реалізації подій (надходження нової або закінчення обслуговування вимоги, моменту, коли вимога, виходить з черги). З вимог, які вже обслуговані, формується вихідний потік. Кожна СМО, залежно від кількості каналів, їх продуктивності, характеру потоку заявок, має деяку пропускну здатність, яка дозволяє їй більш чи менш успішно справлятися з потоком вимог.

Можна поділити СМО на системи масового обслуговування з відмовами (без черги) та на системи масового обслуговування з очікування (з чергами).

Системи з відмовами (без черги) - заявка, яка надійшла в момент, коли всі канали зайняті, отримує відмову, покидає СМО і надалі не обслуговується.

Системи з очікуванням (з чергою) - заявка, що прийшла в момент, коли всі канали зайняті, не відкидається, а стає в чергу і чекає можливості бути обслугованою. Вони насамперед діляться:

- по довжині черги - з обмеженою довжиною черги, які допускають чергу, але з обмеженим числом місць в ній;
- за часом очікування - з обмеженим часом очікування, що допускають чергу, але з обмеженим терміном перебування кожної вимоги в ній;
- по дисципліні обслуговування – з обслуговуванням по пріоритету, що допускають чергу, але деякі заявки обслуговуються поза чергою (тобто по пріоритету). FIFO (First Input - First Output): першим прийшов - першим обслужений; LIFO (Last Input - First Output): останнім прийшов - першим обслужений; FIRO (First Input - Random Output): першим прийшов - обслужений у випадковому порядку; обслуговування з пріоритетами

1.1.6 Формула Ерланга для системи масового обслуговування з відмовами. Визначення Ерланга як одиниці розмірності трафіку.

Модель розрахунку навантаження Erlang B - це аналітична модель, створена датським вченим А. К. Ерланген і призначена для обчислення блокування дзвінків. Модель використовується при конструюванні телефонних систем для оцінки числа телефонних ліній, необхідних для зв'язку з міською телефонною мережею.

Для розрахунку кількості ліній ви повинні оцінити два параметра роботи телефонної мережі під час найбільшого навантаження:

Частота виникнення дзвінків (кількість дзвінків за годину)

Середній час розмови:

$$E_v(A) = \frac{(A)^v}{V!} \bigg/ \sum_{i=0}^v \frac{(A)^i}{i!}$$

Для розрахунку інтенсивності трафіка, що виникає в мережах з комутацією каналів, використовують формули Ерланга [5].

Вибравши число каналів, визначають допустимий трафік у стільнику на основі статистики абонентів за формулою Ерланга.

Трафік [6] характеризують обсягом переданої інформації. При передачі даних трафік визначають швидкістю передачі, біт/с, і часом передачі, тобто числом переданої інформації в бітах. У телефонії одиницею виміру трафіку є ерланг. 1 Ерл - це зайнятість од ного телефонного (ТФ) каналу протягом години.

Ерланг (Ерл) [5] відповідає безперервному використанню одного голосового каналу протягом 1 години. Тобто якщо абонент промовив з іншим абонентом протягом однієї години, то на телекомунікаційному обладнанні була створена навантаження в один Ерланг. Однак, якщо дві пари абонентів послідовно проговорили один з одним кожні протягом однієї години, то навантаження на обладнанні дорівнювала також один Ерланг.

1.1.7 Фідери, антени, комбайнери, контролери, малошумливі підсилювачі, мультиплексори

Фідер [3] - це електричне коло, за допомогою якого енергію радіочастотного сигналу підводять від електропередавача до антени або від антени до радіоприймача. Його конструкція залежить від довжини хвилі, на якій він використовувався.

Антенa — радіотехнічний пристрій для передавання та приймання електромагнітних хвиль. Передавальна антенa переводить електричний струм радіочастотного діапазону на електромагнітні хвилі відповідної частоти. А приймальна антенa перетворює електромагнітні хвилі на струм відповідної форми. Передавальна антенa переводить енергію хвиль, що надходять від передавача до антени, в енергію вільних коливань, яка поширюється в просторі. Передавальна антенa забезпечує розподіл енергії в просторі. Приймальна антенa приймає енергію вільних коливань і перетворює її в енергію хвиль, яка надходить з фідера на вхід приймача.

Антенно-фідерні пристрої - призначенні для передачі сигналів в системах радіозв'язку, радіомовлення, телебачення, та інших радіотехнічних системах, які використовують для передачі інформації та вільне поширення радіохвиль.

Важливу роль грає фідер, який передає енергію від генератора до антени (коли знаходиться в передавальному режимі) або від антени до приймача (коли знаходиться в режимі прийому). Основні вимоги до фідера: відсутність випромінювання енергії з фідер та малі теплові втрати.

Комбайнер — це блок, який дозволяє здійснити підключення декількох передавачів на одну антену. Комбайнер направляє радіочастотний сигнал одного передавача на антену, та в цей момент блокує сигнали інших передавачів, що працюють на ту ж антену.

Контролер базової станції — елемент, який є ядром підсистеми радіомережі стільникового зв'язку стандарту GSM. Він дозволяє здійснити перемикання і звільнення розмовних каналів між комутатором і базовою станцією, також здійснює управління переходами розмовного каналу по частоті, повідомлення мобільної станції про виклик, що надійшов, управління рівнями випромінюваної потужності мобільного і базової станції під час розмови при зміні умов прийому, спостереження за якісними характеристиками радіосигналу під час розмови, управління хендоверами та ін.

Мультиплексор – мережевий пристрій, призначений для передачі по одній високошвидкісної лінії зв'язку декількох менш швидкісних потоків. Одною з причин мультиплексування сигналів є висока вартість каналів зв'язку і їх обслуговування, а існуючі системи зв'язку найчастіше в повному обсязі задіють передавальну середу. Установка мультиплексора - набагато дешевше і займає менше часу, ніж організація нових каналів зв'язку. У стандарті GSM-900 використовується часове (TDMA) мультиплексування. Коли воно використовується для передачі сигналу, що входить в загальному високошвидкісному потоці відводиться невеликий проміжок часу, який періодично буде повторюватися. Основним завданням мультиплексора полягає в тому, щоб давати доступ вхідним потокам на невеликий проміжок часу до загального середовища передачі. Для того щоб послідовні сигнали не накладалися один на один між ними залишаються невеликі захисні інтервали.

Малощумливий підсилювач – це пристрій, який входить до складу базової станції і використовується для підвищення чутливості приймача, що йде від абонентської станції до базової. Передавач телефону має набагато меншу випромінюваної потужністю, ніж базова станція, у зв'язку з цим в складних умовах, при значній відстані абонента від обслуговуючої БС сигнал виявляється сильно ослабленим і зашумленим перешкодами. Для усунення цієї проблеми з загасанням, застосовують рознесений прийом, який дозволяє зібрати більше енергії сигналу. Але досить часто антени встановлюються на значній відстані від приймачів базової станції. У зв'язку з цим довжина фідерів може досягати більш ніж 100 метрів. Це може привести до суттєвих втрат сигналу у фідері, навіть з використанням рознесеного прийому. Таким чином, сигнал, прийнятий антеною з допустимим рівнем, під час проходження фідера загасає ще більше і до приймача сигнал може дійти занадто ослабленим для нормального прийому. Найкращим способом позбутися від цієї проблеми є посилення сигналу безпосередньо після його прийому на антену і перед передачею його через фідер. Це завдання покладено на малощумливий підсилювач. Цей підсилювач

так названий тому, що він виконується з основною вимогою - вносити якомога менше перешкод у сигнал, який він підсилює. Це досягається за допомоги використання високоякісних і дорогих матеріалів, а також використання складних схем заглушення шуму.

1.1.8 Джерела безперебійного живлення

У мережах стільникового зв'язку найпоширенішими є джерела безперебійного живлення змінного струму. Установка безперебійного живлення об'єкта має на увазі можливість його перемикання при збоях в електромережі на альтернативне джерело енергії. В ДБЖ будь-якого типу функції такого джерела досягають за допомогою акумуляторні батареї. Акумулятори є вторинними елементами живлення, або хімічними джерелами струму другого типу.

Акумуляторні батареї працюють у двох основних режимах: розряду і заряду. Встановлені в ДБЖ змінного струму батареї працюють в одному з трьох станів - черговому, аварійному та поставарійному. Так як аварії в мережі відбуваються нечасто, більшу частину терміну експлуатації батарея функціонує в черговому режимі постійної підзарядки. Аварійні режими займають порівняно невеликий час. Поставарійний режим – це автоматичний режим заряду розрядженою батареї.

Будь-яка АБ описується параметрами, які залежать один від одного. Базовими з яких є ємність і номінальна напруга. Вибір ємності АБ обумовлений типом навантаження, яку вона буде підтримувати протягом заданого часу при певних режимах розряду. У будь-якого телекомунікаційному об'єкті визначальними є вимоги щодо енергозбереження такі як: час роботи, струм розряду, потужність. Вимоги по ємності визначаються відповідно до цих характеристик.

Вибір батареї багато в чому залежить від якості мережі: деякі батареї краще працюють в буферному режимі, інші розраховані на циклічне

застосування. Чим швидше розряджається батарея, тим менше циклів заряду-розряду вона забезпечує.

Для ліній зв'язку в сільській місцевості, наприклад більш важливий параметр кількості циклів заряду-розряду, які може витримати акумулятор. У цих мережах якість електропостачання призводить до частих і тривалих відключень пристроїв з переходом навантаження на живлення від АБ. У такому випадку доцільніше використовувати гелеві акумулятори.

Лужні акумуляторні батареї служать для живлення постійним током систем автоматики, сигналізації, приладів. Герметичні лужні акумулятори призначені для роботи у тривалому, середньому і короткому режимах розряду і в режимі постійної підзарядки. В процесі використання лужні акумулятори не вимагають обслуговування. Залежно від умов експлуатації термін служби герметичних лужних акумуляторів і батарей від 3 до 10 років, термін зберігання не менше 2 років.

Гелеві акумуляторні батареї застосовуються для систем безперебійного живлення, виробництва і передачі електроенергії, систем телекомунікації та зв'язку, аварійного освітлення та ін. Вони є стійкі до циклічного режиму експлуатації (понад 1200 циклів заряд-розряд). Конструкція гелевих акумуляторів зазвичай є покращенню версією звичайного свинцево-кислотного акумулятора. До електроліту додається гелевий компонент для скорочення руху всередині акумулятора. У багатьох гелевих акумуляторах також використовуються одноходові клапани замість відкритих повітряних клапанів, вони використовуються тому, що виділені гази знову розчиняються у воді всередині акумулятора, пригнічується газоутворення. В акумуляторах на «гелевих елементах» виключено пролиття навіть в разі поломки. Строк їх служби складає більше 15 років.

Свинцево-кислотні акумуляторні батареї застосовуються для безперервного електроживлення систем телекомунікацій, пожежного

освітлення, пожежної тривоги та систем забезпечення безпеки. Вони є дешевими і простими

При виробництві – за вартістю 1кВт·год енергії ці батареї є найдешевший з усіх аналогів. Це є їх основною перевагою. Їх недоліками є те, що не допускається їх зберігання в розрядженому стані, велика вага батареї обмежує їх застосування в стаціонарних та рухомих об'єктах, допустима лише обмежена кількість циклів повного розряду приблизно 200-300 циклів, кислотний електроліт і свинець мають шкідливий вплив на навколишнє середовище, при неправильному заряді може буди перегрів.

1.1.9 Надійність системи.

Однією із основних характеристик системи є її надійність. Надійність системи – це здатність системи до безвідмовної роботи протягом заданого проміжку часу у визначених умовах.

Надійність системи відповідно до діючих стандартів – це комплекс з понять, що включає п'ять основних складових.

Працездатність – стан системи, при якому вона здатна виконувати задані функції з параметрами, що встановлені вимогами технічної документації.

Довговічність – властивість системи зберігати працездатність при необхідних перервах на технічне обслуговування та поточний ремонт до граничного стану, зазначеного в технічній документації.

Відновлюваність системи – це її властивість відновлювати працездатність у випадку виникнення відмови за допомогою ремонтів.

Ремонтпридатність – властивість системи, що полягає у пристосованості до попереджень, виявленню і ліквідації відмов та несправностей.

Важливими поняттями в надійності є ресурс, строк служби та інші. Ресурсом називають тривалість функціонування та обсяг робіт, виконаний системою до граничного стану, який зазначено в технічній документації.

Строк служби – тривалість експлуатації системи до граничного стану, який зазначено в технічній документації.

Різниця між ресурсом і строком служби є те, що ресурс враховує фактичний наробіток системи, а строк служби – сумарну тривалість як роботи, так і простоїв.

У теорії надійності розрізняють два типи відмов – раптові та поступові. Раптова відмова – це вихід з ладу у випадковий момент часу. Поступова відмова пов'язана з поступовим погіршенням характеристик системи, під впливом часу та експлуатації, як тільки параметри системи виходять за визначені межі, система вважається, що відмовила.

1.2 Постановка задачі

У даному проєкті оглядається та описується тільки найпростіша модель стільникової мережі стандарту GSM-1800, де одному стільнику відповідає одна базова станція і кожен стільник є правильним шестикутником, але дана модель може застосовуватись для опису мереж у передмісті, оскільки там умови будуть найближчими до ідеальних. Постановкою задачі спеціальної частини є:

1 Розрахувати кількість стільників та їх геометричні розміри, з'ясувати кількість частотних каналів у стільнику та запропонувати відповідну кластерну структуру мережі.

2 Розрахувати баланс потужностей мережі, тобто довести, що незважаючи на втрати сигнал дійде від базової станції до абонентської навіть та навпаки, навіть якщо абонентська станція знаходиться на границі стільника. Під фразою «сингал дійде» слід розуміти те, що потужність сигналу є більшою за мінімальну потужність, яку в змозі прийняти базова/абонентська станція (тобто за чутливість приймачів базової/абонентської станції).

3 Розрахувати максимальний час автономної роботи базової станції від акумуляторних батарей

4 Розрахувати параметри надійності системи та показати, що вони задовольняють нормам.

Постановкою задачі для економічного розділу є розрахувати капітальні витрати на побудову мережі та експлуатаційні витрати на її обслуговування.

1.3 Висновки

В даному розділі були описані базові відомості про стільниковий зв'язок в цілому та загальні принципи його роботи, зокрема відомості про стандарт GSM-1800. Також було наведено загальну інформацію про стандарт GSM-900 і технології CDMA та TDMA. Наведено було відомості про роботу обладнання, яке надалі нам буде потрібне при проектуванні мережі.

Розглянуто поняття секторизації стільників, діаграми спрямованості антен та поняття кластера. Приведено типи кластерів, які найчастіше використовуються у стільникових мережах. Описано принцип повторного використання частот у мережі.

Наведено загальну інформацію про системи масового обслуговування. Приведено поняття потоку подій. Розглянуто поняття найпростішого потоку. Наведено детальне виведення формули Ерланга для системи масового обслуговування з відмовами, коли вхідний потік дзвінків є найпростішим, а густина розподілу часу обслуговування є показниковою функцією. Також зазначено, що формула Ерланга працює точно за умови найпростішого вхідного потоку при будь-якому розподілу часу обслуговування. Розглянуто одиницю виміру трафіку – Ерланг.

Матеріал, оглянутий у розділі, є базовим для виконання проекту.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок кількості та розмірів стільників стандарту GSM-1800

Основною метою даного розділу є вибір відповідного кластера, розрахунку кількості частотних каналів у стільнику, розрахунку радіуса стільника.

При плануванні мережі стільникового зв'язку допускається рівномірний розподіл абонентів в заданій зоні [4], це означає, що мережа складається з великої кількості однакових за розміром стільників, які умовно представляються у вигляді правильних шестикутників. Кожна БС відповідає одному стільнику. Дана модель підійде для невеликого передмістя, оскільки робота даної моделі буде коректною лише при відсутності серйозних перешкод таких як щільна забудова чи інтенсивний рух транспорту, що притаманно великим містам. У сільській місцевості ж роботі моделі завадить нерівномірний розподіл населення, тому що села між собою знаходяться на чималій відстані.

Враховуючи фактори описані вище, у даному проекті для розрахунку обрана мережа стандарту GSM-1800 для передмістя за населенням 30 тис. та площею у 50км².

Розраховується мережа стандарту GSM-1800 для передмістя з кількістю населення 30тис. та площею 50км².

При плануванні мережі треба обрати оптимальну кількість частотних каналів у стільнику, таким чином, щоб радіус стільника відповідав вимогам стандарту, але при цьому кількість каналів має бути невеликою оскільки її збільшення підвищує вартість необхідного обладнання для побудови стільникової мережі. Для стандарту GSM-1800 радіус стільника має бути у діапазоні від 0,5 км до 10 км [1].

Розрахунок кількості частотних каналів ми будемо проводити послідовно, обравши для початку мережу з одним частотним каналом у стільнику. Ми проведемо розрахунок радіусу стільнику і згодом проаналізуємо отриманий результат. Якщо отриманий нами радіус стільника попаде у заданий діапазон для обраного стандарту, то буде далі буде проектуватись мережа з одним

частотним каналом. Якщо ж результат не попаде, то далі буде розглядатись мережа з двома частотними каналами і так далі, поки не буде знайдено оптимальний варіат.

Число каналів трафіку у стільнику стандарту GSM-1800 задається таблицею 2.1 [1].

Таблиця 2.1 – Визначення кількості каналів трафіку у стільнику GSM-1800.

Кількість частотних каналів	1	2	3	4	5
Кількість фізичних каналів	8	16	24	32	40
Використовують під канали управління	1	2	2	3	3-4
Кількість каналів трафіку	7	14	22	29	36-37

Ми розглядаємо модель стільникової мережі як системи масового обслуговування з відмовами, тому після вибору кількості каналів за таблицею 2.1 ми порахуємо трафік на основі формули Ерланга. Потік дзвінків вважається найпростішим, ймовірність відмові не перевищує 2%.

Розрахуємо параметри стільника з використанням одного частотного каналу. Як бачимо з табл. 2.1, в такому разі ми маємо 7 каналів трафіку у стільнику. Отримаємо максимально допустимий трафік у стільнику, згідно з таблиці формули Ерланга для системи з відмовами [7]:

$$A_{max}^{(1)} = 2,935 \text{ Ерл}, \quad (2.1)$$

Далі трафік буде вимірюватись у Ерлангах, індекс у дужках зверху буде означати кількість частотних каналів у стільнику.

У час-пік середній трафік на одного абонента оцінюється [1] як

$$A_1 = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ Ерл}. \quad (2.2)$$

Розрахуємо кількість абонентів в одному стільнику

$$N_1^{(1)} = \left[\frac{A_{\max}^{(1)}}{A_1} \right] = 117 \quad (2.3)$$

Відповідно, кількість стільників дорівнює

$$N_{\text{ст}}^{(1)} = \left[\frac{N}{N_1^{(1)}} \right] = 256 \quad (2.4)$$

Тут $N = 3 \cdot 10^4$ – кількість населення у передмісті. Відповідно, площа одного стільника дорівнює

$$S_1^{(1)} = \frac{S}{N_{\text{ст}}^{(1)}} = 0,196 \text{ км}^2, \quad (2.5)$$

де $S = 50 \text{ км}^2$ – площа передмістя.

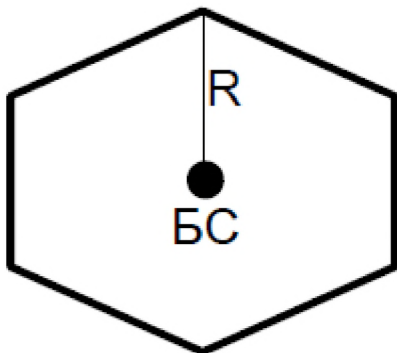


Рисунок 2.1 – Стільник як правильний шестикутник

Оскільки ми розглядаємо ідеальний випадок, де форма кожного стільнику буде розглядатись як форма правильного шестикутника, в центрі якого

розташована вишка з БС, то правильного шестикутника – це радіус кола, яке описане навколо шестикутника, див рис. 2.1.

Як відомо, площа правильного шестикутника $S_{ш}$ та його радіус R пов'язані співвідношенням

$$S_{ш} = \frac{3\sqrt{3}}{2} R^2 \quad (2.6)$$

На основі формул (2.5) та (2.6) маємо, що для одного частотного каналу у стільнику

$$R_1^{(1)} = \sqrt{\frac{2S_{cr}^{(1)}}{3\sqrt{3}}} = 0,274 \text{ км.} \quad (2.7)$$

Отриманий нами результат менший за нижню границю радіусу стільнику для стандарту GSM-1800, тому не вдасться побудувати мережу з одним частотним каналом і у стільнику. Зараз тоді проведемо аналогічний розрахунок для випадку, де два частотних канали у стільнику, у такому випадку матимемо 14 каналів трафіку у стільнику, відповідно згідно протабульованих даних для формули Ерланга для СМО з відмовами [7] маємо для ймовірності відмови 2%

$$A_{\max}^{(2)} = 8,2 \text{ Ерл.} \quad (2.8)$$

На основі формули (2.2) маємо

$$N_1^{(2)} = \left[\frac{A_{\max}^{(2)}}{A_1} \right] = 328 \quad (2.9)$$

Відповідно, кількість стільників дорівнює

$$N_{\text{ст}}^{(2)} = \left[\frac{N}{N_1^{(2)}} \right] = 91 \quad (2.10)$$

площа одного стільника дорівнює

$$S_1^{(2)} = \frac{S}{N_{\text{ст}}^{(2)}} = 0,547 \text{ км}^2 \quad (2.11)$$

та відповідний радіус стільника

$$R_1^{(2)} = \sqrt{\frac{2 S_1^{(2)}}{3\sqrt{3}}} = 0,459 \text{ км.} \quad (2.12)$$

Дане значення так само менше за допустиме для стандарту GSM-1800, тому два частотних канали в стільнику також замало. Проведемо відповідний розрахунок для трьох частотних каналів у стільнику. Згідно таблиці 2.1 у такому випадку матимемо 22 каналів трафіку у стільнику, відповідно згідно протабульованих даних для формули Ерланга для СМО з відмовами [7] маємо для ймовірності відмови 2%

$$A_{\max}^{(3)} = 14,9 \text{ Ерл.} \quad (2.13)$$

На основі формули (2.2) маємо

$$N_1^{(3)} = \left[\frac{A_{\max}^{(3)}}{A_1} \right] = 596 \quad (2.14)$$

Відповідно, кількість стільників дорівнює

$$N_{\text{ст}}^{(3)} = \left[\frac{N}{N_1^{(3)}} \right] = 50 \quad (2.15)$$

площа одного стільника дорівнює

$$S_1^{(3)} = \frac{S}{N_{\text{ст}}^{(3)}} = 0,993 \text{ км}^2 \quad (2.16)$$

та відповідний радіус стільника

$$R_1^{(3)} = \sqrt{\frac{2S_1^{(3)}}{3\sqrt{3}}} = 0,618 \text{ км.} \quad (2.17)$$

Дане значення входить до діапазону допустимого радіусу стільника, тому наша мережа буде складатись із стільників з трьома частотними каналами. Для наочності занесемо усі отримані результати розрахунку до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 Результати розрахунку геометричних параметрів стільника

Число частотних каналів у стільнику	1	2	3
Кількість каналів трафіку у стільнику	7	14	22
Максимально допустимий трафік у стільнику, Ерл	2,935	8,2	14,9

Кількість абонентів у стільнику	117	328	596
Кількість стільників	256	91	50
Площа одного стільника, км ²	0,196	0,5467	0,9933
Радіус стільника, км	0,274	0,459	0,618

Отже, за результатами приведених у таблиці вище, далі буде для нас найоптимальнішим варіантом мережа із трьома частотними каналами та радіусом стільника 0,618км. Оскільки при даному варіанті радіус стільника входить до допустимого діапазону стандарту GSM-1800, а також це є найекономніший варіант проектування мережі. Щоб уникнути перешкоді для корисних сигналів на границях стільників, нам потрібно буде використовувати кластери, щоб стільники з сусідніми частотами не були поруч. У випадку трьохсекторних стільників широко застосовуються кластери 3/9 та 4/12. Як відомо [1], кластер 3/9 зазвичай вже дає на границі стільників значення відношення сигнал/шум, що задовольняє нормам, та його технічно легше реалізувати за кластер 4/12, тож є сенс для мережі обрати кластери типу 3/9. Так як в мережі 50 стільників, то матимемо 16 кластерів по 3 стільника та один кластер, в якому два стільника. Тож мережа усього має 9 частотних каналів, по три в кожному стільнику. На кожній вищці БС мають бути розташовані три антени під кутом 120° одна до одної. Відповідна структура мережі схематично зображена на рисунку 1.4.

2.2 Розрахунок балансу потужностей

Бажана ціль цього підрозділу це доведення того, що сигнал надійду від базової станції до абонентської та навпроти, навіть за тої умови, коли абонентська станція установлена на межі стільника.

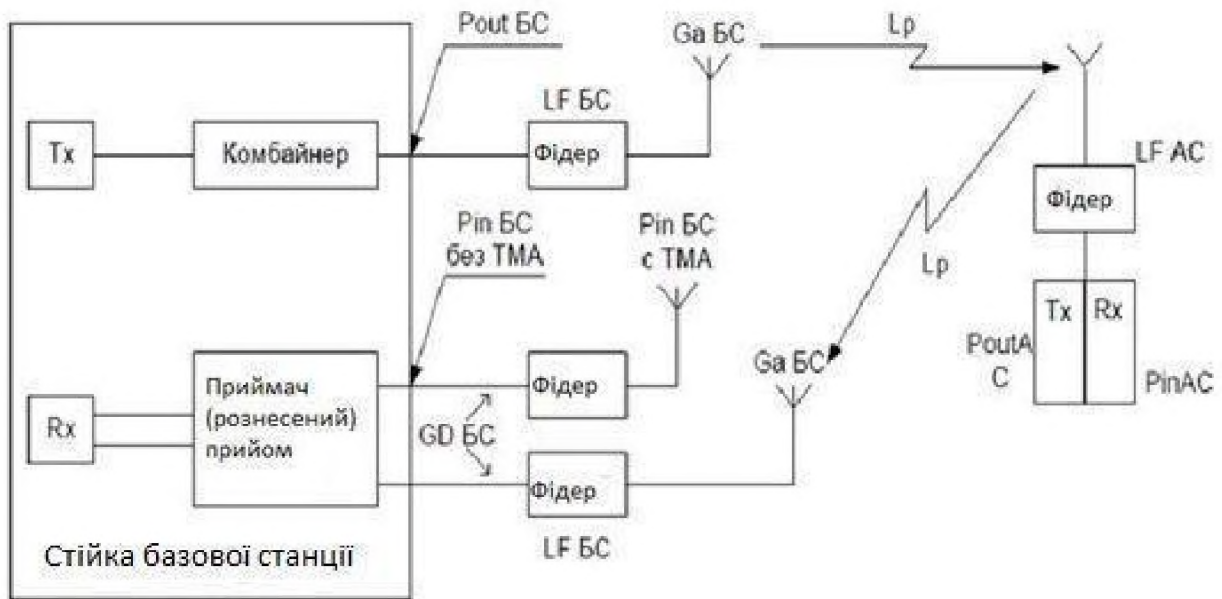


Рисунок 2.2 – Хід сигналу від базової станції до абонентської і навпаки.

Хід даних сигналів зображено вище на рисунку 2.2. Коли вказується, що сигнал прийде, мається на увазі, що потужність сигналу, який поступив, має бути обов'язково не меншою за чутливість відповідного приймача, тобто ми беремо за мінімальне значення потужності сигналу, під впливом якого приймач базової/абонентської станції має можливість визначити відповідний сигнал. Як ми дізналися з пункту [1], чутливість приймача базової станції дорівнює -106 дБм а чутливість нашого приймача абонентської станції дорівнює -104 дБм, навіть коли у рівнянні відсутній малoshумливий підсилювач. В свою чергу при умовах, коли малoshумливий підсилювач присутній - відповідна чутливість дорівнює -111 дБм.

2.2.1 Хід сигналу від базової станції до абонентської

Почнемо з оцінювання ходу сигналу від базової станції до абонентської. Потужність сигналу зростає в антенах і спадає в фідерах, комбайнері та на трасі. Для розрахунку введемо наступні величини:

$G'_{\text{БС}} \geq 1$ та $G'_{\text{СА}} \geq 1$ – коефіцієнти підсилення антен базової і абонентської станції. Ці величини вказують, у скільки разів потужність сигналу підсилюється у нашій антені;

$L'_{\text{БС}} \geq 1$ та $L'_{\text{СА}} \geq 1$ – коефіцієнти втрат в фідерах базової станції і абонентської станції. Ці величини показують нам, у скільки разів потужність падає у зазначеному фідері;

$L'_p \geq 1$ – коефіцієнт втрат на трасі – ця величина характеризує собою те, у скільки разів потужність падає на трасі проміж базовою та абонентськими станціями;

$L'_c \geq 1$ – коефіцієнт втрат у комбайнері – ця величина показує нам те, у скільки разів потужність падає в комбайнері.

Отримавши ці величини, можемо записати:

$$P'_{inAC} = P'_{outBC} \frac{G'_{aAC} G'_{aBC}}{L'_{FBC} L'_{FAC} L'_p L'_c}, \quad (2.18)$$

де P'_{inA} – потужність вхідного сигналу на вході в приймач зазначеної абонентської станції та P'_{out} – потужність сигналу на виході передавача базової станції, одиницею вимірювання потужності являються вати.

Як ми вияснили під час виконання роботи, потужність сигналу у стільникових мережах розраховується не у ватах, як вказано вище, а у децибел-міліватах, під цим впливом впливає, що формула даного перетворення має вигляд

$$P = 10 \lg \frac{P'_{inAC}}{1 \text{ мВт}}, \quad (2.19)$$

де P' – потужність у ватах, а P – така ж сама потужність, але вже виражена у децибел-міліватах. Для розрахунку поділемо обидві частини рівності (2.18) на 1 мВт, з цього ми отримаємо:

$$\frac{P'_{inAC}}{1\text{мВт}} = \frac{P'_{outBC}}{1\text{мВт}} \frac{G'_{aAC} G'_{aBC}}{L'_{FBC} L'_{FAC} L'_P L'_C}. \quad (2.20)$$

Тепер для подальшого розрахунку візьмемо десять десятинних логарифмів від обох частин рівності (2.20):

$$10\lg \frac{P'_{inAC}}{1\text{мВт}} = 10\lg \left(\frac{P'_{outBC}}{1\text{мВт}} \frac{G'_{aAC} G'_{aBC}}{L'_{FBC} L'_{FAC} L'_P L'_C} \right). \quad (2.21)$$

За відомою властивістю логарифму ми отримаємо (2.21):

$$10\lg \frac{P'_{inAC}}{1\text{мВт}} = 10\lg \lg \frac{P'_{outBC}}{1\text{мВт}} + 10\lg G'_{aBC} + 10\lg G'_{aAC} - 10\lg L'_{FBC} - 10\lg L'_C \quad (2.22)$$

Для розрахування введемо вищесказані потужності сигналів у децибел-міліватах, та відповідні коефіцієнти у децибелах:

$$\begin{aligned} P_{inAC} &= 10\lg \frac{P'_{inAC}}{1\text{мВт}}, P_{outBC} = 10\lg \frac{P'_{outBC}}{1\text{мВт}}, G_{aBC} = 10\lg G'_{aBC} \geq 0, \\ G_{aAC} &= 10\lg G'_{aAC} \geq 0, L_{FBC} = 10\lg L'_{FBC} \geq 0, L_{FAC} = 10\lg L'_{FAC} \geq 0, \\ L_P &= 10\lg L'_P \geq 0, L_C = 10\lg L'_C \geq 0, \end{aligned} \quad (2.23)$$

тепер ми маємо потужність без штриха що являє собою потужність в децибел-міліватах, відповідно яка впливає з потужності зі штрихом у ватах, в

свою чергу коефіцієнт без штриха – безрозмірний коефіцієнт зі штрихом, який в даному випадку виражений нами у децибелах. Помітимо, що якщо у системі не спостерігається відповідних втрат або підсилення, то безрозмірний коефіцієнт зі штрихом буде відповідно дорівнювати одиниці, з іншого боку відповідний коефіцієнт без штриха у децибелах буде дорівнювати нулю.

Впливаючи з пунктів (2.22) та (2.23) ми маємо

$$P_{inAC} = P_{outBC} + G_{aAC} + G_{aBC} - L_{FBC} - L_{FAC} - L_P - L_C. \quad (2.24)$$

Як ми вже вияснили з пункту [1], відповідні коефіцієнти для стандарту GSM-900 будуть дорівнювати наступним значенням:

$$L_{FBC} = 3 \text{ дБ}, L_C = 3 \text{ дБ}, G_{aBC} = 15 \text{ дБ}, G_{aAC} = 0 \text{ дБ}. \quad (2.25)$$

Зауважимо, що у випадку коли ми використовуємо у своїй роботі трьох- або чотирьохсекторних стільники, L_C вони оцінюють як 3 дБ, а у випадку, коли ми маємо у стільнику один або два частотних канали, то відповідно $L_C = 0$ дБ. Таким чином нами було доведено, що стільники у нашому прикладі мають бути трьохсекторними, впливаючи з цього ми обираємо значення $L_C = 3$ дБ. Коефіцієнт G_{aBC} в усіх джерелах літератури дорівнює відповідно від 15 до 17 дБ. Під час виконання роботи ми вияснили що метою цього підрозділа є фактичне, показання того, що сигнал точно буде доставлено до абонентської станції, то нами було обрано найменше із вище зазначених варіантів значення для коефіцієнту G_{aBC} . Так як при найменшому значенні підсилюючого коефіцієнту сигнал дійде до абонентської станції, то таким чином ми можемо бути впевненими, що при більших значень G_{aBC} сигнал точно буде доставлено. Як ми вже вияснили у пункті (2.25), зміни сигналу у антені та фідері

абонентських станцій вважаються дуже малими, а це означає, що ми для нашого розрахунку можемо даними значеннями сміливо знехтувати.

Отримання потужності сигналу передавача базової станції нами було обране як

$$P_{outBC} = 28 \text{ Вт.} \quad (2.26)$$

Зауважимо, що відповідна величина може бути більшою. Проте, якщо ми доведемо, що сигнал дійде до абонентської станції при відповідному значенні 28 Вт, то він гарантовано дійде і при більших значеннях. Відповідно, ми матимемо

$$P_{outBC} = 10 \lg \frac{P'}{\text{мВт}} = 44,5 \text{ дБм.} \quad (2.27)$$

Нам залишається лише порахувати втрати на трасі. Як ми вже дізналися з пункту [8], існує дуже багато різноманітних емпіричних моделей, які описують втрати на трасі. У нашому випадку для виконання поставленої задачі ми використовуємо модель COST-231 Hata з пункту [8], ця модель є найвідомішою для виконання подібних завдань. Відповідаючи цієї моделі, середні втрати на трасі у випадку передмістя описуються емпіричною формулою

$$L_p'' = 48,55 + 35,4 \lg F - 13,82 \lg H_{BS} - (1,1 \lg F - 0,7) H_{AS} + (44,9 - \quad (2.28)$$

де, F – частота сигналу у мегагерцах, L_p'' – коефіцієнт втрат на трасі у децибелах H_{BS} – висота базової станції у метрах, R – відстань між базовою та абонентською станціями у кілометрах, H_{AS} – висота абонентської станції у метрах. Формула, яка записана у (2.28) є емпіричною, це означає, що вона є результатом фітування великої кількості експериментальних даних. Як відомо з

пункту [8], модель Окумура–Хата застосовують, коли частоти коливаються від 150 до 1500 МГц, при той умові, коли висоти базової станції відповідно коливаються від 30 до 200 м, та для висот абонентської станції які відповідно дорівнюють від 1 до 10 м. А що стосовно відстані R , у літературі вказується, що вона знаходиться в діапазоні від 1 до 20 км. З іншого боку в інших джерелах, зокрема, у пункті [9], вказується, що дана модель використовується для відстаней які дорівнюють висоті, яка починається від 0,1 км. У даній задачі ми для її вирішення також використовуємо відстань, яка відповідно починається з висоти, яка дорівнює 0,1 км. Також з попередніх пунктів, нами було доведено, що сигнал базової станції гарантовано буде доставлено до абонентської станції, при тій умові, якщо відстань між абонентською та базовою станціями є меншою за 0,1 км.

Відповідно нами було використано наступні значення:

$$F = 1880 \text{ МГц}, H_{\text{BC}} = 30 \text{ м}, H_{\text{AC}} = 1,5 \text{ м}. \quad (2.29)$$

Як вже нам відомо, діапазон частот сигналів, які доставляються від базової станції до абонентської станції дорівнює від 1805 до 1880 МГц, відповідно для виконання проекту нами було обране таке значення, при якому втрати будуть найбільшими. Оскільки у передмісті немає забудови, яка класифікується як висотна, то немає сенсу у встановленні високої вишки, тож нами було обране мінімальне значення висоти базової станції, яке тільки можливе і яке дорівнює 30 м. Оскільки абонентськими станціями по факту є мобільні пристрої, які мають можливість приєднатися до мережі, тому нами була обрана висота абонентської станції яка дорівнює середньому зросту середньостатистичної людини з урахуванням того факту, що людина може знаходитися на висоті, яка нижче за її зріст тому відповідно висота абонентської станції має бути нижчою за зріст середньостатистичної людини. Також зауважимо, що обрана висота абонентської станції, яка дорівнює 1,5 м. є стандартним у багатьох джерелах літератури.

Далі за допомогою пакету програмного забезпечення Mathcad 14 було побудовано графік втрат на трасі в залежності відстані між базовою станцією та абонентською при параметрах, які нами були вказані у формулі (2.29). Також очевидно, що зі збільшенням відстані між базовою та абонентською станцією - втрати ростуть. Таким чином ми вияснили, що найбільші втрати у стільнику будуть відповідно на межі стільника.

Відомо, що модель COST 231 Hata можливо застосувати для відстані від базової до абонентської станцій від 1 км до 20 км [7]. Радіус стільнику у даному проекті дорівнює 0,618 км, але якщо ми доведемо, що для відстані $R=1$ км буде виконуватись баланс потужностей, то і для відстані у 0,618 км він теж виконається, і доцільно взяти значення

$$R = 1 \text{ км.} \quad (2.30)$$

Якщо сигнал дійде до абонентської станції на межі стільника, то він гарантовано дійде і до абонентської станції всередині стільника. Тому достатньо буде розрахувати баланс потужностей лише на межі стільника, і нам цих даних буде достатньо.

Тоді на основі формул (2.28) – (2.30) отримаємо значення

$$L_p'' = 138,819 \text{ дБ} \quad (2.31)$$

Формула (2.30) дозволяє нам розрахувати середні втрати на трасі. Як вже відомо, при врахуванні деяких статистичних особливостей передачі сигналів від базової до абонентської станції призводить до збільшення оцінювальної величини коефіцієнту втрат на трасі приблизно на 5,6 дБ, а відповідно врахування втратах у будівлях призводить до збільшення втрат ще зверху на 12 дБ. Тож підводячи підсумки ми маємо коефіцієнт втрат на трасі, які дорівнюють:

$$L_p = L_p'' + 12 + 5,6 \text{ дБ} = 156,419 \text{ дБ} \quad (2.32)$$

Також зауважимо, що вищевказані значення, які дорівнюють 5,6 дБ та 12 дБ відповідно - використовують зазвичай для середніх міст. У випадку, коли значення використанні для моделі передмістя - відповідні втрати, будуть меншими відмінно від втрат у місті. Також якщо при доведенні, що сигнал дійде до абонентської станції на межі стільника навіть у випадку, коли втрати завищені, то він обов'язково буде доставлено і при реальній моделі з реальними втратами, тому, з цього випливає, що використання даних значень може бути застосовано і на практиці.

На основі формул (2.24), (2.25), (2.27) та (2.32) ми отримаємо, що

$$P_{inAC} = -101,947 \text{ дБм}. \quad (2.33)$$

З цього випливає, що це, значення очевидно є більшим за чутливість приймача абонентської станції, яка нами вже була порахована і яка дорівнює -104 дБм, тож таким чином ми довели, що сигнал буде доставлено до абонентської станції у будь-якому випадку.

2.2.2 Хід сигналу від абонентської станції до базової

Аналогічно формулі (2.18) зазначимо:

$$P'_{inBC} = P'_{outAC} \frac{G'_{aAC} G'_{aBC} G'_{dBC}}{L'_{fBC} L'_{fAC} L'_{p'c}}, \quad (2.34)$$

де P'_{inBC} – потужність на вході у приймач базової станції, $G'_{dBC} \geq 1$ – коефіцієнт посилення, що відповідає що у стільки разів можна виграти у потужності за рахунок рознесеного прийому, та P'_{OutA} – потужність на виході передавача

базової станції. Усі інші значенні та їх фізичний зміст зазначено у формулі (2.34) яка описано вище.

Провівши розрахунки, які аналогічні вищенаведеним, отримаємо

$$P_{inBC} = P_{outAC} + G_{aAC} + G_{aBC} + G_{dBС} - L_{FBC} - L_{FAC} - L_P - L_C, \quad (2.35)$$

де

$$P_{inBC} = 10lg \frac{P'_{inBC}}{1\text{МВт}}, P_{outAC} = 10lg \frac{P'_{outAC}}{1\text{МВт}}, G_{dBС} = 10lg \frac{G'_{dBС}}{1\text{МВт}}, \quad (2.36)$$

всі інші величини у формулі (2.35) було описано вищезазначеному пункті. При розрахунку були обрані стандартні в літературі чисельні значення, які відповідно дорівнюють:

$$L_{FBC} = 2 \text{ дБ}, G_{dBС} = 3 \text{ дБ}, G_{aBC} = 15 \text{ дБ}, G_{aAC} = L_{FAC} = 0 \text{ дБ}, \quad (2.37)$$

описання яких, співпадає з відповідним описанням у попередньому підрозділі. Як нами вже було доведено - середня вихідна потужність передавача абонентської станції дорівнює:

$$P'_{out} = 1 \text{ МВт}, \quad (2.38)$$

відповідно,

$$P_{out} = \frac{10lg P'_{out}}{1\text{МВт}} = 30 \text{ дБ}. \quad (2.39)$$

Розрахунок втрат на трасі являє собою аналогічний розрахунок з попереднього підрозділу, проте потрібно врахувати, що діапазон частот передачі сигналів від

абонентської станції до базової в даній ситуації знаходиться у діапазоні від 1710 до 1785 МГц. Найбільші втрати будуть при 1785 МГц, тож беремо значення:

$$F = 1785 \text{ МГц}, \quad (2.40)$$

А всі інші параметри у формулі (2.28) не було змінено з попереднього підрозділу. Таким чином аналогічний розрахунок приводить нас до таких значень

$$L_p'' = 138,066 \text{ Дб}, \quad L_p = 155,666 \text{ дБ}. \quad (2.41)$$

В результаті цього на основі формул (2.35), (2.37), (2.39) та (2.41) ми отримаємо, що

$$P_{inBC} = -109,666 \text{ дБм}. \quad (2.42)$$

Як ми вже знаємо з попереднього пункту це значення буде більше за чутливість приймача базової станції, коли мал шумливий підсилювача в наявності (-111 дБм). Тому таким чином нами було доведено, що сигнал буде доставлено від абонентської станції до базової навіть у тому випадку, коли абонентська станція знаходиться на межі стільника.

За метою підрозділу 2.2 ми мали довести, що сигнал у будь-якому разі дійде від базової станції до абонентської та від абонентської до базової. Це було доведено у пунктах вище і навіть у випадку завідомо занижених вихідних сигналів приймачів та навпаки - завідомо завищених втрат. Тож на практиці сигнал від базової до абонентської станції - обов'язково буде доставлено.

2.3 Розрахунок електропостачання базової станції

За метою даного підрозділу ми маємо розрахувати максимальний час автономної роботи базової станції від акумуляторних батарей. При виконанні завдання нам пропонується використовувати свинцево-кислотні батареї. Але ми можемо знехтувати цілим рядом недоліків цієї батареї, оскільки вони з іншого боку є дешевим аналогом інших батарей, та порівняно з іншими варіантами вони є набагато легшими при виробництві, з цього випливає що дійсно в даному проекті є сенс у їх використанні, оскільки вони являються оптимальним варіантом.

Як правило у документації з джерел літератури, які спеціалізовані на джерелах безперебійного живлення також відомими як ДБЖ, вказується повна потужність обраної батареї. Як вже нам відомо, активна потужність будь-якої батареї може бути виражена як:

$$P = PF \cdot S , \quad (2.43)$$

де відповідно P – активна потужність, S – повна потужність та PF – коефіцієнт потужності, який може відповідно приймає значення від нуля до одного. Як ми вже вияснили з літератури - коефіцієнт потужності є задовільним, якщо його значення набуває 0,65 або більше. Під час виконання даного проекту ми використаємо значення, яке чисельно дорівнює:

$$PF = 0,7 . \quad (2.44)$$

Тож в контексті використання мереж стандарту GSM максимальна споживана активна потужність, яка може набути значення, яке буде дорівнювати 60 Вт. Крім того, ми одразу розрахували максимальну споживану потужність охоронно-пожежної сигналізації, яка відповідно літературі буде дорівнювати 900 Вт. і зокрема ми маємо максимальну споживану потужність системи

управління мікрокліматом, яка відповідно дорівнює 3000 Вт згідно пункту [10].
Тоді з цього випливає, що сумарна максимальна потужність дорівнює

$$P_{\text{опс}} = 900 \text{ Вт}, P_{\text{сум}} = 3000 \text{ Вт}, P = 3960 \text{ Вт}, \quad (2.45)$$

відповідно наша повна потужність буде дорівнювати

$$S = \frac{P}{PF} \approx 5,657 \text{ кВт}. \quad (2.46)$$

Відповідно, час автономної роботи батареї оцінюється формулою за формулою, яка описана у пункті [10]:

$$t = \frac{60 \cdot E \cdot U}{S}, \quad (2.47)$$

де t – максимальний час автономної роботи батареї, яка оцінюється у хвилинах; E – ємність однієї батареї у ампер-годинах, U – сумарна напруга усіх батарей в джерелі безперебійного живлення, яка рахується у вольтах, S – повна потужність у ватах. В нашому проекті використовується чотири батареї у джерелі, відповідно напруга кожної з батарей дорівнює 6 В згідно з пунктом [10] як правило напруга батареї дорівнює 6 або 12 В, відповідно ємність однієї батареї дорівнює 746 А·год згідно пункта [10] ємність в свою чергу оцінюється від декількох сотень до декількох тисяч ампер-годин. Відповідно,

$$U = 6 \cdot 4 = 24 \text{ В}, E = 746 \text{ А·год}, \quad (2.48)$$

за формулами (2.46)–(2.48) ми маємо, що:

$$t \approx 189,846 \text{ хв.} \quad (2.49)$$

З цього випливає, що максимальний час автономної роботи базової станції від джерела безперебійного живлення дорівнює три години и девять хвилин.

2.4 Розрахунок надійності мережі

Як нам вже відомо, головними параметрами безвідмовності систем згідно пункту [11] є такі параметри як: інтенсивність відмов системи, напрацювання на відмову системи та ймовірність безвідмовної роботи.

В свою чергу інтенсивність відмови одного елемента системи – це ймовірність того, що система відмовить в певний проміжок часу. Якщо T_p – середній час безвідмовної роботи деякого елемента, коли він безперебійно працює то інтенсивність його відмови буде обчислюватися за формулою і буде дорівнювати:

$$\lambda = \frac{1}{T_p} \quad (2.50)$$

Середній час безвідмовної роботи мультиплексора та відповідно її базової станції і контролера оцінюються відповідно пункту [10] за формулою:

$$T_p^{BC} = 3,5 \cdot 10^4 \text{ год,} \quad T_p^{MUX} = 5,2 \cdot 10^4 \text{ год,} \quad T_p^C = 5,5 \cdot 10^4 \text{ год,} \quad (2.51)$$

де T_p^{BC} – середній час безвідмовної роботи базової станції без перебоїв, T_p^{MUX} – середній час безвідмовної роботи мультиплексора та T_p^C – середній час безвідмовної роботи контролера. Пов'язані з ними інтенсивності обчислюються за формулою (2.50):

$$\lambda_{BC} \approx 2,857 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}, \quad \lambda_{MUX} \approx 1,923 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}, \quad \lambda_C \approx 1,818 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}. \quad (2.52)$$

Вважається, що, очевидно одразу два або більше елемента фізично не можуть одночасно вийти з ладу, оскільки вихід з ладу одного елемента системи відповідно призводить до зупинки діяльності всієї системи. Так як ми вже вияснили, що два і більше елемента водночас з ладу вийти не можуть, то звідси витікає, що ймовірність поломки системи та вихід її з ладу в одиницю часу дорівнює сумі ймовірностей виходу елементів з ладу в одиницю часу згідно до закон додавання ймовірностей для несумісних подій маємо таке рівняння:

$$\lambda_s = \lambda_{BC} + \lambda_{MUX} + \lambda_C \approx 6,598 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}, \quad (2.53)$$

де λ_s – інтенсивність відмов системи в одиницю часу. Відповідно, середній час безвідмовної роботи системи дорівнює:

$$T_p^S = \frac{1}{\lambda_s} \approx 631,466 \text{ діб}. \quad (2.54)$$

Це означає, що середній час безвідмовної роботи системи дорівнює 1,7 років. Як відомо з пункту [12], нормальний середній час безвідмовної роботи системи базової станції повинний бути не менше ніж 350 діб. З цього випливає,

що, отриманий нами час експлуатації системи цілком і повністю підходить до стандартних вимог вимог.

Ймовірність безвідмовної роботи $P(T)$ - це значення, яке характеризує ймовірність того, що за плинном часу $t \in [0, T]$ система буде працювати безвідмовно. Очевидно, що

$$P(0) = 1, \quad \lim_{T \rightarrow \infty} P(T) = 0. \quad (2.55)$$

З нашого аналізу випливає, що $P(T)$ – монотонно спадаюча функція. Як відомо з пункту [13], інтенсивність відмови системи не змінюється з плинном часом, тому маємо що:

$$P(T) = e^{-\lambda_s T}, \quad (2.56)$$

тобто функція $P(T)$ є експоненційно спадаючою. В нашому проекті було взято за основу саме такий випадок. Як нам вже відомо з пункту [10], час випробування як правило обирають як 24, 720, 2172, або 8760 год. Згідно з формул (2.56) та (2.53) які вказано вище, отже ми маємо

$$\begin{aligned} P(24 \text{ год}) &= 0,998 & P(720 \text{ год}) &= 0,954 \\ P(2172 \text{ год}) &= 0,866 & P(8760 \text{ год}) &= 0,561 \end{aligned} \quad (2.57)$$

Як нам вже стало відомо під час виконання проекту, одними з найважливіших параметрів ремонтпридатності є усереднений час відновлення системи, коефіцієнт готовності та коефіцієнт простою згідно з пунктом [11].

Коефіцієнт готовності – це ймовірність того, що система буде працездатна у будь-якому проміжку часу під час виконання профілактичних робіт або ремонту.

Коефіцієнт готовності обчислюють за формулою, вказаною у пункті [10]

$$K_{\Gamma} = \frac{T_{\text{сп}}^S}{T_{\text{вр}}^S + T^S}, \quad (2.58)$$

де $T_{\text{п}}^S$ – напрацювання на відмову системи та $T_{\text{в}}^S$ – середній час відновлення системи, який у пункті [10] оцінюється як

$$T_{\text{в}}^S = 10 \text{ год.} \quad (2.59)$$

Згідно з цього ми за формулами (2.54), (2.58), (2.59) обчислимо коефіцієнт готовності системи:

$$K_{\Gamma} \approx 0,99934 \quad (2.60)$$

За нормами, які вказані у пункті [12] коефіцієнт готовності системи має бути не менший за 0,99. Тож з цього випливає, що порахований нами коефіцієнт готовності відповідає всім потребам.

Коефіцієнт простою обчислює всі можливі простої апаратури, які були викликані технічним обслуговуванням, але з іншого боку він не враховує облік простоїв з організаційних причин. Відповідно коефіцієнт простою обчислюється за формулою, яка вказана в пункті [10]

$$K_{\Pi} = 1 - K_{\Gamma} \approx 6,594 \cdot 10^{-4} \quad (2.61)$$

Для ясності перенесемо результати наших розрахунів у табл. 2.3:

Таблиця 2.3 Результати розрахунку надійності системи.

Інтенсивність відмов системи, год ⁻¹	$6,598 \cdot 10^{-5}$
Напрацювання на відмову системи, діб	631,466
Ймовірність безвідмовної роботи системи впродовж 24 годин	0,998
Ймовірність безвідмовної роботи системи впродовж 720 годин	0,954
Ймовірність безвідмовної роботи системи впродовж 2172 годин	0,866
Ймовірність безвідмовної роботи системи впродовж 8760 годин	0,561
Коефіцієнт готовності	0,99934
Коефіцієнт простою	$6,594 \cdot 10^{-4}$

З цього випливає систему можна вважати надійною, оскільки під час виконання цього підрозділу нами було розраховано параметри надійності системи та показано, що вони відповідно відповідають всім вказаним у літературі потребам.

2.5 Висновки

В даному розділі ми вирішили ряд поставлених у підрозділі 1.2 задач.

Під час нашої роботи була розглянена стільникова мережа стандарту GSM-1800 у передмісті з населенням 30 тис. людей та площею в 50 км², при цьому за модель була взята найпростіша модель, де всі стільники вважаються ідентичними, ідеально правильними шестикутниками, а в центрі кожного стільника розташована виключно лише одна базова станція.

Було визначено, що для вирішення поставленої задачі - необхідно використати систему трьох частотних каналів у стільнику, також одразу було зазначено, що мережа складається з кластерів типу 3/9. Відповідно за умовами радіус одного стільника має дорівнювати 0,618 км. Також наша мережа має складатися з 50 стільників: 16 кластерів по три стільники та відповідно один кластер з двома стільниками. Під час розрахування мережа представляла собою систему масового обслуговування з відмовами та потік вхідних заявок був найпростішим з усіх можливих варіантів мережі, що дало нам можливість використовувати формулу Ерланга. Під кінець розрахунку, ми вияснили, що максимально допустима ймовірність відмови у час-пік дорівнявала 2%.

Також нами був розрахований відповідний баланс потужностей мережі, для оцінки втрат на трасі було використано емпірична модель Окумура-Хата, а для оцінки втрат та підсилювань мережі у пристроях та рівнів вихідних сигналів передавачів використовувались стандартні у джерелах літератури оцінки. Нами було доведено та показано, що потужність сигналу, який буде відправлено від базової станції до приймача абонентської станції є не нижчою за $-101,947$ дБм, та оскільки дане значення перевищує чутливість приймача абонентської станції, яка відповідно дорівнювала -104 дБм. Тобто таким чином ми довели, що сигнал дійде від базової до абонентської станції навіть якщо абонентська станція знаходиться на межі стільника, оскільки сигнал відповідає потребам, і набув достатнього значення потужності. Стосовно сигналу, який навпаки доставляється від абонентської станції до базової, то було наочно показано, що його потужність на вході у приймач базової станції є не нижчою за $-109,666$ дБм. відповідно. Це значення перевищує чутливість приймача базової станції, дорівнює -111 дБм при наявності мало шумливого підсилювача. Це, очевидно означає, що сигнал - достатньої потужності і обов'язково дійде від абонентської станції до базової навіть за той умови, коли абонентська станція знаходиться на межі стільника.

Для виконання подальшого завдання нам було запропоновано у якості батареї у джерелі безперебійного живлення використовувати свинцево-кислотні батареї так як вони по-перше дешеві при виробництві, і по-друге їх легше виготовляти на відміну від аналогів. Нами було розраховано, що час автономної роботи базової станції від ДБЖ є трохи більшим за три години, що нас у рамках цього проекту - влаштовує.

Під кінець пункту, нами було обчислено параметри надійності системи. Також було пораховано, що напрацювання системи на відмову становить більше ніж 1,7 років, що набагато довше, за норми, які вказані у літературі а коефіцієнт готовності системи відповідно дорівнює 0,99934. Обидва ці значення повністю задовольняють нормам. З цього приводу спираючись на результати, які ми отримали під час виконання розрахунків, ми можемо вважати нашу систему - надійною.

3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Техніко-економічне обґрунтування

Зя для вирішення нашого завдання з передмістям - стільникова мережа GSM-900 є найвигіднішим варіантом з усіх можливих, так як вона проста у виготовленні та дешева, якщо порівнювати її з аналогами і так як, очевидно в передмісті відсутні високі будівлі, які можуть заважати сигналу, вона може покрити всю зону без великих витрат.

3.2 Вибір обладнання

Базова станція Huawei DBS3900 може працювати одночасно в двох різних режимах, такі як: режим GSM та режим UMTS. Ця базова станція працює за допомогою IP транспорту, що є дуже важливою характеристикою для базової станції. Так само DBS3900 підтримує можливість працювати обладнання через мережу 4-го покоління, LTE.

Базова станція DBS3900 складається з трьох частин:

- 1 BBU– це основна частина БС, яка обробляє поступаючу інформацію
- 2 RRU– це передавачі TRx.
- 3 Антена (штиррова всенаправлена).

Контролер базових станцій є одним з найважливіших елементів мережі стільникового зв'язку GSM і UMTS. Один 69-ий контролер може працювати в цілих трьох режимах, такі як: GSM, як UMTS, як GSM / UMTS і може обслуговувати до 7-8 БС.

Мобільний центр комутації MSC для мережі GSM-R - важливе рішення як для компанії Huawei, так і для мереж мобільного зв'язку GSM-R. Він містить MSC-сервер і медіашлюзи MGW, які підтримують стандартні інтерфейси і всі послуги, які працюють у специфікаціях EIRENE (European integrated railway radio enhanced network). Основною перевагою цього мобільного центру -

являється те, що він може взаємодіяти з пристроями інших виробників, наприклад, з центром диспетчеризації.

Маршрутизатори Quidway серії AR 46 – це високопродуктивні маршрутизатори для телекомунікаційних провайдерів і мереж підприємств. Також, як відомо, ці маршрутизатори можуть виконувати декілька задач, і працювати як магістральні маршрутизатори або високопродуктивні маршрутизатори в мережах підприємств.

У маршрутизаторах Quidway AR 46 використовуються швидкодійний мікропроцесор PowerPC і універсальна платформа маршрутизації (VRP). Дані маршрутизатори дозволяють користувачам мережі мати доступ до різних протоколів канального рівня. Ці маршрутизатори також мають змогу підтримувати багатоадресну маршрутизацію, різноманітні типи VPN (включаючи VPN L2TP, GRE, IPSec і MPLS), передачу голосу і послуги DDR.

GSM шлюз ATEUS EASYGATE FAX. Порт FXS Прийом і передача аналогових факсимільних повідомлень GPRS-сервіс Режим передачі даних, прийом і посилка SMS Функція FSK Підключення зовнішнього пристрою.

3.3 Капітальні витрати

Витрати на установку та підтримання працездатності стільникової мережі зазначено у таблиці 3.1:

Таблиця 3.1 – Витрати на устаткування

Назва устаткування	Кількість одиниць	Вартість грн.	Загальна вартість
Базова станція (повний комплект)	50	7546	377300
Маршрутизатор	1	1345	1345
GSM шлюз	10	1789	17890
Мобільний центр комутації MSC	5	8307	41535

Контролер базових станцій	1	9476	9476
Всього			447546

Витрати на установку вишок базової станції на місцевості наведено в таблиці 3.2:

Таблиця 3.2 – Витрати на монтаж

Посада	Кіл-сть чоловік	Ставка грн/год	Кіл-сть годин	Зар. плата	Соц. відрахування 36,5%
Прораб	4	40	90	14400	5256
Інженер	2	63	90	11340	4139
Різноробочий	20	24	90	43200	15768
Водій будівельної техніки	5	34	40	6800	2482
Кранівник	2	39	38	2964	1081
Сума	33			78704	14526
Всього				93230	

Капітальні витрати розраховуємо за формулою 3.1:

$$K = K_{yc} + K_{mp} + K_{mn} , \quad (3.1)$$

де K_{yc} – вартість устаткування базової станції, грн.; K_{mp} – транспортні витрати, грн.; K_{mn} – витрати на установку, грн.

$$K = 447546 + 22377 + 93230 = 563153 \text{ грн.} \quad (3.2)$$

Таблиця 3.3 – Капітальні витрати

Назва витрат	Вартість, грн
Вартість устаткування	447546
Транспортні витрати (5% від вартості устаткування)	22377
Витрати на монтаж	93230
Всього	563153

3.4 Експлуатаційні витрати

Експлуатаційні витрати – це витрати, які йдуть на експлуатацію та обслуговування базової станції за рік. Загальна сума витрат при експлоатації розраховується за формулою 3.2:

$$Z = C_a + C_z + C_c + C_{el} + C_{in} + C_m, \quad (3.3)$$

де C_a – амортизаційні відрахування; C_z – заробітна плата персоналу, яка працює при встановленні базової станції; C_c – соціальні відрахування; C_m – витрати на технічне обслуговування; C_{el} – вартість електроенергії, яка потребує базова станція; C_{in} - інші витрати.

Оскільки, виходячи з наших розрахунків - даний вид обладнання входить до другої амортизаційної групи, термін експлуатації якого складає близько 5 років. Розрахуємо прямолінійним методом:

$$C_a = \frac{447546}{5} = 89509 \text{ грн./рік} \quad (3.4)$$

Перелік необхідного персоналу, який потрібен для обслуговування стільникової мережі приведено в таблиці 3.4:

Таблиця 3.4 – Заробітна плата персоналу за місяць

Посада	Кількість чоловік	Середня зарплатня грн	Всього зарплатня грн
Інженер	5	13100	65500
Монтер	2	9305	18610
Оператор	10	7300	73000
Всього	17		157110

Розраховуємо заробітну плату персоналу за рік:

$$C_z = 157110 \times 12 = 1885320 \text{ грн.} \quad (3.5)$$

Відрахування на соціальні заходи складають 36,5% від заробітної плати на рік:

$$C_c = 1885320 \times 0.365 = 688141 \text{ грн.} \quad (3.6)$$

Витрати на технічне обслуговування даного виду техніки складають 1% на рік:

$$C_T = 447546 \times 0.01 = 4475 \text{ грн.} \quad (3.7)$$

Вартість електроенергії, що споживає стільникова мережа за рік:

$$C_{елек} = WBN \times 8760, \quad (3.8)$$

де W – споживана потужність устаткування (1кВт/год.); B – вартість одного кВт енергії (1,68 грн.); N – кількість одиниць устаткування.

$$C_{елек} = 1 \times 8 \times 1.68 \times 8760 = 117734 \text{ грн.} \quad (3.9)$$

Інші витрати на установку, обслуговування стальникової мережі складають 4% від річної заробітної плати робітників:

$$C_{інш} = 1885320 \times 0.04 = 75413 \text{ грн.} \quad (3.10)$$

Відповідно з цього ми після наших розрахунків маємо, що розрахована вище сума експлуатаційних витрат за рік буде складати:

$$Z = 88600 + 1885320 + 688141 + 4430 + 117734 + 75413 = 2859638 \text{ грн.} \quad (3.11)$$

Експлуатаційні витрати за рік наведено в табл. 3.5

Таблиця 3.5 – Експлуатаційні витрати

Стаття затрат	Сума затрат, тис. грн.
Амортизація	89509
Заробітна плата	1885320
Соціальні відрахування	688141
Витрати на технічне обслуговування	4475
Вартість електроенергії	117734
Інші витрати	75413
Всього	2859638

3.5 Висновки

Під час виконання данного економічного розділу нашого проекту ми успішно розрахували капітальні витрати на побудову мережі зв'язку, вони в нашому випадку складають 563153 грн. Крім того, нами було розраховано експлуатаційні витрати на обслуговування стільникової мережі за рік. Ці витрати згідно з нашими розрахунками складають 2859638 грн.

ВИСНОВКИ

Виконаний нами проект був присвячений плануванню, та розрахунку стільникової мережі стандарту GSM-1800 у спрощеній моделі, оскільки за умовами ми деякими показниками знехтували. Модель, що розглянута нами є ідеалізованою, так як усі приведені стільники – однакові правильні шестикутники, у кожному стільнику лише одна базова станція, яка знаходиться в геометричному центрі стільника. З іншого боку зауважимо, що дана модель може бути успішно застосовна для планування мереж у передмісті. Під час виконання проекту, була розглянута відповідна мережа для передмістя з населенням 30 тис. людей та площею 50 км².

Для опису нашої мережі нами було обрано відповідну модель системи масового обслуговування з відмовами, за умовами - максимально допустима вірогідність відмови у час-пік взялась рівно у 2%. Вхідний потік заявок вважався за найпростіший із можливих, що дало нам змогу використовувати формулу Ерланга. Нами бу доведено, що у мережі мають бути використані трьохсекторні стільники, також, що мережа має складатися з кластерів типу 3/9. Відповідний радіус стільника повинний дорівнювати по стандарту 0,618 км, система має містити 50 стільників: 16 кластерів з трьома стільниками та один кластер з двома стільниками.

Далі під час виконання проекту нами був розрахований баланс потужностей мережі. Для оцінки втрат на трасі використовувалась модель Окумура–Хата тому що розрахунки базувались на відповідній емпіричній формулі для наявності. Підсилення та втрати у пристроях, рівні вихідних сигналів передавачів оцінювались прийнятими у джерелах літератури чисельними значеннями. Нами було доведено, що потужність сигналу, який буде доставлено від базової станції до приймача абонентської станції є не нижчим за – 101,947 дБм, та потужність сигналу, який буде доставлено від абонентської станції до приймача базової станції відповідно не є нижчим за

– 109,666 дБм. Дані значення перевищують чутливість приймача відповідно абонентської та базової станцій, тож це означає, що сигнал достатньої потужності гарантовано дійде від абонентської станції до базової та навпаки навіть якщо абонентська станція знаходиться відповідно на межі стільника.

Для виконання проекту у якості батарей у джерелах безперебійного живлення нам згідно до завдання було запропоновано використовувати свинцево-кислотні батареї тому що вони прості для виготовлення та дешеві у порівнянні з їх аналогами. Під час роботи, нами було доведено, що час автономної роботи базової станції від ДБЖ з чотирма батареями становить приблизно 190 хвилин.

Далі, нами було виявлено параметри надійності системи, такі як напрацювання системи та коефіцієнт готовності. Порахування нами значення напрацювання на відмову дорівнює трохи більше ніж 1,7 років, а коефіцієнт готовності системи дорівнює 0,99934. Оскільки дані пораховані значення задовільняють всі існуючі потреби до роботи системи, тому відповідно ми можемо вважати нашу систему - надійною.

Далі, в економічному розділі були розраховані витрати на установку мережі зв'язку, після відповідних обчислень ми отримали результат, за яким вияснили що витрати на установку мережі становить 563153 грн. Також далі нами було розраховано річні експлуатаційні витрати на обслуговування мережі. За даними з обчислень витрати на обслуговування становлять 2859638 грн.

Метод розрахунку, який був розглянутий нами у проекті, на практиці може бути успішно застосовним до планування реальних стільникових мереж у передмістях на рівній місцевості.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Михайлов П.А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. – М., Горячая линия - Телеком, 2013. – 220с.
- 2 Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи. – СПб., БХВ-Санкт-Петербург, 2010. – 400 с.
3. Ерохин Г.А., Чернов О.В., Козырев Н.Д., Кочержевский В.Д. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. – М., Горячая Линия - Телеком, 2007. – 531 с.
- 4 Бабков В.Ю., Цикин И.А. Сотовые системы мобильной радиосвязи. – СПб., БХВ-Санкт-Петербург, 2013. – 432 с.
- 5 Чивилев С. "Все о теории Эрланга. Как рассчитать количество каналов базовой радиостанции" (рус.) // Журнал ТСС ("Технологии и средства связи"). — ООО Гротек, 2008. — № 2.
- 6 Колодезная Г.В. Основы теории связи с подвижными объектами: метод. пособие по курсовому проектированию. – Хабаровск, ДВГУПС, 2012. – 26 с.
- 7 Попов В.И., Скуднов В.А., Васильев А.С. Математические модели и алгоритмы распространения радиоволн в сотовых сетях мобильной связи. –11
- 8 Утц В.А. Исследование потерь при распространении радиосигнала сотовой связи на основе статистических моделей. – Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки, Вып. 5, 2011. – с. 44–49.
- 9 Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM.
- 10 Макаров С.Б., Певцов Н.В., Попов Е.А., Сиверс М.А. Телекоммуникационные технологии: Введение в технологии GSM — М.: Академия, 2006. — 256 с.
- 11 Пристрої цифрових систем стільникового зв'язку: навч. посіб. / А. П. Бондарєв, Б. А. Мандзій, С. В. Давіденко ; М-во освіти і науки, молоді та

спорту України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». — Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2011. — 224 с. : іл. — Бібліогр.: с. 201—204 (34 назви).

12 Маковеева М.М., Шинако Ю.С. Системы связи с подвижны ми объектами. — М.: Радио и связь, 2002.

13 Иосилевич Г.Б., Лебедев П.А., Стреляев В.С.. Прикладная механика: Для студентов втузов – М., Машиностроение, 1985. – 576 с.

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломного проекту

№	Формат	Найменування	Кількість листків	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	1	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі.	26	
6	A4	Спеціальна частина	24	
7	A4	Економічний розділ	6	
8	A4	Висновки	2	
9	A4	Перелік посилань	2	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	

ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії

1	Електронна	версія	пояснювальної	записки
	(ПояснювальнаЗапискаКондратьєва.doc ПояснювальнаЗапискаКондратьєва.pdf)			та
2	Електронна	версія	демонстраційного	матеріалу
	(ПрезентаціяКондратьєва.pdf)			

ДОДАТОК Д. Відгук керівника дипломного проекту

ВІДГУК

Відгук на кваліфікаційну роботу

студентки групи 172-17-1 Кондратьєвої Ю. А.

на тему: «Дослідження застосування найпростішої стільникової мережі стандарту GSM-1800 в передмісті»

Пояснювальна записка розташована на 69 сторінках і містить, у тому числі, вступ, три розділи та висновки. Метою роботи є дослідження найпростішої стільникової мережі стандарту GSM-1800 в передмісті.

Рівень запозичень в роботі відповідає вимогам «Положення про систему виявлення та запобігання плагіату».

Серед позитивних сторін роботи слід відмітити, зокрема, те, що при виконанні роботи Ю. А. Кондратьєва продемонструвала добрий рівень знань на навичок. У роботі, зокрема, визначено кластерну структуру мережі, розраховано параметри надійності та доведено, що для будь-якого розташування абонентської станції в стільнику виконується баланс потужностей як на трасі від базової станції до абонентської, так і навпаки.

Серед недоліків роботи слід відмітити, зокрема

1. Стилістичні недоліки.
2. Можливо, слід було розглянути втрати на трасі не лише на основі моделі COST-231 Hata, а і на основі інших моделей.

Незважаючи на недоліки, в цілому робота задовольняє усім вимогам, що висуваються до кваліфікаційних робіт бакалаврів, заслуговує оцінки «відмінно», а її автор Кондратьєва Ю.А. – присвоєння кваліфікації бакалавр з телекомунікації та радіотехніки.

Керівник роботи, к.ф.-м.н., доц. каф. БІТ

В. М. Горєв