

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

Інститут електроенергетики
 Факультет інформаційних технологій
 Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
 кваліфікаційної роботи

бакалавра

(назва освітнього рівня)

галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва галузі знань)

спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва спеціальності)

освітній рівень бакалавр
(назва освітнього рівня)

кваліфікація бакалавр з телекомунікацій та радіотехніки
(код і назва кваліфікації)

На «Планування мережі стільникового зв'язку районного центру»
 тему:

Виконавець: студент 3 курсу, групи 172-1бзск-1

Бачевський Ростислав Сергійович

(підпис)

(прізвище ім'я по-батькові)

Керівники роботи	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
розділів:	к.т.н., доцент Галушко О.М.		
спеціальний	к.т.н., доцент Галушко О.М.		
економічний	к.е.н., доцент Романюк Н.М.		
Рецензент			
Нормоконтроль	к.т.н., доцент Галушко О.М.		

Дніпро
 2019

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

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ЗАТВЕРДЖЕНО
завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
д.т.н., професор _____ Корнієнко В.І.
« ____ » _____ 2019 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра

спеціальність _____ *172 Телекомунікації та радіотехніка*
(код і назва спеціальності)

студента 172-16зск-1 _____ *Бачевського Ростислава Сергійовича*
(прізвище ім'я по-батькові)

Тема кваліфікаційної роботи «Планування мережі стільникового зв'язку районного центру»

Затверджена наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від «21» 05 2019 р. № 770 - л

Розділ	Зміст	Термін виконання
<i>Стан питання Постановка задачі</i>	Загальні відомості про мережі стільникового зв'язку, стандарти, обладнання мережі, алгоритм планування мереж зв'язку .	06.05 – 21.05.2019
<i>Спеціальна частка</i>	Аналіз об'єкту планування та розрахунок параметрів мережі СС, визначення втрат при розповсюдженні сигналу, параметри обладнання мережі.	22.05 – 06.06.2019
<i>Економічний розділ</i>	Розрахунок вартості планування мережі стільникового зв'язку.	07.06 – 13.06.2019

Задання видав до виконання _____ Галушко О.М.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Задання отримав _____ Бачевський Р.С.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: _____
Термін подання дипломного проекту до ДЕК: _____

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 79 с., 14 рис., 9 табл., 5 додатків, 16 джерел.

Об'єкт розроблення: мережа стільникового зв'язку.

Мета роботи: Планування мережі стільникового зв'язку районного центру.

Постійне зростання потреб в послугах мобільного зв'язку при недостатній їх ємності і надійності особливо в сільських районах визначають необхідність їх розширення і вдосконалення.

У першому розділі кваліфікаційної роботи наведені основні відомості про стандарти мобільного зв'язку принципи їх побудови, переваги стандартів 3G та 4G, розглянуті питання впливу перешкод на передачу сигналів, представлено алгоритм частотно-територіального планування мереж стільникового зв'язку та сформульовані задачі для досягнення поставленої мети кваліфікаційної роботи.

У спеціальній частині проекту надано характеристику районного центру Царичанка як об'єкту планування мережі, проведено розрахунок допустимого числа каналів трафіку і параметрів стільників на підставі вихідних даних для проектування в сільській місцевості, визначені втрати потужності на трасі поширення сигналу, зроблено розрахунок безвідмовності системи.

В економічному розділі встановлені капітальні витрати на виконання проектних робіт.

Практичне значення роботи полягає у встановленні співвідношення між результатом розрахунку кількості стільників у мережі та їх реальною кількістю в районному центрі.

МОБІЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК, СТАНДАРТИ, ЗАВАДИ, СТІЛЬНИК, ТРАФІК, ПЛАНУВАННЯ, ВТРАТИ ПОТУЖНОСТІ, БЕЗВІДМОВНІСТЬ.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 79 с., 14 рис., 9 табл., 5 приложений,
16 источников.

Объект разработки - сеть сотовой связи.

Цель работы: Планирование сети сотовой связи районного центра.

Постоянный рост потребностей в услугах мобильной связи при недостаточной их емкости и надежности особенно в сельских районах определяют необходимость их расширения и совершенствования.

В первом разделе квалификационной работы приведены основные сведения о стандартах мобильной связи, принципы их построения, преимущества стандартов 3G и 4G, рассмотрены вопросы влияния помех на передачу сигналов, представлен алгоритм частотно-территориального планирования сетей сотовой связи и сформулированы задачи для достижения поставленной цели квалификационной работы.

В специальной части проекта приведена характеристика районного центра Царичанка как объекта планирования сети, проведен расчет допустимого числа каналов трафика и параметров сот на основании исходных данных для проектирования в сельской местности, определены потери мощности на трассе распространения сигнала, произведен расчет безотказности системы.

В экономическом разделе установлены капитальные затраты на выполнение проектных работ.

Практическое значение работы состоит в установлении соотношения между результатом расчета количества сот в сети и их реальным количеством в районном центре.

**МОБИЛЬНАЯ СВЯЗЬ, СТАНДАРТЫ, ПОМЕХИ, СОТА, ТРАФИК,
ПЛАНИРОВАНИЕ, ПОТЕРИ МОЩНОСТИ, БЕЗОТКАЗНОСТЬ.**

ABSTRACT

Explanatory note: 79 p., 14 fig., 9 tab., 5 appendices, 16 sources.

The object of development is a cellular network.

Objective: Planning a cellular network of the district center.

The constant growth of the need for mobile services with insufficient capacity and reliability, especially in rural areas, determines the need for their expansion and improvement.

The first section of the qualification work presents basic information about the standards of mobile communication, the principles of their construction, the advantages of 3G and 4G standards, discusses the impact of interference on signal transmission, presents an algorithm for the frequency-territorial planning of cellular networks and formulates tasks for achieving the goal of qualification work.

In the special part of the project, the characteristics of the district center Tsarichanka as an object of network planning are presented, the allowable number of traffic channels and cell parameters are calculated based on the initial data for design in rural areas, the power losses on the signal propagation path are determined, the system reliability is calculated.

The economic section establishes the capital costs of the design work.

The practical significance of the work is to establish the relationship between the result of calculating the number of cells in the network and their actual number in the district center.

MOBILE COMMUNICATION, SANDARTS, INTERFERENCE, SOTE, TRAFFIC, PLANNING, LOSS OF POWER, CERTAINABILITY..

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- 2G - Друге покоління стандарту GSM
- 3G - Третє покоління стандарту GSM
- 4G - Четверте покоління стандарту GSM
- 3GPP - Партнерський проект по третьому поколінню
- AGCH - Канал повідомлення про дозвіл доступу
- AID - Ідентифікатор додатка
- AMF (Access & Mobility Management Function) - функція управління доступом і мобільністю
- BS (Base station) – Базова станція
- E2E (END to END) – наскрізна передача даних
- eMBB (Enhanced Mobile Broadband) - Розширений мобільний широкосмуговий зв'язок
- FBMC (Filter Bank Multicarrier) - фільтр-банк з декількома несучими
- FDD (Frequency-division duplex) - дуплекс з частотним поділом
- GPRS - Пакутий зв'язок загального користування
- gprsSSF - Функція комутації послуг GPRS
- GPS - Глобальна система позиціонування
- GSM - Глобальна система мобільного зв'язку
- GFDM (Generalized Frequency Division Multiplexing) - узагальнене мультиплексування з частотним поділом
- GEO (Geostationary orbit) - геостаціонарна орбіта
- IoT (Internet of Things, IoT) – Інтернет речей
- LEO (Low earth orbit) - низька навколосемна орбіту
- LHCP (Left Hand Circular Polarized antennas) - ліві круглі поляризовані антени
- LTE (Long Term Evolution) — назва мобільного протоколу передачі даних
- MEO (Medium earth orbit) - середньо земна орбіта
- OMC (Operations and Maintenance Centre) - Центр експлуатації та технічного обслуговування
- RB (Radio Block) - радіоблок

RHCP (Right Hand Circular Polarized) - права кругова поляризація

TDD (Time-division duplex) - дуплекс з тимчасовим поділом

URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Cellular network) - Надзвичайно надійна мобільна мережа

UFMC (Universal Filtered Multicarrier) - універсальний фільтрований мультінесущій

UPF (User Plane Function) - функція площині користувача

VM (Virtual machine) - модель обчислювальної машини, створеної шляхом віртуалізації

Wi-Fi (Wireless Fidelity, Wi-Fi, WiFi) — Бездротова точність

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) - Стандарт бездротового зв'язку IEEE 802.16.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	12
1.1 Основи побудови мережі стільникового зв'язку.....	12
1.2 Структура обладнання мереж стільникового зв'язку.....	18
1.3 Обладнання мережі.....	25
1.4 Стандарти мобільного зв'язку.....	29
1.5 Мережі третього та четвертого покоління.....	36
1.6 Проблеми завадостійкості в мобільних системах зв'язку.....	43
1.6.1. Специфічні перешкоди систем мобільного зв'язку.....	43
1.7 Алгоритм частотно-територіального планування мереж стільникового зв'язку.....	47
1.7 Постановка задачі.....	48
1.8 Висновки	49
2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	50
2.1 Вибір об'єкту планування мережі стільникового зв'язку	50
2.2 Визначення параметрів мережі стільникового зв'язку	51
2.2.1 Вибір розмірності кластера.....	51
2.2.2 Визначення просторових параметрів мережі.....	52
2.3 Визначення балансу потужностей.....	59
2.4 Визначення витрат на трасі.....	62
2.5 Розрахунок надійності мережі стільникового зв'язку.....	63
2.6 Висновки	67
3 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	68
3.1 Загальні відомості щодо обґрунтування ефективності проектування.....	68
3.2 Складання кошторису витрат на проектування.....	69
3.3 Розрахунок заробітної плати.....	69
3.4 Визначення соціального відрахування.....	70
3.5 Розрахунок витрат на обслуговування та ремонт обладнання.....	70
3.6 Інші витрати.....	71

3.7 Висновок.....	71
ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	73
ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи бакалавра.....	75
ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії.....	76
ДОДАТОК В. Відгук керівника економічного розділу.....	77
ДОДАТОК Г. Відгук керівника дипломної роботи.....	78
ДОДАТОК Д Таблиця 1.1 Середнє значення трафіка одного абонента.....	79

ВСТУП

Постійне зростання потреби в послугах мереж мобільного зв'язку, які є найважливішою складовою всієї сукупності мереж зв'язку, як найбільш загальнодоступні і численні - є тенденцією останнього десятиріччя. Ці мережі займають значне місце в соціальній інфраструктурі суспільства, забезпечуючи найбільш швидкий мовний зв'язок та обмін повідомленнями, що скорочує нераціональні витрати часу.

У деяких районах, особливо в сільській місцевості, ємність і надійність існуючих мереж мобільного зв'язку безумовно не відповідає сучасним потребам, їх удосконалення та розширення створить можливість значного поширення послуг стільникового зв'язку для населення.

Розвиток мереж передачі мови та даних, є одним з необхідних умов для задоволення вимог суспільства до послуг сучасних мереж телекомунікацій.

Мережі сучасного стільникового зв'язку повинні мати характеристики, які забезпечують їй високу конкурентоспроможність:

- охоплювати необхідну зону покриття;
- гарантувати високу якість зв'язку;
- надавати абонентам широкий спектр додаткових послуг;
- мати можливість розширення ємності мережі, при збільшенні числа абонентів;
- відповідати сучасним технологіям і мати здатність плавного переходу до мереж наступного покоління;
- підтримувати різні стандарти одночасно;
- забезпечувати конфіденційний зв'язок для спеціальних структур.

Метою планування мережі є:

- забезпечення охоплення необхідної зони обслуговування з високою якістю мовного зв'язку;
- забезпечення ємності для обслуговування абонентського навантаження з низькою інтенсивністю втрат;

- забезпечення працездатності мережі в умовах існуючих завад та аварійних ситуацій.

Можливість досягнення вказаних цілей здійснюється шляхом ефективного проектування мереж: визначенням зони покриття, коректними розрахунками параметрів, створенням умов безвідмовної роботи.

Метою кваліфікаційної бакалаврської роботи є планування мережі стільникового зв'язку районного центру.

1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Основи побудови мережі стільникового зв'язку

Стільникові системи радіозв'язку мають структуру, засновану на стільниковій побудові і розподілі частот, відповідно до якої зона обслуговування поділяється на велику кількість невеликих осередків («чарунок») радіусом 1,5...5 км, кожен з яких обслуговується окремою базовою радіостанцією невеликої потужності, що знаходиться в центрі чарунки. Це дозволяє реалізувати основну перевагу стільникової системи – забезпечення високоякісним зв'язком значної кількості абонентів в умовах обмеженої кількості частотних каналів [1].

Сукупність чарунок утворює зону обслуговування. У центрі зони розміщена центральна станція, яка з'єднана провідними, опто-волоконними чи радіо релейними лініями з телефонною мережею загального користування і з усіма базовими станціями, що знаходяться в зоні обслуговування. Абоненти за допомогою своїх абонентських систем можуть здійснювати зв'язок між собою і через центральну станцію виходити на будь-якого абонента телефонної мережі загального користування.

Стільникові системи характеризуються високою ефективністю використання радіочастотного спектра, вони є основним засобом забезпечення телефонного зв'язку, передачі даних і документального обміну в районах нової забудови, забезпечення зв'язком абонентів у важко доступних районах та зв'язку з рухомими абонентами. На відміну від зонових і транкінгових, стільникові мережі (cellular networks) дозволяють багаторазово використовувати радіоканали на територіально віддалених одна від однієї ділянках мережі.

Приклад побудови такої мережі подано на рис. 1.1.

Вся обслуговувана територія поділяється на малі робочі зони умовно шестикутної форми, що називаються чарунками мережі (cells). Радіус чарунки R визначається залежно від очікуваної в ній щільності рухомих абонентів.

Звичайно він становить 10...20 км за містом і в передмістях, 2...3 км – на більшості території міста та 0,5...2 км – у його центрі.

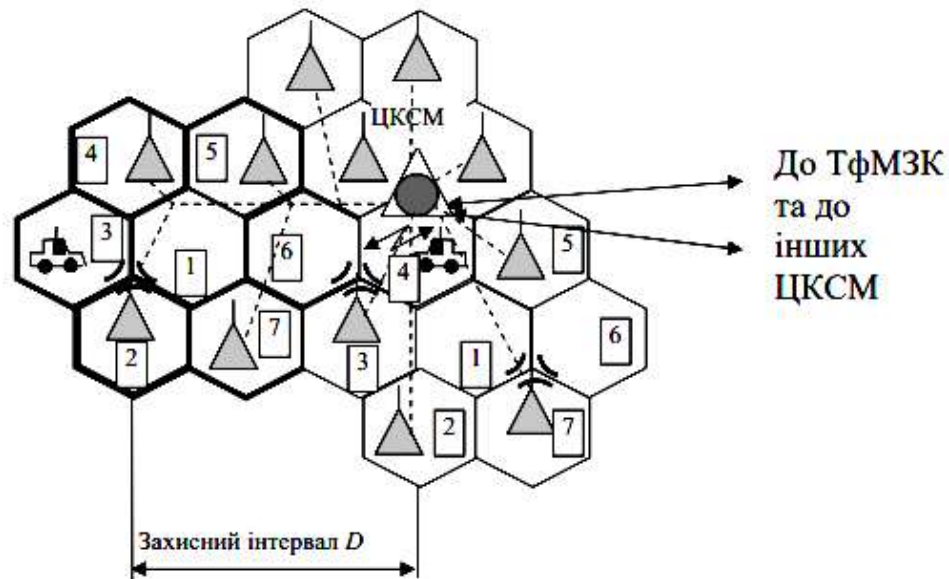


Рисунок 1.1– Приклад побудови стільникової мережі рухомого зв'язку

У кожній чарунці встановлюється індивідуальна або спільна для кількох чарунок базова приймально-передавальна радіостанція (basetransceiver station), яку звичайно називають просто базовою станцією (БС). Вона може знаходитись у центрі чарунки і мати антену з круговою діаграмою випромінювання, або встановлюватись на стику кількох чарунок і мати секторні антени (120° , як на рис. 1.1, або, наприклад, 60°) для кожної з них. Зазначимо, що у останньому випадку інколи чарункою називають сукупність зон обслуговування однієї БС, а окрему її зону називають сектором.

У певній чарунці РС за допомогою БС мають повний доступ до призначених цій чарунці N радіоканалів. БС, що використовують однаковий набір частотних каналів, розділяються захисним інтервалом D .

Щоб перекрити довільну територію, в принципі достатньо $K = 7$ багаторазово використовуваних наборів радіоканалів (як на рис. 1.1, де їх номери обведені прямокутними рамками), але деякі стільникові радіотелефонні системи передбачають $K = 4, 9, 12$ або 21 .

Група із K суміжних чарунок, в яких набори каналів не повторюються, називається кластером (cluster). На рис. 1.1 його виділено товщою лінією. Величина K називається розміром кластера, а також частотним параметром системи, оскільки визначає максимально можливу кількість каналів N (без врахування їх повторного використання) та загальну ширину частотної смуги F_c . З точки зору ефективності використання частотного спектра доцільно вибирати малі радіуси чарунок та розміри кластерів з урахуванням того, що захисний інтервал D в разі БС із ненаправленими антенами дорівнює $R \cdot K^3$. З іншого боку, зменшення параметра K обмежене вимогами до захисного інтервалу, а зменшення радіуса R призводить до збільшення частоти перетинання чарунок рухомими абонентами під час розмови, що може, у свою чергу, спричинити лавиноподібне зростання завантаженості керуючої системи мережі даними щодо перетинання РС меж чарунок. Тому в межах однієї системи можуть використовуватись чарунки та кластери різних розмірів, їх вибирають з урахуванням реальної електромагнітної обстановки та рельєфу місцевості.

Часто застосовують накладені чарунки - у такому разі мікро і навіть пікочарунки з радіусом 10...70 м обслуговують закриті приміщення (аеропорти, вокзали, гаражі, магазини тощо), а також РС, що рухаються повільно, а чарунки великих радіусів, які охоплюють цю ж територію, приймають навантаження від РС, що рухаються швидко. Такі структури стільникової мережі інколи називають зонтовими. В перспективі так буде побудована і глобальна система рухомого зв'язку. До ТфМЗК та до інших ЦКСМ.

У стільникових мережах часто має місце фіксований розподіл радіоканалів між БС, коли для кожної чарунки виділяється однакове їх число N_c . У такому разі важливо так розподілити канали, щоб по можливості зменшити міжканальну інтерференцію. Звичайно застосовують наступний принцип розподілу: j -й чарунці кластера призначають канали з номерами $j, j+K, j+2K, \dots, j+N_c K$. Фіксоване закріплення каналів має недоліки, викликані нестационарністю поділу активних РС на території мережі, а саме - ймовірність

втрат викликів зростає у чарунках, де з різних причин РС стає більше. Тому інколи для кожної чарунки крім N_c фіксованих виділяють ще деяку кількість каналів, які динамічно розподіляються між БС залежно від виниклої потреби. Такий, так званий, динамічний розподіл радіоканалів між БС суттєво знижує ймовірність відмови у наданні радіоканалу РС, але вимагає наявності на БС додаткових, не весь час використовуваних прийомопередавачів.

Всі БС з'єднуються радіорелейними або кабельними лініями зв'язку з центром комутації стільникової мережі (ЦКСМ), який керує установленням і підтриманням сполучень РС між собою та з абонентами телефонної мережі загального користування (ТфМЗК), зокрема забезпечує перемикання з'єднання на іншу БС під час руху РС. Комутація і керування мережею можуть бути:– централізованими, тобто зосередженими на ЦКСМ, як це показано на рис. 1.1;– децентралізованими (ієрархічними) із установленням, наприклад, у кожному кластері спрощеної комутаційної станції, так званого контролера базових станцій (Base Station Controller), який обслуговує взаємні з'єднання РС у межах кластера та забезпечує вихід на ЦКСМ для всіх інших зв'язків;– розподіленими, коли комутаційне і керівне обладнання установлюється безпосередньо на кожній БС. Територію, що обслуговується одним ЦКСМ, як, наприклад, на рис.1.1, називають зоною обслуговування ЦКСМ, а сукупність чарунок мережі, що мають спільну БС– зоною БС.

Мережні та радіоінтерфейси систем стільникового зв'язку

При проектуванні цифрових стільникових систем рухомого зв'язку стандарту GSM розглядаються інтерфейси трьох видів:

- 1) для з'єднання з зовнішніми мережами,
- 2) між різним обладнанням мереж GSM,
- 3) між мережею GSM і зовнішнім обладнанням.

Всі існуючі внутрішні інтерфейси мереж GSM цілком відповідають вимогам Рекомендацій ETSI/GSM 03.02.

- 1) Інтерфейси з зовнішніми мережами.
З'єднання з ТфМЗК.

З'єднання з телефонною мережею загального користування здійснюється MSC по лінії зв'язку зі швидкістю потоку 2 Мбіт/с відповідно до системи сигналізації SS № 7. Електричні характеристики 2 Мбіт/с інтерфейсу відповідають Рекомендаціям МСЕ-Т G.732. З'єднання з ISDN.

Для з'єднання зі створюваними мережами ISDN передбачаються чотири лінії зв'язку зі швидкістю потоку 2 Мбіт/с, які підтримуються системою сигналізації SS №7 і відповідають Рекомендаціям Блакитної книги МСЕ-Т Q.701- Q.710, Q.711-Q.714, Q.716, Q.781, Q.782, Q.791, Q.795, Q.761-Q.764, Q.766.

З'єднання з існуючою мережею NMT-450.

Центр комутації рухомого зв'язку з'єднується з мережею NMT-450 через чотири стандартні лінії зв'язку зі швидкістю потоку 2 Мбіт/с і системою сигналізації SS No 7. При цьому повинні забезпечуватися вимоги Рекомендацій МСЕ-Т за підсистемою користувачів телефонною мережею (TUP– Telephone User Part) і підсистемою передачі повідомлень (MTP– Message Transfer Part) Жовтої книги. Електричні характеристики лінії зі швидкістю потоку 2 Мбіт/с відповідають рекомендаціям МСЕ-Т G.732.

З'єднання з міжнародними мережами GSM.

Ці з'єднання здійснюються на основі протоколів системи сигналізації SCCP і міжмережної ко-мутації рухомого зв'язку GMSC.2) Внутрішні GSM-інтерфейси. Інтерфейс між MSC і BSS– А-інтерфейс, забезпечує передачу повідомлень для керування BSS, передачі виклику, керування пересуванням. А-інтерфейс поєднує канали зв'язку і лінії сигналізації. Останні використовують протокол SS №7 МСЕ-Т. Повна специфікація А-інтерфейсу відповідає вимогам серії 08. Рекомендацій ETSI/GSM. Інтерфейс між MSC і HLR з'єднаним з VLR– В-інтерфейс. Коли MSC необхідно з'ясувати місце розташування рухомої станції, він звертається до VLR. Якщо рухома станція ініціює процедуру визначення місця з MSC, він інформує свій VLR, який заносить всю інформацію, що змінюється, у свої реєстри. Ця процедура відбувається завжди, коли MS переходить з однієї чарунки в іншу. У випадку, якщо абонент запитує

спеціальні чи додаткові послуги або змінює деякі свої дані, MSC також інформує VLR, який реєструє зміни і за необхідності повідомляє про них HLR.

Інтерфейс між MSC і HLR— C-інтерфейс, використовується для забезпечення взаємодії між MSC і HLR. MSC може послати вказівку (повідомлення) HLR наприкінці сеансу зв'язку для того щоб абонент міг оплатити розмову. Коли мережа фіксованого телефонного зв'язку не здатна виконати процедуру установавлення виклику рухомого абонента, MSC може запросити HLR про місце розташування абонента для того, щоб послати виклик PC.

Інтерфейс між HLR і VLR— D-інтерфейс, використовується для розширення обміну даними про положення рухомої станції, керування процесом зв'язку. Основні послуги, що надаються рухомому абоненту, полягають у можливості передавати чи приймати повідомлення незалежно від місця розташування. Для цього HLR повинен поповнювати свої дані. VLR повідомляє HLR про положення PC, керуючи нею і перепривласнюючи їй номери в процесі блукання, посилає всі необхідні дані для забезпечення обслуговування рухомої станції. Інтерфейс між MSC— E-інтерфейс, забезпечує взаємодію між різними MSC при здійсненні процедури HANDOVER- "передачі" абонента з зони в зону при його русі в процесі сеансу зв'язку без його переривання.

Інтерфейс між BSC і BTS— A-bis інтерфейс, служить для зв'язку BSC з BTS і визначений Рекомендаціями ETSI/GSM для процесів установавлення з'єднань і керування обладнанням. Передача здійснюється цифровими потоками зі швидкістю 2,048 Мбіт/с. Можливе використання фізичного інтерфейсу 64 кбіт/с. Інтерфейс між BSC і OMC— O-інтерфейс, призначений для зв'язку BSC з OMC, використовується в мережах з пакетною комутацією. Внутрішній BSC-інтерфейс контролера базової станції забезпечує зв'язок між різним обладнанням BSC і обладнанням транскодування (TC); він використовує стандарт ІКМ-передачі 2,048 Мбіт/с і дозволяє організувати з чотирьох каналів зі швидкістю 16 кбіт/с один канал на швидкості 64кбіт/с. Інтерфейс між MS і

BTS– Um-радіоінтерфейс визначений у серіях 04 і 05. Рекомендацій ETSI/GSM. Мережний інтерфейс між OMC і мережею – так званий керуючий інтерфейс між OMC і елементами мережі, визначений ETSI/GSM Рекомендаціями 12.01. З'єднання мережі з OMC можуть забезпечуватися системою сигналізації MCE-T SS №7 чи мережним протоколом X.25.

GSM-протокол керування мережею й обслуговуванням також повинний задовольняти вимогам Q.3-інтерфейсу, що визначений в ETSI/GSM Рекомендаціях 12.01.

3) Інтерфейси між мережею GSM і зовнішнім устаткуванням.

Інтерфейс між MSC і сервіс-центром (SC) необхідний для реалізації служби коротких повідомлень. Він визначений у ETSI/GSM Рекомендаціях 03.40.

Інтерфейс до інших OMC.

Кожен центр керування й обслуговування мережі повинен мати можливість з'єднуватися з іншими OMC, що керують мережами в інших регіонах чи іншими мережами. Ці з'єднання забезпечуються X– інтерфейсами відповідно до Рекомендацій MCE-T M.30. Для взаємодії OMC з мережами вищих рівнів використовується Q.3–інтерфейс.

1.2 Структура обладнання мереж стільникового зв'язку

Функціональна побудова та інтерфейси, прийняті у стандарті GSM, ілюструються структурною схемою на рис. 1.2.

Центр комутації стільникової мережі обслуговує групу чарунок і забезпечує усі види з'єднань, в яких має потребу в процесі роботи рухома станція. MSC аналогічний комутаційній станції ISDN і являє собою інтерфейс між фіксованими мережами (PSTN, PDN, ISDN і т.д.) і мережею рухомого зв'язку. Він забезпечує маршрутизацію викликів і функції керування викликами. Крім виконання функцій звичайної комутаційної станції ISDN, на MSC покладаються функції комутації радіоканалів. До них відносяться "естафетна передача", у процесі якої досягається безперервність зв'язку при

переміщенні рухомої станції з чарунки у чарунку, і переключення робочих каналів у чарунці з появою перешкод або за несправностей.

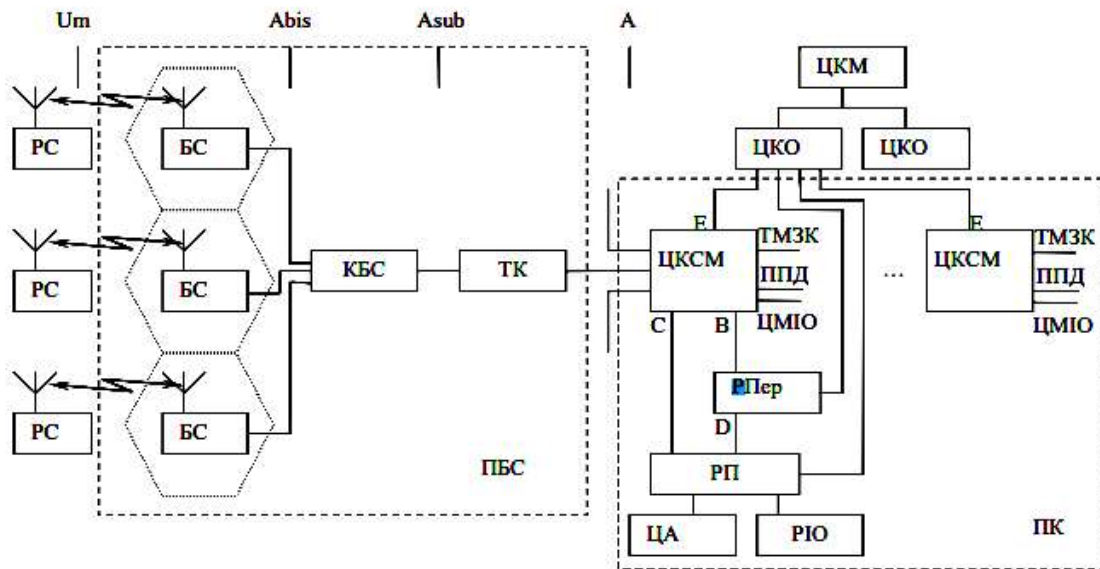


Рисунок 1.2– Функціональна побудова мережі стандарту GSM900/1800

На рис. 1.2 прийняті такі позначення:

БС– базова станція (BS);

КБС– контролер БС (BSC);

ЦКСМ– центр комутації стільникової мережі (MSC);

ЦКО– центр керування та обслуговування (OMC);

ЦКМ– центр керування мережею (NMC);

ТМЗК– телефонна мережа загального користування (PSTN);

ППД– мережа пакетної передачі даних (PDN);

ЦМІО– цифрова мережа з інтеграцією обслуговування (ISDN);

РПер– реєстр переміщення (VLR);

РП– реєстр положення (HLR);

ЦА– центр автентифікації (AUC);

ТК– транскодер (TC);

РС– рухома станція (MS);

РІО– реєстр ідентифікації обладнання (EIR);

ПБС– підсистема БС (BSS);

ПК– підсистема комутації (SSS).

Кожен MSC забезпечує обслуговування рухомих станцій, які знаходяться у межах визначеної географічної зони (наприклад, центр комутації, розташований у м. Одесі, обслуговує мережі Одеської, Миколаївської та Херсонської областей). MSC керує процедурами установаження виклику маршрутизації.

Для телефонної мережі загального користування (PSTN) MSC забезпечує функції сигналізації за протоколом SS №7, передачі виклику чи інші види інтерфейсів відповідно до вимог конкретного проекту. MSC формує дані, необхідні для виписки рахунків за надані мережею послуги зв'язку, накопичує дані про розмови, що відбулися, і передає їх у центр розрахунків (білінг-центр). MSC складає статистичні дані, необхідні для контролю роботи й оптимізації мережі. MSC підтримує також процедури безпеки, застосовувані для керування доступами до радіоканалів. MSC не тільки бере участь у керуванні викликами, але також керує процедурами реєстрації місця знаходження і передачі керування, крім передачі керування в підсистемі базових станцій (BSS).

Реєстрація місця знаходження рухомих станцій необхідна для забезпечення доставки виклику рухомих абонентам від абонентів телефонної мережі загального користування чи інших рухомих абонентів. Процедура передачі виклику дозволяє зберігати з'єднання і забезпечувати ведення розмови, коли рухома станція переміщується з однієї зони обслуговування в іншу. Передача викликів у чарунках, що керуються одним контролером базових станцій (BSC), здійснюється цим BSC. Коли передача викликів здійснюється між двома мережами, керованими різними BSC, то первинне керування здійснюється в MSC. У стандарті GSM також передбачені процедури передачі виклику між мережами (контролерами), що відносяться до різних MSC.

Ідеологія стандарту GSM побудована таким чином, що абонент та термінал (радіотелефон) незалежні один від одного. Кожний абонент отримує свій міжнародний ідентифікаційний номер (IMSI), який записаний в модуль дійсності абонента– SIM-карту та зберігається у реєстрі положення. З іншого

боку, кожній мобільній станції також присвоюється свій міжнародний ідентифікаційний номер (IMEI). У реєстрі автентифікації обладнання зберігаються номери IMEI, володарі яких мають право доступу до мережі, а також номери, яким за різними причинами відмовлено в обслуговуванні. Це запобігає доступу до мережі таких терміналів, які були викрадені, або не мають необхідних повноважень. Усі ці механізми виключають несанкціонований доступ до ресурсів мережі. Центр комутації здійснює постійне спостереження за рухомими станціями, використовуючи реєстри положення (HLR) і переміщення (VLR).

У HLR зберігається та частина інформації про місце знаходження будь-якої рухомої станції, що дозволяє центру комутації доставити виклик станції. Реєстр HLR містить міжнародний ідентифікаційний номер рухомого абонента (IMSI). Він використовується для впізнавання рухомої станції в центрі автентифікації (AUC). Практично HLR являє собою довідкову базу даних про постійно прописаних у мережі абонентів. У ній містяться пізнавальні номери й адреси, а також параметри дійсності абонентів, склад послуг зв'язку, спеціальна інформація про маршрутизацію. Ведеться реєстрація даних про роумінг (блукання) абонента, включаючи дані про тимчасовий ідентифікаційний номер рухомого абонента (TMSI) у відповідному VLR. До даних, що містяться в HLR, мають дистанційний доступ усі MSC і VLR мережі і, якщо в мережі є декілька HLR, у базі даних міститься тільки один запис про абонента, тому кожен HLR являє собою певну частину загальної бази даних мережі про абонентів. Доступ до бази даних про абонентів здійснюється за номерами TMSI чи MSISDN (номери рухомого абонента в мережі ISDN). До бази даних можуть одержати доступ MSC чи VLR, що відносяться до інших мереж, у рамках забезпечення між мережевого роумінга абонентів. Другий основний пристрій, що забезпечує контроль за пересуванням рухомої станції з зони в зону – реєстр переміщення VLR. За його допомогою досягається функціонування рухомої станції за межами зони, контрольованої HLR. Коли в процесі переміщення рухома станція переходить із зони дії одного контролера базових станцій BSC, що

поєднує групу базових станцій, у зону дії іншого BSC, вона реєструється новим BSC і в VLR заноситься інформація про номер області зв'язку, яка забезпечить доставку викликів рухомій станції.

Для збереження даних, що знаходяться в HLR і VLR, у випадку збоїв, передбачено захист пристроїв пам'яті цих реєстрів. VLR містить такі ж дані, як і HLR, однак ці дані містяться в VLR тільки доти, поки абонент знаходиться в зоні, контрольованій VLR. У мережі рухомого зв'язку GSM чарунки групуються в географічні зони (LA), яким привласнюється свій ідентифікаційний номер (LAC). Кожен VLR містить дані про абонентів декількох LA. Коли рухомий абонент переміщується з однієї LA в іншу, дані про його місце розташування автоматично оновлюються в VLR. Якщо стара і нова LA знаходяться під керуванням різних VLR, то дані на старому VLR стираються після їхнього копіювання в новий VLR. Поточна адреса VLR абонента, що міститься в HLR, також оновлюється. VLR забезпечує також присвоєння номера "блукаючій" рухомій станції (MSRN). Коли рухома станція приймає вхідний виклик, VLR вибирає його MSRN і передає його на MSC, що здійснює маршрутизацію цього виклику до базової станції, яка обслуговує рухомого абонента. VLR також розподіляє номери передачі керування при переводі з'єднань від одного MSC до іншого. Крім того, VLR керує розподілом нових TMSI і передає їх у HLR. Він також керує процедурами установлення дійсності під час обробки виклику. За рішенням оператора, ідентифікаційний номер TMSI може періодично змінюватися для ускладнення процедури ідентифікації абонентів.

Доступ до бази даних VLR може забезпечуватися через IMSI, TMSI чи MSRN. У цілому VLR являє собою локальну базу даних про рухомого абонента для тієї зони, де знаходиться абонент, що дозволяє виключити постійні запити в HLR і скоротити час на обслуговування викликів. Повний склад інформації, яка зберігається у реєстрах HLR і VLR.

Для виключення несанкціонованого використання ресурсів системи зв'язку вводяться механізми автентифікації – перевірка дійсності абонента.

Центр автентифікації (AUC) складається з декількох блоків і формує ключій алгоритми автентифікації. За його допомогою перевіряються повноваження абонента і здійснюється доступ абонента до мережі зв'язку. AUC приймає рішення про параметри процесу автентифікації і визначає ключі шифрування абонентських станцій на основі бази даних, зосередженої в реєстрі ідентифікації обладнання (EI– Equipment Identification Register). Кожен рухомий абонент на час користування системою зв'язку одержує стандартний модуль справжності абонента (SI), що містить: міжнародний ідентифікаційний номер (IMSI), свій індивідуальний ключ автентифікації (Ki) та алгоритм автентифікації (A3).

За допомогою записаної в SI інформації в результаті взаємного обміну даними між рухомою станцією і мережею здійснюється повний цикл автентифікації і дозволяється доступ абоненту до мережі. Процедура перевірки мережею справжності абонента реалізується таким способом. Мережа передає випадковий номер (RAND) на рухому станцію. На ній за допомогою Ki й алгоритму автентифікації A3 визначається значення відгуку (SRES), тобто $SRES = Ki * [RAND]$. Рухома станція посилає обчислене значення SRES у мережу, яка звіряє значення прийнятого SRES зі значенням SRES, обчисленим мережею. Якщо ці значення збігаються, рухома станція приступає до передачі повідомлень. В іншому випадку зв'язок переривається, а індикатор рухомої станції показує, що розпізнавання не відбулося. Для забезпечення таємності обчислення SRES відбувається в рамках SI. Несекретна інформація (наприклад, Ki) не піддається обробці в модулі SI.EI - реєстр ідентифікації обладнання, містить централізовану базу даних для підтвердження дійсності міжнародного ідентифікаційного номера обладнання рухомої станції (IMEI). Ця база даних відноситься винятково до обладнання рухомої станції. База даних EI складається зі списків номерів IMEI, організованих таким чином: БІЛИЙ СПИСОК– містить номери IMEI, про які є відомості, що вони закріплені за санкціонованими рухомими станціями; ЧОРНИЙ СПИСОК– містить номери IMEI рухомих станцій, що украдені або яким відмовлено в обслуговуванні з

інших причин; СІРИЙ СПИСОК – містить номери IMEI рухомих станцій, у яких існують проблеми, виявлені за даними програмного забезпечення, що не є підставою для внесення в "чорний список". До бази даних EI одержують дистанційний доступ MSC даної мережі, а також MSC інших мереж. Як і у випадку з HLR, мережа може мати більше одного EI, при цьому кожен EI керує певними групами IMEI. До складу MSC входить транслятор, що при одержанні номера IMEI повертає адресу EI, який керує відповідною частиною бази даних про обладнання. IWF – міжмережний функціональний стик, є однією з складових частин MSC. Він забезпечує абонентам доступ до засобів перетворення протоколу і швидкості передачі даних так, щоб можна було передавати їх між термінальним обладнанням (DI) мережі GSM і термінальним обладнанням фіксованої мережі. Міжмережний функціональний стик також "виділяє" модем зі свого банку обладнання для сполучення з відповідним модемом фіксованої мережі. IWF також забезпечує інтерфейси типу прямого з'єднання для обладнання, що поставляється клієнтам, наприклад, для пакетної передачі даних PAD за протоколом X.25.

ЕС (Echo Cancellor) – лунопридушувач, використовується в MSC збоку PSTN для всіх телефонних каналів (незалежно від їхньої довжини) через фізичні затримки в трактах поширення, включаючи радіоканал мереж GSM. Типовий лунопридушувач може забезпечувати придушення в інтервалі 68 мс на ділянці між виходом ЕС і телефоном фіксованої телефонної мережі. Загальна затримка в каналі GSM при поширенні в прямому і зворотному напрямках, викликана обробкою сигналу, кодуванням/декодуванням мови, канальним кодуванням тощо, складає близько 180 мс. Ця затримка була б непомітна рухомому абоненту, якби в телефонний канал не була включена дифсистема з перетворенням тракту з двопровідного на чотирипровідний режим, установка якого необхідна в MSC, тому що стандартне з'єднання з PSTN є двопровідним. При з'єднанні двох абонентів фіксованої мережі луносигнали відсутні. Без включення ЕС затримка від поширення сигналів у тракті GSM буде викликати роздратування в абонентів, переривати мову і відволікати увагу.

1.3 Обладнання мережі

ОМС (Operations and Maintenance Centre)– центр керування та обслуговування є центральним елементом мережі GSM, що забезпечує контроль і керування іншим обладнанням мережі і контроль якості його роботи. ОМС з'єднується з іншим обладнанням мережі GSM по каналах пакетної передачі за протоколом X.25. ОМС забезпечує функції обробки аварійних сигналів, призначених для оповіщення обслуговуючого персоналу, і реєструє відомості про аварійні ситуації в іншому обладнанні мережі. У залежності від характеру несправності ОМС дозволяє забезпечити її усунення автоматично чи за активного втручання персоналу. ОМС може забезпечити перевірку стану обладнання мережі і проходження виклику рухомої станції. ОМС дозволяє виконувати керування навантаженням у мережі.

Функція ефективного керування включає збір статистичних даних про навантаження від компонентів мережі GSM, запису їх у дискові файли і виведення на дисплей для візуального аналізу. ОМС забезпечує керування змінами програмного забезпечення і базами даних про конфігурацію елементів мережі. Завантаження програмного забезпечення в пам'ять може здійснюватись з ОМС в інші елементи мережі чи з них в ОМС. NMC (Network Management Centre)– центр керування мережею, дозволяє забезпечувати раціональне ієрархічне керування мережею GSM. Він забезпечує експлуатацію і технічне обслуговування на рівні всієї мережі, підтримуваної центрами ОМС, що відповідають за керування регіональними мережами. NMC забезпечує керування трафіком в усій мережі і забезпечує диспетчерське керування мережею за складних аварійних ситуацій, як наприклад, вихід з ладу чи перевантаження вузлів. Крім того, він контролює стан пристроїв автоматичного керування, задіяних в устаткуванні мережі, і відбиває на дисплеї стан мережі для операторів NMC. Це дозволяє операторам контролювати регіональні проблеми і, за необхідності, робити допомогу ОМС, відповідальному за конкретний регіон. Таким чином, персонал NMC знає стан усієї мережі і може дати вказівку персоналу ОМС змінити стратегію вирішення регіональної

проблеми. NMC зосереджує увагу на маршрутах сигналізації і з'єднаннях міжвузлами для того, щоб не допускати умов для виникнення перевантаження мережі. Контролюються маршрути з'єднань між мережею GSM і PSTN щоб уникнути поширення умов перевантаження між мережами. При цьому персонал NMC координує питання керування мережею з персоналом інших NMC. NMC забезпечує можливість керування трафіком для мережного обладнання підсистеми базових станцій (BSS). Оператори NMC в екстремальних ситуаціях можуть задіяти такі процедури керування, як "пріоритетний доступ", коли тільки абоненти з високим пріоритетом (екстрені служби) можуть одержати доступ до системи.

NMC може брати на себе відповідальність в будь-якому регіоні, коли місцевий OMC не обслуговує регіон, при цьому OMC діє як транзитний пункт між NMC і устаткуванням мережі. NMC забезпечує операторів функціями, аналогічними функціям OMC. NMC є важливим інструментом планування мережі, тому що NMC контролює мережу і її роботу на мережному рівні, і таким чином забезпечує планувальників мережі даними, що визначають її оптимальний розвиток. BSS (Base Station System)– обладнання базових станцій, складається з контролера базових станцій (BSC) та приймально-передавальних базових станцій (BTS). Контролер базових станцій може керувати декількома приймально-передавальними блоками. BSS керує розподілом радіоканалів, контролює з'єднання, регулює їхню черговість, забезпечує режим роботи зі стрибаючою частотою, модуляцію і демодуляцію сигналів, кодування і декодування повідомлень, кодування мови, адаптацію швидкості передачі для мови, даних і виклику, визначає черговість передачі повідомлень персонального виклику. Для спрощення функціонування системи і зниження службового трафіка, BTS поєднують у групи – домени, що одержали назву LA (Location Area– області знаходження). Кожній LA відповідає свій код LAI (Location Area Identity). Один VLR може контролювати декілька LA. І саме LAI міститься в VLR для завдання місця знаходження мобільного абонента. У разі потреби саме у відповідній LA (а не в окремій чарунці) буде зроблений пошук

абонента. При переміщенні абонента з однієї чарунки в іншу в межах однієї LA перереєстрація і зміна записів у VLR/HLR не здійснюється, але як тільки абонент потрапляє на територію іншої LA, почнеться взаємодія PC з мережею. При зміні LA код старої області стирається у VLR і замінюється новим LAI, якщо ж наступний LA контролюється іншим VLR, тоді відбудеться зміна VLR і відновлення запису в HLR. Взагалі, розбивка мережі на LA досить непрості інженерна задача, яка розв'язується при побудові кожної мережі індивідуально. Занадто дрібні LA приведуть до частих перереєстрацій телефонів і, як наслідок, до зростання трафіка різного роду сервісних сигналів і більш швидкої розрядки батарей PC. Якщо ж зробити LA великими, то, у разі потреби з'єднання з абонентом, сигнал виклику прийдеться подавати всім чарункам, що входять у LA, що також веде до невиправданого зростання передачі службової інформації і перевантаження внутрішніх каналів мережі. BSS разом з MSC, HLR та VLR виконує деякі особливі функції, наприклад: звільнення каналу, головним чином, під контролем MSC, але MSC може запросити базову станцію забезпечити звільнення каналу, якщо виклик не проходить через радіо перешкоди. BSS і MSC спільно здійснюють пріоритетну передачу інформації для деяких категорій рухомих станцій.

C (Speech Transcoder)– транскодер, забезпечує перетворення вихідних сигналів каналу передавання мови і даних MSC (64 кбіт/з ІКМ) до виду, що відповідає рекомендаціям GSM по радіоінтерфейсу (Рек. GSM04.08). Відповідно до цих вимог швидкість передавання мови, представленої в цифровій формі, складає 13 кбіт/с. Цей канал передавання цифрових мовних сигналів називається "повношвидкісним". Стандартом передбачається в перспективі використання напів швидкісного мовного каналу (швидкість передавання 6,5 кбіт/с). Зниження швидкості передавання забезпечується застосуванням спеціального мово-перетворюючого пристрою, що використовує лінійне кодування з пророкуванням (LPC), довгострокове прогнозування (LTP), залишкове імпульсне збудження (RPE– іноді називається RELP). Транскодер звичайно розташовується поряд з MSC, тоді передача цифрових повідомлень у

напрямку до контролера базових станцій – BSC відбувається з додаванням до потоку зі швидкістю передавання 13 кбіт/с, додаткових бітів (стафінг) до швидкості передавання даних 16 кбіт/с. Потім здійснюється ущільнення з кратністю 4 у стандартний канал 64 кбіт/с. Так формується визначена Рекомендаціями GSM 30– канальна ІКМ лінія, яка забезпечує передачу 120 мовних каналів. Шістнадцятий канал(64кбіт/с), "канальний інтервал", виділяється окремо для передачі інформації сигналізації і часто містить трафік SS No 7 чи LAPD. В іншому каналі (64 кбіт/с) можуть передаватися також пакети даних. Таким чином, результуюча швидкість передавання по зазначеному інтерфейсу складає $30 \times 64 \text{ кбіт/с} + 64 \text{ кбіт/с} + 64 \text{ кбіт/с} = 2048 \text{ кбіт/с}$. Мобільна станція (MS) складається з мобільного обладнання (терміналу) і картки, названої Модулем Ідентифікації Абонента (SIM–SubscriberIdentity Module). У SIM-карті міститься інформація про сервіси, надані абоненту, незалежно від типу використовуваного мобільного обладнання. Ця карта може вставлятися в будь-який інший GSM термінал, при цьому абонент одержує можливість використовувати цей термінал для одержання всіх сервісів системи, на які він підписаний. Мобільне обладнання унікально ідентифікується Міжнародним Ідентифікатором Мобільного устаткування (IMEI– International Mobile Equipment Identity). SIM-карта містить Міжнародний Ідентифікатор Мобільного Абонента (IMSI– International Mobile Subscriber Identity), який використовується для ідентифікації абонента системою; секретний ключ авторизації доступу та іншу інформацію. Ідентифікатори IMEI й IMSI- незалежні між собою. SIM-карта може бути захищена від неавторизованого доступу за допомогою системи паролів. У рамках стандарту GSM прийняті п'ять класів рухомих станцій від моделі 1-го класу з вихідною потужністю 20 Вт, яка встановлюється на транспортному засобі до портативної моделі 5-го класу, з максимальною потужністю 0,8 Вт (табл. 6.1). Під час передавання повідомлень передбачається адаптивне регулювання потужності передавача, що забезпечує необхідну якість зв'язку.

Як вже зазначалося, відповідно до максимальної потужності передавача, існують п'ять класів мобільних станцій: на 20, 8, 5, 2 і 0,8 Вт. Для мінімізації міжканальної інтерференції й економії електроенергії, мобільна і базова станції працюють у найбільш низькому (за потужністю) з можливих рівні потужності. Рівні потужності можуть підвищуватися/знижуватися відрізками по 2 дБ від максимальної для даного класу потужності до 13 дБм (20 мВт). Мобільна станція вимірює потужність сигналів або їхню якість (грунтуючись на пропорціях помилок– Bit Error Ratio) і передає інформацію Контролеру Базової Станції, який вирішує, потрібно змінити рівень потужності чи ні, і якщо потрібно, то коли.

Керування потужністю повинно здійснюватися дуже обережно, оскільки існує велика ймовірність створення нестабільності в роботі системи зв'язку. Великі проблеми виникають, наприклад, при спробі мобільної станції підвищити рівень потужності у відповідь на підвищену міжканальну інтерференцію, викликану підвищенням потужності іншими мобільними станціями.

1.4 Стандарти мобільного зв'язку

Стандарт GSM. У 1982 р. було сформовано групу Groupe Special Mobile або скорочено GSM, за мету якій ставилося розробити надійну і просту систему наземного мобільного зв'язку. Система повинна була надавати високу якість звукових даних, що передаються, простоту побудови й обслуговування стільникової мережі, підтримку роботи з портативними пристроями, такими як PDA, ноутбуки й інші, можливість реалізації не тільки локального, але й міжнародного роумінгу, відкритість для розробки нових сервісів, сумісність із системами стандарту ISDN й ефективне використання радіоефіру [2].

Право продовжити розробку стандарту було покладене на Європейський інститут телекомунікаційних стандартів. У середині 1990 р. були представлені специфікації стандарту GSM-900, який вже розшифровувався як Global System for Mobile telecommunications. У майбутньому з'явився еволюційний стандарт

GSM-1800, який використовував частоту 1800 МГц. Збільшення частоти радіосигналу вдвічі дозволило збільшити щільність абонентської бази в 4 рази.

GSM-900 накладає деякі обмеження на віддаленість мобільного телефону від базової станції, яка не може перевищувати 35 км навіть при достатній потужності сигналу. Це пов'язано з відбракуванням пакетів із простроченим часом життя. У стандарті GSM-1800 зона покриття ще менше: близько 6—10 км. NMT не має подібних обмежень і в ідеальних умовах зв'язок може бути здійснено і на відстані 200 км (перевірено на досвіді). Слід зазначити ще у тому факті, що зменшення покриття вдвічі дозволяє збільшити щільність абонентських станцій в таку саму кількість разів.

Унікальністю стандарту GSM є саме те, що в ньому вперше використано цифрову стільникову систему, на відміну від уже існуючих аналогових. Практичне його застосування розпочалося в 1991 р. Швидкість передавання даних у мережі підвищилася з 1,9 кбіт/с до 14 кбіт/с, що дозволило використовувати мобільний телефон, який на той час уже можна було назвати таким, модем або факс, а також згодом користуватися й WAP-сервісами.

Спочатку в GSM було закладено високу гнучкість щодо кількості та спектра сервісів, що надаються. Саме з приходом нового стандарту з'явився сервіс коротких повідомлень, або SMS. Послуга дозволила обмінюватися текстовими повідомленнями завдовжки до 160 символів. На основі протоколу SMS з'явився так званий broadcasting — розсилання новин або іншої необхідної інформації всім абонентам мережі. Додаткової гнучкості додало використання SIM-карт (Subscriber Identity Module), що дозволило прив'язати до мережі не сам телефонний апарат, а невеликий модуль, що містить міжнародний ідентифікатор користувача мобільних послуг.

На рис.1.3 подано структурну схему та склад обладнання системи GSM.

Центр комутації обслуговує групу базових станцій (БС) і забезпечує взаємодію з іншими мережами, забезпечує управління вхідних і вихідних сигналів з естафетною передачею.

Перемикання може бути при виході з ладу (зайнятості) каналу. ЦКРЗ здійснює стеження за абонентською станцією (АС), використовуючи реєстри HLR і VLR. У HLR зберігається інформація для організації з'єднань «своїх» абонентів:

- зона поточного місцеположення АС,
- наявність дозволу доступу (статус).

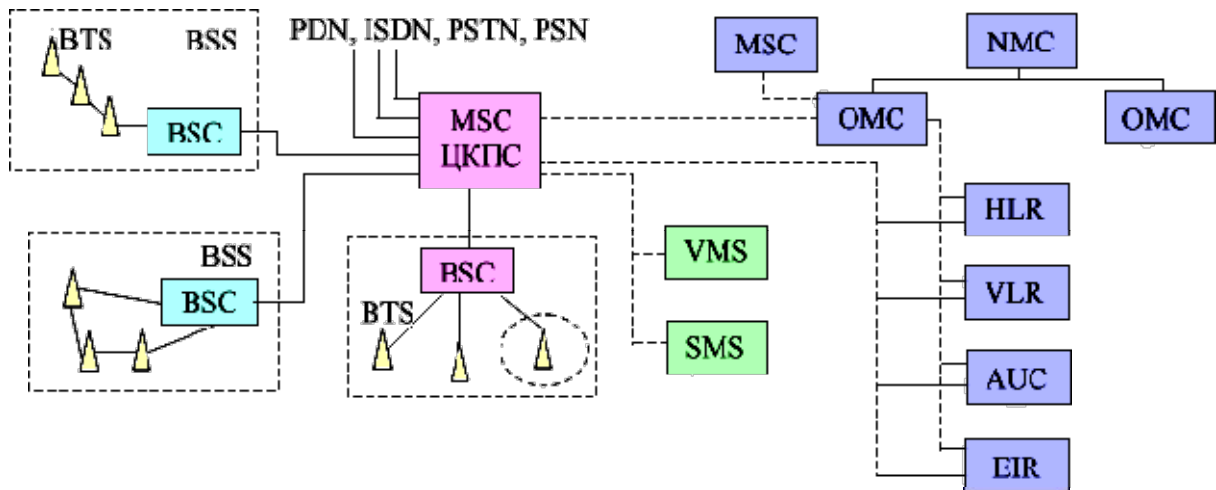


Рис. 1.3. Структурна схема та склад обладнання системи GSM:

Позначення на рисунку 1.3:

MSC — центр комутації рухомого зв'язку (ЦКРЗ);

BSS — обладнання БС;

BSC — контролер БС;

BTS — базова станція (БС);

MS — абонентська станція (АС);

VLR — реєстр переміщення АС;

HLR — реєстр положення АС;

AUC — центр автентифікації;

EIR — центр ідентифікації;

VMS — служба обміну мовними повідомленнями;

SMS — служби обміну короткими та циркулярними повідомленнями;

ОМС — центр управління й обслуговування;

NMC — центр управління мережею рухомого зв'язку.

У HLR зберігається міжнародний ідентифікаційний код АС. Цей код використовується для впізнання абонента в АUC. У VLR зберігається інформація про своїх і візитних АС у зоні обслуговування центру комутації. При вході АС у зону ЦКРЗ вона реєструється в VLR. З VLR інформація передається в HLR. АС одержує з HLR дозвіл на доступ (статус) і ідентифікаційні дані: міжнародний номер і персональний код. АUC формує ключі й алгоритм автентифікації. Перевіряються повноваження АС і здійснюється доступ до мережі. АUC ухвалює рішення про параметри процесу автентифікації і визначає ключі шифрування АС на основі даних з реєстра EIR. HLR, VLR, АUC — спеціалізовані бази даних. АUC може бути спільним для декількох ЦК. EIR зберігає і збирає інформацію про обладнання кожної АС для перевірки його відповідності необхідним параметрам. EIR не ідентифікує і не допускає в роботу несправні АС.

Особливість мережі: БС кластера об'єднані в систему BSS. У системі БС об'єднуються з контролерами BSC з використанням певної топології мережі. Кожна БС обслуговує декілька секторів. Контролер (комутаційна станція) забезпечує взаємне з'єднання АС усередині кластера і через ЦК — з іншими абонентами іншого кластера. Служба VMS («поштова скринька») забезпечує роботу автовідповідача. Служба SMS передає короткі циркулярні повідомлення.

Стандарт CDMA. Стандарт CDMA (Code Division Multiple Access) можна назвати прямим конкурентом TDMA. Принцип, за яким передається сигнал у цьому типі мереж, належить до військових технологій і використовується у військових супутниках. Уперше мережі CDMA з'явилися в Сполучених Штатах буквально на декілька місяців пізніше TDMA, і до тепер його модифікації існують і модернізуються. Підвищена місткість мережі і легкість побудови зумовили швидке поширення стандарту, і вже до 2003 р. кількість його користувачів склала понад 150 млн.

Принцип роботи CDMA дозволяє уникнути явища інтерференції, підвищити кількість одночасно обслуговуваних абонентів і захистити інформацію, що передається. Під час дзвінка інформація в закодованому вигляді від телефону передається відразу на декілька доступних базових станцій, що дозволяє вибрати «найправильніший» пакет, що прийшов. Окрім того, сигнал, що передається, поширений у частотно-часовому просторі, на відміну від інших радіотехнологій, де вся потужність сигналу концентрується на вибраних частотах або часових інтервалах. Фактично в ефірі буде чутний тільки шум, з якого вкрай складно виділити корисний сигнал, що додає цій технології високий рівень захисту від прослуховування. Швидкість передавання даних в цьому типі мереж варіюється від 9,6 кбіт/с до 1,23 Мбіт/с.

Технологія **CDMA** практично не має недоліків, забезпечує високу надійність передавання даних і голосу, необхідний рівень захисту даних і безшовне перемикавання між базовими станціями. Принципи мереж CDMA широко використовуються в технологіях мереж третього покоління.

Технології **2.5G**. Прихід на ринок мереж другого покоління і необхідність мобільного доступу в мережу Інтернет зумовили розвиток стільникового зв'язку в напрямі збільшення швидкості передавання даних. Ще в 1985 р. почалася розробка сімейства стандартів 2.5G, які, по суті, є надбудовою для мереж другого покоління. Стандарт 2.5G відомий під аббревіатурою GPRS (general packet radio system), EDGE (enhanced data for global evolution), 1xRTT (2.5G CDMA data service). Максимальна швидкість передавання даних, яку дозволяють досягти ці стандарти, складає 384 кбіт/с.

Технологія **GPRS** дозволяє одночасно розмовляти по телефону і передавати дані завдяки ефективнішому використанню радіосмуги і новим способам кодування. Ще однією особливістю сервісу стала відсутність необхідності кожного разу додзвонюватися до провайдера. Телефон завжди перебуває в режимі онлайн, але передає дані тільки тоді, коли це потрібно. Ця схема роботи дозволяє обслуговувати одночасно набагато більше клієнтів, ніж у разі використання GSM мереж другого покоління.

Як у будь-якої системи, у GPRS є свої недоліки:

Максимальна теоретична швидкість, якої може досягти GPRS-з'єднання, складає 172,2 кбіт/с. Реальна швидкість рідко підіймається вище 48—50 кбіт/с, що пов'язано з надмірністю передаваних даних, яка забезпечує захист від помилок і містить управляючу інформацію.

GPRS використовує неефективну на сьогодні технологію модуляції GMSK (Gaussian minimum-shift keying). Сучасніший сервіс EDGE використовує досконалішу технологію 8 PSK (eight-phase-shift keying), що дозволяє досягти вищих швидкостей передавання даних.

Основною ж перевагою сімейства 2.5G є можливість розробляти й упроваджувати абсолютно нові мережні сервіси, робота яких була б просто неможливою в попередньому поколінні стандартів. Середньої для GPRS швидкості в 48 кбіт/с цілком може вистачити для спілкування за допомогою IRC або IM-клієнта, що на практиці виявляється набагато зручніше, ніж обмінюватися SMS, інтернет-серфінгу за допомогою веб-браузерів і навіть для онлайн-відео або радіомовлення. Однак головне, що дозволили здійснити мережі 2.5G — покласти початок процесу об'єднання Інтернету і стільникових мереж.

Технології 3G, 3.5G. Значні потреби в широкосмуговому доступі до мережі Інтернет породили подальший розвиток стільникового зв'язку. У результаті розробки мереж 3G і 3.5G з'явилося декілька різних стандартів: CDMA (Code Division Multiple Access) 2000, UMTS (Universal Mobile Telecommunications Service) і WCDMA (Wide CDMA). Інша офіційна назва мереж третього покоління — IMT-2000.

Сімейство стандартів повинно було забезпечити високу швидкість симетричного й асиметричного передавання даних усередині мережі, підтримку пакетної і каналної модуляції для інтеграції з IP-мережами, компактність і ефективність використання наданого спектра, можливість глобального роумінгу.

У характеристиках стандартів сімейства 3G існує поділ за швидкістю передавання даних при різних станах рухливості абонента (табл. 1):

Таблиця 1.1 Поділ за швидкістю передавання даних при різних станах рухливості абонента

Умова	Швидкість
Швидкість пересування менше 3 км/год	до 2,048 Мбіт/с
Швидкість пересування менше 120 км/год	до 144 кбіт/с
Глобальне супутникове покриття	до 64 (144) кбіт/с

Створення мереж третього покоління дозволило розробляти інноваційні сервіси, упровадження яких у мережах 2 і 2.5G було просто неможливе внаслідок низької пропускної здатності радіоканалу.

До таких сервісів належать:

- відеодзвінки;
- відеоконференції;
- мобільний і швидкий доступ до мережі Інтернет;
- потокове віщання (streaming);
- мобільне телебачення;
- дзвінки з поліпшеною якістю передаваних аудіоданих;
- новий виток розвитку мобільної електронної комерції;
- мобільний зв'язок працівників із корпоративними мережами;
- можливість надання інтернет-сервісів користувачам мобільного стільникового зв'язку.

Ефективність мереж третього покоління доведено високим попитом у країнах, де вони поширені. При невисокій собівартості обладнання абонент може дістати доступ в Інтернет на швидкості до 2 Мбіт/с, можливість користуватися відеодзвінками і дивитися улюблений телеканал у вільний час.

Однією з цілей, поставлених перед мережами 3G, є створення глобального покриття, коли абонент перебуватиме в зоні покриття в будь-якій точці Землі.

Значну роль у швидкому розвитку мереж 3G відіграли виробники мобільних телефонів, які стали вбудовувати в телефони стандартів 2G можливість роботи з технологіями UMTS, CDMA2000, WCDMA. Таким чином, купуючи звичайний телефон бізнес-класу, людина діставала можливість роботи в мережах як другого, так і третього покоління. Такий підхід прискорює перехід від 3G до 4G. На сьогодні значного поширення мережі 3G набули в країнах Східної Азії і Америки.

В очікуванні появи на ринку мереж 4G удосконалюються існуючі стандарти 3G. Технологія HSPDA, яка належить до покоління 3.5G, дозволить приймати дані з супутника зі швидкістю до 14 Мбіт/с; також планується поява обладнання, здатного збільшити цю швидкість до 100 Мбіт/с. На сьогодні багато операторів стільникового зв'язку вже побудували і запустили в тестовому режимі мережі HSPDA. Слід відзначити, що через свою гнучкість ця технологія не покине ринок ще роки 2-3 до масового впровадження стільникового зв'язку четвертого покоління.

1.5 Мережі третього та четвертого поколінь

Наступне покоління мереж мобільного зв'язку 3G являє собою абсолютно інший підхід доступу до інформації, що базується на основі пакетної передачі інформації [8].

На сьогоднішній день існує два види 3G стандарту:

- UMTS чи W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) – революційний підхід;
- CDMA2000 – еволюційний підхід, що включає в себе різновиди: CDMA2000, CDMA2000 1X, CDMA2000 1X EV-DO.

Наступними поколіннями мереж мобільного зв'язку стали 3.5G та 4G технології. Технологію HSDPA (High – Speed Downlink Packet Access) розглядаються як один із перехідних до четвертого покоління мереж. Стандарт

базується на високошвидкісній пакетній передачі даних від базової станції до мобільного телефону. 4G покоління мереж мобільного зв'язку представлене наступними технологіями: LTE, mobile WiMAX, UMB. На сьогоднішній день вже йде мова про появу 5G покоління мереж мобільного зв'язку. Компанія Samsung Electronics вже провела перші успішні експерименти з запуску даної технології. На даний момент зафіксована передача даних зі швидкістю 1,056 Гбіт/с на відстань до 2 км в частотному діапазоні 28 ГГц. Стандарти GSM – 900 та GSM -1800 використовуються у Європі та Азії, а GSM-850 та GSM-1900 набули популярності у США, Канаді та окремих країнах Латинської Америки та Африки. Система базових станцій BSS виконує функції управління радіоінтерфейсом між мобільними і базовими станціями. До її складу входять: BTS (Base Transceiver Station) – базова приємопередаюча станція та BSC (Base Station Controller) – контролер базової станції. Система базових станцій через транскодер TCE передає інформацію в систему комутації SS, що у свою чергу складається з MSC, HLR, VLR, EIR, AUC. MSC (Mobile Switching Centre) являє собою центр комутації рухомого зв'язку, HLR (Home Location Register) – «домашній» реєстр положення; VLR (Visit Location Register) – «гостьовий» реєстр положення; EIR (Equipment Identify Register) – реєстри ідентифікації обладнання; AUC (Authentication Centre) – центр аутентифікації.

До складу GSM мереж іноді входять вузол обслуговування абонентів GPRS (SGSN) та шлюзний вузол GPRS(GGSN), детальніше рис. 1.4.

На відміну від структури GSM мережі, у 3G архітектурі з'являються RNC та MGW, а базова станція змінюється з BTS на NodeB (рис. 1.5) MGW є комутаційне поле, підлегле MSC-Server, який у свою чергу відповідає за встановлення з'єднань, тарифікацію та виконує деякі функції аутентифікації. RNC (Radio Network Controller) – контролер мережі радіодоступу системи UMTS – рис. 1.5.

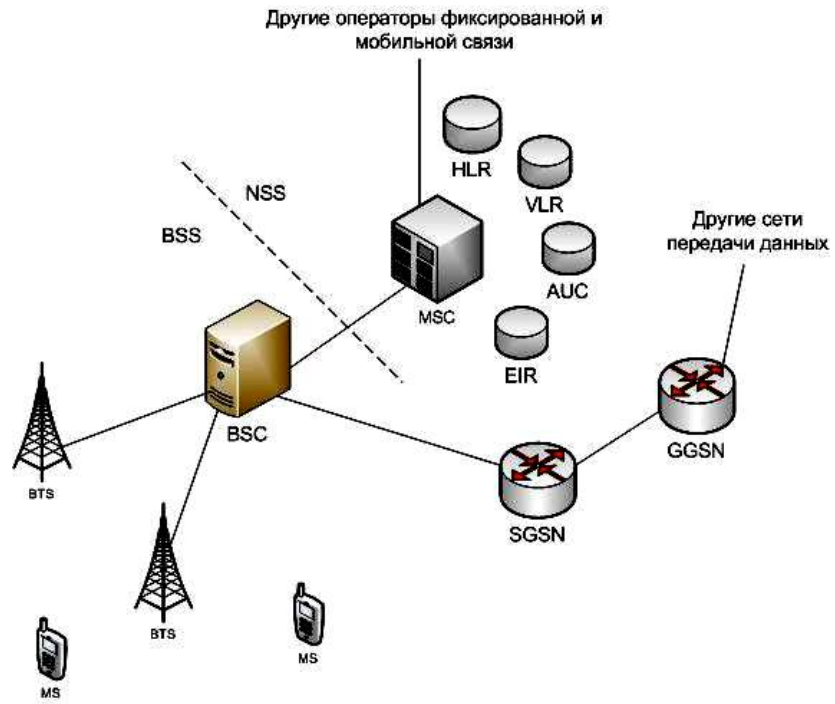


Рис. 1.4 Структура 2G мережі



Рис. 1.5 Структура 3G мережі

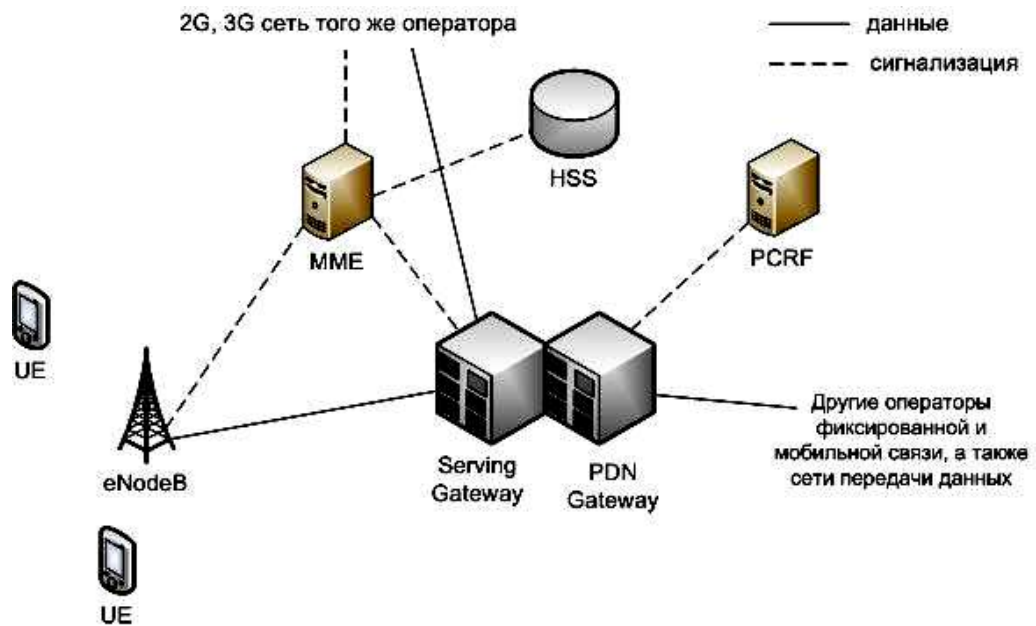


Рис. 1.6 Структура 4G LTE мережі

До складу GSM мереж іноді входять вузол обслуговування абонентів GPRS (SGSN) та шлюзний вузол GPRS (GGSN), детальніше рис. 1.4. На відміну від структури GSM мережі, у 3G архітектурі з'являються RNC та MGW, а базова станція змінюється з BTS на NodeB (рис. 1.5). MGW є комутаційне поле, підлеглий MSC-Server, який у свою чергу відповідає за встановлення з'єднань, тарифікацію та виконує деякі функції аутентифікації. RNC (Radio Network Controller) – контролер мережі радіодоступу системи UMTS – є центральним елементом підсистеми базових станцій. NodeB – базова станція системи стільникового зв'язку стандарту UMTS, основною функцією якої є перетворення сигналу, отриманого від RNC в широкосмуговий радіосигнал і передача його до телефону.

Структура мережі LTE сильно відрізняється від мереж стандартів 2G і 3G. Істотні зміни зазнала і підсистема базових станцій, і підсистема комутації (змінена технологія передачі даних між обладнанням користувача та базовою станцією, змінилися протоколи передачі даних між мережевими елементами), детальніше рис. 1.6.

Технології 4G.

Розвиток мережі Інтернет, кількості та якості інтерактивних сервісів передбачає одночасне розширення каналів зв'язку, які пов'язують користувача зі всесвітньою павутиною. Тепер, коли швидкості передавання даних модно вимірювати мегабайтами і гігабайтами за секунду, колишні технології відходять в історію і на зміну їм приходять нові, які дозволяють зв'язати всі пристрої воєдино й управляти ними централізовано. Такі сервіси, як онлайн-мовлення популярних теле- і радіоканалів, VoIP-телефонія стають усе більш звичними і доступними користувачеві. Незважаючи на те, що кількість користувачів широкосмугового доступу до мережі Інтернет все ще складає невеликий відсоток від загалу, проте їх кількість постійно зростає.

Розроблені технології передавання даних для мереж 3G уже в певних випадках не можуть розв'язати поставлені перед ними завдання. І якщо для звичайного користувача затримки в передаванні даних можуть не відігравати вирішальної ролі, то для бізнес-аплікацій затримка на секунду може коштувати тисяч або навіть мільйонів доларів. У таких ситуаціях технологій UMTS, CDMA2000 і WCDMA виявляється недостатньо для таких потреб. Використання ж стандарту 802.11 a/b/g, який певною мірою міг би поліпшити ситуацію, обмежено декількома показниками, основною з яких є відстань до точки доступу.

Однією з основних цілей, які враховувалися під час розробки сімейства стандартів 4G, є об'єднання всіх видів комунікацій в одну структуру, схему якої можна спостерігати на рис. 1.7.

Мережі Wi-Fi, 3G, супутникове відео- й аудіомовлення, мережі Wi-MAX і мережі четвертого покоління взаємодітимуть через комплекс пристроїв, названий Internet Gateway Router, завданням якого є створення середовища для прозорого використання всіх названих вище технологій і зв'язку мереж Інтернету з наземними телефонними лініями. Це дозволить використовувати доступні за вартістю вже існуючі в IP-мережі технології для передавання

великих обсягів даних, що, поза сумнівом, має позначитися на вартості обслуговування стільникових мереж.

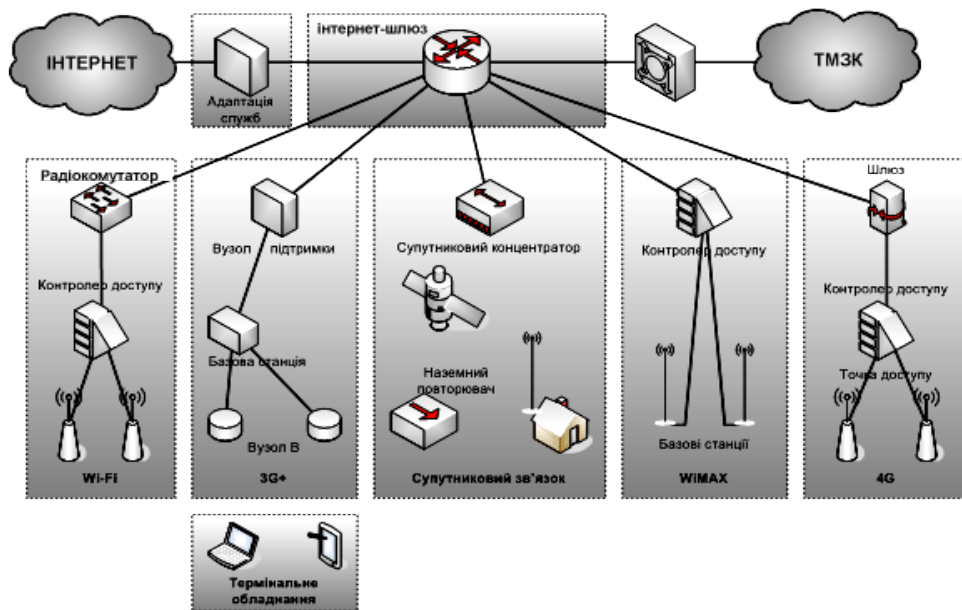


Рис. 1.7 Схема інтеграції мереж

На шляху розробки 4G було декілька перешкод, які полягали в пошуку нових ефективних способів використання радіоефіру, алгоритмів стиснення і передачі даних. Слід відзначити, що спочатку стільникові мережі були призначені для передавання голосу, тому простим підвищенням потужностей обладнання вагомих результатів добитися було неможливо. Основними нововведеннями в стільниковому зв'язку четвертого покоління є: технологія ущільнення з ортогональним частотним розділенням кодованих сигналів і використанням змінного чинника поширення (Variable-Spreading-factor Spread Orthogonal Frequency Division Multiplexing, VSF-Spread OFDM), а також система множинного введення/виведення (Multiple Input Multiple Output, MIMO). Технологія VSF-Spread OFDM дозволяє використовувати одночасно декілька частотних діапазонів, що дозволяє збільшити пропускну здатність каналу в декілька разів. Технологія MIMO дозволяє передавати інформацію відразу декількома маршрутами від або до базових станцій.

На сьогодні явним конкурентом мереж 4G є розроблений стандарт безпроводового передавання даних WiMAX або, як його ще називають, IEEE 802.16. Радіус покриття однієї базової станції технології WiMAX в місті складає в середньому 4 км. На цій території можуть проживати приблизно 180—240 тис. осіб. Якщо видати кожному користувачеві канал завширшки в 1 Мбіт/с, то максимальна кількість одночасно обслуговуваних клієнтів складатиме приблизно 1900 осіб з 240 тис. У деяких регіонах до реалізації WiMAX існували мережі, названі pre-WiMax, які через високу вартість маловідомого абонентського обладнання так і не стали популярними.

У такій ситуації мережі третього і четвертого покоління для звичайного користувача мають набагато привабливіший вигляд. Незважаючи на те, що пропоновані сервіси UMTS, WCDMA і CDMA 2000 дозволяють розвинути швидкості лише до 2 Мбіт/с порівняно з конкурентом WiMAX, її в більшості випадків виявляється достатньо для зручного серфінгу в мережі Інтернет і доступу до сервісів, що надаються на сьогодні. Реалізація й упровадження мереж четвертого покоління дозволить передавати дані у декілька разів швидше, ніж це можна робити зараз. Наприклад, при тестуванні компанією NTT DoCoMo першої мережі 4G пропускна здатність каналу зв'язку склала 1 Гбіт/с при статичному стані абонента. Така швидкість пояснюється тим, що в мережах четвертого покоління використовується тільки ефективне пакетне передавання даних на відміну від існуючого зараз пакетного передавання, суміщеного з передаванням голосового трафіка. Це дозволило відмовитися від «гальмуючих» технологій і замінити їх продуктивнішими, залишивши і поліпшивши при цьому їх функціональність.

За останніми даними, при тестуванні 4G мережі була досягнута швидкість 1 Гбіт/с до абонента при швидкості пересування до 20 км/год, що є укрій високим показником для існуючих технологій.

На сьогоднішній день 4G технологія є лідером у світовій тенденції. А з 2021 року поступово набуватиме розповсюдження 5G технологія. З кожним роком відбуваються зростання загальної кількості користувачів різноманітних

пристроїв. Навіть у 2015 році 516 млн. людей користувалося інтернетом. У 2020 році загальна кількість пристроїв перевищить 20 млрд, а найбільшого розповсюдження набудуть IoT системи.

Технологія 4G за технічними характеристиками є потужнішою ніж 3G. Проте, технологія 3G продовжує розвиватися і, на сьогоднішній день, майже не поступається швидкостям 4G технології. Слід враховувати, що створення 4G мереж вимагає значного фінансування, а 3G технологія вже набула широкого розповсюдження і компаніям необхідно лише модифікувати вже створенні мережі, а не проектувати нові. Ще доволі довгий час 3G технологія зможе конкурувати з LTE мережами.

Значного розповсюдження 4G технологія набуде протягом наступних 5 років та поступове перейде у 5G технологію.

1.6 Проблеми завадостійкості в мобільних системах зв'язку

1.6.1. Специфічні перешкоди систем мобільного зв'язку

Класифікація та характеристики перешкод у системах радіозв'язку [14]. Перешкоди за походженням розділяються на внутрішні та зовнішні. Зовнішні, у свою чергу, поділяються на атмосферні, космічні, індустриальні та станційні. За характером спектра – на флукуаційні, зосереджені, імпульсні. За характером взаємодії з корисним сигналом – адитивні, мультиплікативні. Мультиплікативні в свою чергу можуть бути у вигляді завмирань (швидких та повільних), а також частотні, інтерференційні і поляризаційні.

Внутрішні шуми прийомних пристроїв є наслідком хаотичного руху електронів у всіх елементах прийомних пристроїв. Вони являють собою неперервний випадковий процес з нульовою середньою і спектральною щільністю потужності N_0 , постійною в ефективної смузі пропускання прийомного тракту

Специфічними для систем мобільного зв'язку є такі види перешкод як перешкоди від близько розташованого передавача, інтермодуляційні перешкоди і міжсимвольна інтерференція. Перешкоди від близько

розташованого передавача органічно невід'ємні від систем зв'язку з мобільними об'єктами. Так, наприклад, іноді частина МО може знаходитися занадто близько до передавача, що заважає, і занадто далеко від потрібного передавача.

Інтермодуляційні перешкоди, як правило, виникають у багатоканальних системах з частотним поділом каналів. Міжсимвольна інтерференція може виникати при передачі цифрової інформації. Перешкоди між сусідніми каналами можуть бути розділені на внутрішньосмугові і зовнішньосмугові. Термін внутрішньосмугова означає, що центральна частота спектра сигналу перешкоди виявляється в межах смуги частот корисного сигналу. Термін зовнішньосмугова відповідно означає, що центральна частота спектра перешкоди виявляється за межами смуги частот корисного сигналу.

Вплив перешкоди від сусіднього каналу може бути значно послаблений розробкою плану розподілу частот, що забезпечує достатній рознос частот між сусідніми каналами. Крім того, для ослаблення впливу перешкод від сусіднього каналу доцільно використовувати в приймачах смугові фільтри з високою вибірковістю. У той же час, при рівних рівнях потужності внутрішньоканальної перешкоди і перешкоди від сусіднього каналу вплив останньої завжди позначається в меншому ступені. При впливі зовнішньосмугової перешкоди від сусіднього каналу на вхід ЧМ демодулятора сигналів з виходу фільтра проміжної частоти проходять тільки «хвости» спектра перешкоди від сусіднього каналу.

Значна фазово-амплітудна конверсія призводить до того, що на виході фільтра проміжної частоти сигнал перешкоди від сусіднього каналу виявляється подібно шуму. Оскільки на виході фільтра проміжної частоти цей шумоподібний сигнал перешкоди може розглядатися як гаусовський шум, тоді можна скористатися відомими методами аналізу завадостійкості частотних демодуляторів у присутності шуму для оцінки впливу зовнішньосмугової перешкоди від сусіднього каналу. Основною відмінністю даного випадку є те, що центральна частота спектра шуму не збігається з частотою несучої

Перешкоди від близько розташованого передавача виникають у тому випадку, коли відстань між приймачем МО і передавачем базової станції стосовно іншого МО, який веде передачу і розташований поруч настільки близько, що можливе придушення корисного сигналу базової станції.

Ця ситуація, як правило, виникає, коли МО знаходиться на значному віддаленні, скажемо d_1 від «своєї» базової станції, але досить близько до передавача іншого МО, що заважає, скажемо, на відстані d_2 , причому $d_1 > d_2$. За цих умов, якщо обидва передавачі мають однакову потужність і працюють одночасно на одній частоті, то сигнали, прийняті на МО від базової станції, будуть маскуватися сигналами, прийнятими від передавача, що заважає. Подібна перешкода може виникати і на базовій станції, коли сигнали приймаються одночасно від двох МО, що знаходяться на різних відстанях від базової станції (один у ближній, а інший в далекій зоні). У цьому випадку сигнали ближнього МО, розташованого на відстані d_2 , будуть інтерферувати із сигналами вилученого МО, розташованого на відстані d_1 . Розходження в потужності сигналів, обумовлене різним значенням втрат поширення між приймачем і двома, рознесеними в просторі передавачами, можна охарактеризувати динамічним діапазоном, під яким розуміється відношення рівнів сигналів від близько розташованого і вилученого передавачів.

Динамічний діапазон виражається таким способом:

Відношення рівнів сигналів від близько розташованого і вилученого передавачів = Втрати поширення на d_1 / Втрати поширення на d_2 .

Для швидкої спрощеної оцінки динамічного діапазону в децибелах можна прийняти, що для найбільш типових умов поширення при зв'язку з МО нахил характеристики втрат складає 40 дБ/декаду, тоді:

Відношення рівнів сигналів від близько розташованого і вилученого передавачів = $40 \lg$ (відношення відстаней).

Існують три основних джерела інтермодуляційних перешкод: амплітудно-фазова конверсія в процесі посилення, непогодженість антени і взаємний вплив близько розташованих антен. Зниження їх впливу досягається шляхом

використання спеціальних схем формування сигналів, що компенсують, і пристроїв, які погоджують, з гарними характеристиками.

Якщо цифрова система передачі інформації є лінійною і не вносить перекручувань на всіх частотах, то вона має теоретично нескінченну смугу частот. Однак реальні системи передачі цифрової інформації мають кінцеву смугу частот, у межах якої є цілком визначені частотні перекручування.

У системі без перекручувань, що має нескінченну смугу частот, відданий імпульс $s(t)$ не буде перетерплювати перекручувань, обумовлених неідеальністю частотної характеристики.

Оскільки $s(t)$ не перетерплює перекручувань, збільшення швидкості передачі сигналів може бути досягнуто зменшенням тривалості імпульсів і зменшенням їхнього числа на заданому інтервалі часу. Однак у реальних системах, що мають кінцеву смугу частот та неідеальну частотну характеристику, тривалість окремих імпульсів буде збільшуватися і вони будуть перекриватися один з одним. Це явище зветься міжсимвольною інтерференцією (МСІ). Отже, у реальних системах необхідно використовувати для передачі сигнали з визначеною формою імпульсів. Для ослаблення впливу МСІ, обумовленої перекриттям імпульсів при збільшенні швидкості передачі сигналів, використовуються методи, засновані на застосуванні коректорів і спеціальних схем цифрового кодування.

Суттєвими для стільникових систем зв'язку є мультиплікативні перешкоди, зв'язані з багатопроменевим поширенням радіохвиль в умовах міської забудови. При цьому інтерференційні завмирання, зв'язані з протифазним прийомом двох і більше сигналів (відбитих від будівель, рельєфу місцевості) можуть складати до 30 дБ. Ефективними методами боротьби з багатопроменевим поширенням радіохвиль є використання методів рознесеного прийому (за частотою, простором або часом) і широкосмугових сигналів. При обробці широкосмугових сигналів за допомогою кореляційних приймачів або узгоджених фільтрів є можливість з'ясування інтервалів запізнення поширення сигналів і їх синфазного складення, що підвищує співвідношення сигнал/шум.

Для підвищення перешкодостійкості і більш ефективного використання радіоспектра передбачається встановлення на БС спрямованих 120° антен. У цьому разі кожна БС має трьохсекторну антену, яка розміщується в одному з вузлів шестикутового сектора і, таким чином, охоплює три чарунки. Так як в цьому разі на кожному чарунку (стіленьник) приходиться три сектора від трьох БС, то загальна кількість залишається рівною числу стіленьників.

1.7 Алгоритм частотно-територіального планування мереж стіленьникового зв'язку

Визначальним при проектуванні мережі рухомого радіозв'язку є планування радіомережі, яке представляє собою ітеративний процес з виконанням наступних кроків [3]:

1 Синтез структури мережі, що передбачає пошук найбільш оптимального варіанту, що дозволяє при мінімальній кількості використовуваних ресурсів (перш за все апаратурних і частотних) врахувати всі вихідні вимоги, які ставляться при плануванні радіомережі.

2 Прогнозування напруженості поля, створюваного кожною базовою станцією.

3 Визначення зони покриття і виявлення тіньових зон для кожного осередку і мережі в цілому.

4 Розподіл частот по окремих осередків.

5 Аналіз роботи мережі з урахуванням взаємних перешкод.

При частотно-територіальному плануванні вибирається структура мережі, місця розміщення базових станцій (БС), визначається можливість забезпечення покриття необхідної зони обслуговування з заданою якістю зв'язку, розробляється частотний план розподілу радіоканалів для БС, виконується адаптація планів до умов територіальних і частотних обмежень проектованої зони обслуговування, перевіряються забезпечення зовнішньої електромагнітної сумісності (ЕМС) планованої системи з РЕЗ інших систем і можливість

забезпечення необхідної ємності мережі для обслуговування абонентського навантаження із заданою вірогідністю блокування викликів.

Блок-схема алгоритму частотно-територіального планування мереж стільникового зв'язку приведена на рисунку 1.8.

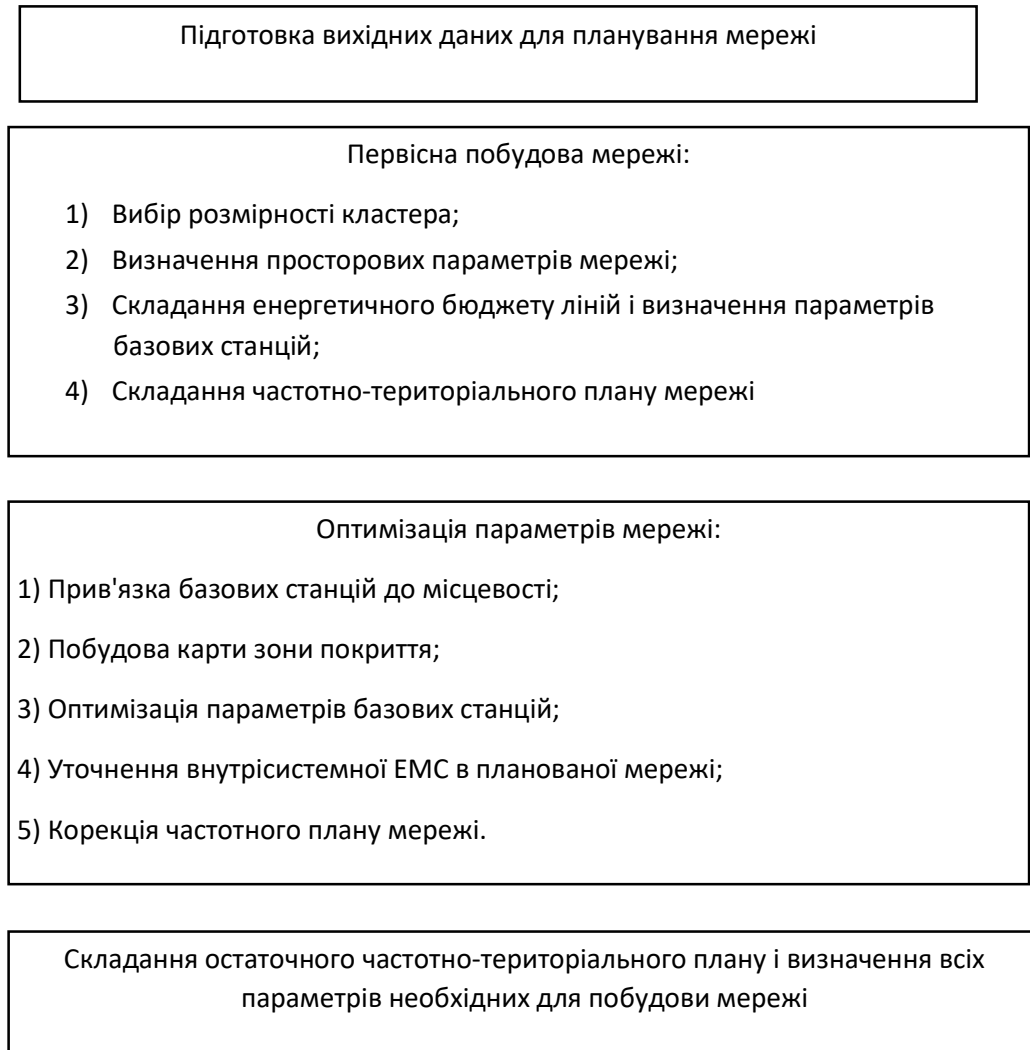


Рисунок 1.8 - Алгоритм планування мережі рухомого зв'язку

1.8 Постановка задачі

Для реалізації мети кваліфікаційної роботи необхідно вирішення наступних задач:

- зробити вибір місцевості для планування мережі мобільного зв'язку та визначити її характеристики;

- розрахувати параметри мережі мобільного зв'язку;
- визначити втрати рівню сигналу по трасі розповсюдження;
- зробити оцінку надійності функціонування мережі.

1.9 Висновки

У першому розділі наведені основні відомості про стандарт мобільного зв'язку GSM, його переваги і недоліки. Розглянуто принципи побудови стандартів 3G та 4G мереж, наведено алгоритм частотно-територіального планування мереж стільникового зв'язку, сформульовані задачі кваліфікаційної роботи.

2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір об'єкту планування мережі стільникового зв'язку

Об'єктом для планування мережі стільникового зв'язку обрано Царичанку - районний центр Дніпропетровської області - Україна. Карта цього населеного пункту наведена на рис. 2.1.

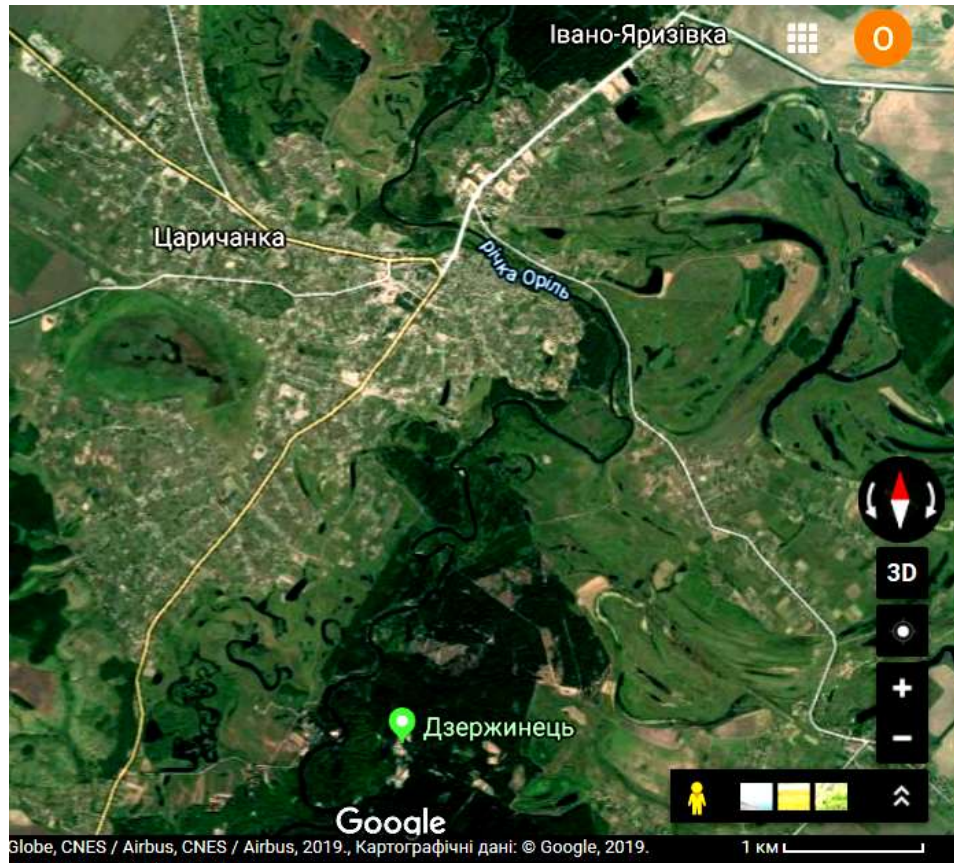


Рисунок 2.1 – Карта районного центру Царичанка

Вихідні дані для планування мережі

Територія зони - сільська місцевість.

Використовуваний стандарт - 3G.

В якості основної в смуги частот для мереж UMTS/HSPA/HSPA+ визначена парна дуплексна смуга I (1920–1980/2110– 2170 МГц).

Число мешканців 7515.

Площа зони районного центру 10, 85 кв.км.

Висота центру зони 69 м.

2.2 Визначення параметрів мережі стільникового зв'язку

Згідно алгоритму планування мереж стільникового зв'язку, що наведено у загальній частині проекту, первісна побудова мережі складає наступні пункти:

- 1) Вибір розмірності кластера.
- 2) Визначення просторових параметрів мережі.
- 3) Складання енергетичного бюджету ліній і визначення параметрів базових станцій.
- 4) Складання частотно-територіального плану мережі.

2.2.1 Вибір розмірності кластера

Щоб розділити територію на стільники оптимально, тобто без перекриття або пропусків ділянок, можуть бути використані різні геометричні фігури, найближче апроксимують окружність. Прикладами таких фігур є трикутник, квадрат і шестикутник. Найбільш придатною фігурою є шестикутник. Це пояснюється тим, що при використанні ненаправленої антени, розташованої в центрі осередку зона покриття буде являти собою коло, площа якої найбільш близька до площі шестикутника [3].

При частотно-територіальному плануванні мереж стільникового зв'язку використовується поняття кластера. Кластером називається сукупність найближчих осередків, в яких використовуються різні частотні канали. Розмірністю кластера називається кількість стільників, що входять до його складу. Розмірність кластера визначається виходячи з наступного співвідношення:

$$K = i^2 + ij + j^2 \quad (2.1)$$

де i, j - цілі числа.

Відстань між стільниками, які використовують одні і ті ж групи частот, залежить від частотного діапазону, допустимого рівня перешкод і кількості базових станцій, розташованих навколо даного стільнику. Використання стільників, в яких базові станції мають ненаправлені антени, призводить до того, що сигнал від базових станцій має однакову потужність у всіх напрямках.

В цьому випадку перешкода в абонентський термінал буде приходити від шести базових станцій (рис. 2.2).

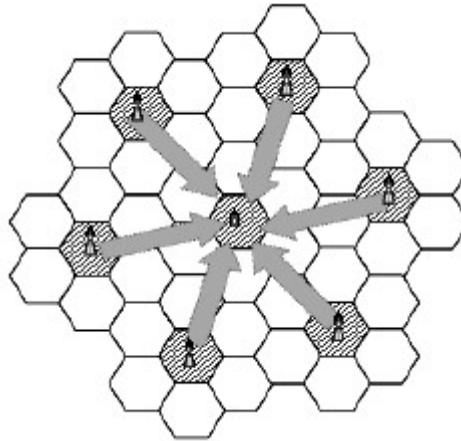


Рисунок 2.2 – Завади по основному каналу прийому

Зниження рівня перешкод досягається за рахунок використання спрямованих антен. Так, в кластерах, що використовують трьох- і шестисекторні антени, на вход абонентського терміналу приходять дві і одна перешкода відповідно.

Типи кластерів і відповідний розподіл груп частот в них визначають моделі повторного використання частот. Головним критерієм при виборі розмірності кластера є виконання вимог щодо допустимого відношення сигнал / перешкода (S / P) в точці прийому в основному каналі.

Для вибору кластера на рівні 0,1 ... 0,15 задані вимоги до ймовірності події, коли відношення сигнал / перешкода в точці прийому виявиться нижче порогового. Цей параметр характеризує стійкість зв'язку при переміщенні рухомого абонента в зоні обслуговування мережі. Зазвичай цю ймовірність задають.

Показник, що зв'язує значення радіуса стільника R і відстань D між стільниками з повторюваними частотами, називається відносним відстані повторного використання частотних каналів і визначається за формулою:

$$q = D/R = \sqrt{3K} . \quad (2.2)$$

На основі експериментальних даних встановлено, що в більшості випадків загасання сигналу в системах рухомого зв'язку зворотно пропорційно $4d$, де d - відстань від джерела перешкоди.

Кластери, які реалізуються у мережах з невеликою щільністю розміщення абонентів є найбільш простими.

Якщо число секторів в осередку $M = 1$ - антена не має направлення і ширина діаграми спрямованості (ДС) за рівнем половинної потужності становить $2\theta^{0,5} = 360^\circ$,

В цьому випадку:

$$j = 6; \quad \beta_1 = \beta_2 = (q - 1)^{-4};$$

$$\beta_3 = \beta_4 = (q - 1)^{-4}; \quad \beta_5 = \beta_6 = (q + 1)^{-4}$$

Відношення сигнал / шум – не менш 9 дБ.

2.2.2 Визначення просторових параметрів мережі

Під просторовими параметрами мережі необхідно розуміти:

- число абонентів, що обслуговуються однією БС;
- число базових станцій в проектованій мережі;
- радіус стільнику.

Просторові параметри мережі для обраного типу кластера і фіксованому числі каналів зв'язку, що припадають на стільник, залежать від допустимого телефонного навантаження при заданій імовірності відмови в обслуговуванні (блокування виклику). Ця величина розраховується за формулою Ерланга.

Визначення просторових параметрів мережі починається з розрахунку загального числа частотних каналів, що виділяються для розгортання мережі на обраній території:

$$n_t = M * K * n_c \quad (2.3)$$

де M - число секторів в стільнику;

K - розмірність кластера; c

n_c - кількість радіоканалів на 1 сектор.

При плануванні мережі стільникового зв'язку основним допущенням вважається рівномірний розподіл абонентів в заданій зоні [4], тобто мережа як би складається з безлічі однакових за розміром стільників, які умовно представляються у вигляді правильних шестикутників. Насправді в мережах GSM використовуються кластери з секторізованими стільниками типу 3/9 і 4/12, що дозволяє з імовірністю близько 80% отримувати на кордоні стільників відношення сигнал / перешкода не менш 9 дБ.

Розрахунок числа частотних каналів в стільнику доцільно проводити послідовним попереднім їх вибором з подальшим аналізом отриманих результатів. Якщо прийняти їх число рівним 1, потім 2, 3 і так далі це підвищує точність визначення.

Збільшення числа каналів істотно впливає на розмір оплати оператором їх оренди. Зменшення ж числа каналів в стільнику призводить до зростання їх числа в мережі і скорочення їх розмірів. Це здорожує розгортання і обслуговування стільників. Мінімальні розміри стільнику визначаються числом допустимих хендверів. Тому для мереж 2,5G -3G радіус стільнику R (рис.2.3) повинен бути не менше 0,6 - 0,8 км.

Стільник - найменша структурна одиниця мережі мобільного зв'язку - це зона радіопокриття антени базової станції (БС), в якій використовується зазвичай 1-3 закріплених за нею радіоканалів. Залежно від характеру діаграми спрямованості (ДС) антени БС стільника може бути кругової (ширина ДС 360°) або секторної (ширина ДС 120° або 60°) – рис. 2.3. В даний час найбільш поширені секторні 120 градусні стільники.

Розмір стільників характеризується радіусом R , що визначає зону обслуговування даної БС. При цьому радіовипромінювання БС поширюється помітно далі відстані R .

Так як в одному частотному каналі існують 8 незалежних фізичних каналів, то по таблиці 2.1 визначаємо число каналів трафіку [10].

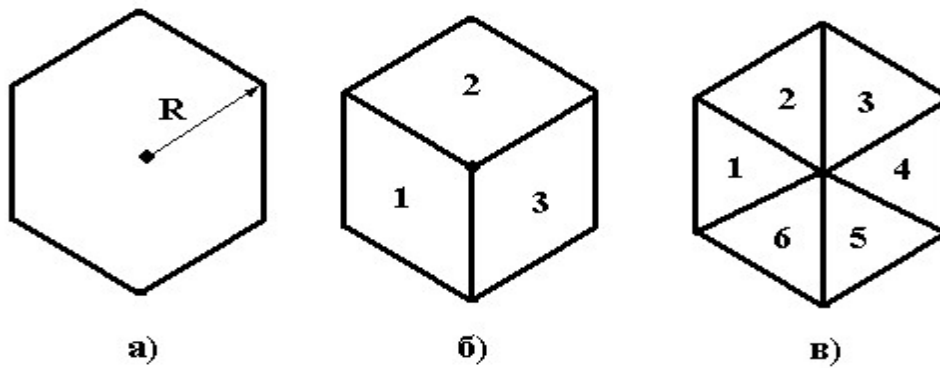


Рисунок 2.3 – Умовне графічне зображення стільника та сайта

а) – круговий стільник; б) - сайт з трьох стільників на 120 градусів; в) - сайт з шести стільників на 60 градусів

Таблиця 2.1.- Визначення кількості фізичних каналів трафіку

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

Вибравши число каналів, визначаємо допустимий трафік в соте на основі статистики абонентів по таблиці Ерланга – Додаток Д.

Формула Ерланга пов'язує число каналів трафіку в стільнику M_{CT} , допустимий трафік в соте A_{CT} в ерлангах і ймовірність відмови абоненту в наданні каналу під час найбільшого навантаження (ГНН) - *Рвідм*:

$$M_{CT} = A_{CT} / A1, \quad (2.4)$$

де $A1$ - трафік одного абонента в ГНН.

Трафік характеризується обсягом інформації, що передається. При передачі даних трафік визначається швидкістю передачі, біт / с, і часом передачі, - числом переданої інформації в бітах. У телефонії одиницею виміру

трафіку є Ерланг. 1 Ерл - це зайнятість одного телефонного каналу (Тф) протягом години.

Розрахунок допустимого трафіку, а значить і максимального числа абонентів, що обслуговуються при заданому числі каналів є статистичним завданням.

При розрахунку відповідно до числа каналів в стільнику за таблицями Ерланга (табл. 2.2) знаходимо допустимий трафік в стільнику A_{CT} . У сучасних стільникових мережах ймовірність відмови абоненту (ймовірність блокування) приймається рівною $P_{відм} = 0,02 = 2\%$.

Розрахуємо параметри стільнику з використанням спочатку одного частотного каналу (8 фізичних каналів). При цьому відповідно до даних таблиці Додаток Д при 8-ми фізичних каналах маємо $A_{CT} = 3,627$ Ерл.

Задавши середнє значення трафіку з рекомендованого діапазону – $A_1 = 0,015-0,025$ Ерл. одного абонента в ГНН (приймаємо $A_1 = 0,02$ Ерл.), визначаємо допустиму кількість абонентів в стільнику:

$$M_{CT} = A_{CT} / A_1 = 3,627 / 0,02 = 181,35 = 182 \text{ особи}$$

Визначаємо загальну кількість стільників у мережі за виразом:

$$q_{CT} = M_{МЕР} / M_{CT} \quad (2.5)$$

Кількість абонентів в мережі приймається як 70% від кількості мешканців, тоді кількість стільників:

$$q_{CT} = 0,7 * 7515 / 182 = 28,9 = 29$$

Площина стільнику обчислюється за виразом:

$$S_{CT} = S_{МЕР} / Q_{CT} \quad (2.6)$$

$$S_{CT} = 10,85 \text{ км}^2 / 29 \text{ ст} = 0,374 \text{ км}^2$$

де S_{CT} – площина зони обслуговування

Радіус стільнику у вигляді правильного шестикутника - рис. 2.3а:

$$R \approx (S_{CT} / 0,65)^{0,5} \quad (2.7)$$

$$R = (0,29 / 0,65)^{0,5} = 0,668 \text{ км,}$$

Отримані результати зведені у таблицю 2.2. Вони не дозволяють однозначно прийняти вибране число каналів. З цього необхідно виконати

розрахунки, приймаючи таке значення числа частотних каналів, що дорівнює двом.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків за першим кроком

Кількість частот у стільнику	1
Кількість абонентів у стільнику $M_{ст}$	182
Кількість стільників в мережі $q_{ст}$	28
Площина стільнику $S_{ст}$, км ²	0,374
Радіус стільнику R , км	0,668

Для двох частотних каналів (16 фізичних каналів), відповідно до таблиці Додаток Д - $A_{СТ} = 9,83$ Ерл., то, використовуючи формули (2.1) ... (2.4), отримуємо результати, представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків за другим кроком

Кількість частот у стільнику	1
Кількість абонентів у стільнику $M_{ст}$	492
Кількість стільників в мережі $q_{ст}$	11
Площина стільнику $S_{ст}$, км ²	1,0
Радіус стільнику R , км	1,27

Отримане значення радіусу стільнику $R = 1,27$ км, відповідає умовам – ($R > 0,8$ км), при цьому кількість стільників в мережі зменшилась до 11.

Як видно з рисунку 2.4 реальна кількість базових станцій в зоні райцентру Царичанка складає 10, що практично співпадає з отриманими результатами.

Таким чином, на підставі розрахунку параметрів мережі, а також натурних вимірювань прийнято варіант зі стільниками, що мають два частотних канали.

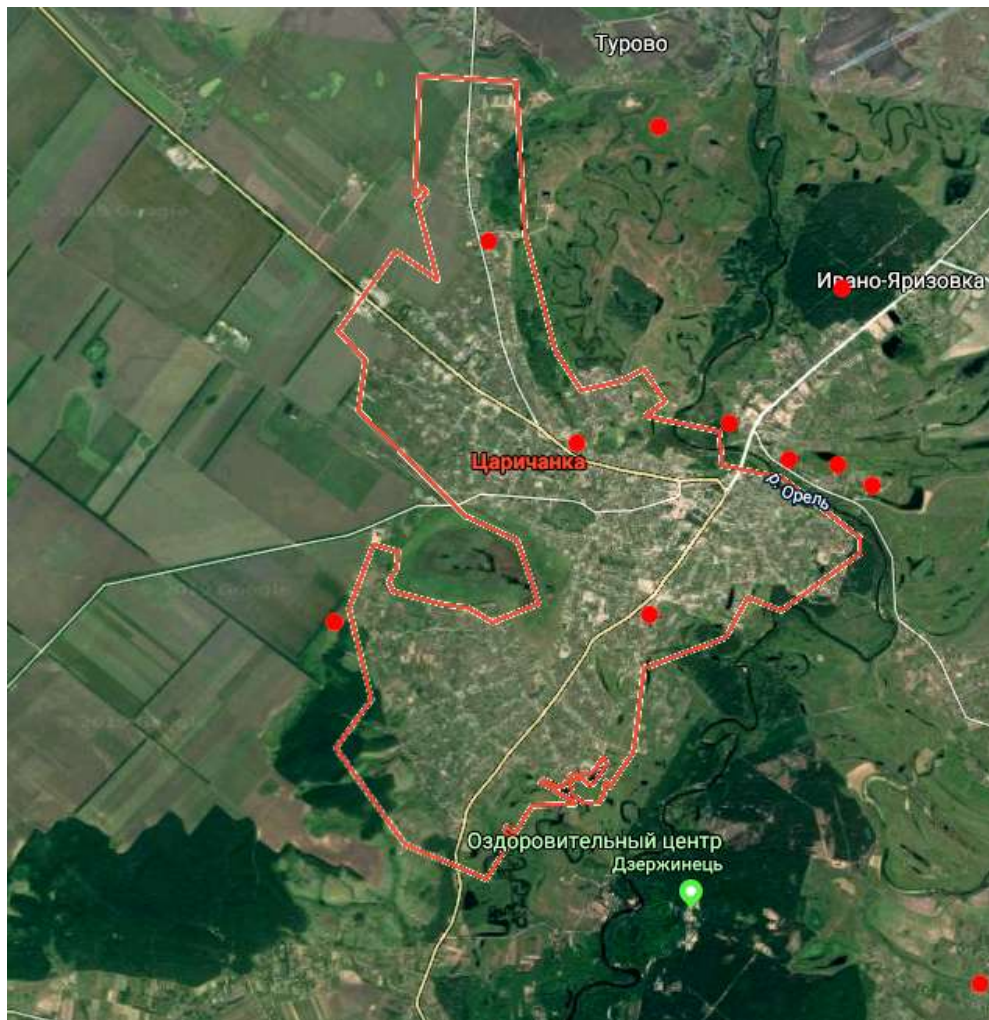


Рисунок 2.4 – Розміщення базових станцій в райцентрі Царичанка

На рисунку 2.5 представлено результат виміру рівня сигналу у райцентрі Царичанка, з якого слід, що в зоні зв'язку існує надійний рівень сигналу.

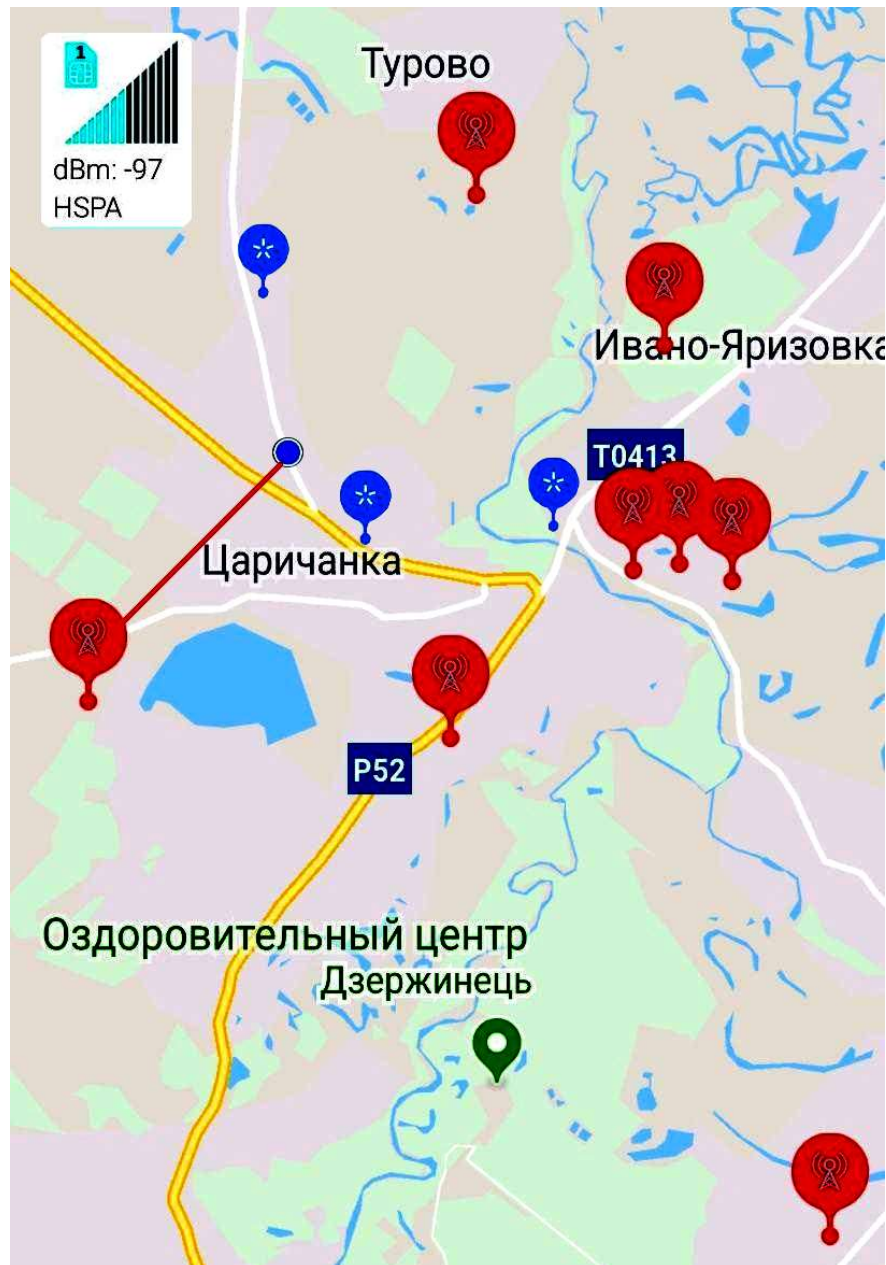


Рисунок 2.5 – Результат виміру рівня сигналу в райцентрі Царичанка

2.3 Визначення балансу потужностей

Рівняння балансу потужностей складаються на основі врахування всіх особливостей проходження сигналу по трасі [10] – рис. 2.6.

Розрахунки трас мереж рухомого зв'язку здійснюються з використанням логарифмів втрат на трасах, в фідерах, комбайнерів і логарифмів коефіцієнтів посилення антен і додаткових підсилювачів. При цьому потужності на виході передавача і на вході приймача виражаються в децибелах на мілліватт (дБм).

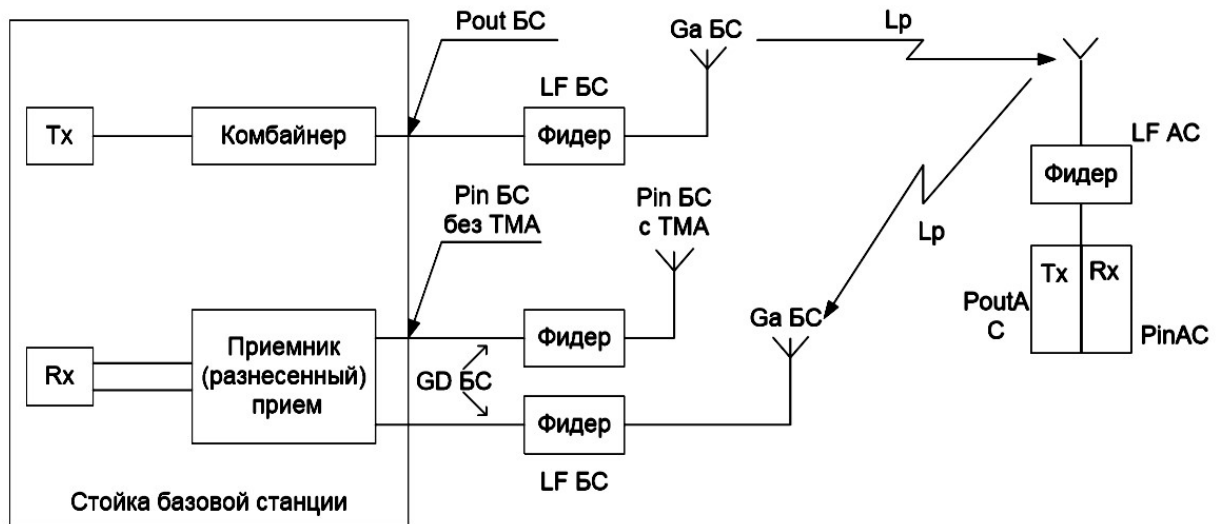


Рисунок 2.6 – Траса проходження сигналу

Позначення на рисунку 2.6:

G - посилення;

L - втрати;

L_p - втрати на трасі;

A - антена;

D - рознесення;

F - фідер;

З - комбайнер;

Tx - передавач;

Rx - приймач;

P_{in} - вхідна потужність;

P_{out} - вихідна потужність;

TMA (Tower Mounted Amplifier) - малошумний підсилювач на вході приймача

Рівняння балансу потужностей в напрямку вгору (AC => BC), тобто від абонентської станції до базової станції:

$$P_{inBC} = P_{outAC} - L_{fAC} + G_{aAC} - L_p + G_{aBC} + G_{dBC} - L_{fBC}. \quad (2.8)$$

Рівняння балансу потужностей в напрямку вниз, тобто від базової станції до абонентської станції (БС => АС):

$$P_{inAC} = P_{outBC} - L_{fBC} + G_{aBC} - L_c - L_p + G_{aAC} - L_{fAC} \quad (2.9)$$

У рівняннях (2.8) і (2.9) значення всіх коефіцієнтів посилення і ослаблення виражаються в децибелах, а потужності - в децибелах на мілліватт.

При розрахунку використані такі параметри абонентських і базових GSM станцій.

P_{inBC} и P_{inAC} – потужності на вході приймачів БС та АС;

P_{outBC} и P_{outAC} – потужності на виході передавачів БС та АС;

G_{aBC} и G_{aAC} – коефіцієнти посилення антен БС та АС;

L_{fBC} и L_{fAC} – втрати потужності у фідерах БС та АС;

L_c – втрати у комбайнері;

L_p – втрати по трасі;

$G_{dBС}$ – виграш за рахунок рознесенного прийому сигналів на БС (3–4 дБ).

В абонентських станціях максимальна вихідна потужність передавачів дорівнює $P_{outAC} = 1$ Вт. Мінімальна чутливість приймачів АС - $P_{inAC} = -104$ дБм - у всіх діапазонах.

Чутливість приймачів базових станцій при наявності додаткового малошумящего підсилювача ТМА - рис. 2.6 на вході приймального тракту $P_{inBC} = -111$ дБм, а без нього - 106 дБм. Стандартні значення потужностей передавачів БС лежать в межах від 28 до 50 Вт.

При перевірці балансу потужностей вгору (2.8) прийнято:

$L_{fAC} = 0$, $G_{aAC} = 0$, $G_{aBC} = 15-17$ дБ, $L_{fBC} = 2$ дБ, $G_{dBTS} = 3$ дБ (при використанні рознесенного прийому).

При перевірці балансу потужностей вниз (2.9) прийнято:

$L_{fBC} = 2$ дБ, $G_{aBC} = 15-17$ дБ, $L_c = 0$, якщо в стільнику 1 або 2 частоти,

$L_{fAC} = 0$, $G_{aAC} = 0$.

Величини P_{inAC} і P_{inBC} повинні перевищувати чутливість приймачів мобільної станції - 104 дБм і базової станції - 111 дБм. Якщо ці параметри виявляються менше, то слід спробувати збільшити висоту підвісу антени БС або зменшити радіус стільники.

2.4 Визначення втрат на трасі

Втрати на трасі в даному проекті визначаються за моделлю Окумура-Хата [12]. Вони залежать від відстані R , робочої частоти F , висоти підвісу антен базової станції БС і абонентської станції АС.

При вихідних даних:

діапазон частот - 1800 - 2200 (стандарт 3G) МГц

середня частота піддіапазону вниз БС => АС: - 2000 МГц, приймаємо:

висота БС = 40 м; висота АС = 1,5 м; $R = 1,27$ км (прийнята рівною радіусу стільника за розрахунком – табл. 2.3);

зона - сільська місцевість.

Середні (медіанний) втрати на трасі - L_{CM} (в сільській місцевості) згідно моделі COST 231 складають; [10]:

$$L_{CM} = 27,81 + 46,05 \lg F - 13,82 \lg H_{BC} - (1,1 * \lg F - 0,7) H_{AC} + \\ + (44,9 - 6,55 \lg H_{BC}) \lg R - 4,78 (\lg F)^2$$

$$L_{CM} = 27,81 + 152,01 - 22,14 - 4,396 + 3,57 - 52,07 = 104,78 \text{ дБ}$$

Необхідний запас потужності сигналу для його впевненого прийому на 90% площі з ймовірністю 75% становить:

$$\Delta P_{\sigma} = 0,68\sigma \quad (2.10)$$

Це значення дорівнюється:

$$\Delta P_{\sigma} = 0,68 * 8 = 5,6 \text{ дБм,}$$

де $\sigma = 8$ дБ - середньоквадратичне відхилення сигналу через флуктуації в конкретній місцевості. Необхідно також враховувати додаткові втрати в будівлях - $L_{\text{доп}} = 12$ дБ.

Отже, сумарні втрати на трасі:

$$L_p = L_{\text{см}} + \Delta P_{\sigma} + L_{\text{доп}} = 104,78 + 5,6 + 12 = 122,38 \text{ дБ}$$

Розрахунок балансу потужностей в напрямку вгору (АС => БС) згідно з формулою (2.8):

$$P_{\text{inBC}} = 30 - 0 + 0 - 122,38 + 16 + 3 - 2 = -75,38 \text{ дБм}$$

Розрахунок балансу потужностей в напрямку донизу (БС => АС) згідно формулою (2.9)

$$P_{\text{inAC}} = 47,77 - 2 + 16 - 0 - 122,38 + 0 - 0 = -60,61 \text{ дБм}$$

Знайдені величини $P_{\text{inAC}} = -60,61$ дБм та $P_{\text{inBC}} = -75,38$ дБм перевищують чутливість приймачів, які складають:

мобільної станції - АС - 104 дБм,

базової станції - БС - 111 дБм.

Таким чином, отримані результати задовольняють наявним вимогам до забезпечення надійного зв'язку.

2.5 Розрахунок надійності мережі стільникового зв'язку

При проектуванні мереж стільникового зв'язку одним з найважливіших завдань є вибір пристроїв і вузлів, які забезпечують виконання всіх покладених на них функцій протягом тривалого терміну служби обладнання. Вирішення цієї проблеми можливе лише при комплексному підході до питань надійності на всіх стадіях проектування і експлуатації [10, 13].

Надійність - це властивість системи забезпечувати нормальне виконання заданої функції, забезпечувати початкові технічні характеристики протягом певного часу в заданих межах допуску.

Надійність характеризується:

- безвідказністю;
- ремонтпридатністю;
- довговічністю.

Безвідмовність - властивість системи безпосередньо зберігати працездатність в певних умовах і режимах експлуатації.

Ремонтпридатність - властивості системи, які полягають в пристосованості до попередження про порушення і усунення відмов шляхом планового технічного обслуговування і ремонту.

Довговічність - властивість системи зберігати працездатність в перервах між плановим технічним обслуговуванням і ремонтом до граничного стану [8].

В основі поняття надійності лежить поняття відмови. Відмова - порушення працездатності системи, що полягає у припиненні виконання заданих функцій або виході робочих показників за задані межі. Для апаратури передачі даних характерні відмови різного типу - раптові і поступові, повні та часткові, самоусувається і стійкі.

Збій в роботі мережі стільникового зв'язку може бути викликаний різними причинами:

- обривом ліній зв'язку,
- виходом з ладу обладнання;
- природними явищами.

При цьому для користувачів послуг не має значення, внаслідок чого порушується зв'язок.

В рамках договору про надання послуг та якості обслуговування абоненту повинен бути гарантований певний, досить великий проміжок часу, протягом якого показники якості обслуговування не будуть нижче заданих.

Простої, викликані збоями в роботі мережі, можуть супроводжуватися значними втратами прибутку підприємств. Таким чином, актуальними є питання скорочення часу простою, оцінка втрат, викликаних простоями, і оцінка витрат на мінімізацію цих втрат.

Для вирішення поставлених завдань виникає необхідність у кількісній оцінці надійності. З цією метою в теорії надійності вводяться певні кількісні характеристики і встановлюється зв'язок між ними, розробляються методи, що дозволяють аналізувати фізичні причини відмов і прогнозувати надійність систем.

Час напрацювання на відмову T_{cp} і середній час відновлення після збою T_v є основними параметрами, які слід враховувати при вирішенні завдання забезпечення надійного і стабільного сервісу.

Параметрами безвідмовності є:

- інтенсивність відмов системи;
- напрацювання на відмову системи;
- ймовірність безвідмовної роботи.

Знаючи T_{cp} кожного елемента системи, можна визначити інтенсивність відмов λ , 1 / ч, кожного елемента за формулою:

$$\lambda = 1/T_{cp} \quad (2.11)$$

Найбільш поширені значення зазначених параметрів наведені в табл. 2.8

Таблиця 2.4 – Параметри оцінки працездатності

Середній час напрацювання на відмову T_{cp} , тис. год			Середній час відновлення T_v , год
БС	Контролер	Мультиплексор	
27...39 = 33	50...62 = 56	40...54 = 47	2...12 = 7

Інтенсивність відмов базової станції (БС):

$$\lambda_{BC} = 1/33000 = 30 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Інтенсивність відмов контролера:

$$\lambda_K = 1/56000 = 17,8 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Інтенсивність відмов мультиплектора:

$$\lambda_M = 1/47000 = 21,3 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Інтенсивність відмов всієї системи в цілому розраховується за формулою (2.18):

$$\lambda_C(t) = \sum \lambda_i \quad (2.12)$$

де λ_i – інтенсивність відмов кожного елемента системи:

$$\lambda_C(t) = (30 + 17,8 + 21,3) \cdot 10^{-6} = 69,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/ч}$$

Знаючи інтенсивність відмов всієї системи, можна визначити напрацювання на відмову системи:

$$T_{ср.с} = 1 / \lambda_C(t) = 1 / 69,1 \cdot 10^{-6} = 14472 \text{ год.} = 603 \text{ доби} = 1,652 \text{ року}$$

Імовірність безвідмовної роботи – це імовірність того, що протягом заданого часу не відбудеться відмови в системі. Її значення визначається за формулою (2.19):

$$P_c(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.19)$$

де t - час випробування, год;

λ - інтенсивність відмов системи.

Час випробування може набувати таких значень: 24, 720, 2172, 8760 годин.

Результати розрахунку ймовірності безвідмовної роботи зведені в таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 Ймовірність безвідмовної роботи при різному часі випробувань

Час випробувань, год.	24	720 (1 мес)	2172 (3 мес)	8760 (1 год)
Імовірність відмов	0,9983	0,9514	0,86	0,546

2.6 Висновки

У спеціальній частині проекту - розділ 2 проведений розрахунок допустимого числа каналів трафіку і параметрів стільників на підставі вихідних даних для проектування мережі мобільного зв'язку в сільській місцевості - число абонентів мережі 7515, площа зони обслуговування 10,85 кв.км.

Результати розрахунків: кількість частот в соте - 2; Число абонентів в соте - 492; кількість стільників в мережі - 11; площа стільнику - 1,0 кв.км; радіус стільнику - 1,27 км.

Втрати на трасі Lcm (в сільській місцевості) в становлять 122,38 дБ.

Розрахунок балансу потужностей в напрямку вгору (АС => БС) склав $P_{inAC} = -75,38$ дБм, в напрямку вниз (БС => АС), $P_{inBC} = -60,61$ дБм. Знайдені величини перевищують чутливість приймачів: для мобільної станції (АС) - 104 дБм, базової станції (БС) - 111 дБм.

Зроблено розрахунок безвідмовності системи. Встановлено, що при часі випробування 1 місяць ймовірність безвідмовної роботи складе 95,1%.

РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Загальні відомості щодо обґрунтування ефективності проектування

Для районних центрів існують потреби в удосконаленні та розширенні мереж стільникового зв'язку, що дає можливість операторам шукати більш дешеві і якісні рішення для побудови нових і розширення існуючих стільникових мереж з метою підвищення їх конкурентоспроможності

Даний проект являє собою варіант розрахунку параметрів і побудови мережі стільникового зв'язку стандарту 2G - 3G в сільській місцевості з кількістю мешканців до 10000.

Термін первинного проектування прийнято рівним у 20 днів.

Таблиця 3.1 Розрахунок вартості обладнання

№	Найменування	Кількість	Сума вартості товару (грн.)	Загальна Сума
1.	Ноутбук Lenovo IdeaPad 330-15IKB	1	13300	13300
2.	Wi-Fi роутер TP-Link WR-940N	1	1070	1070
3.	Принтер Pantum P2207	1	2150	2150
4.	Картридж для принтеру Pantum PC-230R	1	630	630
5.	Папір Rey Copy A4, 500 арк/пач.	3	100	300
6.	Витрати на оплату Інтернету 100мб/с	1 міс	150	150
7	Транспортні витрати		1000	1000
Разом			18400	18600

3.2 Складання кошторису витрат на проектування

До річних експлуатаційних витрат відносимо:

- амортизаційні відрахування;
- витрати на оплату праці;
- єдиний соціальний внесок;
- витрати на електроенергію
- інші витрати.

Амортизаційні відчислення складають 40% за рік від суми капітальних витрат [15]:

$$C_a = K \times 0,4 \quad (3.1)$$

$$C_a = 18\,600 \times 0,4 = 7440 \text{ (грн.)}$$

Для визначення фонду оплати праці виробничого персоналу визначаємо його чисельність по відділах, посадовий оклад, встановлений для кожного працівника.

3.3 Розрахунок заробітної плати: (таблиця 3.2)

Таблиця 3.2 - Заробітна плата персоналу

Посада	Кількість	Заробітна плата за місяць (25 робочих днів) на одиницю, грн.	Заробітна плата за термін виконання проектних робіт. (20 робочих днів), грн	Сума фонду оплати праці за рік, грн.
Оператор	1	7500	6000	6000
Разом				6000

3.4 Визначення соціального відрахування [16]:

Соціальне відрахування становить 37,5 % від річного фонду оплати праці:

$$C_c = C_z \times 0,375$$

де C_c – відрахування на соціальні заходи від заробітної плати;

C_z – заробітна плата обслуговуючого персоналу;

$$C_c = 6000 \times 0,375 = 2250 \text{ (грн.)}$$

Оплата праці з відрахуванням:

$$\text{Оп.} = C_z + C_c, \quad (3.2)$$

де $Оп$ – Оплата праці з відрахуванням.

$$\text{Оп.} = 6000 + 2250 = 8250 \text{ (грн.)}$$

Розрахуємо витрати з оплати електроенергії для виробничих потреб:

$$\text{Витр.Ел} = C \times \text{Тар}, \quad (3.3)$$

де Витр.Ел – Витрати електроенергії

$$\text{Витр.Ел} = 1.1 \times 1.68 = 1.8 \text{ (грн/год)}$$

C – загальній обсяг потреб електроенергії. (кВт)

Тар – тариф на електроенергію.

Техніка буде працювати 20 робочих днів, по 10 годин на добу.

Загальні витрати за час виконання проекту на оплату електроенергії складають – 360 (грн).

3.5 Розрахунок витрат на обслуговування та ремонт обладнання:

Витрати на ремонт та обслуговування обладнання становлять 2% від його вартості:

$$\text{Витр} = 18600 \times 0,02 = 372 \text{ (грн)}$$

3.6 Інші витрати:

Інші витрати по експлуатації об'єкта визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$\text{Спр.} = C_z \times 0,04 = 240 \times 0,04 = 10 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 3.3 - Загальні витрати на організацію проектування

Найменування витрат	Сума, грн.
Капітальні витрати	18600
Амортизація	7440
Фонд оплати праці	6000
Єдиний соціальний внесок	2250
Витрати на оплату електроенергії	360
Витрати на ремонт і обслуговування	372
Інші витрати	10
Усього	35 032

3.7 Висновок

Визначити економічну ефективність проекту, можна виходячи з порівняння його з аналогами або за попередньою домовленістю із замовником.

Аналіз отриманих результатів показав, що капітальні витрати на виконання проектних робіт за 20 робочих днів, становить – 35 032грн.

ВИСНОВКИ

У першому розділі наведені основні відомості про стандарти мобільного принципи їх побудови, переваги стандартів 3G та 4G, розглянуті питання впливу перешкод на передачу сигналів, наведено алгоритм частотно-територіального планування мереж стільникового зв'язку, сформульовані задачі кваліфікаційної роботи.

У спеціальній частині проекту - розділ 2 - проведено розрахунок допустимого числа каналів трафіку і параметрів стільників на підставі вихідних даних для проектування мережі мобільного зв'язку в сільській місцевості з числом абонентів мережі 7515, площа зони обслуговування 10,85 кв.км.

Результати розрахунків: кількість частот в стільнику - 2; Число абонентів в стільнику - 492; кількість стільників в мережі - 11; площа стільнику - 1,0 кв.км; радіус стільнику - 1,27 км.

Втрати на трасі Lcm (в сільській місцевості) становлять 122,38 дБ.

Розрахунок балансу потужностей в напрямку вгору (АС => БС) склав $P_{inAC} = -75,38$ дБм, в напрямку вниз (БС => АС), $P_{inBC} = -60,61$ дБм. Знайдені величини перевищують чутливість приймачів: для мобільної станції (АС) - 104 дБм, базової станції (БС) - 111 дБм.

Зроблено розрахунок безвідмовності системи. Встановлено, що при часі випробування в 1 місяць ймовірність безвідмовної роботи складає 95,1%.

В економічному розділі встановлені капітальні витрати на виконання проектних робіт за 20 робочих днів, які становлять 35032 грн.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бойко М.П. Системи стільникового зв'язку: Конспект лекцій.– Одеса: ОНАЗ, 2004 – 76 с. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу:URL: http://www.dut.edu.ua/uploads/1_308_12651241.pdf - Загол. з екрана.
2. Електронні засоби навчання. Телекомунікаційні системи та мережі. Том 1. 1.4.3. Стандарти мобільного зв'язку. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу:URL: <http://www.znanius.com/3563.html> - Загол. з екрана.
3. Элементы частотно-территориального планирования сетей сотовой связи. Методическое руководство к лабораторной работе № 65 (для специальностей 7.090703, 7.092402, 7.092401). Составители: Драганов В.М., Маковеев Д.А., Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова, Одесса 2009., 32 с., ил.
4. Основы сотовой связи стандарта GSM. 7.3 Принципы радиопокрытия зон обслуживания. Ж-л Антенно-фидерные устройства. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу:URL: <http://afu.com.ua/gsm7/principyu-radio-pokrytiya-zon-obsluzhivaniya> - Загол. з екрана.
5. Частотно-территориальное планирование сетей радиосвязи. [Електронний ресурс] – (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу:URL: <http://giprosvjaz.by/ru/services/chastotno-territorialnoe-planirovanie-setej-radiosvyazi-25> - Загол. з екрана.
6. В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, П.А. Михайлов. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование, М.: Горячая линия-Телеком, 2007, 224с.
7. Довгий С.О., Воробієнко П.П., Гуляєв К.Д. Сучасні телекомунікації: Мережі, технології, безпека, економіка, регулювання. – Видання друге (доповнене). – За загальною ред.. Довгого С.О. – К.: «Азимут-Україна». – 2013. – 608 с.
8. Олійник В.М., Речембей В.В. Сучасні тенденції розвитку телекомунікаційних технологій. Мукачівський Державний університет. Економіка і суспільство. Випуск 14 / 2018, с.1016 – 1022. (Електрон. ресурс)

- / Спосіб доступу:URL: http://economyandsociety.in.ua/journal/14_ukr/145.pdf -
Загол. з екрану.
9. Тихвинский В.О. Эволюция современных сетей мобильной связи 2G/3G/4G: Региональный обучающий семинар МСЭ для стран СНГ «Перспективы развития инфокоммуникаций: технологии и вопросы регулирования сектора». Г.Астана., Республика Казахстан, 23-24 сентября 2014 года. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу:URL: https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Presence/CIS/Documents/Events/2014/09_Astana/Session_1_Tikhvinskiy_1.pdf -
Загол. з екрану.
10. Колодезная, Г.В. Основы теории связи с подвижными объектами : метод. пособие по курсовому проектированию / Г.В. Колодезная. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012. – 26 с.: ил.
- 11.1. Закиров С.Г. Сотовая связь стандарта GSM. Современное состояние, переход к сетям третьего поколения / С.Г. Закиров, А.Ф. Надев, Р.Р. Файзуллин. М.: Эко-Тренд. 2004. 264 с.
12. Комашинский, В.И. Системы подвижной радиосвязи с пакетной передачей информации / В.И. Комашинский, А.В. Максимов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 173 с.
13. Ветошкина, Г.Н. Надежность технических систем и техногенный риск / Г.Н. Ветошкина. – Пенза : ПГУАиС, 2003. – 258 с.
14. Бондаренко І.М. Системи радіозв'язку. Кн.2, ч.2. Мережі радіозв'язку: Навч. посібник. –Харків.: ХІ ВПС, 2003. –144с. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу:URL: http://openarchive.nure.ua/bitstream/document/6788/1/SR_2.2_MR.pdf - Загол. з екрану.
15. Економіка та організація виробничої діяльності підприємства. § 5.5
Розрахунки норм і сум амортизаційних відрахувань. (Електрон. ресурс) / Спосіб доступу:URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmib/17nebava_ekonomika_organizaciya_virobnichoyi_diyalnosti/55.htm - Загол. з екрану.

16.Буковинська бібліотека. 10.5. Витрати підприємства на соціальні заходи.

(Електрон. ресурс) / Спосіб доступу:URL: <https://buklib.net/books/27986/>.-

Загол. з екрана.

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи бакалавра

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітки
Документація				
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	2	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі	37	
6	A4	Спеціальна частина	17	
7	A4	Економічний розділ	5	
8	A4	Висновки	1	
9	A4	Перелік посилань	3	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	
14	A4	Додаток Д	1	

ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії

Пояснювальна записка Бачевського Р.С.doc

Презентація.pptx

ДОДАТОК Д

Таблиця 1.1 Середнє значення трафіка одного абонента

Модель Ерланга В (система з відмовами)

Число каналів	Вероятность блокировки $P_{\text{бл.}}$ %					
	0,1	0,5	1,0	2	5	10
	Трафик (Эрланг)					
1	0,0010	0,0050	0,0101	0,0204	0,0526	0,1111
2	0,0458	0,1054	0,1526	0,2235	0,3813	0,5954
3	0,1938	0,3490	0,4555	0,6022	0,8994	1,271
4	0,4393	0,7012	0,8694	1,092	1,525	2,045
5	0,7621	1,132	1,361	1,657	2,219	2,881
6	1,146	1,622	1,909	2,276	2,960	3,758
7	1,579	2,158	2,501	2,935	3,738	2,666
8	2,051	2,730	3,128	3,627	2,543	5,597
9	2,558	3,333	3,783	2,345	5,370	6,546
10	3,092	3,961	2,461	5,084	6,216	7,511
11	3,651	2,610	5,160	5,842	7,076	8,487
12	2,231	5,279	5,876	6,615	7,950	9,474
13	2,831	5,964	6,607	7,402	8,835	10,47
14	5,446	6,663	7,352	8,200	9,730	11,47
15	6,077	7,376	8,108	9,010	10,63	12,48
16	6,722	8,100	8,875	9,828	11,54	13,50
17	7,378	8,834	9,652	10,66	12,46	14,52
18	8,046	9,578	10,44	11,49	13,39	15,55
19	8,724	10,33	11,23	12,33	14,32	16,58
20	9,412	11,09	12,03	13,18	15,25	17,61
21	10,11	11,86	12,84	14,04	16,19	18,65
22	10,81	12,64	13,65	14,90	17,13	19,69
23	11,52	13,42	12,47	15,76	18,08	20,74
24	12,24	14,20	15,30	16,63	19,03	21,78
25	12,97	15,00	16,13	17,51	19,99	22,83