

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ інфокомунікацій _____
(повна назва)

Кафедра _____ інформаційно-мережної інженерії _____
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

_____ Порівняльна характеристика методів розрахунку параметрів мережі
_____ стільникового зв'язку технологій FDMA та TDMA _____
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи _____ ІМІМ-19-2 _____

Спеціальності 172 Телекомунікації _____ та _____
радіотехніка _____
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми: _____ освітньо-наукова _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма _____ Інформаційно- _____
_____ мережна інженерія _____
(повна назва освітньої програми)

_____ Шматько Ю.М. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник _____ проф. Ємельянов В.В. _____
(посада, прізвище та ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри _____

(підпис)

_____ Безрук.В.М. _____
(прізвище та ініціали)

2021 р.

Не містить відомостей, заборонених до відкритого публікування

Студент _____Шматько Ю.М.

Керівник_____Ємельянов В.В.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ інфокомунікацій _____
Кафедра _____ інформаційно-мережної інженерії _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
Спеціальність _____ 172 Телекомунікації та радіотехніка _____
(код і повна назва)
Тип програми _____ освітньо-наукова _____
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма _____ Інформаційно- мережна інженерія _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

« _____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Шматько Юлії Михайлівні _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Порівняльна характеристика методів розрахунку параметрів мережі стільникового зв'язку технологій FDMA та TDMA

затверджені наказом по університету від "12" березня 2021 року № 350 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 21 травня 2021р.

3. Вихідні дані до роботи Провести аналіз методик розрахунку параметрів мережі стільникового зв'язку Биховського Ю.А. та Попова В.І. На базі проведеного аналізу розглянути, яка методика є більш точною. Провести аналіз впливу секторності антени BTS на ємність мережі стільникового зв'язку.

4. Перелік питань, які потрібно опрацювати в роботі

Вступ

1 Мета, задачі та методи проектування мереж стільникового зв'язку

2 Структура мережі стільникового зв'язку з TDMA

3 Завади в мережах стільникового зв'язку

4 Аналіз методики розрахунку параметрів мережі стільникового зв'язку Биховського Ю.А.

5 Аналіз методики розрахунку параметрів мережі стільникового зв'язку Попова В.І.

6 Вплив секторності антени BTS на ємність мережі стільникового зв'язку

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів)

Слайди у форматі Power Point (назва, мета роботи, структура мережі стільникового зв'язку стандарту GSM900, методика розрахунку параметрів мережі стільникового мобільного зв'язку Биховського Ю.А., характеристика методики Биховського Ю.А., Розрахунок радіуса стільника, розрахунок розмірності мережі кластера, методика Попова В.І., розрахунок основних параметрів мережі за методиками Биховського Ю.А. та Попова В.І., вплив секторність антени BTS на ємність мережі стільникового зв'язку, висновки).

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Ознайомлення із завданням. Уточнення ТЗ.	12.03.2021	
2	Підбір літератури за темою роботи.	15.03-16.03.21	
3	Виконання розділу 1	17.03-20.03.21	
4	Виконання розділу 2	21.03-26.03.21	
5	Виконання розділу 3	27.04-06.04.21	
6	Виконання розділу 4	07.04-19.04.21	
7	Виконання розділу 5	20.04-28.04.21	
8	Виконання розділу 6	29.05-07.05.21	
9	Оформлення пояснювальної записки	08.04-10.05.21	
10	Оформлення презентаційного матеріалу, підготовка до захисту у ЕК	11.05-20.05.21	

Дата видачі завдання _____ 18 березня 2021р.

Студент _____
(підпис)

Керівник роботи _____
(підпис)

проф. Ємельянов В.В.
(посада, прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 104 с., 6 рис., 6 табл., 4 додатки, 21 джерело

Об'єкт роботи – мережа стільникового зв'язку.

Мета роботи – дати порівняльну характеристику методикам, які використовуються для розрахунку параметрів мережі стільникового зв'язку технологій FDMA та TDMA.

В роботі було проаналізовано дві методики розрахунку параметрів мереж стільникового мобільного зв'язку технології FDMA та TDMA. На основі отриманих результатів можна вважати, що методика Попова В.І. по результатам близька до методики Биховського Ю.А. Основним недоліком методики Попова В.І. є те, що вона не враховує процент часу зриву зв'язку, за рахунок флуктуацій рівня сигналу в точку прийому. В роботі було досліджено вплив секторності антен BTS на ємність мережі стільникового зв'язку. Показано, що застосування секторних антен при незмінній розмірності кластера (при незмінній кількості каналів BTS) приведе до зниженню ємності мережі.

МЕРЕЖА СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ, СЕКТОРНІСТЬ, СТАНДАРТ GSM, СТІЛЬНИК, BTS, MS, TDMA, FDMA.

THE ABSTRACT

Explanatory note: 104p., 6 fig., 6 tabl., 4 app, 21 sources.

The object of work is a cellular network.

The purpose of the work is to give a comparative description of the methods used to calculate the parameters of the cellular network of FDMA and TDMA technologies.

The paper analyzes two methods for calculating the parameters of cellular mobile networks of FDMA and TDMA technology. Based on the results obtained, we can assume that the method of Popov V.I. the results are close to the method of Bykhovsky Yu.A. The main disadvantage of the method of Popov V.I. is that it does not take into account the percentage of time to disconnect, due to fluctuations in the signal level to the receiving point. The influence of the sector of BTS antennas on the capacity of the cellular network was investigated. It is shown that the use of sector antennas with a constant cluster dimension (with a constant number of BTS channels) leads to a decrease in network capacity.

CELLULAR NETWORK, SECTOR, GSM STANDARD, CELL, BTS, MS, TDMA, FDMA.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	11
1 МЕТА, ЗАДАЧІ ТА МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ.....	13
2 СТРУКТУРА МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ З TDMA.....	15
2.1 Центр комутації рухомого зв'язку MSC	16
2.2 Регістр положення HLR	17
2.3 Регістр переміщення VLR.....	17
2.4 Центр перевірки автентичності AUC	18
2.5 Регістр ідентифікації обладнання EIR.....	18
2.6 Міжмережний функціональний стик IWF	19
2.7 Центр експлуатації й технічного обслуговування ОМС	20
2.8 Центр управління мережею NMC.....	20
2.9 Система базових станцій BSS	21
2.10 Модуль адаптації швидкості кодування TRAU	22
2.11 Рухома станція MS	22
3 ЗАВАДИ В МЕРЕЖАХ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	24
4 АНАЛІЗ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ БИХОВСЬКОГО Ю.А.	27
4.1 Методика розрахунку параметрів мережі стільникового зв'язку Биховського Ю.А.	27
4.1.1 Розрахунок кількості радіоканалів	28
4.1.2 Визначення розмірності кластера	29
4.1.3 Розрахунок кількості частотних каналів, що використовуються однією BTS	31
4.1.4 Розрахунок допустимого телефонного навантаження	31
4.1.5 Розрахунок кількості абонентів, що обслуговуються однією BTS ..	32
4.1.6 Розрахунок кількості базових станцій.....	32
4.1.7 Розрахунок радіуса стільника	33
4.1.8 Розрахунок величини захисної відстані	33
4.1.9 Розрахунок потужності передавача базової станції.....	33
4.2 Характеристика методики Биховського Ю.А.	34
4.2.1 Розрахунок потужності передавача BTS	34

4.2.2	Визначення величини радіуса стільника	35
4.2.3	Облік умов розповсюдження радіохвиль при розрахунку розмірності кластера	37
4.2.3.1	Розрахунок параметрів мережі стільникового зв'язку для випадку $n=4$	38
4.2.3.2	Розрахунок параметрів мережі стільникового зв'язку для випадку $n=3$	43
5	АНАЛІЗ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ПОПОВА В.І.	47
5.1	Методика розрахунку параметрів мережі стільникового зв'язку Попова В.І.	47
5.2	Характеристика методики розрахунку параметрів мережі стільникового зв'язку Попова В.І.	48
5.2.1	До вибору розмірності кластера	48
5.2.2	До розрахунку радіуса стільника	54
5.2.3	До визначення кількості BTS	55
5.2.4	До врахування впливу співканальних завад	55
5.3	Розрахунок мережі за методикою Попова В.І.	56
6	ВПЛИВ СЕКТОРНОСТІ АНТЕНИ BTS НА ЄМНІСТЬ МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	62
	ВИСНОВКИ	68
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	70
	ДОДАТОК А РОЗРАХУНКИ РОЗМІРНОСТІ КЛАСТЕРА ПРИ $n=4$ У СЕРЕДОВИЩІ МАТНСАД.....	72
	ДОДАТОК Б РОЗРАХУНКИ РОЗМІРНОСТІ КЛАСТЕРА ПРИ $n=3$ У СЕРЕДОВИЩІ МАТНСАД.....	76
	ДОДАТОК В ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ	85
	ДОДАТОК Г СЛАЙДИ ПРЕЗЕНТАЦІЇ.....	96

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- ADC (Administrative center) – адміністративний центр;
- AMPS (Advanced Mobile Phone Service) – аналоговий стандарт стільникового зв'язку;
- AUC (Authentication Center) – центр перевірки автентичності;
- BSC (Base Station Controller) – контролер базових станцій;
- BSS (Base Station System) – обладнання підсистеми базових станцій (BSC+TRAU+ BTS);
- BTS (Base Transceiver Station) – базова станція;
- CCITT (Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique) – сектор стандартизації електрозв'язку Міжнародного союзу електрозв'язку;
- CDMA (Code Division Multiple Access) – множини доступ з кодовим розділенням каналів;
- D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System) – цифрова система стільникового зв'язку другого покоління (2G);
- EIR (Equipment Identity Register) – реєстр ідентифікації обладнання;
- FDMA (Frequency Division Multiple Access) – множинний доступ з частотним поділом.
- GSM (Global System for Mobile Communications) – глобальна система мобільного зв'язку;
- HLR (Home Location Register) – реєстр положення;
- IMSI (International Mobile Subscriber Identity) – міжнародний ідентифікатор користувача мобільного зв'язку;
- ISDN (Integrated Services Digital Network) – цифрові мережі з інтеграцією служб;
- IMEI (International Mobile Equipment Identity) – міжнародний ідентифікатор мобільного обладнання;
- IWF (Interworking Function) – міжмережний функціональний стик
- LTE (Long-Term Evolution) – довготривалий розвиток
- MS (Mobile station) – рухома станція;
- MSC (Mobile Switching Center) – центр комутації рухомого зв'язку;
- NMC (Network Management Center) – центр керування мережею;

OMC (Operation and Maintenance Center) – центр керування і обслуговування;

PDN (Packet Data Network)– мережі пакетної передачі;

PSTN (Public switched telephone network)– телефонна мережа загального користування;

SS7 (Signaling System №7) – система сигналізації;

SSS (Switching Subsystem)– обладнання мережі комутації;

TDMA (Time Division Multiple Access) – множинний доступ з поділом за часом;

TRAU (Transcoding Rate and Adaptation Unit) – модуль адаптації швидкості кодування;

VLR (Visitor Location Register) – реєстр переміщення;

TCE (Transcoder Equipment) – модуль транс-кодування.

ВСТУП

Бурхливий розвиток сучасних інформаційних технологій не в останню чергу обумовлено вдосконаленням засобів зв'язку. Необхідність володіння інформацією в певний час, збільшення обсягу цієї інформації і зменшення термінів її доставки до адресата, тобто можливість її оперативної передачі і прийому робить системи мобільного радіозв'язку невід'ємним атрибутом сучасності. Для надання сучасних послуг зв'язку діловим споживачам вже недостатньо мережі звичайного телефонного зв'язку. Особливо актуальні системи мобільного зв'язку в районах, де вартість прокладання нових кабельних комунікацій достатньо висока.

Серед сучасних систем мобільного зв'язку найбільш стрімко розвиваються системи стільникового зв'язку. Їх впровадження дозволяє вирішити проблему економічного використання виділеної смуги частот шляхом багаторазового використання виділених радіоканалів і збільшити пропускну здатність телекомунікаційних мереж. Ці системи є принципово новим видом систем зв'язку, так як побудовані відповідно до стільникових принципів розподілу частот по території обслуговування та призначенні для забезпечення радіозв'язку великого числа абонентів з виходом в телефонну мережу загального користування.

За невеликий проміжок часу системи стільникового зв'язку пройшли шлях від аналогових систем першого покоління до систем п'ятого покоління.

Всебічне дослідження в рамках експлуатації існуючих стільникових мереж за останні десятиліття дозволило встановити ряд важливих обставин.

Системи стандартів GSM добре себе зарекомендували і поки є найпоширенішими системами в Європі. Системи цього стандарту забезпечують хорошу якість мовлення, впевнений прийом в складних метеоумовах при наявності багатопроменевого характеру поширення радіохвиль та відносно невеликих відношеннях сигнал/шум.

В боротьбі за панування на ринку мобільних послуг в якості конкуруючої технології виступає технологія систем з кодовим поділом каналів (CDMA). Системи технології CDMA забезпечують оптимальне використання частотно-часового ресурсу, максимальну конфіденційність та прихованість роботи

системи радіозв'язку, підвищену стійкість до багатопроменевих завмирань та високий енергетичний виграш.

З появою мобільного інтернету зросли потреби до підвищення швидкості передачі даних, що стало причиною появи мобільного WiMax, що передбачає взаємодію мобільних систем безпроводового радіодоступу і широкосмугових кабельних систем. Подальший розвиток систем стільникового зв'язку привело до появи нової технології, відомої за аббревіатурою LTE. Стандарт LTE представляє собою значний стрибок в оптимізованих стільникових безпроводових технологіях. В даний час триває робота по створенню єдиного світового стандарту систем безпроводового радіодоступу.

Незалежно від покоління систем стільникового зв'язку мережі, які були створені на їх основі, повинні будуватися в напрямку забезпечення принципів: висока ефективність – мінімальна вартість. Забезпечення даного принципу значною мірою залежить від використання методики розрахунку основних параметрів мережі стільникового зв'язку на першому етапі проектування.

В даній кваліфікаційній роботі ставиться завдання – дати порівняльну характеристику методикам, які використовуються для розрахунку параметрів мережі стільникового зв'язку технологій FDMA та TDMA.

Окремі результати кваліфікаційної роботи доповідалися на VII міжнародній науково-практичній конференції «Priority directions of science and technology development» [1] та на X міжнародній науково-практичній конференції «Fundamental and applied research in the modern world» [2].

1 МЕТА, ЗАДАЧІ ТА МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

При проектуванні мережі стільникового зв'язку за мету ставиться побудова оптимальної мережі, що забезпечує основний принцип: висока ефективність – мінімальна вартість [3-5].

Метою проектування є оптимальна побудова мережі стільникового мобільного зв'язку за основним критерієм: висока ефективність – мінімальна вартість. У зв'язку з цим до завдань проектування такої мережі можна віднести:

- визначення місць установки базових станцій (BTS);
- розподіл частотних каналів між стільниками, тобто складання схеми повторного кластерного розподілу частот в мережі;
- визначення числа користувачів за розрахованим трафіком;
- оптимізацію мережі по мінімальному числу базових станцій (мінімальної вартості розгортання мережі) і високої надійності зв'язку.

Звичайно вимоги високої ефективності і мінімальної вартості суперечливі: якщо надмірно збільшити число стільників, то це збільшить надійність зв'язку (тобто збільшить якість зв'язку – задане значення ймовірності помилки на біт), збільшить можливе число користувачів, зменшить максимальні значення вихідних потужностей мобільних станцій на краях стільників, але все це призведе до того, що збільшиться вартість розгортання мережі і в певній мірі її експлуатація. У разі рідкого розположення стільників (малої кількості) при великих максимальних радіусах стільників можуть з'явитися «мертві зони», в яких неможливо обслуговування користувачів, зростуть потужності випромінювання мобільних телефонів на краях. Так як технологія і параметри мережі істотно залежать від умов місцевості (рельєфу, лісових масивів, забудови тощо), то при проектуванні мережі необхідна наявність:

- топографічних карт місцевості з усіма параметрами і характеристиками (нерівностей, лісових масивів, густоти забудови);
- характеристик запланованої до використання апаратури та результатів наближеної оцінки енергетичного балансу, а також результатів попереднього проектування стільників мережі і місць розташування базових станцій;
- отриманої схеми радіопокриття території з використанням відповідних моделей поширення радіохвиль і характеристик місцевості; при цьому

необхідно більш точно розрахувати параметри електромагнітного поля в межах території, що обслуговується, що дозволяють оцінити якість радіопокриття;

- складеного територіально-частотного плану для розробленої мережі, а також оцінок трафіку і ємності для характерних ділянок, стільників і мережі в цілому.

Якщо з яких-небудь показників (якості радіопокриття, трафіку, ємності) схема, що складається, не задовольняє заявленим до неї вимогам, проводиться повторне коригування, і для уточненої схеми мережі розрахунки знову повторюються.

Таким чином, процес проектування мережі є ітераційним. Додатково до розглянутого вище порядку проектування необхідно додати проведення експериментальних вимірювань рівнів електромагнітного і за результатами вимірювань скорегувати знову схему мережі. Остаточна якість проекту оцінюється вже на етапі експлуатації мережі, де також необхідні коректування і доробка мережі. Особливо це відноситься до початкового етапу експлуатації розгорнутої оператором мережі, коли реалізується налаштування апаратури і оптимізація мережі. Цей етап є найбільш трудомістким.

В процесі проектування мережі стільникового мобільного зв'язку вирішуються такі основні завдання:

- забезпечення радіопокриття території, на якій повинні надаватися користувачам послуги мобільного зв'язку;
- побудова мережі, ємності якої буде достатньо для обслуговування трафіку, який створюється абонентами з допустимим рівнем перевантажень;
- оптимізація вирішення зазначених вище завдань (з використанням мінімального числа мережних підсистем і елементів) протягом усього життєвого циклу мережі.

Слід зазначити, що протягом всього життєвого циклу мережі число її абонентів, обсяг трафіку і його розподіл по обслуговуючій території постійно змінюються. Крім того, існують сезонні зміни обсягу трафіку і його територіального розподілу. Конфігурація мережі повинна адаптуватися до змін, що відбуваються. Тому проектування мережі і є безперервним процесом, в якому можна виділити кілька етапів:

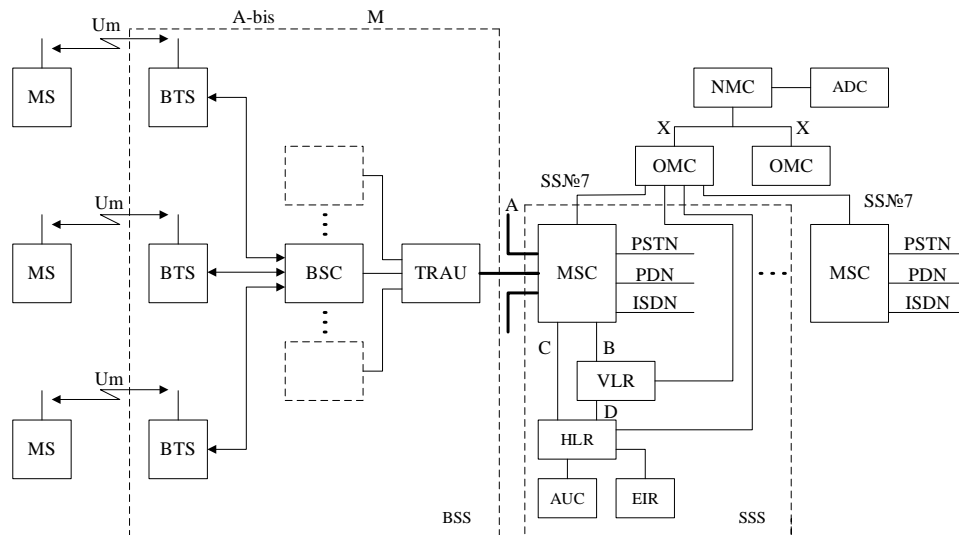
- проектування радіопокриття заданої території;
- проектування частотного плану в зоні обслуговування;
- проектування ємності мережі.

2 СТРУКТУРА МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ З TDMA

В якості основної версії мережі стільникового зв'язку з TDMA прийняли мережу стандарту GSM.

Обладнання мереж GSM містить у собі рухомі і базові станції, цифрові комутатори, центр управління й обслуговування, різні додаткові системи й пристрої. Функціональне поєднання елементів системи здійснюється за допомогою ряду інтерфейсів. Функціональна побудова й інтерфейси, прийняті в стандарті GSM, ілюструються структурною схемою, наведеною на рис. 2.1.

Всі функціональні мережні компоненти в стандарті GSM взаємодіють відповідно до системи сигналізації CCITT SS7 [6, 8-13].



MS – рухома станція; BTS – базова станція; BSC – контролер базових станцій; TRAU – модуль адаптації швидкості кодування; BSS – обладнання підсистеми базових станцій (BSC+TRAU+ BTS); MSC – центр комутації рухомого зв'язку; HLR – реєстр положення; VLR – реєстр переміщення; AUC – центр перевірки автентичності; EIR – реєстр ідентифікації обладнання; OMC – центр керування і обслуговування; NMC – центр керування мережею; ADC – адміністративний центр; PSTN – телефонна мережа загального користування; PDN – мережі пакетної передачі; ISDN – цифрові мережі з інтеграцією служб; SSS – обладнання мережі комутації.

Рисунок 2.1 – Структурна схема мережі стільникового зв'язку стандарту GSM

2.1 Центр комутації рухомого зв'язку MSC

Центр комутації рухомого зв'язку MSC обслуговує групу стільників і забезпечує всі види з'єднань, у яких має потребу в процесі роботи рухома станція. MSC аналогічний ISDN комутаційної станції і є інтерфейсом між фіксованими мережами (PSTN, PDN, ISDN і т.д.) і мережею рухомого зв'язку. Крім виконання функцій звичайної ISDN комутаційної станції, на MSC покладають функції комутації радіоканалів. До них відносяться «естафетна передача», у процесі якої досягається безперервність зв'язку при переміщенні рухомої станції зі стільника в стільник, і перемикання робочих каналів у стільнику з появою завад або при несправностях. Кожен MSC забезпечує обслуговування рухомих абонентів, розташованих у межах певної географічної зони. MSC керує процедурами встановлення виклику й маршрутизації.

MSC формує дані, необхідні для виставлення рахунків за надані мережею послуги зв'язку, накопичує дані по розмовах, що відбулися, і передає їх у центр розрахунків (BILLING). MSC надає також статистичні дані, необхідні для контролю роботи й оптимізації мережі. MSC підтримує також процедури безпеки, що застосовуються для управління доступами до радіоканалів.

MSC не тільки бере участь в управлінні викликами, але також управляє процедурами реєстрації місця розташування й передачі управління, крім передачі управління в підсистемі базових станцій BSS. Передача викликів у стільниках, керованих одним контролером базових станцій BSC, здійснюється цим BSC.

Коли передача викликів здійснюється між двома мережами, керованими різними BSC, то первинне управління здійснюється в MSC. У стандарті GSM також передбачені процедури передачі виклику між мережами (контролерами), які відносяться до різних MSC.

Центр комутації здійснює постійне спостереження за рухомими станціями, використовуючи реєстри положення HLR і переміщення VLR. В HLR зберігається та частина інформації про місце знаходження будь-якої рухомої станції, що дозволяє центру комутації доставити виклик станції. Регістр HLR містить міжнародний ідентифікаційний номер рухомого абонента IMSI, що використовується для визначення рухомої станції в центрі перевірки автентичності AUC, а також ще деякі дані, необхідні для нормальної роботи мережі GSM [8].

2.2 Регістр положення HLR

Регістр HLR є довідковою базою даних про абонентів, які постійно прописані в мережі. В ній утримуються розпізнавальні номери й адреси, а також параметри дійсності абонентів, склад послуг зв'язку, спеціальна інформація про маршрутизацію. Ведеться реєстрація даних про роумінг (подорожування) абонента, включаючи дані про часовий ідентифікаційний номер рухомого абонента TMSI і відповідному VLR. До даних, що утримуються в HLR, мають дистанційний доступ всі MSC і VLR мережі. Якщо в мережі є декілька HLR, у базі даних утримується 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 номером IMSI або MSISDN (номер рухомого абонента в мережі ISDN). До бази даних доступ можуть отримати MSC або VLR, що відносяться до інших мереж, у межах забезпечення міжмережного роумінгу абонентів [8].

2.3 Регістр переміщення VLR

Регістр переміщення VLR – другий основний пристрій, що забезпечує контроль за пересуванням рухомої станції із зони в зону. З його допомогою досягається функціонування рухомої станції за межами зони, контрольованої HLR. Коли при переміщенні рухома станція переходить із зони дії одного контролера базової станції 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, що забезпечить доставку викликів рухомої станції. Для збереження даних, що перебувають в HLR і VLR, у випадку збоїв передбачений захист пристроїв пам'яті цих реєстрів. VLR містить такі ж дані, як і HLR, однак ці дані втримуються в VLR тільки доти, доки абонент перебуває в зоні, що контрольована VLR.

У мережі рухомого зв'язку GSM стільники групуються в географічні зони (LA), яким присвоюються свої ідентифікаційні номери (LAC). Кожен VLR містить дані про абонентів у декількох LA. Коли рухомий абонент переміщається з однієї LA в іншу, дані про його місце розташування автоматично оновлюються в VLR. Якщо стара і нова LA перебувають під управлінням різних VLR, то дані на старому VLR стираються після їхнього

копіювання в новий VLR. Поточна адреса VLR абонента, що утримується в HLR, також оновлюється [9].

VLR забезпечує також присвоєння номера «блукаючої» рухомої станції MSRN. Коли рухома станція приймає вхідний виклик, VLR вибирає його MSRN і передає його на MSC, що здійснює маршрутизацію цього виклику до базових станцій, що перебувають поряд з рухомих абонентом. VLR також розподіляє номери передачі управління при передачі з'єднань від одного MSC до іншого. Крім того, VLR управляє розподілом нових TMSI і передає їх в HLR. Він також управляє процедурами встановлення дійсності під час обробки виклику. За рішенням оператора TMSI може періодично змінюватися для ускладнення процедури ідентифікації абонентів. Доступ до бази даних VLR може забезпечуватися через IMSI, TMSI або MSRN.

У цілому VLR являє собою локальну базу даних про рухомого абонента для тієї зони, де перебуває абонент, що дозволяє виключити постійні запити в HLR і скоротити час на обслуговування викликів. Для виключення несанкціонованого використання ресурсів системи зв'язку вводяться механізми перевірки автентичності – посвідчення вірогідності абонента [8].

2.4 Центр перевірки автентичності AUC

Центр перевірки автентичності AUC складається з декількох блоків і формує ключі й алгоритми перевірки автентичності. З його допомогою перевіряються повноваження абонента й здійснюється його доступ до мережі зв'язку. AUC ухвалює рішення щодо параметрів процесу перевірки автентичності й визначає ключі шифрування абонентських станцій на основі бази даних, зосереджених в реєстрі ідентифікації обладнання EIR [9].

2.5 Регістр ідентифікації обладнання EIR

EIR – реєстр ідентифікації обладнання містить централізовану базу даних для підтвердження дійсності міжнародного ідентифікаційного номера обладнання рухомої станції IMEI. Ця база даних належить винятково до обладнання рухомої станції. База даних EIR складається зі списків номерів IMEI, організованих у такий спосіб:

- білий список – містить номери IMEI, про які є відомості, що вони закріплені за санкціонованими рухомими станціями;
- чорний список – містить номери IMEI рухомих станцій, які украдені або яким відмовлено в обслуговуванні з іншої причини;
- 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 EIR одержують дистанційний доступ MSC даної мережі, а також MSC інших рухливих мереж рухомого зв'язку. Як і у випадку з HLR, мережа може мати більше одного EIR, при цьому кожний EIR управляє певними групами IMEI. До складу MSC входить транслятор, що при одержанні номера IMEI повертає адресу EIR, що управляє відповідною частиною бази даних про обладнання [10].

2.6 Міжмережний функціональний стик IWF

IWF – міжмережний функціональний стик є однією зі складових частин MSC. Він забезпечує абонентам доступ до засобів перетворення протоколу й швидкості передачі даних так, щоб можна було передавати їх між його термінальним обладнанням мережі GSM і звичайним термінальним устаткуванням фіксованої мережі. Міжмережний функціональний стик також «виділяє» модем зі свого банку устаткування 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 PDN за протоколом X.25.

В MSC заглушується луна АЕС з боку PSTN для всіх телефонних каналів (незалежно від їхньої довжини) через фізичні затримки в трактах поширення, включаючи радіоканал, мереж GSM. Типовий модуль АЕС може забезпечувати заглушення в інтервалі 68 мс на ділянці між виходом АЕС і телефоном фіксованої телефонної мережі. Загальна затримка в каналі GSM при поширенні в прямому й зворотному напрямках, викликана обробкою сигналу, кодуванням/декодуванням мови, каналним кодуванням і т. д., складає близько 180 мс. Ця затримка була б непомітна рухомому абоненту, якби в телефонний канал не був включений гібридний трансформатор з перетворенням тракту із

двопроводового на чотирипроводовий режим, тому що стандартне з'єднання з PSTN є двопроводовим. При з'єднанні двох абонентів фіксованої мережі сигнали луни відсутні. Без включення функції АЕС затримка від поширення сигналів у тракті GSM викликатиме незадоволення в абонентів, переривання мови й відволікання уваги [7].

2.7 Центр експлуатації й технічного обслуговування ОМС

ОМС – центр експлуатації й технічного обслуговування є центральним елементом мережі GSM, що забезпечує контроль і управління іншими компонентами мережі й контроль якості її роботи. ОМС з'єднується з іншими компонентами мережі GSM по каналах пакетної передачі протоколу X.25.

ОМС забезпечує функції обробки аварійних сигналів, призначених для оповіщення обслуговуючого персоналу, і реєструє відомості про аварійні ситуації в інших компонентах мережі. Залежно від характеру несправності ОМС дозволяє забезпечити її усунення автоматично або при активному втручанні персоналу. ОМС може забезпечити перевірку стану обладнання мережі й проходження виклику рухомої станції.

ОМС дозволяє провадити управління навантаженням у мережі. Функція ефективного управління включає збір статистичних даних про навантаження від компонентів мережі GSM, запису їх у дискові файли й вивід на дисплей для візуального аналізу. ОМС забезпечує управління змінами програмного забезпечення й базами даних про конфігурацію елементів мережі. Завантаження програмного забезпечення в пам'ять може провадитися з ОМС в інші елементи мережі або з них в ОМС [12].

2.8 Центр управління мережею NMC

NMC – центр управління мережею дозволяє забезпечувати раціональне ієрархічне управління мережею GSM. Він забезпечує експлуатацію й технічне обслуговування на рівні всієї мережі, що підтримується центрами ОМС, які відповідають за управління регіональними мережами. NMC забезпечує управління трафіком у всій мережі й забезпечує диспетчерське управління мережею при складних аварійних ситуаціях, як, наприклад, вихід з ладу або перенавантаження вузлів.

Крім того, він контролює стан пристроїв автоматичного управління, задіяних в обладнанні мережі, і відображує на дисплеї стан мережі для операторів NMC. Це дозволяє операторам контролювати регіональні проблеми й, за необхідності, надавати допомогу OMC, відповідальному за конкретний регіон.

NMC зосереджує увагу на маршрутах сигналізації й з'єднаннях між вузлами для того, щоб не допускати умов для виникнення перенавантаження в мережі. Контролюються також маршрути з'єднань між мережею GSM і PSTN, щоб уникнути поширень умов перенавантаження між мережами. NMC забезпечує також можливість керування трафіком для мережного обладнання підсистеми базових станцій BSS.

Оператори NMC в екстремальних ситуаціях можуть задіяти такі процедури управління, як «пріоритетний доступ», коли тільки абоненти з високим пріоритетом (екстрені служби) можуть отримати доступ до системи. NMC може брати на себе відповідальність у якому-небудь регіоні, коли місцевий OMC не обслуговується, при цьому OMC діє як транзитний пункт між NMC і обладнанням мережі. NMC забезпечує операторів функціями, аналогічними функціям OMC. NMC є також важливим інструментом планування мережі, тому що NMC контролює мережу і її роботу на мережному рівні, а, отже, забезпечує планувальників мережі даними, що визначають її оптимальний розвиток [8].

2.9 Система базових станцій BSS

BSS – система базових станцій складається з контролерів базових станцій BSC, приймально-передавальних базових станцій BTS і модуля транс-кодування TCE. Контролер базової станції може управляти декількома приймально-передавальними блоками. BSS керує розподілом радіоканалів, контролює з'єднання, регулює їхню черговість, забезпечує режим роботи із стрибковою частотою, модуляцію й демодуляцію сигналів, кодування й декодування повідомлень, кодування мови, адаптацію швидкості передачі для мови, даних і виклику, визначає черговість передачі повідомлень персонального виклику. BSS разом з MSC, HLR, VLR виконує деякі функції, наприклад, звільнення каналу, головним чином, під контролем MSC. MSC може запросити базову станцію забезпечити звільнення каналу, якщо виклик не

проходить через завади. BSS і MSC спільно здійснюють пріоритетну передачу інформації для деяких категорій рухомих станцій [10].

2.10 Модуль адаптації швидкості кодування TRAU

Модуль TRAU забезпечує перетворення вихідних сигналів каналу передачі мови й даних MSC (64 кбіт/с) до виду, що відповідає рекомендаціям GSM до радіочастотного інтерфейсу (Рекомендації GSM 04.08). Відповідно до цих вимог швидкість передачі голосу, що подана в цифровій формі, складає 13 кбіт/с. Цей канал передачі цифрових мовних сигналів називається TCH/F. Стандартом передбачається використання мовного каналу швидкістю передачі 6,5 кбіт/с TCH/H. Зниження швидкості передачі забезпечується застосуванням спеціального модуля кодування голосу пристрою, що використовує лінійне предикативне кодування, довгострокове передбачення, залишкове імпульсне збудження.

Модуль TRAU звичайно розташовується разом з MSC, тоді передача цифрових повідомлень у напрямку до контролера базових станцій – BSC ведеться з додаванням до потоку зі швидкістю передачі 13 кбіт/с додаткових бітів до швидкості передачі даних 16 кбіт/с. Потім здійснюється ущільнення із кратністю 4 у стандартний канал 64 кбіт/с. Так формується визначена Рекомендаціями GSM 30-канальна ІКМ лінія, що забезпечує передачу 120 мовних каналів. Отже, результуюча швидкість передачі за зазначеним інтерфейсом складає $30 \cdot 64 \text{ кбіт/с} + 64 \text{ кбіт/с} + 64 \text{ кбіт/с} = 2048 \text{ кбіт/с}$ [9].

2.11 Рухома станція MS

MS – рухома станція складається з обладнання, що служить для організації доступу абонентів мереж GSM до існуючих фіксованих мереж електрозв'язку. При передачі повідомлень передбачається адаптивне регулювання потужності передавача, що забезпечує необхідну якість зв'язку. Рухомий абонент і рухома станція незалежні один від одного. Як ми вже відзначали, кожен абонент має свій міжнародний ідентифікаційний номер (IMSI), записаний на його інтелектуальну картку. Такий підхід дозволяє встановлювати радіотелефони, наприклад, у таксі й автомобілях, що здаються на прокат. Кожній рухомій станції також присвоюється свій міжнародний

ідентифікаційний номер IMEI. Цей номер використовується для запобігання доступу мережам до GSM викраденої станції або станції без повноважень [9].

3 ЗАВАДИ В МЕРЕЖАХ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

Внаслідок того, що стільникова топологія передбачає багаторазове використання одних і тих же частот, в мережі рухомого радіозв'язку виникають специфічні взаємні перешкоди. Ці перешкоди можна розділити на два види [14-16].

1. До першого виду відносяться випромінювання передавачів мобільних станцій в осередках зі співпадаючими частотами, які створюють перешкоди в каналах прийому BTS виділеного стільника (рис. 3.1)

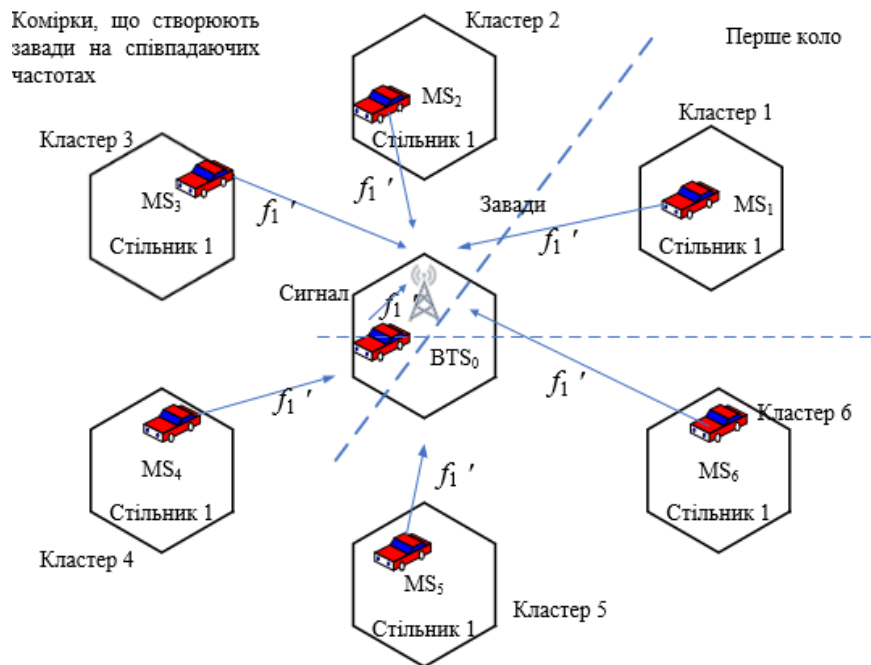


Рисунок 3.1 – До пояснення природи перешкод на вході приймача BTS

Відношення сигнал/перешкода на вході приймача BTS визначається виразом

$$\rho_B^2 = \frac{P_{np.B}}{P_{ш.Б} + \sum_{j=1}^{k_1} P_{n.M_j}}, \quad (3.1)$$

де $P_{np.B}$ – потужність сигналу на вході приймача BTS центрального стільника, який надходить під час сеансу зв'язку від MS цього ж стільника;

$P_{ш.Б}$ – потужність теплового шуму приймача BTS;

$P_{n.M_j}$ – потужність перешкоди від передавача MS в стільнику j -го кластера, що надходить на вхід приймача БС центрального стільника;

k_1 - число MS, що створюють перешкоди під час даного сеансу зв'язку.

Потужність теплового шуму приймача може бути розрахована за формулою

$$P_{ш.Б} = n \cdot k \cdot T_0 \cdot \Delta f_{np}, \text{ Вт.} \quad (3.2)$$

2. Передавачі базових станцій BTS_i всіх осередків з співпадаючими частотами в першому колі створюють перешкоди приймачу MS, що знаходиться в центральному стільнику (рис. 3.2).

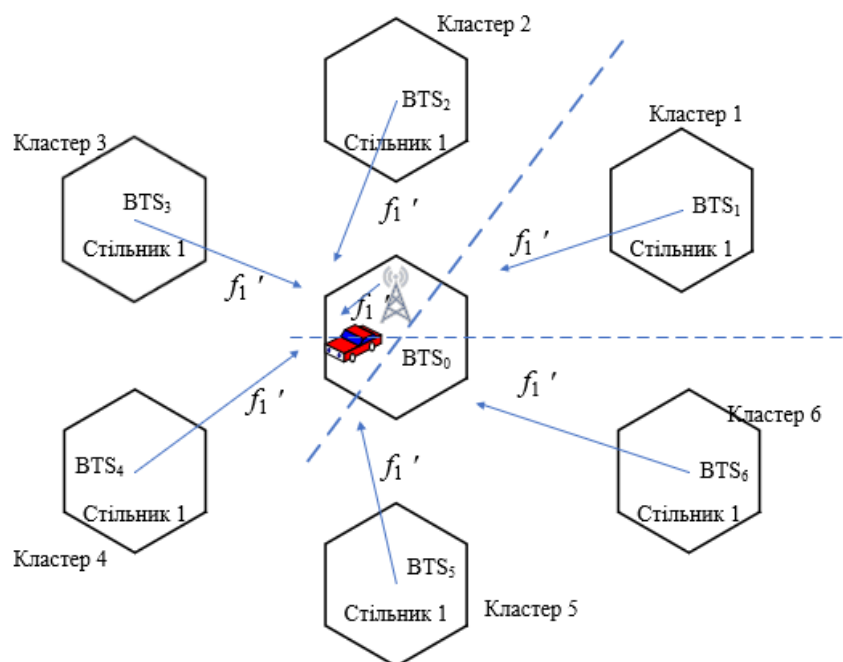


Рисунок 3.2 – До пояснення природи перешкод на вході приймача MS

Відношення сигнал/перешкода на вході приймача MS в цьому випадку

$$\rho_M^2 = \frac{P_{np.M}}{P_{ш.M} + \sum_{i=1}^{k_2} P_{n.Б_i}}, \quad (3.3)$$

де $P_{np.M}$ – потужність сигналу на вході приймача MS, яка створена передавачем BTS₀;

$P_{ш.M}$ – потужність власних шумів приймача MS;

$P_{n.Б_i}$ – потужність перешкоди від передавача BTS_i в i -му кластері;

k_2 – кількість базових станцій, які створюють під час сеансу зв'язку перешкоди в каналі прийому мобільної станції центрального стільника.

Для отримання чисельних значень потужності корисного сигналу $P_{np.Б}$, $P_{np.M}$ і внутрішньосистемної перешкоди $P_{n.M_j}$, $P_{n.Б_i}$ можна скористатися формулами першого рівняння передачі.

При малому радіусі стільника і невеликій розмірності кластера для розрахунку потужності корисного сигналу і перешкод можна використовувати один і той же вираз. У деяких випадках для розрахунку потужності сигналу і перешкод використовують одну формулу, але з різними параметрами.

Внутрішньосистемні завади на співпадаючих частотах в мережах стільникового зв'язку в багатьох джерелах називають співканальними інтерференційними перешкодами.

Рівень співканальних інтерференційних перешкод пов'язаний в значній мірі з співвідношенням

$$q = D/R, \quad (3.4)$$

де q – коефіцієнт співканальних завод;

D – захисний інтервал;

R – радіус стільника.

В роботі [14] наводяться дослідження взаємозв'язку рівня співканальних завод (співвідношення сигнал/взаємна завада) з коефіцієнтом q та розмірністю кластера. Чим більший коефіцієнт q , тим вище співвідношення сигнал/взаємна завада.

4 АНАЛІЗ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ БИХОВСЬКОГО Ю.А.

В роботі [17] приведена методика розрахунку параметрів мережі стільникового зв'язку з FDMA та TDMA. Автор роботи Биховський Ю.А. Тому в подальшій магістерській роботі цю методику будемо називати методикою Биховський Ю.А.

При аналізі методики використовується мережа стандарту GSM, параметри якого приведені в табл. 4.1.

4.1 Методика розрахунку параметрів мережі стільникового зв'язку Биховського Ю.А.

Вихідними даними для розрахунку мережі є:

- стандарт;
- N_{Σ} – число абонентів, що має обслуговувати стільникова мережа в даному регіоні;
- S_0 – площа території, що обслуговується;
- β – активність одного абонента в час найбільшого навантаження (навантаження, що створює один абонент в ЧНН);
- P_{bl} – допустима ймовірність блокування виклику;
- ΔF – смуга частот, виділена для передачі або прийому сигналів BTS;
- h_{BTS} – висота підвісу антени BTS;
- G_{BTS} – коефіцієнт підсилення антени BTS;
- $P_{IP.MS}$ – чутливість приймача мобільної станції (або потужність передавача BTS);
- σ – параметр, що визначає діапазон випадкових флуктуацій рівня сигналу в точці прийому;
- p_t – відсоток часу, протягом якого допускається, щоб відношення потужність сигналу/потужності завади на вході приймача мобільної станції було менше захисного відношення ρ_0 ;
- $k=n$ – параметр згасання радіохвиль.

Висота підвісу антени мобільної станції зазвичай приймається рівно $h_{MS} = 1,5 м$.

Для систем стільникового зв'язку параметр, що визначає діапазон випадкових флуктуацій рівня сигналу в точці прийому, перебуває в межах $\sigma = (4..10) дБ$.

Таблиця 4.1 – Основні параметри стандарту GSM

Стандарт	GSM 900
Метод доступу	TDMA
Робочий діапазон частот, МГц	935...960 890...915
Рознесення каналів за частотою, кГц	200
Кількість мовних каналів на несучу	8(16)
Вид модуляції	0,3 GMSK
Максимальна кількість каналів (несучих)	124
Максимальна кількість частотних каналів на одну BTS	16...20
Кількість радіоканалів на одну BTS	8...128
Швидкість перетворення мови кбіт/с	13(6,5)
Швидкість передачі інформації в радіоканалі кбіт/с	270
Мінімальна величина необхідного відношення сигнал/перешкода, дБ	9
Дуплексне рознесення каналів, МГц	45

4.1.1 Розрахунок кількості радіоканалів

Загальна кількість частотних каналів, що виділяються для розгортання стільникової мережі зв'язку у даному місті, визначається формулою

$$N_k = \text{int} \left(\frac{\Delta F}{F_k} \right), \quad (4.1)$$

де $\text{int}(x)$ – ціла частина числа x ;

F_k – смуга частот, що займається одним частотним каналом системи стільникового зв'язку (частотне рознесення між каналами). Величина F_k визначається обраним стандартом.

4.1.2 Визначення розмірності кластера

Для визначення розмірності кластера C при заданих значеннях ρ_0 і ρ_t використовуємо співвідношення:

$$p(C) = \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{X_1}^{\infty} \exp\left(\frac{-t^2}{2}\right) dt \right] \cdot 100, \quad (4.2)$$

де C – розмірність кластера;

$p(C)$ – відсоток часу, протягом якого відношення потужність сигналу/потужність завади (P_c/P_3) на вході приймача MS перебуватиме нижче захисного відношення ρ_0 . Припустиме значення захисного відношення $P_c/P_3(\rho_0)$ на вході приймача мобільної станції визначається стандартом системи стільникового зв'язку.

Інтеграл формули (4.2) являє собою табульовану Q-функцію:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{X_1}^{\infty} \exp\left(\frac{-t^2}{2}\right) dt. \quad (4.3)$$

Значення Q-функції, наведені в таблиці додатка А [7, 12, 16, 17].

Нижня межа інтеграла з формули (4.3) визначається співвідношенням:

$$X_1 = \frac{10 \lg(1/\beta_e) - \rho_0}{\alpha_p}, \quad (4.4)$$

де ρ_0 і α_p виражені в дБ;

β_e – розраховується за формулою

$$\beta_e = \left(\sum_{i=1}^M \beta_i \right) \exp \left[\frac{\gamma^2 (\sigma^2 - \alpha_e^2)}{2} \right]. \quad (4.5)$$

У свою чергу значення γ , α_p і α_e визначаються формулами:

$$\alpha_p^2 = \sigma^2 + \alpha_e^2, \quad (4.6)$$

$$\alpha_e^2 = \frac{1}{\gamma^2} \ln \left\{ 1 + \left[\exp(\gamma^2 \sigma^2) - 1 \right] \cdot \frac{\sum_{i=1}^M \beta_i^2}{\left(\sum_{i=1}^M \beta_i \right)^2} \right\}, \quad (4.7)$$

$$\gamma = 0.1 \ln 10 = 0.23. \quad (4.8)$$

Коефіцієнти β_i в (4.8) являють собою медіанне значення загасання радіохвиль на i -му напрямку поширення завади. Ці коефіцієнти обернено пропорційні четвертому ступеню відстані до джерела завади. Величина M означає кількість «заважаючих» базових станцій, розташованих у сусідніх кластерах, які працюють на однакових частотах.

Значення M і β_i залежать від типу використовуваних на BTS антен – антени із круговою діаграмою спрямованості ($\Delta\varphi = 360^\circ$) або секторні ($\Delta\varphi = 120^\circ$ і $\Delta\varphi = 60^\circ$). Можливі три випадки:

– якщо $\Delta\varphi = 360^\circ$ і $N_s = 1$, то $M = 6$ і $\beta_1 = \beta_2 = (q-1)^{-4}$; $\beta_3 = \beta_4 = q^{-4}$; $\beta_5 = \beta_6 = (q+1)^{-4}$;

– якщо $\Delta\varphi = 120^\circ$ і $N_s = 3$, то $M = 2$ і $\beta_1 = (q+0.7)^{-4}$; $\beta_2 = q^{-4}$;

– якщо $\Delta\varphi = 60^\circ$ і $N_s = 6$, то $M = 1$ і $\beta_1 = (q+1)^{-4}$.

Тут N_s – кількість секторів.

У всіх випадках

$$q = D / R = \sqrt{3C}. \quad (4.9)$$

При заданих значеннях ρ_0 і σ для $N_s = 1$ і декількох значеннях C виконують розрахунки відсотка часу зриву зв'язку $p(C)$. Після знаходження величини X_1 за таблицею додатка А [7, 12, 16, 17] визначають відсоток часу $p(C)$.

Для того щоб визначитися який тип антени та розмірність кластера є оптимальними для заданих умов, необхідно прорахувати значення $p(C)$ при різних варіантах, та порівняти $p(C)$ зі значенням p_t , таким чином щоб виконувалася умова $p(C) \leq p_t$.

Якщо виконується умова $p(C) \leq p_t$, то обране значення розмірності кластера C відповідає заданим умовам проектування. Якщо $p(C) > p_t$, то необхідно збільшити значення C або перейти до використання секторних антен. Іноді щоб забезпечити умову $p(C) \leq p_t$, водночас збільшують розмірність кластера та секторність антени.

4.1.3 Розрахунок кількості частотних каналів, що використовуються однією BTS

Якщо на BTS використовується антена із круговою діаграмою спрямованості, то кількість частотних каналів на одній BTS дорівнює:

$$N_{kBTS} = \text{int} \left(\frac{N_k}{C} \right). \quad (4.10)$$

Кількість частотних каналів, що використовується для обслуговування абонентів в одному секторі дорівнює:

$$n_s = \text{int} \left(\frac{N_k}{C \cdot N_s} \right). \quad (4.11)$$

4.1.4 Розрахунок допустимого телефонного навантаження

Величина припустимого телефонного навантаження в одному секторі одного стільника або в стільнику (для базових станцій, що мають антени із круговою діаграмою спрямованістю) визначається одним із співвідношень:

$$A = n_0 \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(P_{\text{бл}} \sqrt{\frac{\pi n_0}{2}} \right)^{1/n_0}} \right] \text{ при } P_{\text{бл}} \leq \sqrt{\frac{2}{\pi n_0}}, \quad (4.12)$$

та

$$A = n_0 + \sqrt{\frac{\pi}{2} + 2 \cdot n_0 \cdot \ln \left(P_{\text{бл}} \sqrt{\frac{\pi n_0}{2}} \right)} - \sqrt{\frac{\pi}{2}} \text{ при } P_{\text{бл}} > \sqrt{\frac{2}{\pi n_0}}, \quad (4.16)$$

де $n_0 = n_s \cdot n_a$,

n_s – кількість частотних каналів, що використовується для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника;

n_a – кількість абонентів, що організовані на одному носії за рахунок TDMA.

4.1.5 Розрахунок кількості абонентів, що обслуговуються однією BTS

При заданій активності одного абонента в час найбільшого навантаження можна визначити кількість абонентів, що обслуговуються однією BTS за формулою:

$$N_{aBTS} = \text{int} \left(\frac{A}{\beta} \right) \cdot N_s. \quad (4.14)$$

4.1.6 Розрахунок кількості базових станцій

Необхідна кількість базових станцій на заданій території обслуговування визначається співвідношенням:

$$N_{BTS} = \text{int} \left(\frac{N_{\Sigma}}{N_{aBTS}} \right), \quad (4.15)$$

де N_{Σ} – задана кількість абонентів, що має обслуговувати стільникова мережа зв'язку.

4.1.7 Розрахунок радіуса стільника

Величину радіуса стільника можна визначити, використовуючи вираз:

$$N_{BTS} = 1,21 \cdot \left(\frac{R_0}{R} \right)^2, \quad (4.16)$$

де R_0 – радіус території, що обслуговується та подається умовно у формі кола;

R – радіус стільника.

Звідси, радіус стільника визначається:

$$R = \sqrt{1,21 \frac{S_0}{N_{BTS} \pi}}. \quad (4.17)$$

4.1.8 Розрахунок величини захисної відстані

Величина захисної відстані між BTS з однаковими частотними каналами визначається співвідношенням:

$$D = R\sqrt{3C}. \quad (4.18)$$

4.1.9 Розрахунок потужності передавача базової станції

Якщо у вихідних даних задана чутливість приймача MS, то необхідно розрахувати потужність передавача BTS.

Необхідну потужність передавача BTS P_{ndBTS} визначають, користуючись виразом:

$$P_{ndBTS} = P_{ndMS} - G_{BTS} + 70 + 26,16 \lg(f, \text{МГц}) - 13,82 \lg(h_{BTS}, \text{м}) + \\ + [45 - 6,55 \lg(h_{BTS}, \text{м})] \lg(R, \text{км}), \text{дБВт} \quad (4.19)$$

де G_{BTS} – коефіцієнт підсилення антени базової станції, дБ;

f – середня частота виділеного діапазону частот;

h_{BTS} – висота підвісу антени BTS, м;

P_{ndMS} – чутливість приймача MS, дБВт.

4.2 Характеристика методики Биховського Ю.А.

Наведена вище методика розрахунку основних параметрів мереж стільникового зв'язку з FDMA та TDMA викладена в [17], вказує на те, що параметри мережі визначаються з урахуванням відсотка часу зриву зв'язку, флуктуацій рівня сигналу на вході приймача MS, розмірності кластера, коефіцієнта співканальних перешкод, умов поширення радіохвиль та ін.

На нашу думку, у даній методиці мають місце деякі некоректні рішення, на які необхідно звернути увагу.

4.2.1 Розрахунок потужності передавача BTS

В методиці, яка була проаналізована, приводиться вираз (4.19) для визначення потужності передавача BTS:

$$P_{ndBTS} = P_{ndMS} - G_{BTS} + 70 + 26,16 \lg(f, \text{МГц}) - 13,82 \lg(h_{BTS}, \text{м}) + \\ + [45 - 6,55 \lg(h_{BTS}, \text{м})] \lg(R, \text{км}), \text{дБВт}$$

На нашу думку, даний вираз є не зовсім коректним. Ця некоректність полягає в тому, що приведений вираз не враховує втрати сигналу в фідері, що з'єднує вихід передавача BTS з антеною. Втрати сигналу в фідері можуть бути досить великими. Їх величина залежить від робочої частоти, типу високочастотного радіотехнічного кабелю та довжини фідера. Втрати в кабелі характеризуються погонними втратами, тобто α_0 дБ/м на певній частоті [10, 18].

$$\alpha_\phi = \alpha_0 \cdot l_\phi, \quad (4.20)$$

де l_ϕ – довжина фідера.

Довжина фідера залежить від місця розташування BTS. У міських умовах BTS можна розташувати на верхньому поверсі багатоповерхового будинку і тоді довжина фідера може складати величину до 10 м.

При розташуванні BTS в передмісті або в сільській місцевості довжина фідера може рівнятися :

$$l_\phi = h_{BTS} + l_2, \quad (4.21)$$

де h_{BTS} – висота підвісу антени BTS;

l_2 – довжина фідера від вишки до апаратури BTS.

При монтажі BTS прагнуть забезпечити мінімальну довжину фідера. Наприклад, при збільшенні втрат в фідері на 6 дБ призведе до зменшення потужності на його виході в 4 рази.

З урахуванням сказаного вище, вираз для визначення потужності передавача повинно мати вигляд :

$$P_{ndBTS} = P_{ndMS} - G_{BTS} + 70 + 26,16 \lg(f, \text{МГц}) - 13,82 \lg(h_{BTS}, \text{м}) + [45 - 6,55 \lg(h_{BTS}, \text{м})] \lg(R, \text{км}) + \alpha_{\phi BTS}, \text{дБВт} \quad (4.22)$$

4.2.2 Визначення величини радіуса стільника

В роботі Биховського Ю.А. [17] радіус стільника визначається за формулою:

$$R = \sqrt{\frac{S_0}{\pi K}}, \quad (4.23)$$

де S_0 – площа території, яка обслуговується;

K – число BTS.

З виразу (4.23) випливає, що автор роботи виходить з того, що

$$S_0 = K S_{\text{стільн}}, \quad (4.24)$$

де $S_{\text{стільн}}$ – площа стільника.

Слід зазначити, що вираз (4.23) справедливий тільки в тому випадку, коли BTS знаходиться в центрі кожного стільника. Цим виразом не можна користуватися при розрахунку параметрів мереж стандартів D-AMPS, а також стандартів GSM і JDC, використовуючи сітки BTS 3/9(GSM), 4/12 (JDC) та 2/7 (D-AMPS) [14].

Іншими словами, в цьому випадку не враховується можливість організації сітки BTS. В роботі [17] формула (4.23) використовується без всяких обмежень.

У випадку організації будь-якої сітки BTS число стільників та кількість BTS не співпадають, що зайвий раз підтверджує можливість використання формули (4.23) тільки в одному окремому випадку.

У випадку організації сітки BTS 3/9, 4/12 або в загальному випадку x/y радіус стільників необхідно розраховувати виходячи з кількості стільників. Кількість BTS при цьому розраховується за формулою

$$K = \frac{A_{\text{мережі}}}{A_{\text{BTS}}}, \quad (4.25)$$

де $A_{\text{мережі}}$ – навантаження, яке обслуговується мережею;

A_{BTS} – навантаження, яке обслуговується однією BTS.

Вважаємо, що більш коректним є розрахунок площі обслуговуючої території за формулою:

$$S_0 = S_{\text{стільн}} \cdot N_{\text{стільн}}, \quad (4.26)$$

де $N_{\text{стільн}}$ – кількість стільників.

В цьому випадку число стільників $N_{\text{стільн}} = Ky/x$ та формула (4.23) набуде вигляду:

$$R = \sqrt{\frac{S_0 x}{\pi K y}}. \quad (4.27)$$

При використанні формул (4.23) та (4.27) виходять з того, що стільник має форму кола, площа якого рівна:

$$S_{\text{стільн}} = \pi R^2.$$

При шестикутній формі стільника його площа рівна [10, 12, 14, 16]:

$$S_{\text{стільн}} = 2,6 \cdot R^2. \quad (4.28)$$

Розглянемо, наскільки буде відрізнятись кількість BTS, якщо BTS будуть розташовані в кожному стільнику, при використанні різних формул визначення площі стільника.

Нехай $S_0=3140$ кв.км, $R=10$ км, тоді:

$$1) \quad K = \frac{S_0}{S_{\text{стільн}}} = \frac{S_0}{\pi R^2} = \frac{3140}{3,14 \cdot 100} = 10;$$

$$2) \quad K = \frac{S_0}{S_{\text{стільн}}} = \frac{S_0}{2,6 \cdot R^2} = \frac{3140}{2,6 \cdot 100} = 12.$$

Звідси слідує, що кількість BTS в першому та в другому випадку відрізнятись на 20%.

Отже, на нашу думку радіус стільника коректніше розраховувати за формулою:

- при організації сітки BTS

$$R = \sqrt{\frac{S_0 x}{2,6 K y}}; \quad (4.29)$$

- при розміщенні BTS в кожному стільнику по формулі (4.23).

4.2.3 Облік умов розповсюдження радіохвиль при розрахунку розмірності кластера

В розглянутій методиці розрахунок параметрів мережі стільникового зв'язку вплив співканальних завад враховується за допомогою коефіцієнтів β_i . В роботі вказується, що коефіцієнт β_i визначають медіани значення згасання радіохвиль на i -ій трасі розповсюдження завади від кожної співканальної BTS. Ці коефіцієнти обернено пропорційні четвертого ступеня відстані до джерела завад. Виходячи із цього, можна покласти, що параметр згасання радіохвиль в цьому випадку приймається рівним $n=4$. Іншими словами при визначенні рівнів сигналу та завад в точці прийому використовується просте розповсюдження радіохвиль з урахуванням землі.

Проте, параметр згасання радіохвиль змінюється в широких межах $n=2,4 \dots 4,8$ [10, 19, 20].

Слід відмітити, що в методиці, яка була аналізована, розрахунок розмірності кластера, а внаслідок цього та всіх параметрів мережі, яскраво

виражено вплив відсотка часу p_t , протягом якого співвідношення $P_c/P_{завад}$ падає нижче допустимої стандартом величини.

Розглянемо вплив параметра згасання радіохвиль на величину розмірності кластера, кількості BTS та інше.

По приведеній вище методиці розраховуємо основні параметри мережі для двох значень параметра згасання радіохвиль $n=3$ та 4.

4.2.3.1 Розрахунок параметрів мережі стільникового зв'язку для випадку $n=4$

Вихідні дані:

1. Стандарт GSM.
2. Смуга частот BTS на передачу, 936..956 МГц.
3. Число абонентів, що обслуговуються, $N_{\Sigma}=115000$.
4. Навантаження, що створюється одним абонентом в ЧЧН, $\beta=0,11$ Ерл.
5. Ймовірність блокування виклику, $P_{\text{бл}} = 1\%$.
6. Допустимий процент часу зменшення відношення (P_c/P_3) відносно захисного ρ_0 , $p_t = 3\%$.
7. Площа території, що обслуговується, $S_0 = 64000$ кв.м.
8. Параметр, що визначає діапазон випадкових флуктуацій рівня сигналу, $\sigma=4$ дБ.
9. Чутливість приймача MS, $P_{\text{прMS}} = -105$ дБм.
10. Коефіцієнт підсилення антени BTS, $G = 16$ дБ.
11. Висота підвісу антени BTS, $h_{\text{BTS}} = 38$ м.
12. Смуга частот, виділена для передачі або прийому сигналів BTS, $\Delta F=21,6$ МГц.

Розрахунок параметрів мережі проводиться за методикою, яка викладена в розділі 4, з використанням приведених там математичних співвідношень. Щоб не повторювати приведені там формули в цьому розділі математичні співвідношення приводяться відразу з конкретними цифрами.

1. Кількість частотних каналів

$$N_k = \frac{21,6 \cdot 10^6}{200 \cdot 10^3} = 108.$$

2. Розрахунок розмірності кластера

Розрахуємо варіант, при якому антена має кругову діаграму спрямованості ($\Delta\varphi = 360^\circ$) та розмірність кластера $C=3$.

Знаходимо відносну відстань повторного використання суміжних каналів (коефіцієнт міжканальних завад)

$$q = \sqrt{3 \cdot 3} = 3.$$

Коефіцієнти β_i для антена із круговою діаграмою спрямованості:

$$\beta_1 = \beta_2 = (3 - 1)^{-4} = 0,063,$$

$$\beta_3 = \beta_4 = 3^{-4} = 0,012,$$

$$\beta_5 = \beta_6 = (3 + 1)^{-4} = 3,906 \cdot 10^{-3},$$

$$\sum_{i=1}^M \beta_i^2 = 0,063^2 + 0,063^2 + 0,012^2 + 0,012^2 + (3,906 \cdot 10^{-3})^2 + (3,906 \cdot 10^{-3})^2 = 8,148 \cdot 10^{-3},$$

$$\sum_{i=1}^M \beta_i = 0,063 + 0,063 + 0,012 + 0,012 + 3,906 \cdot 10^{-3} + 3,906 \cdot 10^{-3} = 0,158,$$

$$\alpha_e = \sqrt{\frac{1}{0,23^2} \cdot \ln \left\{ 1 + \left[e^{0,23^2 \cdot 4^2} - 1 \right] \cdot \frac{8,148 \cdot 10^{-3}}{0,158^2} \right\}} = 2,619,$$

$$\alpha_p = \sqrt{4^2 + 2,619^2} = 4,781,$$

$$\beta_e = 0,158 \cdot e^{\frac{0,23 \cdot (4^2 - 2,619^2)}{2}} = 0,201,$$

$$X1 = \frac{10 \cdot \log\left(\frac{1}{0,201}\right) - 9}{4,781} = -0,424.$$

Значення $p(C)$ знаходимо за таблицею додатка А [10, 12, 16].

При цьому $Q(-X) = 1 - Q(X)$, тоді

$$Q(-0,424) = 1 - Q(0,424) = 1 - 0,3372 = 0,6628.$$

В цьому випадку $p(C) = 100 \cdot 0,6628 = 66,28\%$.

Отже, умова $p(C) < p_t$ не виконується ($66,28\% > 5\%$).

Значення розмірності кластера $C=3$ не задовольняє вимогам вихідних даних.

Оскільки попередня розмірність кластера не задовільнила умові, то беремо інші значення кластеру. Розрахунки виконанні у середовищі Mathcad та приведені у додатку А та табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Значення $p(C)$

C	p(C)
	$\varphi = 360^\circ$
3	66,28%
4	39,74%
7	6,43%
9	1,923%

Проаналізувавши результати розрахунків можна визначити, що антена із круговою діаграмою спрямованості та розмірність кластера $C=9$ задовільняють нерівність $p(C) \leq p_t$ ($1,923\% < 3\%$).

3. Кількості радіоканалів, що використовуються однією BTS

$$N_{kBTS} = \text{int}\left(\frac{108}{9}\right) = 12.$$

4. Значення допустимого телефонного навантаження.

Для визначення величини навантаження розв'яжемо нерівність

$$P'_{\text{бл}} \leq \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot n_0}},$$

де $n_0 = n_s \cdot n_a$;

n_s – кількість частотних каналів, що використовується для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника чи в одному стільнику;

n_a – кількість абонентів, що можуть водночас використовувати один частотний канал. Для стандарту GSM $n_a = 8$.

$$n_0 = n_s \cdot n_a,$$

$$n_0 = 12 \cdot 8 = 96.$$

Тоді

$$P'_{\text{бл}} \leq \sqrt{\frac{2}{3,14 \cdot 96}} = 0,081.$$

Оскільки $P_{\text{бл}} \leq P'_{\text{бл}}$ ($0,01 \leq 0,081$), то розраховуємо за формулою (4.12):

$$A = 96 \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(0,01 \sqrt{\frac{3,14 \cdot 96}{2}} \right)^{1/96}} \right] = 81,89 \text{ Ерл}.$$

5. Кількість абонентів, що обслуговуються однією BTS

$$N_{\text{aBTS}} = \text{int} \left(\frac{81,89}{0,11} \right) \cdot 1 = 744.$$

6. Кількість базових станцій

$$N_{BTS} = \text{int}\left(\frac{115000}{744}\right) = 154.$$

7. Радіус стільника

$$R = \sqrt{1,21 \frac{64000}{154 \cdot 3,14}} = 12,65 \text{ км.}$$

8. Величина захисної відстані

$$D = 12,65 \sqrt{3 \cdot 9} = 65,74 \text{ км.}$$

9. Потужність передавача базової станції

В якості фідера використовується високочастотний коаксіальний кабель РК50-7-11С, параметри якого вибирались за частотою 1 ГГц. Згідно з таблицею електричних характеристик радіочастотних коаксіальних кабелів [10, 19, 20]. Згасання дорівнює $\alpha_0 = 0,04$ дБ/м.

Довжина фідера розраховуємо з урахуванням встановленої антени на даху 12-ти поверхової будівлі. Висота підвісу антени BTS дорівнює 38 м.

Отже, довжина фідера дорівнює $2+1+4+2 = 9$ м.

Втрати в фідері

$$\alpha_\phi = \alpha_0 \cdot l_\phi,$$

$$\alpha_\phi = 0,04 \cdot 9 = 0,36 \text{ дБ.}$$

Необхідна потужність передавача BTS $P_{ндBTS}$

$$P_{ндBTS} = -135 - 16 + 70 + 26,16 \lg(946, \text{МГц}) - 13,82 \lg(38, \text{м}) + \\ + [45 - 6,55 \lg(38, \text{м})] \lg(12,65, \text{км}) + 0,36 = 13,6 \text{ дБВт} = 10^{0,1 \cdot (13,6)} = 23 \text{ Вт.}$$

4.2.3.2 Розрахунок параметрів мережі стільникового зв'язку для випадку $n=3$

В цьому випадку використовується ті ж відношення та вихідні дані, що і в попередньому пункті.

1. Кількість частотних каналів

$$N_k = \frac{21,6 \cdot 10^6}{200 \cdot 10^3} = 108.$$

2. Розрахунок розмірності кластера

Візьмемо $C=3$.

Тоді

$$q = \sqrt{3 \cdot 3} = 3.$$

Коефіцієнти β_i рівні

$$\beta_1 = \beta_2 = (3-1)^{-3} = 0,125,$$

$$\beta_3 = \beta_4 = 3^{-3} = 0,037,$$

$$\beta_5 = \beta_6 = (3+1)^{-3} = 0,016.$$

$$\sum_{i=1}^M \beta_i^2 = 0,125^2 + 0,125^2 + 0,037^2 + 0,037^2 + 0,016^2 + 0,016^2 = 0,034,$$

$$\sum_{i=1}^M \beta_i = 0,125 + 0,125 + 0,037 + 0,037 + 0,016 + 0,016 = 0,126,$$

$$\alpha_e = \sqrt{\frac{1}{0,23^2} \cdot \ln \left\{ 1 + \left[e^{0,23^2 \cdot 4^2} - 1 \right] \cdot \frac{0,034}{0,126^2} \right\}} = 2,422,$$

$$\alpha_p = \sqrt{4^2 + 2,422^2} = 4,676,$$

$$\beta_e = 0,158 \cdot e^{\frac{0,23 \cdot (4^2 - 2,422^2)}{2}} = 0,465,$$

$$X1 = \frac{10 \cdot \log\left(\frac{1}{0,465}\right) - 9}{4,676} = -1,213.$$

Значення $p(C)$ знаходимо за таблицею додатка А [13, 18].

При цьому $Q(-X) = 1 - Q(X)$.

$$Q(-1,213) = 1 - Q(1,213) = 1 - 0,1131 = 0,8869.$$

В цьому випадку

$$p(C) = 0,8869 \cdot 100\% = 88,69\%.$$

Отже, умова $p(C) \leq p_t$ не виконується ($88,69\% > 3\%$).

Проведемо розрахунок для інших значень розмірності кластера. Розрахунки були виконанні у середовищі Mathcad та приведені у додатку Б та у таблиці (4.3).

Таблиця 4.3 – Значення $p(C)$

C	p(C)
	$\varphi = 360^\circ$
3	88,69%
4	76,42%
7	42,07%
9	27,43%
12	14,92%
13	12,1%
16	6,81%
19	3,92%
21	2,81%

Проаналізувавши результати розрахунків можна визначити, що антена із круговою діаграмою спрямованості та розмірність кластера $C=21$ задовільняють нерівність $p(C) \leq p_t$ ($2,81 < 3$).

3. Кількості радіоканалів, що використовуються однією BTS

$$N_{kBTS} = \text{int}\left(\frac{108}{21}\right) = 5.$$

4. Значення допустимого телефонного навантаження

Для визначення величини навантаження розв'яжемо нерівність

$$P'_{\text{бл}} \leq \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot n_0}},$$

$$n_0 = 5 \cdot 8 = 40.$$

Тоді

$$P'_{\text{бл}} \leq \sqrt{\frac{2}{3,14 \cdot 40}} = 0,126.$$

Оскільки $P_{\text{бл}} \leq P'_{\text{бл}}$ ($0,01 \leq 0,126$), то розраховуємо за формулою (4.12)

$$A = 40 \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(0,01 \cdot \sqrt{\frac{3,14 \cdot 40}{2}} \right)^{1/40}} \right] = 30,04 \text{ Ерл.}$$

5. Кількість абонентів, що обслуговуються однією BTS рівне

$$N_{aBTS} = \text{int}\left(\frac{30,04}{0,11}\right) = 273.$$

6. Кількість базових станцій

$$N_{BTS} = \text{int}\left(\frac{115000}{273}\right) = 421.$$

7. Радіуса стільника

$$R = \sqrt{1,21 \frac{64000}{421 \cdot 3,14}} = 7,65 \text{ км.}$$

8. Величина захисної відстані

$$D = 7,65 \cdot \sqrt{3 \cdot 21} = 60,7 \text{ км.}$$

9. Потужність передавача базової станції

Необхідна потужність передавача BTS $P_{ндBTS}$

$$P_{ндBTS} = -135 - 16 + 70 + 26,16 \lg(946, \text{МГц}) - 13,82 \lg(38, \text{м}) + \\ + [45 - 6,55 \lg(38, \text{м})] \lg(7,65, \text{км}) + 0,36 = 6,02 \text{ дБВт} = 10^{0,1 \cdot (6,02)} = 3,98 \text{ Вт} \approx 4 \text{ Вт.}$$

Залишковий розрахунок параметрів мережі стільникового зв'язку за методикою Биховського Ю.А. наведений в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Результати розрахунків за методикою Биховського Ю.А.

Параметр	Значення параметрів	
Параметр згасання радіохвиль, n	3	4
Процент часу відхилення співвідношення $P_c/P_{завад}$ від ρ_0	2,81	1,923
Розмірність кластера, C	21	9
Кількість каналів для однієї BTS, N_{kBTS}	40	96
Навантаження, яке обслуговується однією BTS, A Ерл	30,04	81,89
Кількість абонентів, які обслуговуються однією BTS, N_{aBTS}	273	744
Кількість базових станцій в мережі, N_{BTS}	421	154
Радіус стільника, R км	7,65	12,65
Величина захисного інтервалу, D км	60,7	65,74
Коефіцієнт співканальних завад	7,43	5,2

5 АНАЛІЗ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ПОПОВА В.І.

В роботі [4] приведена методика розрахунку параметрів мережі стільникового зв'язку. Автором роботи є Попов В.І. Тому далі в кваліфікаційній роботі ця методика називається методикою Попова В.І.

5.1 Методика розрахунку параметрів мережі стільникового зв'язку Попова В.І.

Вихідні дані для розрахунку параметрів мережі в цьому випадку аналогічні вихідним даним, приведених в п.4.2.1.

Дана методика пропонує в першу чергу визначення максимального значення радіуса стільника, коефіцієнта співканальних завад та визначення розмірності кластера з подальшим розрахунком всіх параметрів мережі.

При цьому встановлюється наступний порядок розрахунку

1. Визначення максимального радіуса стільника

$$R_{\max} = \left\{ \left[\left((P_{BTS} \cdot G_{BTS} \cdot G_{MS}) P_{MS \min} \right) 10^{-\alpha l} \right]^{1/2} \right\} \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right) \cdot A_f, \quad (5.1)$$

де P_{BTS} – потужність передавача BTS;

G_{BTS} – коефіцієнт посилення антени BTS;

G_{MS} – коефіцієнт посилення антени MS;

$P_{MS \min}$ – чутливість приймача MS;

l – відстань між BTS та MS;

λ – довжина хвилі;

α – втрати сигналу на одиницю шляху між BTS та MS;

$A_f = 10^{-\alpha g l} \times 10^{-\alpha g 2l g^2}$ – розрахунковий коефіцієнт.

2. Максимальна площа макростільника

$$S_{MC} = \pi R_{\max}^2. \quad (5.2)$$

3. Загальне число макростільників в зоні обслуговування

$$N_{mc} = \frac{S_0}{S_{mc}}. \quad (5.3)$$

4. Коефіцієнт співканальних завад

$$\left[\frac{(D - R_{\max})}{R_{\max}} \right]^k = \left[\frac{D}{R_{\max}} - 1 \right]^k = (q - 1)^k \leq \left(\frac{S}{I} \right). \quad (5.4)$$

5. Число стільників в кластері (розмірність кластера)

$$C = N_{ck} = \frac{1}{3} q^2. \quad (5.5)$$

6. Число кластерів в зоні обслуговування

$$N_k = \frac{N_{mc}}{N_{ck}}. \quad (5.6)$$

Надалі методика розрахунку співпадає з попередньою методикою.

5.2 Характеристика методики розрахунку параметрів мережі стільникового зв'язку Попова В.І.

5.2.1 До вибору розмірності кластера

Аналізуючи дану методику розрахунку параметрів мереж стільникового зв'язку необхідно, на нашу думку, висловити деякі зауваження.

1. В роботі [4] на стр. 179-180 стверджується, що розмірність кластера C визначається з урахуванням багатьох факторів і що при статистичному способі радіопокриття зони обслуговування стільникової мережі зв'язку, повинна бути виконана умова

$$\left[\frac{(D-R)}{R} \right]^n = (q-1)^n \leq \frac{P_c}{P_{\text{вз.зав}}}, \quad (5.7)$$

де D – величина захисного інтервалу;

R – радіус стільника;

n – параметр згасання радіохвиль;

$P_c/P_{\text{вз.зав}}$ – допустиме співвідношення рівня сигнал/взаємна завада;

$q=D/R$ – коефіцієнт співканальних завад.

При цьому не зазначаються ніякі обмеження (або умови), для яких це співвідношення справедливе.

Слід зазначити, що вираз (5.7) справедливий тільки в одному окремому випадку, тобто тільки в разі наявності однієї заважаючої співканальної BTS.

Цілком очевидно, що навіть в найпростішому випадку лінійної мережі заважаючих співканальних BTS буде дві, розташованих справа та зліва від розглянутої BTS на відстані захисного інтервалу (рис. 5.1).

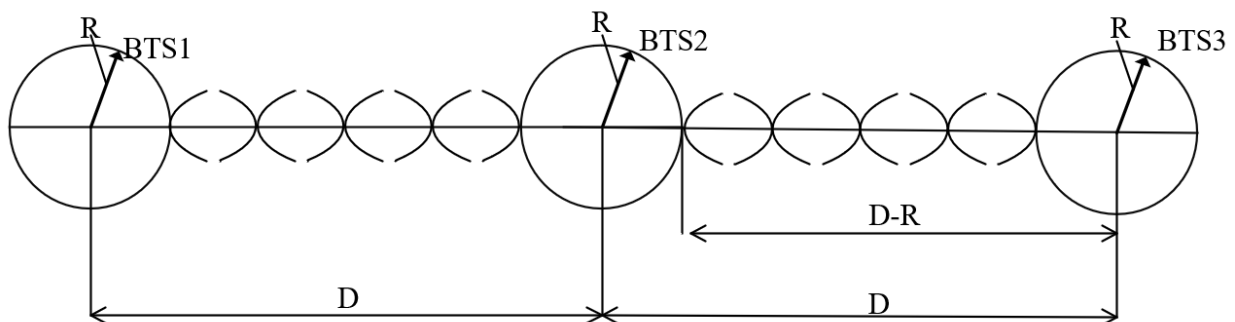


Рисунок 5.1 – Лінійна мережа

BTS2 та BTS3 є співканальними заважаючими станціями по відношенню до BTS1. Тоді співвідношення сигнал/завада, в точці прийому (на границі стільника BTS1) буде [18]

$$\frac{P_c}{P_{\text{зав}}} = \frac{(D-R)^n}{2R^n}. \quad (5.8)$$

Оскільки далі в роботі розмірність кластера визначається з виразу

$$C = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{R} \right)^2, \quad (5.9)$$

то можна стверджувати, що стільники мають форму правильного шестикутника.

Мережі стільникового зв'язку будуються з використанням принципу повторного використання каналів (частот). В роботах [10, 15, 16, 21] показано, що при шестикутній формі стільника та всепрямованій антені BTS, уже в першому колі знаходяться шість співканальних заважаючих BTS (рис. 5.2).

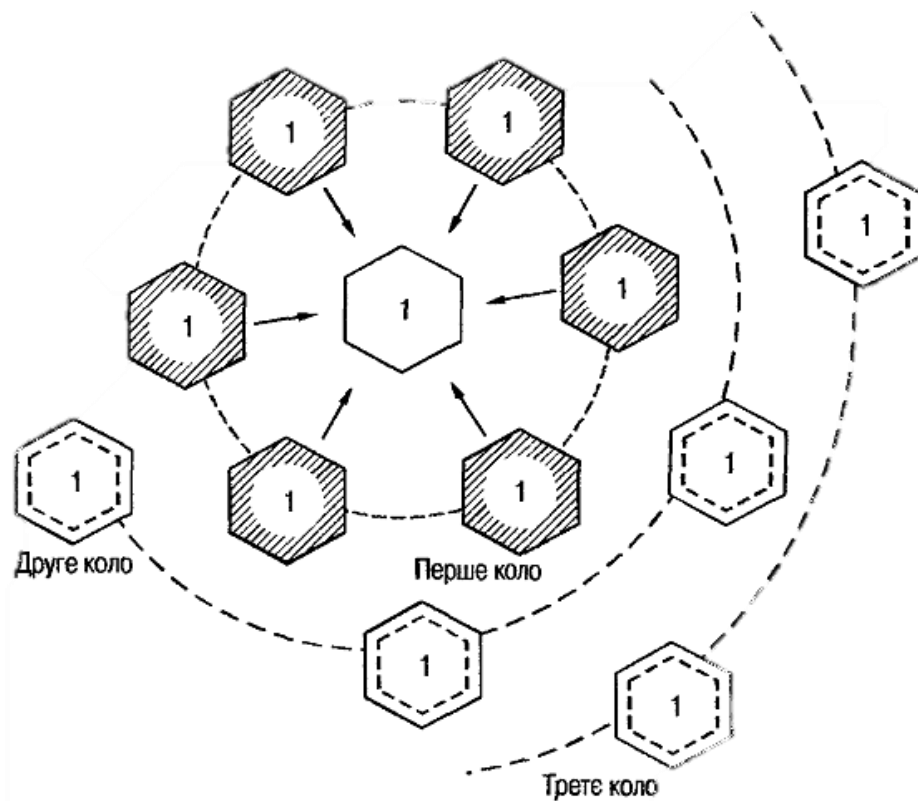


Рисунок 5.2 – Розташування стільників, що створюють завади на співпадаючих частотах

Вираз (5.7) не враховує вплив всіх заважаючих співканальних BTS, а також тип антени BTS. Якщо позначити число заважаючих співканальних BTS першого кола через M , то вираз (5.7) з урахуванням заважаючих станцій матиме вигляд [20]

$$(q-1)^n / M \leq P_c / P_{\text{вз.зав}}, \quad (5.10)$$

де $M=6$ при використанні всенаправленої антени;

$M=2$ при використанні трьохсекторної антени;

$M=1$ при використанні шестисекторної антени.

Отже, використання формули (5.7) для визначення розмірності кластера є помилковим.

В наведеній роботі [4] на стр. 181-182 при використанні всенаправленої антени отримані наступні величини

$$q=4,72 \text{ при } n=3,5;$$

$$C = \frac{1}{3} \cdot q^2 = \frac{1}{3} \cdot 4,72^2 = 7.$$

Кількість стільників в мережі

$$N_{\text{стільн}} = \frac{S_0}{S_{\text{стільн}}} = \frac{64000}{125} = 51.$$

Кількість кластерів

$$N_{\text{кл}} = \frac{N_{\text{стільн}}}{C} = \frac{51}{7} = 7.$$

Відповідно до виразу (5.10) маємо

$$(q-1)^n = 6 \cdot \left(\frac{P_c}{P_{\text{вз.зав}}} \right), \quad (5.11)$$

$$(q-1)^{3,5} \leq 600,$$

$$q = 7,22,$$

$$c = \frac{1}{3} \cdot 7,22^2 = \frac{52,12}{3} = 17.$$

Дане значення C необхідно порівняти з величиною отриману з виразу (5.12) та взяти ближнє більше

$$C = i^2 + ij + j^2, \quad (5.12)$$

де $i, j = 0, 1, 2, 3$ і так далі.

Отже, необхідно вибрати $C=21$ ($i=3, j=2$)

При використанні формули (5.7) значення розмірності кластера рівна $C=7$, а за формулою (5.10) та (5.12) $C=21$. Як бачимо різниця кількісних значень розмірності кластера досить суттєва.

Коефіцієнт повторного використання каналів в першому випадку

$$n_{повт} = \frac{1}{C} = \frac{1}{7} = 0,142,$$

а в другому

$$n_{повт} = \frac{1}{C} = \frac{1}{19} = 0,052.$$

Таким чином, можна відмітити, що коефіцієнт повторного використання каналів розрахований при використанні формули (5.7) завищений в 2.7 рази.

Слід також відмітити, що в наведеному прикладі використовується стандарт GSM900, а співвідношення сигнал/завада (P_c/P_z) прийнято рівним 20дБ, хоча відповідно зі стандартом це співвідношення рівне 9 дБ.

Розглянемо як зміниться при цьому ємність мережі.

Нехай:

- кількість каналів мережі рівна $N_k=210$;
- навантаження, створене одним абонентом в ЧНН $\beta=0.1$ Ерл.;
- ймовірність блокування виклику $P_{бл}=5\%$.

Знайдемо наскільки буде відрізняться ємність в мережі при різних значеннях розмірності кластера $C=7$ та $C=21$, тобто при визначенні розмірності кластера з використанням формул (5.7) та (5.10).

При $C=7$

Кількість каналів однієї BTS

$$N_{кBTS} = \frac{N_{к}}{C}, \quad (5.13)$$

$$N_{кBTS} = \frac{190}{7} = 27.$$

Відповідно до таблиці Ерлангів для ймовірності втрат на повнодоступному пучку ліній [9], для $N_{кBTS}=27$ та $P_{ол}=5\%$, можливо обслуговування однієї BTS навантаження $A_{BTS}=22$ Ерл.

Кількість абонентів, обслуговуючих однією BTS

$$N_{aBTS} = \frac{A_{BTS}}{\beta}, \quad (5.14)$$

$$N_{aBTS} = \frac{22}{0,1} = 220 \text{ абонентів.}$$

При $C=21$.

$$N_{кBTS} = \frac{190}{19} = 10;$$

$$A_{BTS}=6,22 \text{ Ерл;}$$

$$N_{aBTS} = \frac{6.22}{0.1} = 62 \text{ абоненти.}$$

Якщо припустити, що в випадку приведенного прикладу BTS встановлені в кожному стільнику, тоді ємність мережі при $C=7$ буде складати

$$N_{\Sigma} = N_{BTS} \cdot N_{aBTS} = 51 \cdot 220 = 11220 \text{ абонентів.}$$

При $C=21$ буде складати

$$N_{\Sigma} = N_{BTS} \cdot N_{aBTS} = 51 \cdot 62 = 3162 \text{ абоненти.}$$

Звідси слідує, що ємність мережі при $C=7$ виходить завищена, в порівнянні з варіантом $C=21$, отриманої при використанні правильної форми.

Отже, використання для розмірності кластера формули (5.7) призведе до помилкових результатів, які значно відрізняються від результатів, отриманих за формулою (5.10).

В прикладі розрахунку цифрової мікросітьникової мережі зв'язку отримана розмірність кластера $C=22$. Згідно виразу (5.12) розмірність кластера не може бути рівною 22.

5.2.2 До розрахунку радіуса стільника

В аналізованій методиці пропонується ввести розрахунок радіопокриття зони обслуговування, а відповідно й всіх параметрів мережі стільникового зв'язку з визначення максимального радіуса стільника. Далі розраховуються кількість стільників, коефіцієнт співканальних завад, розмір кластера та інше.

Такий варіант розрахунку можливий. Однак, в аналізованій методиці розраховується не кількість BTS, а число стільників та розмірність кластера визначається як деяке число стільників. Як було показано раніше п.4.2.2 число стільників та число BTS співпадають тільки в тому випадку, якщо BTS знаходяться в кожному стільнику. Тому використовувати цю методику без вказівки певних обмежень некоректно.

На нашу думку, при відомому типі обладнання, призначене для налаштування мережі стільникового зв'язку, радіус стільника краще визначати використовуючи модель поширення радіохвиль Окамури-Хати [20].

$$P_{ndBTS} \partial BBm = P_{ndMS} \partial BBm - G_{BTS} \partial B + 70 + 26,16 \lg f(\text{МГц}) - \\ - 13,82 \lg h_{BTS}(\text{м}) + [45 - 6,55 \lg h_{BTS}(\text{м})] \lg R(\text{км}) + \alpha_{\phi BTS} \partial B \quad , \quad (5.15)$$

5.2.3 До визначення кількості BTS

В своїй методиці автор розподіляє канали між BTS вважаючи, що число стільників рівне кількості BTS. Раніше в пункті 4.2.1 було показано, що це справедливо тільки в випадку розташування BTS в кожному стільнику.

Кількість BTS коректніше визначити використовуючи формулу (4.21) методики Биховського Ю.А. або вираз

$$N_{BTS} = \frac{A_m}{A_{BTS}}, \quad (5.16)$$

де $A_m = N_{\Sigma} \cdot \beta$ – навантаження, яке обслуговується мережею;

A_{BTS} – навантаження, яке обслуговується BTS.

5.2.4 До врахування впливу співканальних завад

Раніше зазначалося, що при розгортанні територіальної мережі зв'язку використовується принцип повторного використання каналів. Це призводить до виникнення співканальних завад, рівень яких в деяких випадках може бути порівняний з рівнем корисного сигналу. Вплив таких BTS на співвідношення $P/P_{вз.зав}$ розглядалося в пункті 5.2.1. Тут же звертається увага на те, як цей вплив враховується в роботі Попова В.І.

У даній методиці це враховується наступним чином.

Для обліку впливу шести співканальних BTS до середнього територіального значення $\lambda_m=30$ дБ необхідно додати 8 дБ. При цьому значення величин 30дБ та 8дБ не обґрунтовані.

Величина λ_m входить до виразу (7.13) [4]

$$\lambda_m = \left(\frac{D-R}{R} \right)^n = \lambda(R), \quad (5.17)$$

що характеризує середнє територіальне значення відношення сигнал/завада.

Вираз (5.17) в цьому випадку, як було показано раніше справедливо тільки для однієї заважаючої співканальної BTS. Розглянемо, звідки взялась величина 8дБ.

В найзагальнішому випадку, як відмітилося раніше цей вираз (5.17) повинен мати вигляд

$$\left(\frac{D-R}{R}\right)^n / M = (q-1)^n / M \leq P_c / P_{\text{вз.зав}}, \quad (5.18)$$

$$\lambda_m = (q-1)^n = M \cdot \frac{P_c}{P_{\text{вз.зав}}}, \quad (5.21)$$

$$\lambda_m, \text{дБ} = 10 \lg M + 10 \lg \frac{P_c}{P_{\text{вз.зав}}}. \quad (5.20)$$

В випадку всенаправленої антени $M=6$ і тоді

$$\lambda_m, \text{дБ} = 8 \text{дБ} + \frac{P_c}{P_{\text{вз.зав}}} \text{дБ}, \quad (5.21)$$

Виходячи з виразу (5.21) стає зрозуміло, чому в роботі [4] говориться про необхідність додати до λ_m 8 дБ.

Тоді постає питання про походження величини 30 дБ.

На нашу думку, вираз (5.17) коректніше було би записати в вигляді

$$\lambda_m, \text{дБ} = (q-1)^n = 10 \lg M + \frac{P_c}{P_{\text{вз.зав}}} \text{дБ}, \quad (5.22)$$

де $\frac{P_c}{P_{\text{вз.зав}}}$ - необхідне відношення сигнал/завада, яке визначається стандартом.

До речі для GSM це відношення рівне 9 дБ.

5.3 Розрахунок мережі за методикою Попова В.І.

Вихідні дані в цьому випадку ті ж самі, що і при попередньому розрахунку.

1. Визначення максимального радіуса стільника.

Значення радіуса стільника визначимо використовуючи формулу (5.15), використовуючи вираз, отриманий на основі використання моделі розповсюдження радіохвиль Окамури-Хати.

При цьому $P_{ндBTS}=23\text{Вт}(13.6\text{ дБВт})$, $n=4$.

Тоді

$$\lg R_{\text{км}} = \frac{P_{нд} + P_{нрМЗ} + G_{BTS} - 70 - 26,16 \lg f + 13,82 \lg h_{BTS} - \alpha_{\phi}}{[45 - 6,53 \lg h_{BTS}]}. \quad (5.23)$$

В цьому випадку

$$\lg R_{\text{км}} = \frac{13,6 + 135 + 16 - 70 - 77,85 + 21,8 - 0,36}{[45 - 10,35]} = 1,103,$$

$$R = 10^{1,103} = 12,65 \text{ км.}$$

2. Максимальна площа стільника

$$S_{\text{стільн}} = \pi R^2, \quad (5.24)$$

$$S_{\text{стільн}} = 3,14 \cdot 12,65^2 = 502,5 \text{ км}^2.$$

3. Кількість стільників на обслуговуючій території

$$N_c = \frac{S_0}{S_{\text{стільн}}}, \quad (5.25)$$

$$N_c = \frac{64000}{502,5} = 127.$$

4. Знаходимо коефіцієнт співканальних завад з виразу

Згідно методики Попова В.І. кількість стільників та BTS однакова. Слідє $N_{BTS}=127$. В методиці відмічається [4, стр. 188], що для обліку впливу перших

шести заважаючих співканальних завод до середнього територіального значення відношення сигнал/завада $\lambda_m=30\text{дБ}$ необхідно додати 8 дБ, тобто

$$\lambda_m = \left(\frac{D-R}{R} \right)^n = 30\text{дБ} + 8\text{дБ} = 38\text{дБ}(6309),$$

$$(q-1)^4 = 6309,$$

$$q=10,$$

$$C = \frac{1}{3}q^2 \approx 33.$$

Значення розмірності кластера $C=33$ – не реальне.

Згідно з виразом $C = i^2 + ij + j^2$ розмірність кластера може бути $C = 31$ ($i = 5, j = 1$).

Тоді

$$N_{kBTS} = \frac{108 \cdot 8}{31} = 27;$$

$$A_{\text{стільн}} = 17,8 \text{ Ерл};$$

$$N_{aBTS} = \frac{17,8}{0,11} = 161;$$

$$N_{BTS} = \frac{115000}{161} = 714.$$

Отриманні результати підтверджують, що мережа з такими параметрами не реальна.

Слід відмітити, що автор не обґрунтовує величину 30 дБ. На нашу думку, замість 30 дБ необхідно застосувати величину, яка визначається стандартом GSM $P/P_{\text{вз.зав}}=9\text{дБ}(7.94)$

Тоді

$$(q-1)^4 = 9\text{дБ} + 8\text{дБ} = 17\text{дБ} = 50,12.$$

Звідси

$$q = 3,66.$$

5. Число стільників в кластері (розмірність кластера С)

$$C = \frac{1}{3} \cdot q^2, \quad (5.26)$$

$$C = \frac{1}{3} \cdot 13,4 = 4,466.$$

Якщо взяти $C=4$, то на кожному BTS припадає близько 27 несучих частот. В стандарті GSM900 на одну BTS може виділятися не більше 16...18 несучих.

Отже, візьмемо $C=7$.

6. Кількість каналів однієї BTS

$$N_{kBTS} = \frac{108 \cdot 8}{7} = 123.$$

7. Визначення величини телефонного навантаження, яке обслуговується однією BTS.

Значення навантаження однієї BTS знаходимо за таблицею формули Ерланга [9] для 123 каналів та $P_{\text{бл}}=1\%$

$$A_{BTS} = 105,5 \text{ Ерл.}$$

8. Кількість абонентів, які обслуговуються однієї BTS

$$N_{aBTS} = \frac{A_{BTS}}{\beta}, \quad (5.27)$$

$$N_{aBTS} = \frac{105,5}{0,11} = 959 \text{ абонентів.}$$

9. Число базових станцій.

Кількість BTS виходячи з загального числа обслуговуючих абонентів рівне

$$N_{BTS} = \frac{N_{\Sigma}}{N_{aBTS}}, \quad (5.28)$$

$$N_{BTS} = \frac{115000}{959} = 120.$$

Таким чином, виходячи із забезпечення радіопокриття заданої площі кількість BTS рівна 127. З точки зору забезпечення послугами мережі проживаючих на вказаній площі 115000 абонентів, необхідно встановити 120 BTS. Пріоритетним в цьому випадку є вибір числа BTS виходячи з обслуговування заданої кількості абонентів при необхідній якості.

Отримані результати незначною мірою відрізняються один від іншого. Якщо прийняти $N_{BTS}=120$, то мережа, що проектується, не забезпечить покриття всієї плануючої території. При рівномірному розташуванню абонентів по території частина їх не буде обслуговуватися мережею мобільного зв'язку. Переважно в цьому випадку прийняти $N_{BTS}=127$. При цьому кожна BTS буде обслуговувати не 959 абонентів, а 905. Отже, на кожен BTS буде резерв, що можна буде використовувати при подальшому зростанні числа абонентів.

Примітки.

Якщо побудувати мережу с числом BTS рівним 127, то число активних абонентів однієї BTS буде рівне

$$N_{акт.аб.BTS} = 905 \cdot 0,11 = 99,$$

тобто $N_{kBTS} = 99$.

Число несучих коливань

$$N_{нес} = 99 / 8 = 12.$$

Оскільки всі канали в мережі мобільного зв'язку розподіляється всередині кластера, тобто

$$N_{kBTS} = N_k / C, \quad (5.29)$$

$$\text{то } C = N_k / N_{kBTS} = 108 / 12 = 9.$$

В цьому випадку можна побудувати мережу з розмірністю кластера $C=9$. Це буде сприяти покращенню співвідношенню $P_c/P_{вз.зав}$, так як

$$C = \frac{1}{3} \cdot q^2, \text{ а } q = \sqrt{3C}.$$

$$\text{При } C=7, q = \sqrt{3 \cdot 7} = 4,582.$$

$$\text{При } C=9, q = \sqrt{3 \cdot 9} = 5,196$$

Результати розрахунків параметрів за розглянутими методикам Попова В.І. та Биховського Ю.А. наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Результати розрахунку за методиками Попова В.І. та Биховського Ю.А.

Параметр	Значення параметрів	
	Попова В.І.	Биховського Ю.А.
Методика	Попова В.І.	Биховського Ю.А.
Параметр згасання радіохвиль, n	4	4
Розмірність кластера, C	7	9
Кількість каналів для однієї BTS, N_{kBTS}	123	96
Навантаження, яке обслуговується однією BTS, A	105,5	81,89
Кількість абонентів, які обслуговуються однією BTS, N_{aBTS}	959	744
Кількість базових станцій в мережі, N_{BTS}	120	154
Радіус кластера, R км	12,65	12,65

6 ВПЛИВ СЕКТОРНОСТІ АНТЕНИ BTS НА ЄМНІСТЬ МЕРЕЖІ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

В багатьох науково-технічних виданнях [5, 10, 14, 17, 20] для підвищення ємності мережі стільникового зв'язку рекомендується застосувати на BTS секторні антени. При цьому не обумовлюються ніякі умови застосування таких антен.

Цілком очевидно, що використання секторних антен підвищує співвідношення $P_c/P_{\text{завада}} (P_c/P_3)$ та, слідуює, буде сприяти збільшенню ємності BTS та всієї мережі. Представляє інтерес більш детально дослідити це питання.

При незмінній розмірності кластера (незмінній кількості каналів на одну BTS) застосування секторних антен на BTS призводить до подвійного результату.

По-перше, секторність антен веде до зменшення рівня внутрішньосистемних співканальних завад. В загальному випадку відношення сигнал/взаємна завада описується співвідношенням [10, 14, 15, 18]

$$P_c / P_3 = \frac{D - R^n}{M \cdot R^n}, \quad (6.1)$$

де n – параметр загасання радіохвиль;

R – радіус стільника;

D – захисний інтервал;

M – число заважаючих станцій.

При побудові мережі з стільниками шестикутної форми число заважаючих станцій буде різним при використанні різних типів антен BTS.

При всенаправленій антені ($\Delta\varphi = 360^\circ$) $M=6$. При трьохсекторній та шестисекторній антенах ($\Delta\varphi = 120^\circ$ і $\Delta\varphi = 60^\circ$) число $M=2$ та $M=1$ відповідно для трьохсекторної та шестисекторної антен.

Це з'ясовується тим, що секторні антени мають більш високу спрямованість і число джерел завад зменшується.

По-друге, використання секторних антен призведе до секторизації стільника. В цьому випадку кількість каналів, виділеної BTS, діляться між секторами, що знижує ефективність мережі (ємність BTS).

Припустимо, що розмірність кластера $C=3$, ймовірність блокування виклику $p_{\text{бл}}=1\%$ та навантаження, що створене одним абонентом в ЧНН $\beta=0,01$ Ерл. Мережі виділяється 45 частотних каналів стандарту GSM 900 (що становить $45 \cdot 8=360$ фізичних каналів). Проаналізуємо, як впливає секторність антен на ємність BTS.

Рішення. При розмірності кластера $C=3$ на один стільник (BTS) припадає

$$N_{k\text{BTS}} = \frac{360}{3} = 120 \text{ фізичних каналів.}$$

За таблицею ймовірності втрат додаток В [12] при $p_{\text{бл}}=1\%$ знаходимо навантаження, яка може бути обслужена однією BTS (стільником) $A=103$ Ерл.

Кількість обслуговуючих при цьому абонентів складає

$$N_{\Sigma_1} = A / \beta,$$

$$N_{\Sigma_1} = 103 / 0,01 = 10300 \text{ абонентів.}$$

При трьохсекторній антені ($N_s = 3$) на кожний сектор приходе

$$N_{k\text{сектор}} = N_{k\text{BTS}} / 3 = 120 / 3 = 40 \text{ фізичних каналів.}$$

Цьому відповідає навантаження $A_{\text{сектора}} = 29$ Ерл.

Число обслуговуючих абонентів

$$N_{\Sigma\text{сектор}} = A_{\text{сектора}} / \beta = 29 / 0,01 = 2900 \text{ абонентів.}$$

Кількість обслуговуючих однією BTS абонентів рівне

$$N_{\Sigma_2} = N_{\Sigma\text{сектор}} \cdot N_s = 2900 \cdot 3 = 7800 \text{ абонентів.}$$

При шестисекторній антені $N_s = 6$

$$N_{k\text{сектор}} = N_{kBTS} / 6 = 120 / 6 = 20 \text{ фізичних каналів.}$$

Обслуговуюче навантаження при цьому складає

$$A_{\text{сектора}} = 12 \text{ Ерл.}$$

Кількість обслуговуючих абонентів в одному секторі

$$N_{\Sigma\text{сектор}} = A_{\text{сектора}} / \beta = 12 / 0,01 = 1200 \text{ абонентів.}$$

Число абонентів, що обслуговуються однією BTS складає

$$N_{\Sigma_3} = N_{\Sigma\text{сектор}} \cdot N_s = 1200 \cdot 6 = 7200 \text{ абонентів.}$$

Для наочності отримані результати зводимо в таблицю 6.1.

Таблиця 6.1 – Результати розрахунку залежності ємності BTS від секторності антени BTS

Параметр	$\Delta\varphi = 360^\circ$	$\Delta\varphi = 120^\circ$	$\Delta\varphi = 60^\circ$
	$N_s=1$	$N_s=3$	$N_s=6$
1. Кількість каналів на стільник	120	120	120
2. Кількість каналів на сектор	120	40	20
3. Навантаження, що обслуговується одним сектором, Ерл	103	29	12
4. Кількість абонентів, що обслуговуються одним сектором	12000	2900	1200
5. Кількість абонентів, обслуговуючих однією BTS(одним	$N_{\Sigma_1}=12000$	$N_{\Sigma_2}=7800$	$N_{\Sigma_3}=7200$

стільником), N_{Σ}		
---------------------------	--	--

З отриманих результатів слідує, що

$$N_{\Sigma_1} > N_{\Sigma_2} > N_{\Sigma_3}.$$

Секторизація антен BTS (секторизація стільника) при постійній розмірності кластера та поверхневої щільності навантаження без збільшення ймовірності відмови виклику призведе до зменшення величин навантаження, яке може обслуговувати BTS, тобто призведе до зниження ємності мережі. На цій основі можна стверджувати, що секторизація антен BTS знижує ефективність мережі при незмінному числі каналів однієї BTS. Це можна пояснити тим, що між кількістю каналів та величиною навантаження, яка обслуговується при постійній величині блокування виклику існує залежність, яка визначається графіком (рис. 6.1). Графік складений з використанням таблиці ймовірності втрат (блокування) на повнодоступному пучку лінії [9, 12]. Слідує, секторні антени бажано застосовувати в тих випадках, коли на багатосекторний стільник можна виділити більшу кількість каналів, ніж на односекторний.

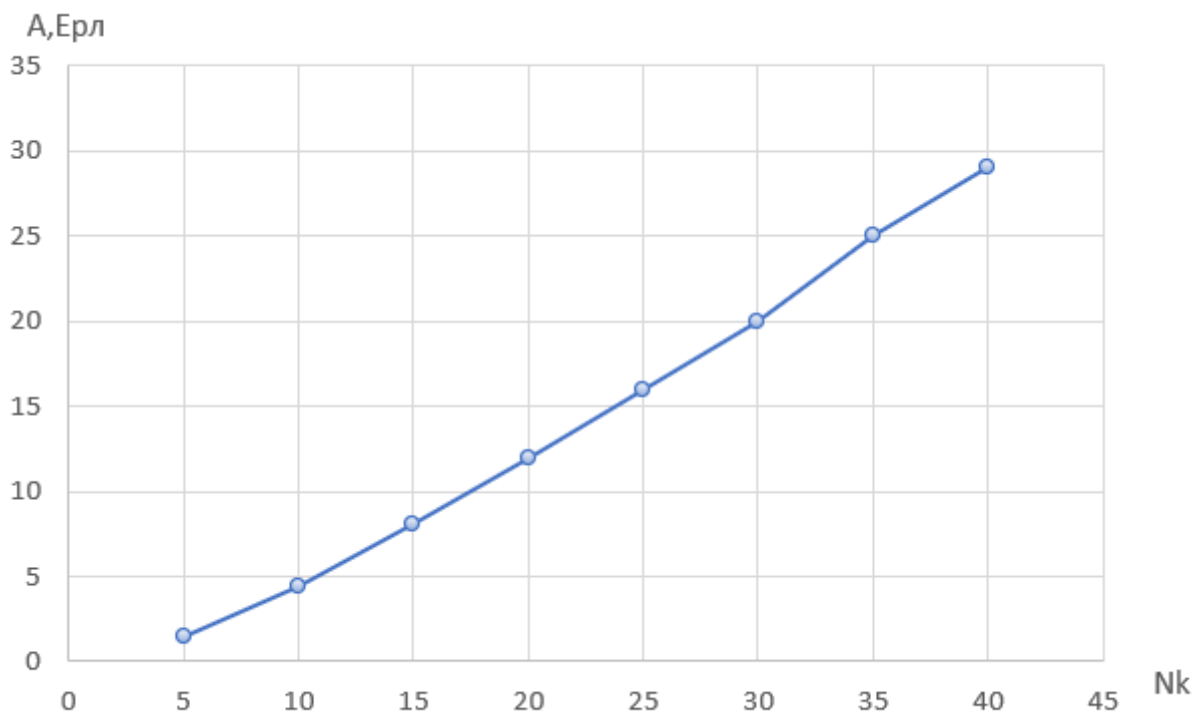


Рисунок 6.1 – Залежність навантаження від числа каналів при $P_{\text{бл}}=1\%$

Отже, застосування секторних антен призведе до зниження ємності BTS, а відповідно і всієї мережі, тільки у випадку незмінності числа каналів на BTS з (постійності розмірності кластера).

В методиці, яка аналізується розмірність кластера є функцією секторності антени BTS. Зі збільшенням секторності антени BTS розмірність кластера зменшується, тобто кількість каналів BTS збільшується.

Наприклад. В [12, табл. 5.2] наведено результати досліджень, з яких слідує, що при всенаправленій антені BTS ($\Delta\varphi = 360^\circ$) відношення $P_c/P_{\text{зав}}=22,45\text{дБ}$ досягається при $C=12$, а при трьохсекторній ($\Delta\varphi = 120^\circ$) – $P_c/P_{\text{зав}}=24,5\text{дБ}$ при $C=7$.

Нехай кількість фізичних каналів $N_k=336$, $P_{\text{бл}}=1\%$, $\beta=0,01$ Ерл.

Тоді при $\Delta\varphi = 360^\circ$:

- кількість каналів BTS $N_{\text{кВТS}}=336/12=28$;
- величина навантаження, що обслуговується однією BTS $A=18,6$ Ерл;
- кількість абонентів, що обслуговуються однією BTS

$$N_{\Sigma}=18,6/0,01=1860 \text{ абон.}$$

В випадку $\Delta\varphi = 120^\circ$:

- кількість каналів BTS $N_{\text{кВТS}}=336/7=48$;
- кількість каналів в секторі $N_{\text{ксект}}=48/3=16$;
- обслуговуюче навантаження в одному секторі $A_{\text{сект}}=8,88$ Ерл;
- кількість абонентів, що обслуговуються одним сектором

$$N_{\Sigma\text{сект}}=8,88/0,01=888 \text{ абон.}$$

- кількість абонентів, що обслуговуються в стільнику

$$N_{\Sigma C}=888 \times 3=2664 \text{ абон.}$$

Звідси слідує, що застосування секторних антен BTS призведе до зменшення розмірності кластера, збільшенню числа каналів BTS, збільшення ємності мережі (BTS), но потенційно можлива ємність мережі (BTS) при цьому зменшується.

Якщо при $C=7$ використовувалася всенаправлена антена, то:

- число каналів BTS $N_{\text{кВТS}}=336/7=48$;
- навантаження BTS $A_{\text{ВТS}}=36,1$ Ерл;
- кількість абонентів, що обслуговуються $N_{\Sigma\text{стільн}}=36,1/0,01=3610$

абон.

Отримане значення $3610 > 2664$.

Звідси видно, що при всенаправленій антені потенційна ємність BTS вище, що підтверджує наші міркування.

Хоча при використанні секторних антен потенційна ємність BTS зменшується, но за рахунок зменшення рівня завад (підвищення $P_c/P_{зав}$) та збільшення числа каналів на BTS ймовірність блокування виклика зменшується. В результаті можна стверджувати, що застосування секторних антен на BTS забезпечує не тільки кращі якості передачі, но і забезпечує кращі параметри з обслуговуванням трафіку.

ВИСНОВКИ

Завдання на кваліфікаційну роботу виконано в повному обсязі.

В роботі було проаналізовано дві методики розрахунку параметрів мереж стільникового мобільного зв'язку технології FDMA та TDMA, опубліковані в роботі [17] (методика Биховського Ю.А.) та в роботі [4] (методика Попова В.І.).

За методикою Биховського Ю.А. Приведена в роботі [17] формула (4.21) для розрахунку потужності передавача BTS не враховує втрат сигналу в передаючому фідері. Отримана по цій формулі $P_{n\partial BTS}$ виявляється менше по рівню, ніж необхідна для забезпечення необхідного співвідношення $P_c / P_{зав}$ на межі стільника. При цьому якість послуг, що надаються, знижується.

Для визначення радіуса стільника використовується вираз (4.23), який є не зовсім коректним, бо справедливий тільки коли BTS знаходиться в центрі кожного стільника. Приведена формула не враховує сітки базових станцій 3/9(GSM), 4/12(JDC) та 2/7(AMPS, D- AMPS) та не може бути використана для визначення радіуса стільника R.

В п.4.2.2 було розглянуто відмінність площі кластера в залежності від форми стільника. Відмінність кількості BTS від форми стільника з шестикутної форми до стільника з круглою формою складає 20 %. Питання в тому, якою формулою користуватися для визначення площі стільника залишається відкритим. При розрахунку розмірності кластера в роботі [7] виходили з того, що має місце просте розповсюдження радіохвиль та використовували значення параметра згасання радіохвиль $n=4$.

Іншими словами при цьому враховувались конкретні умови розповсюдження радіохвиль (крупне місто, невелике місто, передмістя, сільська місцевість), коли $n = 2, 4, 4, 8$. Результати розрахунків параметрів мережі для двох значень $n=3$ та $n=4$ приведені в табл. 4.1. З таблиці слідує, що основні параметри мережі при $n=3$ та $n=4$ значно відрізняється. Слідує, необхідно більш точно враховувати умови розповсюдження радіохвиль.

За методикою Попова В.І. В роботі [20, стр 179-180] стверджується, що при статичному способі радіопокриття зони обслуговування повинна виконуватися умова (5.7), при цьому не обумовлюються умови, коли цей вираз справедливий. Вираз (5.7) пропонується брати як вихідний для визначення

розмірності кластера, але даний вираз справедливий тільки при наявності однієї заважаючої співканальної BTS, тому використання формули (5.7) для визначення розмірності кластера та в наступному всіх параметрів мережі приводить до помилкових результатів. Необхідно користуватися в цьому випадку формулою (5.10). Для визначення радіуса стільника коректніше користуватися формулою (4.21), а не (5.1), яка враховує типову міську забудову. В роботі [20] використовується не кількість BTS, а кількість стільників в припущенні, що число стільників рівне числу BTS, що як показано раніше не завжди співпадає. За нашою думкою, число BTS слід визначити використовуючи співвідношення (5.16). Для визначення розмірності кластера в роботі [20] пропонується використовувати вираз (5.7). В п.5.2.4 доведено, що використання запропонованої методики є некоректним (не обґрунтована величина) $\lambda_k = 30\text{дБ}$. На нашу думку, що підтверджується розрахунками в п.5.3, правильним є вираз (5.21).

Результати розрахунків параметрів мережі за методикою Попова В.І. та за методикою Биховського Ю.А. приведені в табл. 5.1. Результати показують, що методика Попова В.І. близька до методики Биховського Ю.А. Основний недолік методики Попова В.І. – не врахування проценту часу зриву зв'язку, за рахунок флуктацій рівня сигналу в точку прийому.

В роботі було досліджено вплив секторності антен BTS на ємність мережі стільникового зв'язку. Показано, що застосування секторних антен при незмінній розмірності кластера (при незмінній кількості каналів BTS) приведе до зниженню ємності мережі. Секторні антени за рахунок направлених властивостей підвищують співвідношення сигнал/завада та дозволяють використовувати в стільнику більшу кількість каналів, а, слідом, повисити ємність мережі. Секторні антени доцільно застосовувати в тому випадку, коли кількість каналів в стільнику більше, ніж в односекторній. Методика Биховського в більшій мірі враховує реальне розповсюдження радіохвиль, що є більш переважно.

Окремі результати кваліфікаційної роботи доповідалися на VII міжнародній науково-практичній конференції «Priority directions of science and technology development» [1] та на X міжнародній науково-практичній конференції «Fundamental and applied research in the modern world» [2] та наведені в додатку В.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Шматько Ю.М. Методи управління перешкодами в стільникових мережах. // Priority directions of science and technology development. Abstracts of the 7th International scientific and practical conference. SPC “Sci-conf.com.ua”. Kyiv, Ukraine. 2021. Pp. 472-474.
2. Шматько Ю.М. Розрахунок та вплив розмірності кластера на стільникову мережу зв'язку//. Proceedings of the 10th International scientific and practical conference. MDPC Publishing.
3. Карташевского В.Г., Семенов С Н., Фиретова Т.В. Сети подвижной связи-М Эко-Трендз, 2001., -299с.
4. Попов В.И. Основы сотовой связи стандарта GSM. – М .: Эко-Тренд, 2005г.
5. Ратынский М. В. Основы сотовой связи / Под ред. Д.Б Зимина. 2-е изд. Переработанный и дополненное. – М .: Радио и связь, -2000.-248ст.
6. Андрианов В.И., Соколов А.В. Средства мобильной связи. – СПб .: ВНУ-Санкт-Петербург, 2198.-256 с.
7. Безрук В. М., Ємельянов В. В., Кривенко С. А., Інформаційні мережі зв'язку : навч. Посіб. Ч.3 : Мережі мобільного зв'язку / МОНМС України, Харк. Нац. Ун-т радіоелектроніки. – Харків : ХНУРЕ, 2011. – 420 с
8. Громаков Ю.А. Сотовые системы подвижной радиосвязи. ТЕК.Т.48. – М. Эко-Трендз, 2194 -239с.
9. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. ТЭК. Т. 67- М .: Эко-Трендз, 2196.-239с.
10. Емельянов В.В. Системы сотовой подвижной радиосвязи. – Изд. 2-е перераб. И доп. Х .: Торсинг, 2007г.
11. Емельянов В.В., Мирошниченко А.Ю. Сотовая связь, Часть 2: Учебное пособие – Харьков, ХНУРЭ, 2001.
12. Ємельянов В.В., Свид І.В. Системи стільникового рухомого радіозв'язку. Навч. Посіб. – Х: ТОВ «Компанія СМІТК», 2011 р.
13. Закиров З.Г., Надеев А.Ф., Файзуллин Р.Р. Сотовая связь стандарта GSM. – М .: Эко-Трендз, 2004.-264с.
14. Климаш М.М., Пелішок В.О., Михайлович П.М. Технології мереж мобільного зв'язку, – К.: «Освіта України», 2010р.

15. Сукачев Э. А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами. Нав. Пос. – [3-е изд. Перераб. И дополнено.] – Одесса: ОНАС им. Попова, 2013
16. Сукачев Э.А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами. Учебное пособие – Изд. 2-е, постирал., И доповн.-Одесса УГАС, 2000.-121с.
17. Быховский Ю.А. Частотный планирования сотовой сетей подвижной радиосвязи // Электросвязь, 2193, № 8, с. 30-32.
18. Емельянов В.В. Сотовая связь. Часть 1-Харьков: Телетех. 2001. – 134с.
19. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ / Под ред. У.К. Джейкса: Пер. с англ. / Под ред. М.С. Ярликова, М.В. Чернякова. – М.: Связь, 2179. – 520с.
20. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра: Пер. с англ. / Под ред. В.И. Журавлева – М.: Радио и связь, 2000. – 520ст.
21. Климаш М.М., Бурачок Р.А. Методичні вказівки до лабораторних робіт № 1-9 з курсу «Радіомережі зв'язку» для студентів спеціальності 7.012.402 «Інформаційні мережі зв'язку» . – Львів. – 2005