

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій і  
телекомунікацій

## ДИПЛОМНА РОБОТА

Другий ( Магістерський)

Освітній рівень

Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва спеціальності

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва спеціальності

на тему Підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з  
рухомими об'єктами в умовах лінії внутрішнь-осистемних заводів

ДРТР. 2019094.02.03.ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група ПР-19-2

  
підпис

А.І. Повх

Ініціали, прізвище

Керівник: к.в.н. доцент

  
підпис

В.І. Луканський

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, проф.

  
підпис

В.В. Масленников

Ініціали, прізвище

9 12 2020 р.

Хмельницький, 2020

Хмельницький національний університет

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем  
 Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій і телекомунікацій  
 Освітній рівень другий (магістерський)  
 Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації  
 Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка  
 Освітня-професійна програма Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. Кафедрою проф.

Мартинюк В.В.

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

магістранту \_\_\_\_\_ Повху Андрію Ігоровичу

1 Тема роботи: Підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з рухомими об'єктами в умовах дії внутрішньосистемних завад  
 керівник роботи Лужанський Віктор Ігорович, к.в.н, доцент.  
 затверджено наказом по університету від «1» вересня 2020р. № 118.

2 Строк подання студентом роботи на кафедру: 05.12.2020р.

3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)

Мета роботи: Розвиток та удосконалення методів підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з рухомими об'єктами в умовах дії внутрішньосистемних завад.

Об'єкт дослідження: цифрові системи мобільного зв'язку стандарту CDMA.

Предмет дослідження: вплив внутрішньосистемних завад в умовах забудови міста.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

1) Характеристики мереж мобільного зв'язку «п'ятого» 5G; 2) Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при однакових технічних характеристиках базових станцій в умовах дії внутрішньосистемних завад; 3) Розрахунки співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при різних характеристиках базових станцій в умовах дії внутрішньосистемних завад; 4) Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції в межах міста Городок

Завдання отримав Повх А.І.  
 Науковий керівник В.І. Лужанський



## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) дипломної роботи	Строк виконання етапів дипломної роботи	Примітка
1.	Вибір та аналіз відомої та зареєстрованої наукової літератури для написання наукової статті та дипломної роботи	до 15.05.2020	виконано
2.	Написання та подання наукової статті до видавця	до 01.09.2020	виконано
3.	Розділ 1. Характеристики мереж мобільної зв'язку „п'ятого покоління” 5G	до 20.03.2020	виконано
4.	Розділ 2. Розробка моделі співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при однакових технічних характеристиках базових станцій в умовах дії внутрішньоклітинних завад	до 10.10.2020	виконано
5.	Розробка моделі співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при різних характеристиках базових станцій в умовах дії внутрішньоклітинних завад	до 01.12.2020	виконано
6.	Розділ 4. Розробка моделі співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції в умовах міста-коридору	до 01.12.2020	виконано
7.	Подання дипломної роботи на захист	до 05.12.2020	виконано
8.	Подання дипломної роботи до захисту	до 09.12.2020	виконано

Студент

  
 Підпис

 А.І. Повх  
 Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
 Підпис

 В.І. Лужанський  
 Ініціали, прізвище

## ЗМІСТ

Перелік скорочень .....	7
Вступ.....	8
1 ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ «П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ» 5G .....	11
1.1 Загальне визначення стандарту 5G .....	11
1.2 Основні стандартизуючі організації стандарту 5G .....	14
1.3 Проблеми з наявністю вільних частот .....	16
1.4 Технології 5G New Radio (5G NR) .....	16
1.5 Архітектура опорної мережі (Core Network) 5G .....	19
1.6 Початок роботи над мережами 6G .....	25
Висновки до першого розділу.....	27
2 РОЗРАХУНОК СПІВВІДНОЩЕННЯ СИГНАЛ/ЗАВАДА НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ПРИ ОДНАКОВИХ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ДІЇ ВНУТРІШНЬОСИСТЕМНИХ ЗАВАД.....	28
2.1 Вплив кількості базових станцій та їх технічних характеристик на співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції.....	28
2.2 Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при однакових характеристиках базових станцій в точках N,M,B,K,L в умовах дії внутрішньосистемних завад .....	32
Висновки до другого розділу .....	55
3 РОЗРАХУНКИ СПІВВІДНОЩЕННЯ СИГНАЛ/ЗАВАДА НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ПРИ РІЗНИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ДІЇ ВНУТРІШНЬОСИСТЕМНИХ ЗАВАД .....	57
3.1 Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при різних характеристиках базових станцій в точках N,M,B,K,L в умовах дії внутрішньосистемних завад .....	57

3.2 Визначення впливу потужності сигналу передавачів базових станцій на потужність сигналу на вході приймача МС .....	81
3.3 Визначення максимальної відстані між базовою станцією та мобільною станцією при мінімальній потужності сигналу на вході мобільної станції .....	85
Висновки до третього розділу.....	89
4 РОЗРАХУНОК СПІВВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ЗАВАДА НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ В МЕЖАХ МІСТА ГОРОДОК .....	90
4.1 Розрахунки співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при однакових технічних характеристиках базових станцій міста Городок.....	90
4.2 Розрахунки співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції з використанням моделі Окамури-Хати.....	106
Висновки до четвертого розділу.....	115
ВИСНОВКИ.....	116
Перелік посилань.....	118
Додаток А Таблиці $Q$ -функції.....	124
Додаток Б стаття у фаховому журналі .....	127
Додаток В презентація.....	135

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БС – базова станція;

МС – мобільна станція;

5G – (5th Generation) 5-те покоління мобільних мереж;

ШІ – штучний інтелект;

LTE – Long Term Evolution (довготерміновий розвиток);

ШІ – штучний інтелект;

GPRS – General Packet Radio Service (загальний сервіс пакетної радіопередачі);

IoT – Internet of Things;

Big Data – великі данні;

GSM – Global System for Mobile Communications (Глобальна система мобільного зв'язку);

D-AMPS – Digital Advanced Mobile Phone System (цифрова система стільникового зв'язку другого покоління);

CDMA – Code Division Multiple Access (багатостанційний доступ до базової станції з кодовим розподілом сигналів рухомих);

ETSI – European Telecommunication Standard Institute (Європейський інститут телекомунікаційних стандартів);

OFDM – Orthogonal frequency-division multiplexing (мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів);

## ВСТУП

Використання мереж радіозв'язку з рухомими об'єктами надає можливість застосовувати один діапазон частот для збільшення швидкості передачі цифрової інформації та економічного використання частотного діапазону. Відповідно з розвитком цих технологій передачі даних постає питання про впровадження їх у місця з різним рельєфом і забудовою. Виникає потреба в удосконаленні існуючих та впровадженні нових заводо захищених радіотехнічних та телекомунікаційних систем передачі даних.

Аналіз зазначеної проблеми дає змогу проаналізувати проблеми які існують в системі на даний момент і провести розрахунки для її покращення і відповідно впровадження нових більш сучасних технологій зокрема 5G.

### **Актуальність теми:**

Підчас передачі даних мобільні станції постійно переміщуються в зоні обслуговування, отже заводова обстановка постійно змінюється. Відповідно від вчасної оцінки співвідношення сигнал/завада на вході приймачів мобільних станцій і приймачів базових станцій в умовах дії внутрішньосистемних завод, залежить якість мобільного зв'язку. При вирішенні даних задач отримуємо можливість покращити і оптимізувати мережу, ще при її проектуванні. Отже, тема дипломної роботи, у якій вирішуються данні науково-технічні задачі, є актуальною.

### **Мета дипломної роботи:**

Підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з рухомими об'єктами в умовах дії внутрішньосистемних завод.

### **Завдання дипломної роботи:**

1. Характеристики мереж мобільного зв'язку «п'ятого покоління» 5G.
2. Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при однакових технічних характеристиках базових станцій в умовах дії внутрішньосистемних завод.
3. Розрахунки співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при різних характеристиках базових станцій в умовах дії внутрішньосистемних завод.

4. Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції, яка переміщується в межах міста Городок в умовах дії внутрішньо системних завад.

**Об'єктом дослідження** є цифрові системи мобільного зв'язку стандарту CDMA (багатостанційний доступ до базової станції з кодовим розподілом сигналів рухомих);

**Предметом дослідження** є оцінка впливу внутрішньосистемних завад на вході приймача мобільної станції за рахунок технічних характеристик базових станцій в умовах забудови міста.

**Методи досліджень:**

При вирішенні поставлених наукових завдань у дипломній роботі застосовувались: методи математичного моделювання, моделі поширення радіохвиль та методи лінійної алгебри.

Наукова новизна отриманих результатів:

Проведено розрахунок впливу внутрішньосистемних завад у мережі мобільного зв'язку при різних технічних характеристиках базових станцій. Отримала подальший розвиток методика моніторингу завадової обстановки у стільникових системах. Це дозволило підвищити ефективність мережі мобільного зв'язку на 5,6% в умовах дії внутрішньосистемних завад.

**Практична значимість одержаних результатів:**

1. Проведено аналіз впливу внутрішньо системних завад на вході приймача мобільної станції при її русі за заданим маршрутом.

2. Використана методика дозволяє здійснювати моніторинг реальної завадової обстановки та оцінювати якість зв'язку. Це дозволить виявити проблемні зони впевненого прийому сигналів, а також оперативно вирішувати питання щодо покращення роботи такої мережі.

3. Сформульовані науково – обґрунтовані практичні рекомендації щодо раціонального використання стільникових мереж мобільного радіозв'язку з урахуванням переміщення мобільних станцій в умовах дії внутрішньосистемних завад.

**Апробація результатів досліджень:** результати досліджень представлені у вигляді статі у фаховому журналі у фаховому журналі «Вісник

Хмельницького Національного Університету», №5, 2020 р.

До складу дипломної роботи входять: вступу, чотири розділи, висновки, списки використаних джерел, 3ох додатків.

Загальний обсяг роботи складає 157 сторінки комп'ютерного тексту, у тому числі 42 рисунка та 40 таблиць, перелік посилань вміщує 52 найменування.

У вступі обґрунтовано актуальність наукової задачі, сформульовано мету та задачі досліджень, відображено основні наукові результати та їх практичне значення.

У першому розділі дипломної роботи проаналізовано характеристики мережі «п'ятого покоління» 5G. Проблеми з наявністю вільних частот. Архітектура опорної мережі (Core Network) 5G. Розвиток стандарту 5G в Україні. Початок роботи над мережами 6G.

У другому розділі описано співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при однакових технічних характеристиках базових станцій в умовах дії внутрішньо системних завад. Вплив кількості базових станцій та їх технічних характеристик на співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції. Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при однакових характеристиках базових станцій в точках N, M, B, K, L в умовах дії внутрішньосистемних завад.

У третьому розділі описано розрахунки співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при різних характеристиках базових станцій. Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при різних характеристиках базових станцій в точках N, M, B, K, L в умовах дії внутрішньосистемних завад. Визначення впливу потужності сигналу передавачів базових станцій на потужність сигналу на вході приймача МС. Визначення максимальної відстані між базовою станцією та мобільною станцією при мінімальній потужності сигналу на вході мобільної станції.

У четвертому розділі описано розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції в межах міста городок. Розрахунки

співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при однакових технічних характеристиках базових станцій міста Городок. Розрахунки співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції з використанням моделі Окамури-Хати.

## 1 ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ «П'ЯТОГО ПОКОЛІННЯ» 5G

У даному розділі представлені визначення, технічні характеристики, способи побудови та стандартизуючі організації систем зв'язку, п'ятого покоління радіозв'язку 5G. Загальне визначення стандарту 5G

### 1.1 Загальне визначення стандарту 5G

Мережі зв'язку «п'ятого покоління», т.зв. 5G (5th Generation) — 5-те покоління мобільних мереж або 5-те покоління бездротових систем. В першу чергу, нова мережа означає новий протокол взаємодії базової станції і кінцевого пристрою. Природно, передача даних відбувається за рахунок радіохвиль. І при виході на такі високі швидкості життєво важливо мати найбільшу довжину хвилі, яка досягається за рахунок меншої частоти.

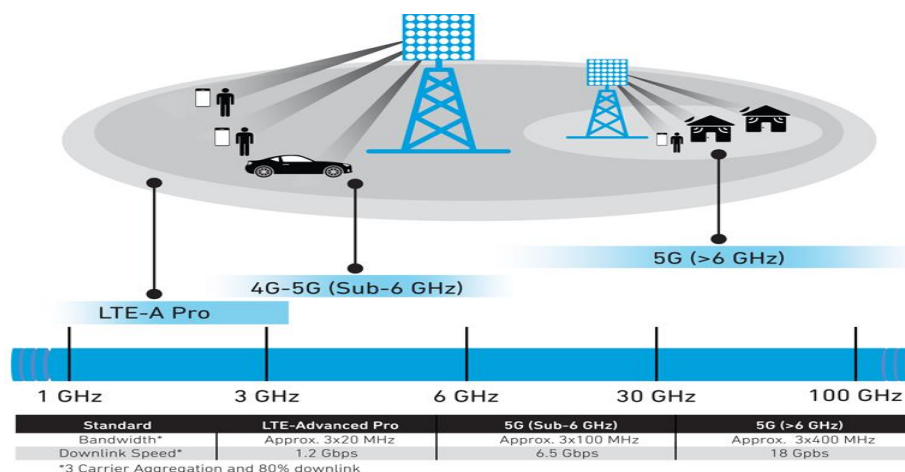


Рисунок 1.1 –Загальна схема передачі сигналу.

Тип осередки	середя розгортання	Макс. кількість користувачів	Вихідна потужність (мВт)	Макс. відстань від станції	
5G NR FR2	<b>Femtocell</b>	Будинки, підприємства	Будинок: 4-8 Підприємства: 16-32	в приміщенні: 10-100 на вулиці: 200-1000	десятки метрів
	<b>Pico cell</b>	Громадські місця, такі як торгові центри, аеропорти, вокзали, хмарочоси	від 64 до 128	в приміщенні: 100-250 на вулиці: 1000-5000	десятки метрів
	<b>Micro cell</b>	Міські райони, для заповнення прогалів в охопленні	від 128 до 256	на вулиці: 5000-10000	кілька сотень метрів
	<b>Metro cell</b>	Міські райони, щоб забезпечити додаткову ємність	більше 250	на вулиці: 10000-20000	сотні метрів
<b>Wi-Fi</b> (для порівняння)	Будинки, підприємства	менше 50	в приміщенні: 20-100 на вулиці: 200-1000	кілька десятків метрів	

Рисунок 1.2 – Поділ 5G технології і місця її застосування.

У меншій частоті хвилі є ще один важливий плюс, їй легше пробивати стіни і минути перешкоди. Наприклад, при 60 ГГц, цілком складно впоратися з повітрям. А стільниковий зв'язок LTE при 2,7 ГГц спокійно справляється з будинками. Іншими словами, якщо працювати з високими частотами, то доведеться ставити більше базових станцій або ж робити їх значно потужніше.

Мережі мобільного зв'язку попередніх поколінь мали такі призначення і функціонал:

- 1G: Послуги передачі мови по аналоговій мережі.
- 2G: Услуги передачі мови по цифровій сітці, не швидкісні послуги передачі даних (GPRS, EDGE)
- 3G: Високошвидкісні послуги передачі даних (HSPA), з можливістю передачі голосу по мережі IP, мобільний доступ до інтернет МВВ (Mobile Broadband).
- 4G: Мобільний широкопугмовий доступ МВВ на базі LTE, LTE-A, передача голосу (VoLTE).

5G в діапазоні 24 ГГц або вище використовують більш високі частоти, ніж 4G, і в результаті деякі сигнали 5G не здатні поширюватися на великі відстані (більше кількох сотень метрів), на відміну від сигналів 4G або більш низької частоти 5G (до 6 ГГц). Це вимагає розміщення базових станцій 5G

кожні кілька сотень метрів, щоб використовувати більш високі смуги частот. Крім того, ці високочастотні сигнали 5G не можуть легко проникати через тверді об'єкти, такі як автомобілі, дерева і стіни, через природи цих високочастотних електромагнітних хвиль.

5G в діапазоні 24 ГГц або вище використовують більш високі частоти, ніж 4G, і в результаті деякі сигнали 5G не здатні поширюватися на великі відстані (більше кількох сотень метрів), на відміну від сигналів 4G або більш низької частоти 5G (до 6 ГГц). Це потребує розміщення базових станцій 5G кожні кілька сотень метрів, щоб використовувати більш високі смуги частот. Окрім того, ці високочастотні сигнали 5G не можуть легко проникати через тверді об'єкти, такі як автомобілі, дерева і стіни, через природи цих високочастотних електромагнітних хвиль.

Однією з ключових технологій для реалізації мереж стільникового зв'язку 5G є використання в складі базових станцій багатоелементних цифрових антенних решіток з кількістю антенних елементів 128, 256 і більше. Відповідні системи отримали найменування Massive MIMO.

Beamforming або Формування променя, як випливає з назви, використовується для направлення радіохвиль на ціль. Це досягається шляхом об'єднання елементів в антенною решітці таким чином, що сигнали під певними кутами відчують конструктивну інтерференцію радіохвиль, в той час як інші піддаються деструктивної інтерференції. Синфазне складання сигналів покращує відношення сигнал / шум пропорційно кількості антенних елементів, внаслідок чого швидкість передачі даних може бути підвищена.

5G використовує формування променя завдяки поліпшеній якості сигналу, яке він забезпечує. Формування променя може бути виконано з використанням фазованих антенних решіток або, більш ефективно за допомогою цифрових антенних решіток.

Малі комірочки - це малопотужні вузли радіодоступу стільникового зв'язку, які працюють в ліцензованому і неліцензованих спектрах з діапазоном від 10 метрів до декількох кілометрів. Невеликі осередки мають вирішальне значення

для мереж 5G, оскільки радіохвилі 5G не можуть переміщатися на великі відстані через більш високі частоти 5G.

Для реалізації системи важливо на вулиці розташовувати передавачі на висоті вище двоповерхових автобусів. На практиці це означає розміщення апаратури на освітлювальних стовпах, що призвело навіть до масових судових спорів (про ціну і права) у Великобританії.

## **1.2 Основні стандартизуючі організації стандарту 5G**

3GPP (3rd Generation Partnership Project) - альянс з семи організацій, які розробляють різні стандарти телекомунікацій, в які, в свою чергу входять інші партнери. Завдання 3GPP - формулювання технічних вимог, оцінка пропозицій, і остаточне прийняття стандартів. В середині 2017 року була ухвалена версія загального стандарту Release 15, в даний час розробляється Release 17, яка буде прийнята в 2021 г. Крім розробки загальної архітектури, 3GPP також розробляє стандарти радіо-технологій 5G New Radio (NR) для нових частотних діапазонів, що виділяються під 5G.

ETSI (European Telecommunication Standard Institute), Європейський інститут телекомунікаційних стандартів, який є членом 3GPP, і найбільш активно працює в області розробки стандартів 5G.

IETF (Internet Engineering Task Force) розробляє рішення модернізації IP-протоколу для підтримки мінімізації втратити зв'язку із мережею NFV (Network Function Virtualization). Наприклад, IETF розробила технологію зчипки функцій сервісів SFC (Service Function Chaining), яка комбінує віртуалізовані компоненти архітектури 5G, наприклад, базові станції, шлюзи послуг та пакетів даних в єдиному маршруті. Це дозволяє динамічне створення і зчеплення віртуальних мережевих функцій VNF (Virtual Network Functions). IETF працює в тісній взаємодії з 3GPP.

ITU (International Telecommunication Union) – агентство ООН, розташоване в Женеві, яке займається стандартизацією широкого спектра

телекомунікаційних технологій. Зокрема, воно координує роботу по спільному використанню спектру радіочастот, в т.ч. для мереж 5G.

NGMN (Next Generation Mobile Networks) Alliance. Альянс мобільних мереж наступного покоління займається стандартизацією повного спектру рішень 5G. У альянс входить керівництво провідних американських операторів: AT & T, U.S. Cellular і Verizon.

Крім зазначених, існують галузеві та регіональні організації, такі як 5G Americas, Small Cell Forum, які також вносять великий внесок в розробку і стандартизацію рішень 5G.

Великий внесок у розробку стандартів вносять також і великі оператори зв'язку, такі як AT & T, Verizon і ін. Вони координують свою роботу з ETSI і ITU, але іноді випереджають ці організації. Тому рішення цих операторів часто лягають в основу стандартів ETSI і ITU.

### Detailed Timeline & Process For IMT-2020 in ITU-R

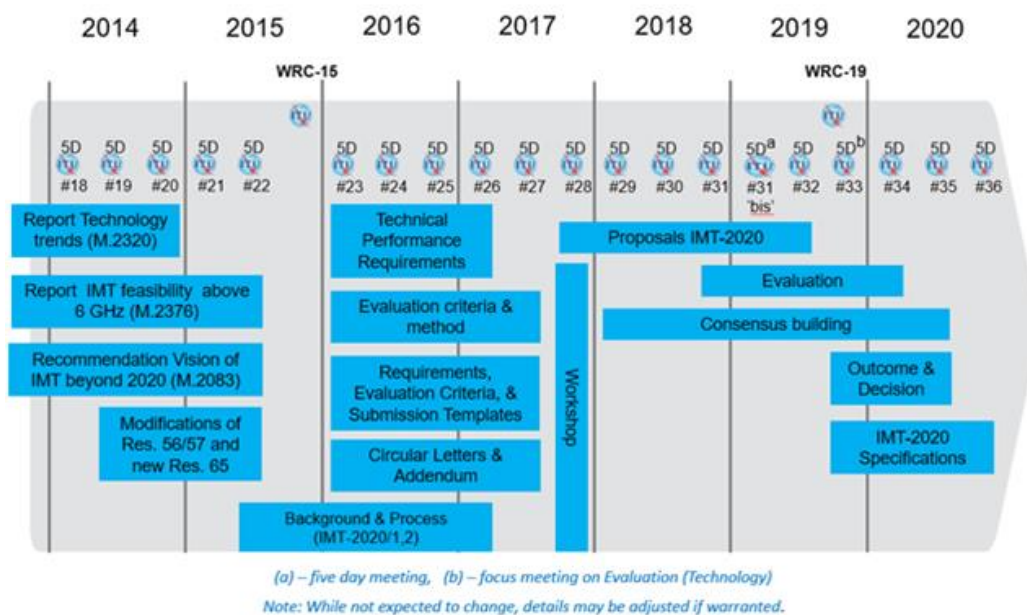


Рисунок 1.3 – Графік стандартизації 5G в ITU.

### **1.3 Проблеми з наявністю вільних частот**

Станом на 2020 рік 5G передбачається використовувати в різних спектрах радіочастот. Однак, в діапазоні до 6 ГГц, в тому числі виділеного під Wi-Fi діапазону 5 ГГц, поки існують серйозні проблеми з наявністю вільних частот. Виділення частот для 5G в спектрі до 6 ГГц вже погоджено на Всесвітній конференції радіозв'язку ВКР (WRC-15, World radiocommunication conference) в 2015 році. Діапазони більш високих частот будуть розподілятися на ВКР-21 в 2021 році.

Застосування низькочастотних ділянок спектра для мереж 5G дозволяє досягти оптимального покриття мережі без масивних інвестицій в розвиток мережевої інфраструктури.

Низькі частоти забезпечують гарне проникнення радіохвиль в приміщення, що дуже важливо для IoT. Особливо, важливий діапазон 700 МГц, призначений для систем зв'язку M2M, «розумного міста» і «розумних будинків». Для особливо надійного підключення таких об'єктів, як, наприклад, самоврядні автомобілі, роботи, промислова автоматизація, можуть використовуватися діапазони 3,4-3,8 ГГц. Передбачається, що в епоху 5G операторам будуть виділятися суцільні частотні смуги по 300-400 МГц.

Високочастотний спектр необхідний мереж 5G для досягнення швидкості передачі даних до 20 Гбіт / с, зокрема, для надання послуг 3D-відео в форматі UHD, AR / VR, хмарні сервіси для роботи та ігор, голографічна зв'язок, тактильний інтернет та ін. Зокрема, для цього розглядається можливість використання діапазонів 24,25-27,5 ГГц і 37-43,5 ГГц.

### **1.4 Технології 5G New Radio (5G NR)**

Для того, щоб задовольнити все зростаючі вимоги до мобільного зв'язку, для 5G були розроблені технології, об'єднані під загальною назвою «нове радіо 5G», 5G New Radio (5G NR). У порівнянні з радіо-інтерфейсом в мережах 4G, 5G NR має кілька важливих переваг.

Розробка 5G NR велася практично «з нуля», з урахуванням вимог до мереж 5G і з застосуванням кращих технологій, які будуть доступні до моменту повномасштабного розгортання мереж 5G. Таким чином, в 5G NR використовуються новітні технології модуляції, освіти форм хвиль (waveforms) і технологій радіодоступу RAT (Radio Access Technology), які, в т.ч., забезпечуватимуть високу швидкість передачі даних і подовження терміну служби батарей призначених для користувача пристроїв 5G.

Додавання нових діапазонів радіо-спектра, згідно з вимогами до швидкості передачі сигналів, числа пристроїв, зростання трафіку численних додатків 5G. Нові діапазони 5G NR лежать в межах від 2,5 до 40 ГГц. Ведуться обговорення про використання спектра до 100 ГГц.

Формування променів (Beamforming). Це технологія, яка лише в останні роки перейшла від концепції до реалізації, і яка здатна реалізувати багато переваг 5G. Beamforming дає можливість направляти промінь радіохвиль від базової станції на певні пристрої, як рухомі, так і нерухомі, без впливу на інші промені, спрямовані на ті ж пристрої.



Рисунок 1.4 – Формування променів Beamforming.

MIMO (Multiple Input Multiple Output). MIMO - Метод просторового кодування сигналу, що дозволяє збільшити смугу пропускання каналу, який вже застосовувався в Wi-Fi і 4G, в 5G був значно вдосконалений, зокрема, в розрахованому на багато користувачів режимі MU-MIMO (Multi-User- MIMO) в базових станціях 5G gNodeB (gNB), антени яких складаються з матриці випромінюючих елементів. Це дає можливість посилювати рівень сигналу для

конкретного користувача, в той же час мінімізуючи вплив даного сигналу на інших користувачів.

Технології спільного використання спектра (Spectrum sharing). Багато спектрів радіочастот, відповідним чином розподілені, часто не використовуються ефективно. Для вирішення цього завдання були розроблені технології Spectrum sharing.

Уніфікована між частотна взаємодія (Unified design across frequencies). Оскільки в 5G NR додано безліч нових частотних діапазонів, важливо забезпечити інтерфейс взаємодії при переході каналу з однієї частоти на іншу між базовими станціями.

Маленькі стільники (Small cells). Ущільнення мережевого покриття веде до того, що число базових станцій має збільшуватися. Тому було запропоновано рішення Small Cells - рішення недорогих, простих в установці і обслуговуванні базових станцій невеликої потужності. Їх можна розвішувати на щоглах вуличного освітлення, на стінах будинків та інших об'єктах. Мережа 5G здатна ефективно координувати їх роботу, перерозподіляючи навантаження між антенами.



Рисунок 1.5 – small cells (зліва) і звичайна базова станція Macro BTS.

Рішення small cells (зліва), в порівнянні зі звичайною базовою станцією Macro BTS в мережі попередніх поколінь.

При цьому можна використовувати розподілені антенні системи DAS (Distributed Antenna System) фактично «закриваючи» однією або декількома базовими станціями багатоповерхові будівлі. Невеликі антени з радіо-блоками

можна розташовувати практично в кожному приміщенні, забезпечуючи найкращу якість зв'язку.

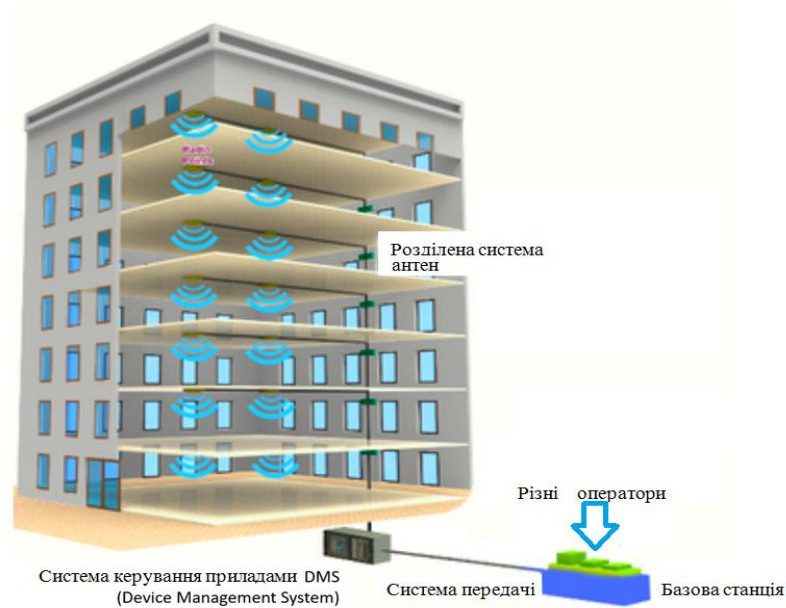


Рисунок 1.6 – Розподілені антенні системи DAS і єдина базова станція, що обслуговує будинок цілком.

Єдину інфраструктуру базових станцій і DAS можуть використовувати кілька операторів зв'язку одночасно.

### 1.5 Архітектура опорної мережі (Core Network) 5G

5G частіше називають не мережею, а системою, або «платформою», під якою мається на увазі платформа програмна, а не апаратна. Якщо мережі 1/2/3 / 4G будувалися на базі апаратних рішень (обладнання), то платформа 5G будується на базі програмних рішень, зокрема, програмно-конфігуруються мереж SDN (Software Defined Network), а також віртуалізації втратити зв'язок із мережею NFV (Network Function Virtualization).

Функції 5G реалізуються в віртуальних програмних функціях VNF (Virtual Network Function), які працюють в інфраструктурі NFV. Різниця між цими схожими за звучанням поняттями полягає в тому, що VNF - це функція, а NFV - це технологія. У свою чергу, NFV реалізується у фізичній інфраструктурі дата-центрів (data center, DC, центр обробки даних, ЦОД), на базі стандартного комерційного обладнання COTS (Commercial Off The Shelf). Устаткування

COTS включає лише три види стандартних, щодо недорогих пристроїв - сервер (обчислювальний пристрій), комутатор (мережевий пристрій) і система зберігання даних (пристрій зберігання).

Таким чином, обладнання традиційних мереж мобільного зв'язку замінюється на програмні суті, працюють в дата-центрах на стандартних серверах і віртуальних машинах VM (virtual machines).

Для реалізації програмних функцій, крім віртуальних машин, також будуть використовуватися програмні контейнери (containers), а також програмна архітектура мікросервісів (microservice).

Розподілена архітектура мережі мобільного доступу D-RAN (Distributed RAN) в мережах 4G поступово еволюціонує до централізованій архітектурі C-RAN (Centralized RAN).

В архітектурі 5G функції опорної мережі реалізуються в центральному хмарі Central Cloud (Cloud RAN), на віртуальних машинах VM.

Важливу роль у розвитку мереж 5G гратимуть також граничне хмара (Edge Cloud), зокрема, технологія MEC (Mobile Edge Cloud), а також «лиштотуманне» (Fog Cloud).

Віртуалізація мережі на базі NFV / SDN необхідна також для дуже корисної функції 5G: логічної мережевий нарізки (Network Slicing).

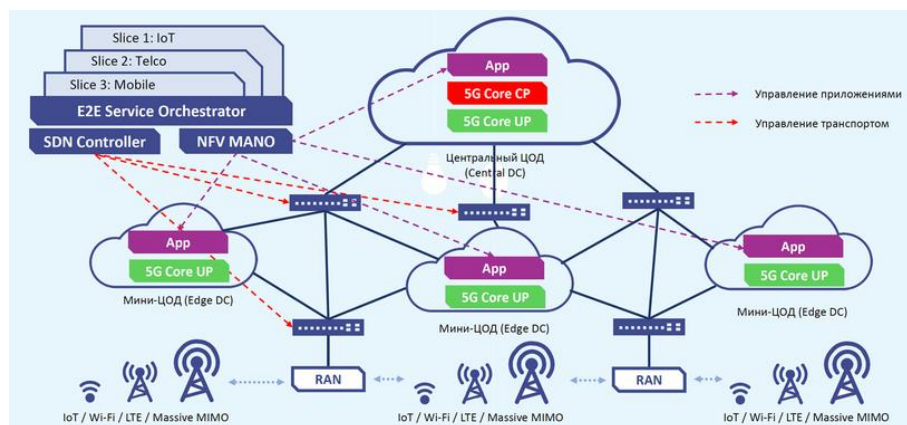


Рисунок 1.7 – Загальна архітектура мережі 5G.

Технологія Network Slicing дозволяє на базі єдиного обсягу (пулу) мережевих ресурсів виробляти логічне поділ мереж для різних типів послуг 5G,

яким потрібні різні технології радіодоступу RAT (Radio Access Technology), з різними характеристиками середовищ передачі даних. Це, наприклад, послуги:

- Високоякісне відео UHD
- Голосові послуги (5G Voice)
- Інтернет речей з великою кількістю датчиків, сенсорів і виконавчих пристроїв (Massive IoT)
- Інтернет речей для відповідальних додатків, таких, наприклад, як безпілотний транспорт (V2X), електронна медицина (Mission Critical IoT) і багато інших.

Всі ці послуги, що надаються на базі технології Network Slicing працюють на єдиній фізичній інфраструктурі дата-центрів центрального та граничного хмари, а також «туманною» інфраструктури (Fog Computing), необхідної для Massive IoT і промислового інтернету речей IIoT (Industrial IoT).

Це дає можливість багаторазового використання створеної колись програмно-апаратної інфраструктури, а також гнучке перепризначення її наявних ресурсів. Крім того, такий підхід дозволяє знизити не тільки капітальні витрати на будівництво мережі, а й операційні витрати на її обслуговування.

У 5G використовується така концепція, як network slicing. Це, грубо кажучи, нарізка мережевих ресурсів під різні типи трафіку, причому для кожного Слайса (буквально - шматка мережі) може використовуватися своя технологія передачі даних. Завдяки гнучкості підходу можна задовольнити найрізноманітніші і навіть суперечливі вимоги користувачів різних типів. Для передачі веб-даних цілком підходить LTE - його потрібно тільки трохи доопрацювати, підвищити швидкість.

Для передачі даних з маленькою затримкою буде використовуватися спеціальний слайс, який називається ultra-reliable low latency communication. Він дозволяє передавати дані з вкрай низькою затримкою. Якщо в LTE мінімальна тривалість передачі одна мілісекунда, то тут мінімальна тривалість передачі триватиме частки мілісекунди, а надійність буде дуже високою, до

99,999%. Окремий слайс в рамках 5G відведено IoT. Він дозволяє передавати дані великим числом пристроїв з низьким енергоспоживанням.

Крім того, для високошвидкісної передачі даних в міліметровому діапазоні, тобто в діапазоні частот від 30 до 300 ГГц. Наприклад, в звичному діапазоні 2-5 ГГц ширина використовуваного частотного каналу, в якому передаються дані, відносно невелика і складає одиниці, рідше - десятки МГц. У діапазоні 40-70 ГГц доступного для використання спектра істотно більше, що дозволить збільшити ширину частотного каналу до сотень і тисяч МГц і більше. Таким чином, міліметровий діапазон - це практично «еквівалент нескінченності» для операторів (в сенсі обсягу доступних каналних ресурсів). Проблема полягає в тому, що доводиться передавати дані тільки пристроїв, які знаходяться в прямій зоні видимості, інакше якість сигналу різко падає. У певному сенсі 5G стане «лишковим пирогом», що поєднує різні технології, використання кожної з яких буде визначатися в залежності від вимог конкретного користувача.

31 серпня 2020 року Qualcomm Technologies оголосила про вчинення прориву, який робить можливим використання мереж 5G для забезпечення жителів високошвидкісним фіксованим доступом в інтернет міст, передмість і сіл.

У міру поширення мереж 5G учасники ринку все частіше стикаються з нестачею веж стільникового зв'язку, який полягає в їх нездатності здійснювати високошвидкісну передачу даних в діапазоні міліметрових хвиль на великі дистанції.

Прорив Qualcomm полягає в тому, що компанії вдалося вдвічі збільшити цю дистанцію до 3,8 км - саме на такому рекордному відстані вперше був здійснений дзвінок в Австралії з використанням 5G-мережі.

Дзвінок був здійснений з використанням комплекту, що складається з програмного забезпечення, комерційних радіосистем Ericsson Air5121 і Baseband 6630, а також мікроконтролера Qualcomm Snapdragon X55 5G Modem-RF System і антени Qualcomm QTM527.

Згідно з недавнім дослідженням, проведеним Parks Associates на замовлення Nokia, послуги фіксованого бездротового доступу 5G входять в число найбільш затребуваних послуг зв'язку серед індивідуальних користувачів, що відкриває мобільним операторам нові можливості для збільшення прибутку.

Зокрема, 66% опитаних в США, Великобританії і Південній Кореї респондентів заявили, що готові перейти на мобільний ШСД, якщо цей сервіс буде коштувати не дорожче існуючої послуги широкосмугового доступу і працювати з такою ж або більш високою швидкістю.

Хоча на деяких ринках темпи зростання підключень до мереж 5G сповільнилися через пандемію, на інших ринках кількість підключень росло швидше прогнозу. Виходячи з цього, експерти Ericsson переглянули прогноз по числу загальносвітових підключень до 5G-мереж в 2020 році в бік збільшення.

Мережі стільникового зв'язку та мережі фіксованого бездротового доступу стають все більш критично важливою частиною національної інфраструктури. Недавнє дослідження Ericsson Consumer Lab показало, що за оцінкою 83% користувачів з 11 країн інформаційно-комунікаційні технології дуже допомогли людям під час карантину. Зокрема, зросла частота використання додатків для дистанційного навчання і занять спортом - доступ до інтернету допоміг швидше і легше адаптуватися до сучасної реальності.

Попрацювавши далеко від офісів, 7 з 10 «білих комерців» прийшли до висновку, що віддалена робота стане нормою. Багато користувачів вірять, що навіть після пандемії звички збережуться і завдяки їм будуть активно розвиватися напрямки бізнесу, пов'язані з підключенням до мереж. Зокрема, 55% користувачів, опитаних під час підготовки Ericsson Mobility Report, прогнозують, що через зростаючого попиту на безконтактну доставку товари будуть доставляти дрони або безпілотний транспорт. На базі технологій доповненої і віртуальної реальності (AR / VR) будуть створені цікаві програми для подорожей, спілкування і навчання. А 6 з 10 опитаних думають, що VR-

технології дозволять отримувати бажані враження навіть перебуваючи в ізоляції.

На думку 64% користувачів дуже важливо, щоб оператори забезпечували надійну роботу і високу якість мереж. При цьому третина опитаних планує найближчим часом витратити гроші на 5G-послуги та поліпшення якості домашньої мережі широкосмугового доступу до інтернету - ці заходи допоможуть підготуватися до другої хвилі COVID-19.

3 червня 2020 року компанія ZTE Corporation повідомила про спільне з China Mobile запуску в Китаї гранично-хмарної платформи 5G для медичних сервісів. Інформаційно-комунікаційна інфраструктура 5G наступного покоління для клієнтів з медичної сфери є інтелектуальну гранично-хмарну платформу з інтегрованою архітектурою хмарної мережі.

Fujitsu Limited і Qualcomm Technologies, Inc. подолали черговий рубіж, успішно завершивши сеанс передачі даних 5G NR, в ході якого було встановлено мультігігабітне 5G-з'єднання з агрегацією несучих в діапазоні sub-6. З'єднання встановлювалося в неавтономному режимі (NSA) з агрегацією несуміжних спектра в діапазонах 3,5 ГГц (n78) і 4,9 ГГц (n79). Використовувалася базова станція Fujitsu 5G New Radio (NR) і дослідний зразок 5G-пристрої в форм-факторі смартфона на базі модемного системи Qualcomm Snapdragon X55 5G Modem-RF System. Про це 12 травня 2020 року повідомив Qualcomm Technologies.



### Рисунок 1.8 – Базова станція.

Сеанс зв'язку виконувався в діапазоні sub-6, швидкість передачі перевищила 3 Гбіт / Сьокі вперше була продемонстрована агрегація несучих 5G. Ця демонстрація продовжила історію технічних досягнень Qualcomm Technologies, в числі яких перший сеанс передачі даних 5G із застосуванням модемного чіпсета, перший сеанс бездротового зв'язку 5G в міліметровому діапазоні (mmWave), перший сеанс бездротової передачі даних 5G з поділом спектра і недавній сеанс зв'язку Voice-over -NR.

Агрегація несучих дає операторам можливість підвищити продуктивність і ємність мережі 5G за рахунок гнучкого використання наявних в їх розпорядженні частотних ресурсів. Агрегація несучих 5G дозволяє збільшити швидкість і надійність в складних умовах прийому, завдяки чому користувачам доступні підвищені швидкості завантаження і якісніший відеострімінг.

Все більше операторів реалізують підтримку агрегації несучих 5G, і тепер вони зможуть підвищувати ємність і продуктивність мереж, використовуючи переваги несуміжних спектральних ресурсів за допомогою Snapdragon 5G Modem-RF Systems і інфраструктурних мережевих рішень Fujitsu. Агрегація несучих - важливий напрям в еволюції мереж 5G для нарощування ємності, підвищення надійності в умовах слабкого сигналу і забезпечення високих пікових швидкостей. Все це покращує якість обслуговування користувачів існуючих додатків і відкриває нові перспективні можливості.

### **1.6 Початок роботи над мережами 6G**

В середині серпня 2019 року стало відомо про те, що Huawei і ряд інших компаній почали роботу над мережами шостого покоління (6G). Розробка відповідних технологій стартувала в науково-дослідному центрі Huawei Labs в Оттаві. Компанія не розкриває інвестиції. До 20 серпня 2020 року 6G не має

будь-яких офіційних стандартів, а дослідження більшості великих технологічних компаній в сфері перебувають на теоретичній стадії.

Влітку 2020 рік дослідження в області 6G-мереж початку корпорація Samsung Electronics. Для цього південнокорейський гігант сформував центр досліджень в області передових комунікацій. У його команду увійшли фахівці, що брали участь в розробці технологій 5G.

Тим часом, LG Electronics уклала з Південнокорейським інститутом передових технологій угоду про співпрацю, в рамках якого партнери мають намір зайнятися науковими дослідженнями в області 6G-мереж. Ця лабораторія буде запущена в Теджон (центральна частина Південної Кореї).

Huawei, Samsung та інші учасники телекомунікаційного ринку припускають, що розгортання 6G-мереж почнеться не раніше 2030 року. Очікується, що вони дозволять передавати дані на швидкості понад 1 Тбіт / с. У стандарту 5G цей показник становить до 20 Гбіт / с.

За прогнозами дослідників з Університету Джейкобса в Бремені, мережа 6G з її надвисокою швидкістю та іншими технічними перевагами забезпечить роботу хмарного штучного інтелекту - системи, якою зможуть користуватися всі учасники цифрового світу.

Пітер Веттер, керівник відділу досліджень доступу в Nokia Bell Labs і Bell LabsFellow, вважає, що 6G буде не просто буде забезпечувати зв'язок, а стане свого роду «сенсором, що уловлює зміна навколишнього середовища і автоматично пропонує зміни для поліпшення життя як людей, так і машин».

## **Висновки по першому розділу**

1. Основними недоліками технології 5G є те, що в діапазоні до 6 ГГц, в тому числі виділеного під Wi-Fi діапазону 5 ГГц, поки існують серйозні проблеми з наявністю вільних частот, а також існує потреба розміщення додаткових передавачів тому, що радіус передачі сигналу доволі малий.

2. Вагомими перевагами технології 5G є велика швидкість передачі даних (до 20 Гбіт / с) і можливість підключення великої кількості користувачів одночасно порівняно з попередньою технологією 4 G (до 1 Гбіт / с).

2. Покоління мобільних мереж 5G активно входять в повсякденне життя провідних країн світу, тому впровадження технології 5G на території України є перспективним рішенням .

## **2 РОЗРАХУНОК СПІВВІДНОЩЕННЯ СИГНАЛ/ЗАВАДА НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ПРИ ОДНАКОВИХ ТЕХНІЧНИХ ХРАКТЕРИСТИКАХ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ДІЇ ВНУТРІШНЬОСИСТЕМНИХ ЗАВАД**

У розділі проведено проектування стільникових мереж рухомого радіозв'язку з попередньо вибраним радіусом  $R$  стільника і розмірність  $K$  кластера, на карті міста викреслено плоский регулярний гексагональний стільник.

### **2.1 Вплив кількості базових станцій та їх технічних характеристик на співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції**

Кожна мобільна станція вільно переміщується в стільнику, тому рівні корисного сигналу і внутрішньосистемних перешкод від базових станцій (БС) на вході приймача мобільної станції(МС). Відношення сигнал/завада ( $C/Z$ ) можна розрахувати, за умов задних технічних характеристик приймально-передавального обладнання, відстані від МС до  $BC_0$ , а також до джерел перешкод  $BC_1 \dots BC_6$ . Тому застосуємо афінну (косокутну) систему координат.

Для розрахунку сигнал/завада ( $C/Z$ )на вході приймача МС центр стільника поєднують з початком косокутної системи координат. Кут між осями дорівнює  $60^\circ$ . Топологія мережі представлена на рис. 2.1.

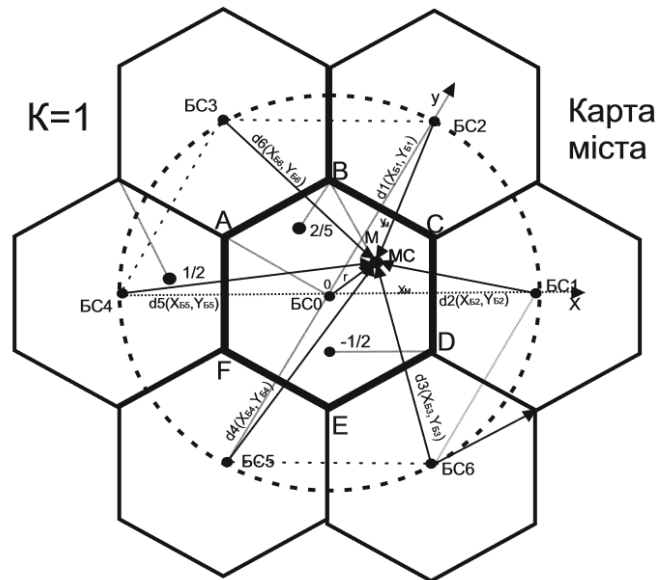


Рисунок 2.1 – Завади від сусідніх базових станцій на мобільну станцію в плоскому гексагональному стільнику.

Розмірність кластера складає  $K = 1$ , що характерно для технології CDMA. Відстань  $N$  між центрами сусідніх стільників, дорівнює  $R\sqrt{3}$ . Поділимо всі відстані на величину  $N$ . Радіус стільника  $R_H = \frac{R}{R\sqrt{3}} = 1/\sqrt{3}$ . В звичайній системі одиниць помножимо довжини на  $R\sqrt{3}$ .

Координати кутових точок центральних стільників визначаються як:

$$A(-2/3, 1/3), B(-1/3, 2/3), C(1/3, 1/3), \\ D(2/3, -1/3), E(1/3, -2/3), F(-1/3, -1/3).$$

Відстань у косокутній системі координат  $A(x_A, y_A)$  і  $B(x_B, y_B)$  визначається за формулою 2.1 [1]:

$$d(A, B) = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (x_A - x_B) \cdot (y_A - y_B) + (y_A - y_B)^2}. \quad (2.1)$$

Нехай  $\{x_M; y_M\}$  і  $\{0; 0\}$  – координати відповідно МС і БС<sub>0</sub>. Відстань  $r$  між МС і БС<sub>0</sub> в центральному стільнику (2.1) представляється у вигляді [1]:

$$r = \sqrt{x_M^2 + x_M \cdot y_M + y_M^2}. \quad (2.2)$$

Від  $BC_0$  на вхід приймача МС будуть надходити завади від передавачів  $BC_1 \dots BC_6$ . Відстань між  $BC_i$ , які створюють перешкоди, і приймачем абонента згідно формули (2.1) визначається так [1]:

$$d_i(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i}) = \frac{\sqrt{(x - x_{BC_i})^2 + (x_M - x_{BC_i}) \cdot (y_M - y_{BC_i}) + (y_M - y_{BC_i})^2}}{\sqrt{K + r^2 - x_M(2x_{BC_i} + y_M(x_{BC_i} + 2y_{BC_i}))}}, i = 1, \dots, 6. \quad (2.3)$$

де  $x_M, y_M$  – координати МС;  $K$  – розмірність кластера;  $r$  – відстань між МС і  $BC_0$ ;  $x_{BC_i}, y_{BC_i}$  – координати  $BC_i$ . Координати  $BC_i$  пов'язані з розмірністю  $K$  кластера за формулою[1,2]:

$$K = x_{BC_i}^2 + x_{BC_i}y_{BC_i} + y_{BC_i}^2, i = 1, \dots, 6. \quad (2)$$

Координати джерел завад  $BC_i$  для різних з кластерів наведені в табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Координати  $BC_i$ , які створюють завади мобільній станції на співпадаючих частотах[1]

	$x_{BC_i}$	$y_{BC_i}$	$x_{BC_i}$	$y_{BC_i}$	$x_{BC_i}$	$y_{BC_i}$	$x_{BC_i}$	$y_{BC_i}$
$BC_1$	1	0	1	1	2	0	2	1
$BC_2$	0	1	-1	2	0	2	-1	3
$BC_3$	-1	1	-2	1	-2	2	-3	2
$BC_4$	-1	0	-1	-1	-2	0	-2	-1
$BC_5$	0	-1	1	2	0	-2	1	-3
$BC_6$	1	-1	2	-1	2	-2	3	-2

Потужність сигналу на вході приймача МС визначаємо за формулою 2.4[1]:

$$P_{прBC_0} = \alpha_0 \cdot r^{-4}, \quad (2.4)$$

$$\alpha_0 = P_{перBC_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 \quad (2.5)$$

де  $\alpha_0$  – коефіцієнт пропорційності ( технічних характеристик приймально-передаючого обладнання МС і  $BC_0$ ),  $P_{перBC_0}$  – потужність на виході передавача

БС<sub>0</sub>;  $G_1, G_2$  – коефіцієнти підсилення антен БС<sub>0</sub> і МС;  $r$ - відстань між МС і БС<sub>0</sub>,  $h_1$ – висота БС;  $h_2$ – висота МС;  $n$  – показник ослаблення сигналу на трасі.

Показник загасання радіохвиль у вільному просторі:  $n = 2, n = 4$  - для двопроменевої моделі. В моделі Окамури-Хати  $n = 4$ . Потужність внутрішньосистемних завад на вході приймача МС від  $i$ -ої БС визначаєм за формулою [1]:

$$P_{\text{Пбі}} = \alpha_i \cdot d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{\text{БС}i}, y_{\text{БС}i}), \quad i=1, \dots, 6, \quad (2.6)$$

де  $\alpha_i$  - нормуючий коефіцієнт для  $i$ -го напрямлення.

Тоді відношення сигнал/завада на вході приймача абонента можна записати як[1]:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^N \frac{P_{\text{прМС}}(x_M)}{P_{\text{Пбі}}(x_M, y_M; x_{\text{БС}i}, y_{\text{БС}i})}, \quad N = 1, 2 \dots 6. \quad (2.7)$$

Підставляємо формули (2.4) і (2.6) в (2.7). Що дає змогу переписати вираз (2.6) у вигляді [1]:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i \cdot d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{\text{БС}i}, y_{\text{БС}i})}, \quad N = 1, 2 \dots 6. \quad (2.8)$$

Коли  $\alpha_0$  та  $\alpha_i$  – (коефіцієнти пропорційності які залежать характеристик обладнання МС і БС<sub>0</sub>)будуть однаковими то в даному випадку можна вираз (2.8) записати у вигляді [1]:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^N \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{\text{БС}i}, y_{\text{БС}i})}, \quad N = 1, 2 \dots 6. \quad (2.9)$$

Побудуємо траєкторію руху мобільної станції для подальших розрахунків і представимо на рис. 2.2.

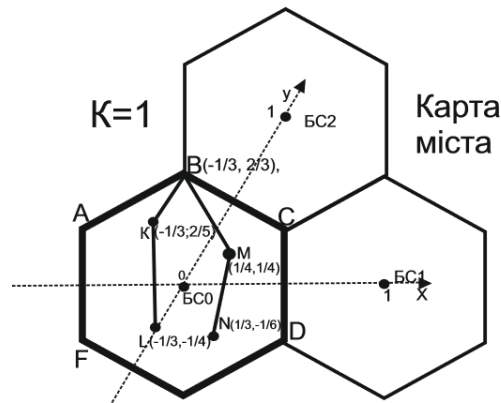


Рисунок 2.2 – Траєкторія руху мобільної станції по плоскому гексагональному стільнику

В наших розрахунках представимо чотири координати знаходження мобільної станції в точках N, M, B, K та L з їх координатами  $N(1/3, -1/6)$ ,  $M(1/4, 1/4)$ ,  $B(-1/3, 2/3)$ ,  $K(-1/3, 2/5)$  та  $L(-1/3, -1/4)$  які представлені на рис. 2.2.

Відповідно для кожної координати проведемо розрахунки по двом варіантам. Перший варіант з ідентичними технічними характеристиками приймально-передавальних пристроїв, другий варіант представляє центральну базову станцію з найбільшою потужністю. Всі розрахунки ми будемо проводити для технології CDMA.

**2.2 Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при однакових характеристиках базових станцій в точках N, M, B, K, L в умовах дії внутрішньосистемних завад.**

Таблиця 2.2 – Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції

Базові станції	$P_{перБС}$ , Вт	$G_1$ , дБ	$G_2$ , дБ	$h_1$ , м	$h_2$ , м
БС <sub>0</sub> , БС <sub>1</sub> ... БС <sub>6</sub>	12	5 (3.16 раз)	2 (1,58 раз)	28	1,7

Отже  $\alpha_0$  буде такого вигляду:

$$\alpha_0 = P_{\text{перБС}_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 13575, \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Розрахуємо відстань  $r$  від точки  $N$ , де знаходиться мобільна станція до точки  $O$ , центру базової станції:

$$r = \sqrt{x_N^2 + x_N y_N + y_N^2} = \sqrt{(1/3)^2 + 1/3 \cdot (-1/6) + (-1/6)^2} = 0,288, \text{Км.}$$

У нашому випадку будемо досліджувати найдальші БС. Та їх максимальну кількість, яка є можлива для даної точки, а координати сусідніх базових станцій представлені в табл. 2.1 для розмірності кластера  $K=1$ .

$$\begin{aligned} d_1(N, \text{БС}_1) &= \sqrt{(x_N - x_{\text{БС}_1})^2 + (x_N - x_{\text{БС}_1}) \times (y_N - y_{\text{БС}_1}) + (y_N - y_{\text{БС}_1})^2} = \\ &= \sqrt{(1/3 - 1)^2 + (1/3 - 1) \times ((-1/6) - 0) + ((-1/6) - 0)^2} = 0,764, \text{км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2(N, \text{БС}_2) &= \sqrt{(x_N - x_{\text{БС}_2})^2 + (x_N - x_{\text{БС}_2}) \times (y_N - y_{\text{БС}_2}) + (y_N - y_{\text{БС}_2})^2} = \\ &= \sqrt{(1/3 - 0)^2 + (1/3 - 0) \times ((-1/6) - 1) + ((-1/6) - 1)^2} = 1,041, \text{км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_3(N, \text{БС}_3) &= \sqrt{(x_N - x_{\text{БС}_3})^2 + (x_N - x_{\text{БС}_3}) \times (y_N - y_{\text{БС}_3}) + (y_N - y_{\text{БС}_3})^2} = \\ &= \sqrt{(1/3 - (-1))^2 + (1/3 - (-1)) \times ((-1/6) - 1) + ((-1/6) - 1)^2} = \\ &= 1,258, \text{км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_4(N, \text{БС}_4) &= \sqrt{(x_N - x_{\text{БС}_4})^2 + (x_N - x_{\text{БС}_4}) \times (y_N - y_{\text{БС}_4}) + (y_N - y_{\text{БС}_4})^2} = \\ &= \sqrt{(1/3 - (-1))^2 + (1/3 - (-1)) \times ((-1/6) - 0) + ((-1/6) - 0)^2} = \\ &= 1,258, \text{км.} \end{aligned}$$

$$d_5(N, \text{БС}_2) = \sqrt{(x_N - x_{\text{БС}_5})^2 + (x_N - x_{\text{БС}_5}) \times (y_N - y_{\text{БС}_5}) + (y_N - y_{\text{БС}_5})^2} =$$

$$= \sqrt{(1/3 - 0)^2 + (1/3 - 0) \times ((-1/6) - (-1)) + ((-1/6) - (-1))^2} =$$

$$= 1,041, \text{ км.}$$

$$d_6(N, \text{BC}_2) = \sqrt{(x_N - x_{\text{BC}_6})^2 + (x_N - x_{\text{BC}_6}) \times (y_N - y_{\text{BC}_6}) + (y_N - y_{\text{BC}_6})^2} =$$

$$= \sqrt{(1/3 - 1)^2 + (1/3 - 1) \times ((-1/6) - (-1)) + ((-1/6) - (-1))^2} =$$

$$= 0,764, \text{ км.}$$

Для початку розрахуємо співвідношення сигнал/завада від кожної БС окремо, щоб в подальших розрахунках, можна було сумувати найдальші БС, які менше впливають на МС.

Тоді відношення сигнал/завада на вході приймача абонента в точці N для кожної БС можна записати як:

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_N, y_N; x_{\text{BC}_1}, y_{\text{BC}_1})} = \frac{0,288^{-4}}{0,764^{-4}} = 7.$$

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_N, y_N; x_{\text{BC}_2}, y_{\text{BC}_2})} = \frac{0,288^{-4}}{1,041^{-4}} = 13.$$

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_N, y_N; x_{\text{BC}_3}, y_{\text{BC}_3})} = \frac{0,288^{-4}}{1,258^{-4}} = 19,1.$$

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_N, y_N; x_{\text{BC}_4}, y_{\text{BC}_4})} = \frac{0,288^{-4}}{1,258^{-4}} = 19,1.$$

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_N, y_N; x_{\text{BC}_5}, y_{\text{BC}_5})} = \frac{0,288^{-4}}{1,041^{-4}} = 13.$$

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_N, y_N; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,288^{-4}}{0,764^{-4}} = 7.$$

Таблиця 2.4 – Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки N.

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_N)$	7	13	19,1	19,1	13	7

По результатам обчислень таблиці побудуємо графік, який представлений на рис.2.3.

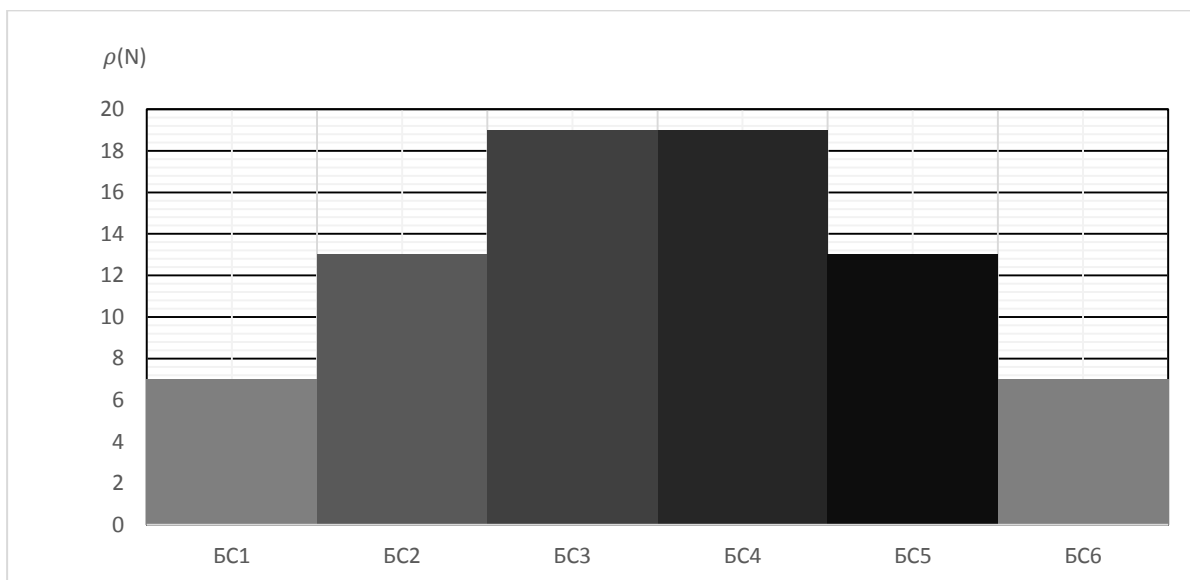


Рис. 2.3 – Співвідношення сигнал/ завада від шести сусідніх БС.

На рис. 2.3 бачимо залежність базових станцій, що перша та шоста БС мають менший вплив, тобто найкращі результати для координати N.

Розрахуємо ще для двох завод (BC<sub>2</sub>, BC<sub>4</sub>):

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^2 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_N, y_N; x_{BC_i}, y_{BC_i})} = \frac{(0,288)^{-4}}{(1,041)^{-4} + (1,258)^{-4}} = 10,78.$$

Співвідношення сигнал/завада від двох джерел завад не падає нижче 6-7 дБ (3,98-5 раз). Можна ще розрахувати для трьох завад (БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>, БС<sub>4</sub>), які знаходяться найдалше від мобільної станції.

$$\rho^2(x_H) = \sum_{i=0}^3 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_H, y_H; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{(0,288)^{-4}}{(1,041)^{-4} + (1,258)^{-4} + (1,258)^{-4}} = 9,385.$$

В точці N співвідношення сигнал/завада від трьох джерел на вході приймача МС дорівнює 10,78, тобто вище ніж 6-7 дБ (3,98-5 раз) від мінімальної потреби співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС.

Розрахуємо відстань  $r$  від точки М(-1/4, 1/4) до точки О (0;0), центру базової станції.

$$r = \sqrt{x_M^2 + x_M y_M + y_M^2} = \sqrt{(-1/4)^2 + (-1/4) \cdot 1/4 + 1/4^2} = 0,353, \text{Км.}$$

Координати БС подані в табл.1.

$$\begin{aligned} d_1 (M, BC_1) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_1})^2 + (x_M - x_{BC_1}) \times (y_M - y_{BC_1}) + (y_M - y_{BC_1})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/4) - 1)^2 + (-1/4) - 1 \times (1/4 - 0) + (1/4 - 0)^2} = 1,145, \text{Км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2 (M, BC_2) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_2})^2 + (x_M - x_{BC_2}) \times (y_M - y_{BC_2}) + (y_M - y_{BC_2})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/4) - 0)^2 + (-1/4) - 0 \times (1/4 - 1) + (1/4 - 1)^2} = 0,901, \text{Км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_3 (M, BC_3) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_3})^2 + (x_M - x_{BC_3}) \times (y_M - y_{BC_3}) + (y_M - y_{BC_3})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/4) - 1)^2 + (-1/4) - 1 \times (1/4 - 1) + (1/4 - 1)^2} = 1,75, \text{Км.} \end{aligned}$$

$$d_4 (M, BC_4) = \sqrt{(x_M - x_{BC_4})^2 + (x_M - x_{BC_4}) \times (y_M - y_{BC_4}) + (y_M - y_{BC_4})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/4) - (-1))^2 + (-1/4) - (-1) \times (1/4 - 0) + (1/4 - 0)^2} = 0,901, \text{км.}$$

$$d_5(M, BC_5) = \sqrt{(x_M - x_{BC_5})^2 + (x_M - x_{BC_5}) \times (y_M - y_{BC_5}) + (y_M - y_{BC_5})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/4) - 0)^2 + (-1/4) - 0 \times (1/4 - (-1)) + (1/4 - (-1))^2} = 1,145, \text{км.}$$

$$d_6(M, BC_6) = \sqrt{(x_M - x_{BC_6})^2 + (x_M - x_{BC_6}) \times (y_M - y_{BC_6}) + (y_M - y_{BC_6})^2} =$$

$$= \sqrt{((-1/4) - 1)^2 + (-1/4) - 1 \times (1/4 - (-1)) + (1/4 - (-1))^2} = 1,25, \text{км.}$$

Тоді відношення сигнал/завада на вході приймача абонента в точці N від кожної сусідньої БС можна записати як:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,353^{-4}}{1,145^{-4}} = 10.521.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{0,353^{-4}}{0,901^{-4}} = 6.514.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{0,353^{-4}}{1,75^{-4}} = 24,576.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{0,353^{-4}}{0,901^{-4}} = 6.514.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{0,353^{-4}}{1,145^{-4}} = 10.521.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,353^{-4}}{1,25^{-4}} = 12.539.$$

Таблиця 2.5 – Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки М

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_M)$	10.521	6.514	24.576	6.514	10.521	12.539

По результатам таблиці 2.5 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кожної базової станції окремо і представим на рис. 2.4.

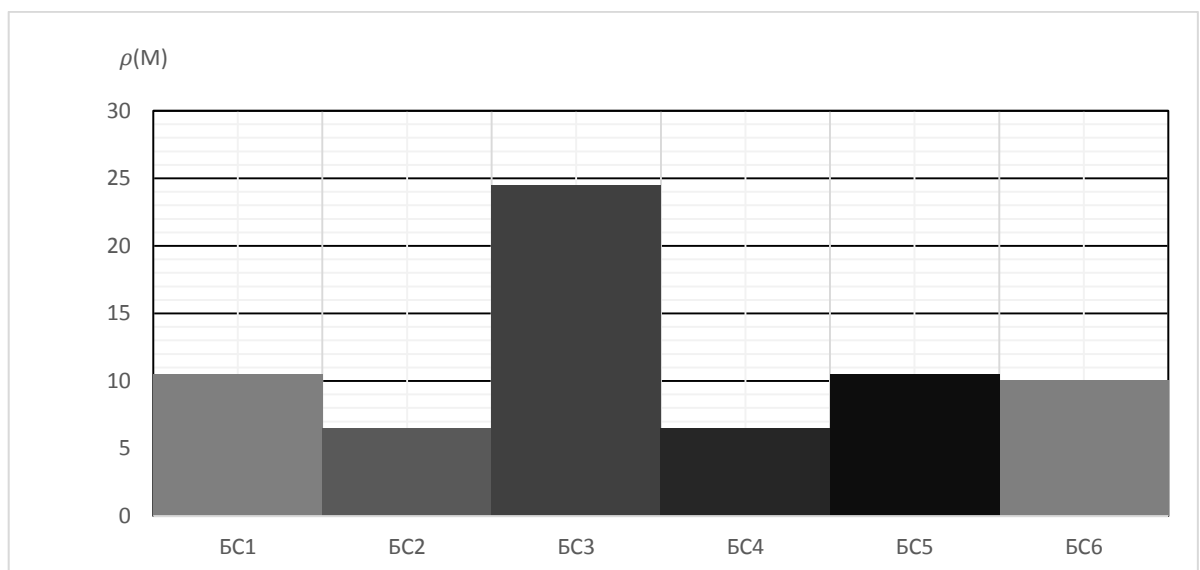


Рисунок 2.4 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки М

В точці М, коли діє тільки одна з базових станцій, співвідношення сигнал/завада не буде падати нижче норми. Тепер будемо досліджувати, яка максимальна кількість базових станцій може впливати на мобільну станцію без

критичних завод. Розрахунки розпочинаєм з найдальших базових станцій, що дають найкращі умови для МС.

Для двох завод (БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>):

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^2 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{БСi}, y_{БСi})} = \frac{(0,353)^{-4}}{(0,901)^{-4} + (1,75)^{-4}} = 6,297.$$

Для трьох завод (БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>, БС<sub>4</sub>):

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^3 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{БСi}, y_{БСi})} = \frac{(0,353)^{-4}}{(0,901)^{-4} + (1,75)^{-4} + (0,901)^{-4}} = 4,527.$$

Для чотирьох завод (БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>, БС<sub>4</sub>, БС<sub>5</sub>):

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^4 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{БСi}, y_{БСi})} = \frac{(0,353)^{-4}}{(0,901)^{-4} + (1,75)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,145)^{-4}} = 4,159.$$

Для п'яти завод (БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>, БС<sub>4</sub>, БС<sub>5</sub>, БС<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^5 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{БСi}, y_{БСi})} = \frac{(0,353)^{-4}}{(0,901)^{-4} + (1,202)^{-4} + (0,882)^{-4} + (0,882)^{-4} + (1,25)^{-4}} = 3,947.$$

Для шести завод (БС<sub>1</sub>, БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>, БС<sub>4</sub>, БС<sub>5</sub>, БС<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_M) = \frac{\sum_{i=0}^6 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BCi}, y_{BCi})}}{(0,353)^{-4}} = \frac{3,695}{(1,145)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,75)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,145)^{-4} + (1,25)^{-4}} = 3,695$$

Таблиця 2.6 – Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки М

Кількість завод	2(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> )	3(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>6</sub> )	4(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>6</sub> )	5(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	6(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )
$\rho^2(x_M)$	6,297	4,527	4,159	3,947	3,695

По результатам таблиці 2.6 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кількості діючих завод і представим на рис. 2.5

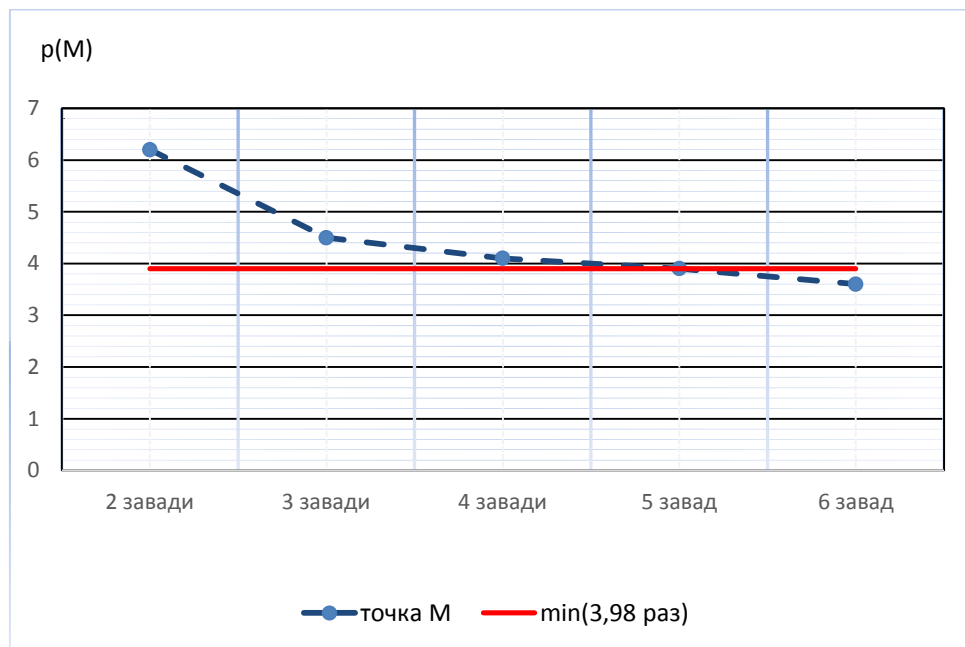


Рисунок 2.5 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кількості базових станцій для точки М.

На рисунку 2.5. яскраво виражений характер зміни кількості БС та їх завод на співвідношенням с/з. Чим більше завод від сусідніх БС, тим гірше співвідношення сигнал/завода.

Розрахуємо відстань  $r$  від точки  $B(-1/2, 2/5)$  до точки  $O(0;0)$ , центру базової станції, де знаходиться мобільна станція:

$$r = \sqrt{x_B^2 + x_B y_B + y_B^2} = \sqrt{(-1/3)^2 + (-1/3) \cdot 2/3 + 2/3^2} = 0,577, \text{ км.}$$

Враховуємо заводи від всіх сусідніх БС (рис. 2.1), а координати базових станцій представлені в таблиці 2.1, для розмірності кластера  $K=1$ .

$$\begin{aligned} d_1(B, BC_1) &= \sqrt{(x_B - x_{BC_1})^2 + (x_B - x_{BC_1}) \times (y_B - y_{BC_1}) + (y_B - y_{BC_1})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - 1)^2 + ((-1/3) - 1) \times (2/3 - 0) + (2/3 - 0)^2} = 1,155 \text{ км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2(B, BC_2) &= \sqrt{(x_B - x_{BC_2})^2 + (x_B - x_{BC_2}) \times (y_B - y_{BC_2}) + (y_B - y_{BC_2})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - 0)^2 + ((-1/3) - 0) \times (2/3 - 1) + (2/3 - 1)^2} = 0,577 \text{ км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_3(B, BC_3) &= \sqrt{(x_B - x_{BC_3})^2 + (x_B - x_{BC_3}) \times (y_B - y_{BC_3}) + (y_B - y_{BC_3})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - (-1))^2 + ((-1/3) - (-1)) \times (2/3 - 1) + (2/3 - 1)^2} = \\ &= 0,577 \text{ км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_4(B, BC_4) &= \sqrt{(x_B - x_{BC_4})^2 + (x_B - x_{BC_4}) \times (y_B - y_{BC_4}) + (y_B - y_{BC_4})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - (-1))^2 + ((-1/3) - (-1)) \times (2/3 - 0) + (2/3 - 0)^2} = \\ &= 1,155 \text{ км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_5(B, BC_5) &= \sqrt{(x_B - x_{BC_5})^2 + (x_B - x_{BC_5}) \times (y_B - y_{BC_5}) + (y_B - y_{BC_5})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - 0)^2 + ((-1/3) - 0) \times (2/3 - (-1)) + (2/3 - (-1))^2} = \end{aligned}$$

$$= 1,528\text{км.}$$

$$\begin{aligned} d_6(B, BC_2) &= \sqrt{(x_B - x_{BC_6})^2 + (x_B - x_{BC_6}) \times (y_B - y_{BC_6}) + (y_B - y_{BC_6})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - 1)^2 + ((-1/3) - 1) \times (2/3 - (-1)) + (2/3 - (-1))^2} = \\ &= 1,528\text{км.} \end{aligned}$$

Тоді відношення сигнал/завада на вході приймача абонента в точці В від кожної сусідньої БС можна записати як:

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,577^{-4}}{1,155^{-4}} = 4.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{0,577^{-4}}{0,577^{-4}} = 1.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{0,577^{-4}}{0,577^{-4}} = 1.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{0,577^{-4}}{1,155^{-4}} = 4.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{0,577^{-4}}{1,528^{-4}} = 7,012.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,577^{-4}}{1,528^{-4}} = 7,012.$$

Таблиця 2.7– Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки В.

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_B)$	4	1	1	4	7,012	7,012

По результатам табл. 2.7 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кожної базової станції окремо і представим на рис. 2.6.

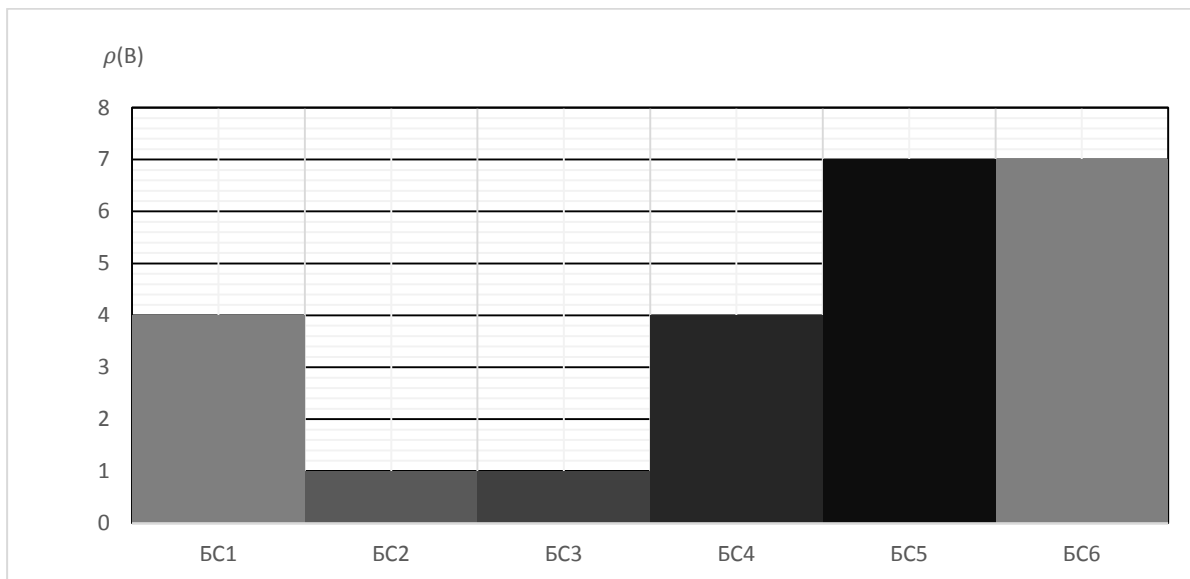


Рисунок 2.6 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки В

В точці К, коли діє тільки одна з базових станцій, співвідношення с/з не буде падати нижче норми. Тепер будем досліджувати, яка максимальна кількість базових станцій може впливати на МС без критичних завад. Розрахунки розпочинаєм з найвіддалинних БС, що дають найкращі умови для МС.

Для двох завад (БС<sub>5</sub>, БС<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^2 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_B, y_B; x_{БСi}, y_{БСi})} = \frac{(0,577)^{-4}}{(1,528)^{-4} + (1,528)^{-4}} = 4,958.$$

Для трьох завод (BC<sub>4</sub>, BC<sub>5</sub>, BC<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned}\rho^2(x_B) &= \sum_{i=0}^3 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_B, y_B; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{(0,577)^{-4}}{(1,155)^{-4} + (1,528)^{-4} + (1,528)^{-4}} = \\ &= 3,116.\end{aligned}$$

Для чотирьох завод (BC<sub>1</sub>, BC<sub>4</sub>, BC<sub>5</sub>, BC<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned}\rho^2(x_B) &= \sum_{i=0}^4 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_B, y_B; x_{BCi}, y_{BCi})} \\ &= \frac{(0,577)^{-4}}{(1,155)^{-4} + (1,155)^{-4} + (1,528)^{-4} + (1,528)^{-4}} = 2,46.\end{aligned}$$

Для п'яти завод (BC<sub>1</sub>, ..., BC<sub>5</sub>):

$$\begin{aligned}\rho^2(x_B) &= \\ \sum_{i=0}^5 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_B, y_B; x_{BCi}, y_{BCi})} &= \frac{(0,577)^{-4}}{(1,155)^{-4} + (0,577)^{-4} + (1,155)^{-4} + (1,528)^{-4} + (1,528)^{-4}} = 0,926.\end{aligned}$$

Для шести завод (BC<sub>1</sub>, ..., BC<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned}\rho^2(x_B) &= \\ \sum_{i=0}^6 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_B, y_B; x_{BCi}, y_{BCi})} &= \\ \frac{(0,577)^{-4}}{(1,155)^{-4} + (0,577)^{-4} + (0,577)^{-4} + (1,155)^{-4} + (1,528)^{-4} + (1,528)^{-4}} &= 0,679.\end{aligned}$$

Таблиця 2.8 – Залежність співвідношення сигнал/завада від кількості базових станцій для точки В

Кількість завад	2(БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	3(БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	4(БС <sub>1</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	5(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	6(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )
$\rho^2(x_B)$	4,958	3,116	2,46	0,926	0,679

По результатам таблиці 2.8 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кількості діючих завад і представим на рис. 2.7.

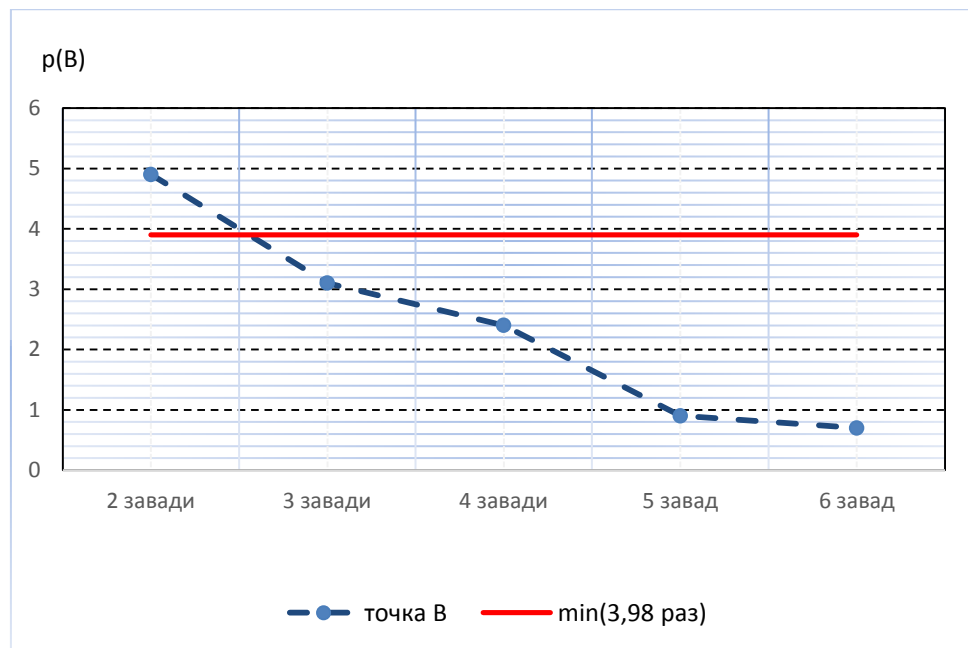


Рисунок 2.7 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кількості базових станцій для точки В

На рис. 2.7 бачимо характер зміни кількості БС та їх завад на співвідношенням сигнал/завада. Чим більше завад від сусідніх БС, тим гірше співвідношення сигнал/завада.

Розрахуємо відстань  $r$  від точки  $K(-1/3; 2/5)$  до точки  $O(0;0)$ :

$$r = \sqrt{x_K^2 + x_K y_K + y_K^2} = \sqrt{(-1/3)^2 + (-1/3) \cdot 2/5 + (2/5)^2} = 0,371, \text{км.}$$

Враховуємо завади від всіх сусідніх базових станцій (рис. 2.1), а координати базових станцій представлені в табл. 2.1 для розмірності кластера  $K=1$ .

$$\begin{aligned} d_1(K, BC_1) &= \sqrt{(x_K - x_{BC_1})^2 + (x_K - x_{BC_1}) \times (y_K - y_{BC_1}) + (y_K - y_{BC_1})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - 1)^2 + ((-1/3) - 1) \times (2/5 - 0) + (2/5 - 0)^2} = 1,185, \text{км}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2(K, BC_2) &= \sqrt{(x_K - x_{BC_2})^2 + (x_K - x_{BC_2}) \times (y_K - y_{BC_2}) + (y_K - y_{BC_2})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - 0)^2 + ((-1/3) - 0) \times (2/5 - 1) + (2/5 - 1)^2} = 0,819, \text{км}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_3(K, BC_3) &= \sqrt{(x_K - x_{BC_3})^2 + (x_K - x_{BC_3}) \times (y_K - y_{BC_3}) + (y_K - y_{BC_3})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - (-1))^2 + ((-1/3) - (-1)) \times (2/5 - 1) + (2/5 - 1)^2} = \\ &= 0,636, \text{км}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_4(K, BC_4) &= \sqrt{(x_K - x_{BC_4})^2 + (x_K - x_{BC_4}) \times (y_K - y_{BC_4}) + (y_K - y_{BC_4})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - (-1))^2 + ((-1/3) - (-1)) \times (2/5 - 0) + (2/5 - 0)^2} = \\ &= 0,93, \text{км}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_5(K, BC_2) &= \sqrt{(x_K - x_{BC_5})^2 + (x_K - x_{BC_5}) \times (y_K - y_{BC_5}) + (y_K - y_{BC_5})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - 0)^2 + ((-1/3) - 0) \times (2/5 - (-1)) + (2/5 - (-1))^2} = \\ &= 1,26, \text{км}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_6(K, BC_2) &= \sqrt{(x_K - x_{BC_6})^2 + (x_K - x_{BC_6}) \times (y_K - y_{BC_6}) + (y_K - y_{BC_6})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - 1)^2 + ((-1/3) - 1) \times (2/5 - (-1)) + (2/5 - (-1))^2} = \\ &= 1,368, \text{км}. \end{aligned}$$

Для початку розрахуємо співвідношення сигнал/завада від кожної БС окремо, щоб в подальших розрахунках, можна було сумувати найдальші БС, які менше впливають на МС.

Тоді відношення сигнал/завада на вході приймача абонента в точці К для кожної БС можна записати як:

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,371^{-4}}{1,185^{-4}} = 10,2.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{0,371^{-4}}{0,819^{-4}} = 4,87.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{0,371^{-4}}{0,636^{-4}} = 2,94.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{0,371^{-4}}{0,93^{-4}} = 6,28.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{0,371^{-4}}{1,26^{-4}} = 11,53.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,371^{-4}}{1,368^{-4}} = 13,59.$$

Таблиця 2.9 – Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки К.

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_K)$	10,2	4,87	2,94	6,28	11,53	13,59

По результатам табл. 2.9 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кожної базової станції окремо і представим на рис. 2.8.

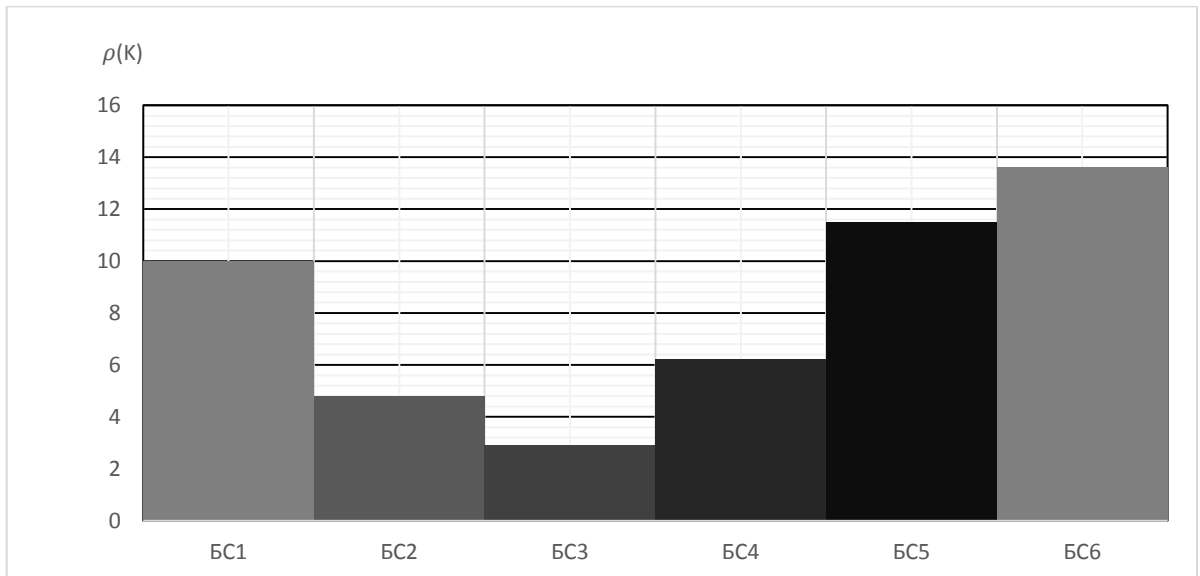


Рисунок 2.8 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки К

На рис. 2.8 бачимо залежність базових станцій, що четверта та п'ята БС мають менший вплив, тобто найкращі результати для координати К.

Розрахуємо ще для двох завад (БС<sub>5</sub>, БС<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^2 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_K, y_K; x_{BSi}, y_{BSi})} = \frac{(0,371)^{-4}}{(1,26)^{-4} + (1,368)^{-4}} = 8,795.$$

Розрахуємо для трьох завад (БС<sub>4</sub>, БС<sub>5</sub>, БС<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^3 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_K, y_K; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{(0,371)^{-4}}{(0,93)^{-4} + (1,26)^{-4} + (1,368)^{-4}} = 5,112.$$

Для чотирьох завод (BC<sub>1</sub>, BC<sub>4</sub>, BC<sub>5</sub>, BC<sub>6</sub>), які знаходяться найдалше від МС.

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^4 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_K, y_K; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{(0,371)^{-4}}{(1,185)^{-4} + (0,93)^{-4} + (1,26)^{-4} + (1,368)^{-4}} = 4,571.$$

Для п'яти завод (BC<sub>1</sub>, BC<sub>2</sub>, BC<sub>4</sub>, BC<sub>5</sub>, BC<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^5 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_K, y_K; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{(0,371)^{-4}}{(1,185)^{-4} + (0,819)^{-4} + (0,93)^{-4} + (1,26)^{-4} + (1,368)^{-4}} = 3,333.$$

Для шести завод (BC<sub>1</sub>, BC<sub>2</sub>, BC<sub>3</sub>, BC<sub>4</sub>, BC<sub>5</sub>, BC<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^6 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_K, y_K; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{(0,371)^{-4}}{(1,185)^{-4} + (0,819)^{-4} + (0,636)^{-4} + (0,93)^{-4} + (1,26)^{-4} + (1,368)^{-4}} = 2,204.$$

В точці К співвідношення сигнал/завада від п'яти джерел на вході приймача МС дорівнює 3,333, тобто нижче чим 6-7 дБ (3,98-5 раз) від мінімальної потреби співвідношення с/з на вході приймача МС.

Таблиця 2.10 – Залежність співвідношення сигнал/завада від кількості завад базових станцій для точки К

Кількість завад	2(БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	3(БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	4(БС <sub>1</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	5(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	6(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )
$\rho^2(x_K)$	8,795	5,112	4,571	3,333	2,204

По результатам табл. 2.10 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кожної базової станції окремо і представим на рис. 2.9.

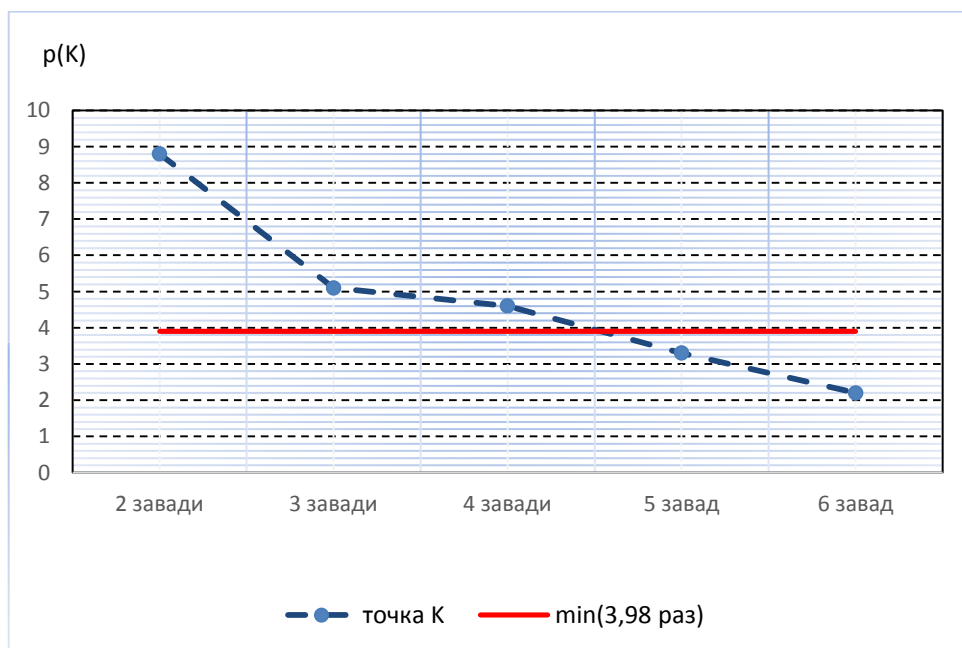


Рисунок 2.9 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кількості базових станцій для точки К

На рис. 2.9 бачимо характер зміни кількості БС та їх завад на співвідношенням сигнал/завада. Чим більше завад від сусідніх БС, тим гірше співвідношення сигнал/завада.

Розрахуємо відстань  $r$  від точки  $L(-1/3; 1/4)$  до точки  $O(0; 0)$ :

$$r = \sqrt{x_L^2 + x_L y_L + y_L^2} = \sqrt{(-1/3)^2 + (-1/3) \cdot 1/4 + (1/4)^2} = 0,3, \text{км.}$$

Враховуємо завади від всіх базових станцій (рис. 2.1), а координати базових станцій представлені в табл. 2.1 для розмірності кластера  $K=1$ .

$$\begin{aligned} d_1(L, BC_1) &= \sqrt{(x_L - x_{BC_1})^2 + (x_L - x_{BC_1}) \times (y_L - y_{BC_1}) + (y_L - y_{BC_1})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - 1)^2 + ((-1/3) - 1) \times (1/4 - 0) + (1/4 - 0)^2} = 1,227, км. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2(L, BC_2) &= \sqrt{(x_L - x_{BC_2})^2 + (x_L - x_{BC_2}) \times (y_L - y_{BC_2}) + (y_L - y_{BC_2})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - 0)^2 + ((-1/3) - 0) \times (1/4 - 1) + (1/4 - 1)^2} = 0,961, км. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_3(L, BC_3) &= \sqrt{(x_L - x_{BC_3})^2 + (x_L - x_{BC_3}) \times (y_L - y_{BC_3}) + (y_L - y_{BC_3})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - (-1))^2 + ((-1/3) - (-1)) \times (1/4 - 1) + (1/4 - 1)^2} = \\ &= 0,712 км. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_4(L, BC_4) &= \sqrt{(x_L - x_{BC_4})^2 + (x_L - x_{BC_4}) \times (y_L - y_{BC_4}) + (y_L - y_{BC_4})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - (-1))^2 + ((-1/3) - (-1)) \times (1/4 - 0) + (1/4 - 0)^2} = \\ &= 0,82, км. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_5(L, BC_2) &= \sqrt{(x_L - x_{BC_5})^2 + (x_L - x_{BC_5}) \times (y_L - y_{BC_5}) + (y_L - y_{BC_5})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - 0)^2 + ((-1/3) - 0) \times (1/4 - (-1)) + (1/4 - (-1))^2} = \\ &= 1,121, км. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_6(L, BC_2) &= \sqrt{(x_L - x_{BC_6})^2 + (x_L - x_{BC_6}) \times (y_L - y_{BC_6}) + (y_L - y_{BC_6})^2} = \\ &= \sqrt{((-1/3) - 1)^2 + ((-1/3) - 1) \times (1/4 - (-1)) + (1/4 - (-1))^2} = \\ &= 1,294, км. \end{aligned}$$

Для початку розрахуємо співвідношення сигнал/завада від кожної БС окремо, щоб в подальших розрахунках, можна було сумувати найдальші БС, які менше впливають на МС.

Тоді відношення сигнал/завада на вході приймача абонента в точці L кожної БС можна записати як:

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_L, y_L; x_{\text{БС}_1}, y_{\text{БС}_1})} = \frac{0,3^{-4}}{1,227^{-4}} = 16,72.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_L, y_L; x_{\text{БС}_2}, y_{\text{БС}_2})} = \frac{0,3^{-4}}{0,961^{-4}} = 10,26.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_L, y_L; x_{\text{БС}_3}, y_{\text{БС}_3})} = \frac{0,3^{-4}}{0,712^{-4}} = 5,61.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_L, y_L; x_{\text{БС}_4}, y_{\text{БС}_4})} = \frac{0,3^{-4}}{0,82^{-4}} = 7,47.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_L, y_L; x_{\text{БС}_5}, y_{\text{БС}_5})} = \frac{0,3^{-4}}{1,121^{-4}} = 13,96.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_L, y_L; x_{\text{БС}_6}, y_{\text{БС}_6})} = \frac{0,3^{-4}}{1,294^{-4}} = 18,6.$$

Таблиця 2.11– Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки L.

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_L)$	16,78	10,26	5,61	7,47	13,96	18,6

По результатам табл. 2.11 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кожної базової станції окремо і представим на рис. 2.10.

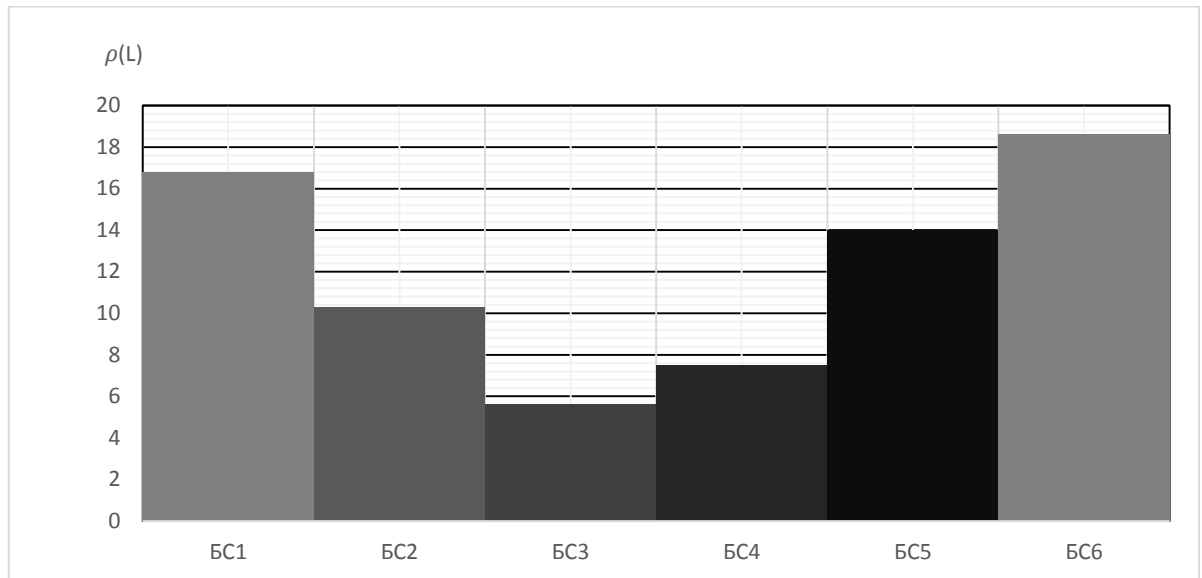


Рисунок 2.10 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки L

В точці L, коли діє тільки одна з базових станцій, співвідношення с/з не буде падати нижче норми. Тепер будемо досліджувати, яка максимальна кількість базових станцій може впливати на МС без критичних завад.

Розрахунки розпочинаємо з найвіддалених БС, що дають найкращі умови для МС.

Для двох завад (BC<sub>2</sub>, BC<sub>3</sub>):

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^2 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_L, y_L; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{(0,3)^{-4}}{(0,961)^{-4} + (0,712)^{-4}} = 4,937.$$

Для трьох завод (БС<sub>1</sub>, БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_L) &= \sum_{i=0}^3 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_L, y_L; x_{БСi}, y_{БСi})} = \frac{(0,3)^{-4}}{(1,227)^{-4} + (0,961)^{-4} + (0,712)^{-4}} = \\ &= 4,735. \end{aligned}$$

Для чотирьох завод (БС<sub>1</sub>, БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>, БС<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_L) &= \sum_{i=0}^4 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_L, y_L; x_{БСi}, y_{БСi})} \\ &= \frac{(0,3)^{-4}}{(1,227)^{-4} + (0,961)^{-4} + (0,712)^{-4} + (1,294)^{-4}} = 4,589. \end{aligned}$$

Для п'яти завод (БС<sub>1</sub>, ..., БС<sub>5</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_L) &= \sum_{i=0}^5 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_L, y_L; x_{БСi}, y_{БСi})} \\ &= \frac{(0,3)^{-4}}{(1,227)^{-4} + (0,961)^{-4} + (0,712)^{-4} + (0,82)^{-4} + (1,294)^{-4}} \\ &= 3,91. \end{aligned}$$

Для шести завод (БС<sub>1</sub>, ..., БС<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_L) &= \\ \sum_{i=0}^6 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_L, y_L; x_{БСi}, y_{БСi})} &= \frac{(0,3)^{-4}}{(1,227)^{-4} + (0,961)^{-4} + (0,712)^{-4} + (0,82)^{-4} + (1,121)^{-4} + (1,294)^{-4}} = \\ &= 3,765. \end{aligned}$$

Таблиця 2.12 – Залежність співвідношення сигнал/завада від кількості базових станцій для точки L

Кількість завад	2(БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> )	3(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> )	4(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>6</sub> )	5(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>6</sub> )	6(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )
$\rho^2(x_L)$	4,937	4,735	4,589	3,91	3,765

По результатам таблиці 2.12 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кількості діючих завад і представим на рис. 2.11.

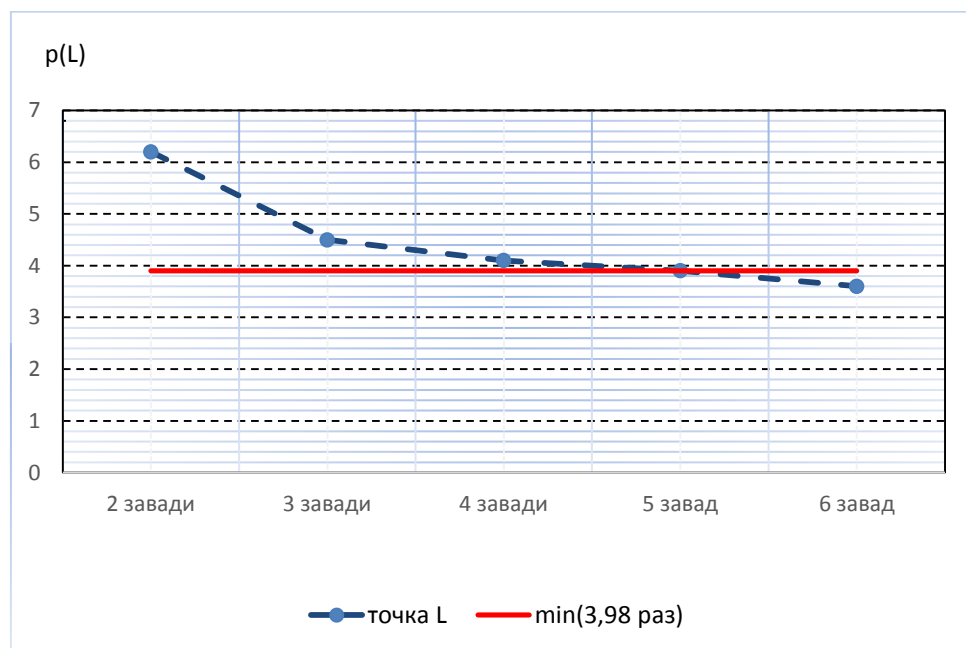


Рисунок 2.11 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кількості базових станцій для точки L

На рис. 2.11 бачимо характер зміни кількості БС та їх завад на співвідношенням сигнал/завада. Чим більше завад від сусідніх БС, тим гірше співвідношення сигнал/завада.

### Висновки по другому розділу

1. Відношення сигнал /завада на вході приймача мобільної станції вагомо залежить від кількості та характеристик базових станцій, координат розміщення мобільної станції у стільнику.

2. При збільшенні числа одночасно діючих джерел завад співвідношення сигнал/завада зменшується за рахунок того, що потужність передавача, коефіцієнт підсилення антени та висота БСО ділиться на суму потужностей передавачів, коефіцієнтів підсилення антен та висот сусідніх базових станцій.

### 3 РОЗРАХУНКИ СПІВВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ЗАВАДА НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ПРИ РІЗНИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ДІЇ ВНУТРІШНЬОСИСТЕМНИХ ЗАВАД

**3.1 Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при різних характеристиках базових станцій в точках N,М,В,К,Л в умовах дії внутрішньосистемних завад**

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики варіанту 2 для точки N

$P_{перБС}$ [Вт], Вт							$G_1$ [дБ], дБ	$G_2$ [дБ], дБ	$h_1$ [м], м	$h_2$ [м], м
БС <sub>0</sub>	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>	5(3.16раз)	2 (1,58 раз)	28	1,7
24	12	14	16	18	20	22				

Тоді  $\alpha_0$  буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 24 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 271500, \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

У наших розрахунках міняємо потужності БС, тому характеристики приймально-передавального обладнання БС будуть відрізнятись, а їх коефіцієнти будуть мати наступний вигляд:

$$\alpha_1 = P_{перБС_1} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 135700, \text{ Вт} \cdot \text{м}^4$$

$$\alpha_2 = P_{перБС_2} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 14 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 158400, \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_3 = P_{перБС_3} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 16 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 180900 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_4 = P_{перБС_4} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 18 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 203600 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_5 = P_{перБС_5} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 20 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 226200 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_6 = P_{\text{перБС}_6} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 22 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 248900 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Відстань  $r$  від точки  $N$ , до точки  $O$ , та від  $MC$  до сусідніх БС вже були розраховані у попередньому варіанті:

$$\begin{aligned} r &= 0,288, \text{км}; \quad d_1(N, \text{БС}_1) = 0,764, \text{км}; \quad d_2(N, \text{БС}_2) = 1,041, \text{км}; \\ d_3(N, \text{БС}_3) &= 1,258, \text{км}; \quad d_4(N, \text{БС}_4) = 1,258, \text{км}; \\ d_5(N, \text{БС}_5) &= 1,041, \text{км}; \quad d_6(N, \text{БС}_6) = 0,764, \text{км}. \end{aligned}$$

Для початку розрахуємо співвідношення сигнал/завада від кожної БС окремо для другого варіанту, щоб в подальших розрахунках можна було сумувати найдавні БС, які менше впливають на  $MC$ .

В другому варіанті ми міняли потужності, відповідно, коефіцієнти передавального-приймального обладнання різні, тоді обов'язково  $\alpha_0, \dots, \alpha_6$  включаємо у співвідношення с/з на вході приймача абонента. Використовуючи формулу (2.8), розрахуємо співвідношення сигнал/завада:

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_1 \cdot d_1^{-4}(x_N, y_N; x_{\text{БС}_1}, y_{\text{БС}_1})} = \frac{271500 \cdot 0,288^{-4}}{135700 \cdot 0,764^{-4}} = 9,953.$$

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_2 \cdot d_1^{-4}(x_N, y_N; x_{\text{БС}_2}, y_{\text{БС}_2})} = \frac{271500 \cdot 0,288^{-4}}{158400 \cdot 1,041^{-4}} = 17,105.$$

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_3 \cdot d_1^{-4}(x_N, y_N; x_{\text{БС}_3}, y_{\text{БС}_3})} = \frac{271500 \cdot 0,288^{-4}}{180900 \cdot 1,258^{-4}} = 23,374.$$

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_4 \cdot d_1^{-4}(x_N, y_N; x_{\text{БС}_4}, y_{\text{БС}_4})} = \frac{271500 \cdot 0,288^{-4}}{203600 \cdot 1,258^{-4}} = 22,032.$$

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_5 \cdot d_1^{-4}(x_N, y_N; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{271500 \cdot 0,288^{-4}}{226200 \cdot 1,041^{-4}} = 14,313.$$

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_6 \cdot d_1^{-4}(x_N, y_N; x_{BC_6}, y_{BC_6})} = \frac{271500 \cdot 0,288^{-4}}{248900 \cdot 0,764^{-4}} = 7,349.$$

Таблиця 3.2 – Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки N

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_N)$	9,953	17,105	23,374	22,032	14,313	7,349

По результатам табл. 3.2 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кількості діючих заводів і представим на рис. 3.1.

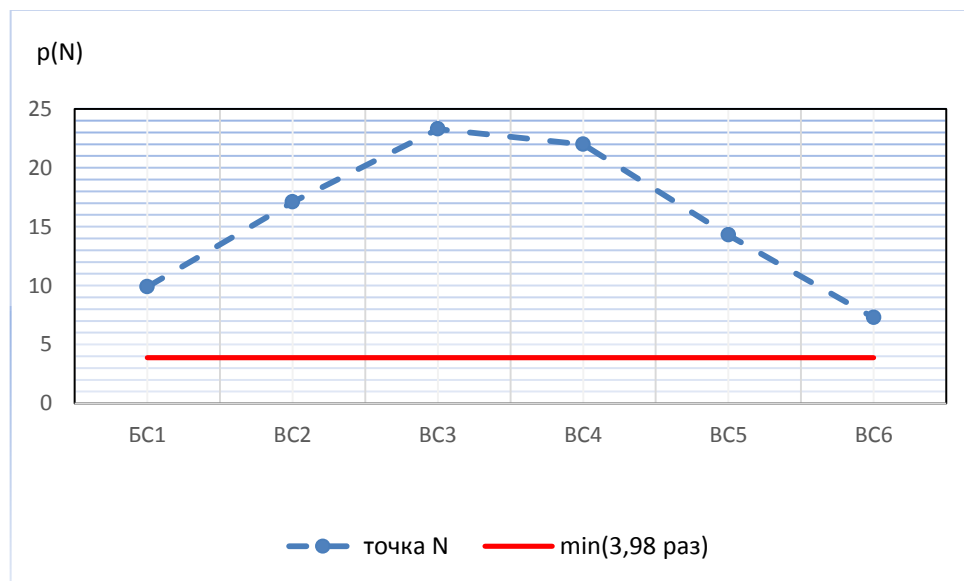


Рисунок 3.1 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки N

На рис. 3.1 бачимо залежність базових станцій на співвідношення с/з для координати N.

Розрахуємо ще для двох заводів (BC<sub>5</sub>, BC<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^2 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i \cdot d_i^{-4}(x_N, y_N; x_{BCi}, y_{BCi})} = =$$

$$= \frac{271500 \cdot (0,288)^{-4}}{226200 \cdot (1,041)^{-4} + 248900 \cdot (0,764)^{-4}} = 6,532.$$

Для трьох завод (BC<sub>4</sub>, BC<sub>5</sub>, BC<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_N) =$$

$$\sum_{i=0}^3 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_N, y_N; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{271500 \cdot (0,288)^{-4}}{203600 \cdot (1,258)^{-4} + 226200 \cdot (1,041)^{-4} + 248900 \cdot (0,764)^{-4}} = =$$

$$6,268.$$

Для чотирьох завод (BC<sub>1</sub>, BC<sub>4</sub>, BC<sub>5</sub>, BC<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^5 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_N, y_N; x_{BCi}, y_{BCi})}$$

$$= \frac{271500 \cdot (0,288)^{-4}}{135700 \cdot (0,764)^{-4} + 203600 \cdot (1,258)^{-4} + 226200 \cdot (1,041)^{-4} +$$

$$= \frac{271500 \cdot (0,288)^{-4}}{+248900 \cdot (0,764)^{-4}} = 5,304.$$

Для п'яти завод (BC<sub>1</sub>, ..., BC<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_N) = \sum_{i=0}^5 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_N, y_N; x_{BCi}, y_{BCi})}$$

$$= \frac{271500 \cdot (0,288)^{-4}}{135700 \cdot (0,764)^{-4} + 158400 \cdot (1,041)^{-4} + 203600 \cdot (1,258)^{-4} +$$

$$= \frac{271500 \cdot (0,288)^{-4}}{+226200 \cdot (1,041)^{-4} + 248900 \cdot (0,764)^{-4}} = 5,066.$$

Для шести завод (БС<sub>1</sub>, ..., БС<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_N) &= \sum_{i=0}^6 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_N, y_N; x_{БСi}, y_{БСi})} \\ &= \frac{271500 \cdot (0,288)^{-4}}{135700 \cdot (0,764)^{-4} + 158400 \cdot (1,041)^{-4} + 180900 \cdot 1,258^{-4} +} \\ &= \frac{271500 \cdot (0,288)^{-4}}{+203600 \cdot (1,258)^{-4} + 226200 \cdot (1,041)^{-4} + 248900 \cdot (0,764)^{-4} +} \\ &= 4,951. \end{aligned}$$

Результати розрахунків запишемо в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Залежність співвідношення сигнал/завад від кількості базових станцій для точки N

Кількість завод	2(БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	3(БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	4(БС <sub>1</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	5(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	6(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )
$\rho^2(x_N)$	6,532	6,268	5,304	5,066	4,951

По результатам табл. 3.3 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кількості діючих завод і представим на рис. 3.2.

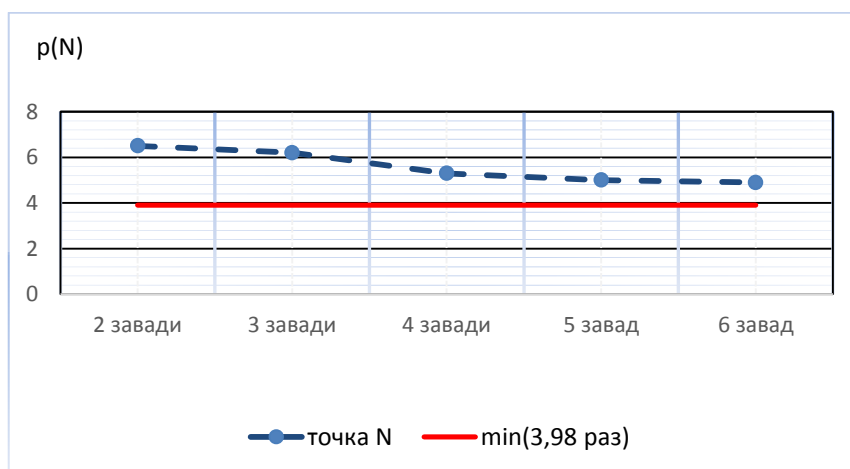


Рисунок 3.2 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кількості базових станцій для точки N

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики варіанту 2 для точки М

$P_{\text{перБС}} \text{ [кВт]}, \text{ Вт}$							$G_1 \text{ [дБ]}$	$G_2 \text{ [дБ]}$	$h_1 \text{ [м]}$	$h_2 \text{ [м]}$
БС <sub>0</sub>	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>	5(3.16раз)	2 (1,58 раз)	28	1,7
24	12	14	16	18	20	22				

Тоді  $\alpha_0$  буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{\text{перБС}_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 24 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 271500, \text{ Вт} \cdot \text{ м}^4.$$

У наших розрахунках міняємо потужності БС, тому характеристики приймально-передавального обладнання БС будуть відрізнятись, а їх коефіцієнти будуть мати наступний вигляд:

$$\alpha_1 = P_{\text{перБС}_1} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 135700, \text{ Вт} \cdot \text{ м}^4$$

$$\alpha_2 = P_{\text{перБС}_2} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 14 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 158400, \text{ Вт} \cdot \text{ м}^4.$$

$$\alpha_3 = P_{\text{перБС}_3} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 16 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 180900 \text{ Вт} \cdot \text{ м}^4.$$

$$\alpha_4 = P_{\text{перБС}_4} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 18 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 203600 \text{ Вт} \cdot \text{ м}^4.$$

$$\alpha_5 = P_{\text{перБС}_5} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 20 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 226200 \text{ Вт} \cdot \text{ м}^4.$$

$$\alpha_6 = P_{\text{перБС}_6} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 22 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 248900 \text{ Вт} \cdot \text{ м}^4.$$

Відстань  $r$  від точки М, до точки О, та від МС до сусідніх БС вже були розраховані у попередньому варіанті:

$$\begin{aligned} r &= 0,353 \text{ км}; d_1(M, \text{БС}_1) = 1,145, \text{ км}; d_2(M, \text{БС}_2) = 0,901, \text{ км}; \\ d_3(M, \text{БС}_3) &= 1,75, \text{ км}; d_4(M, \text{БС}_4) = 0,901, \text{ км}; d_5(M, \text{БС}_5) = 1,145, \text{ км}; \\ d_6(M, \text{БС}_6) &= 1,25, \text{ км}. \end{aligned}$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_1 \cdot d_1^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{271500 \cdot 0,353^{-4}}{135700 \cdot 1,145^{-4}} = 14,881.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_2 \cdot d_2^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{271500 \cdot 0,353^{-4}}{158400 \cdot 0,901^{-4}} = 8,529.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_3 \cdot d_3^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{271500 \cdot 0,353^{-4}}{180900 \cdot 1,75^{-4}} = 30,108.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_4 \cdot d_4^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{271500 \cdot 0,353^{-4}}{203600 \cdot 0,901^{-4}} = 7,523.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_5 \cdot d_5^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{271500 \cdot 0,353^{-4}}{226200 \cdot 1,145^{-4}} = 11,526.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_6 \cdot d_1^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_6}, y_{BC_6})} = \frac{271500 \cdot 0,353^{-4}}{248900 \cdot 1,25^{-4}} = 13,096.$$

Таблиця 3.5 – Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки М

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_M)$	14,881	8,529	30,108	7,523	11,526	13,096

По результатам табл. 3.5 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кількості діючих заводів і представим на рис. 3.4.

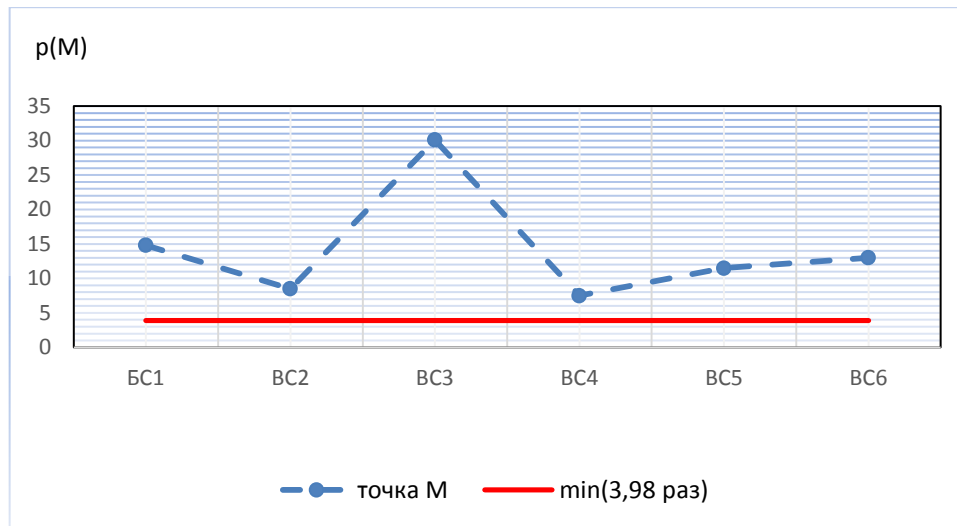


Рисунок 3.4 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки М

В точці М, коли діє тільки одна з базових станцій співвідношення с/з не буде падати нижче норми. Тепер будемо досліджувати, яка максимальна кількість базових станцій може впливати на МС без критичних завад. Розрахунки розпочинаєм з найдальших БС, що дають найкращі умови для МС.

Для двох завад (БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_M) &= \sum_{i=0}^2 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i \cdot d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{БСi}, y_{БСi})} \\ &= \frac{271500 \cdot 0,353^{-4}}{158400 \cdot (0,901)^{-4} + 180900 \cdot (1,75)^{-4}} = 8,206. \end{aligned}$$

Для трьох завад (БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>, БС<sub>4</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_M) &= \sum_{i=0}^3 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{БСi}, y_{БСi})} \\ &= \frac{271500 \cdot (0,353)^{-4}}{158400 \cdot (0,901)^{-4} + 180900 \cdot (1,75)^{-4} + 203600 \cdot (0,901)^{-4}} = \\ &= 5,545. \end{aligned}$$

Для чотирьох завад (БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>, БС<sub>4</sub>, БС<sub>5</sub>):

$$\begin{aligned}
\rho^2(x_M) &= \sum_{i=0}^5 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BCi}, y_{BCi})} \\
&= \frac{271500 \cdot (0,353)^{-4}}{158400 \cdot (0,901)^{-4} + 180900 \cdot (1,75)^{-4} + 203600 \cdot (0,901)^{-4} +} \\
&= \frac{271500 \cdot (0,353)^{-4}}{+226200 \cdot (1,145)^{-4}} = 4,997.
\end{aligned}$$

Для п'яти завод (BC<sub>2</sub>, ..., BC<sub>5</sub>):

$$\begin{aligned}
\rho^2(x_M) &= \sum_{i=0}^5 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BCi}, y_{BCi})} \\
&= \frac{271500 \cdot (0,353)^{-4}}{158400 \cdot (0,901)^{-4} + 180900 \cdot (1,75)^{-4} + 203600 \cdot (0,901)^{-4} +} \\
&= \frac{271500 \cdot (0,353)^{-4}}{+226200 \cdot (1,145)^{-4} + 248900 \cdot (1,25)^{-4}} = 4,668.
\end{aligned}$$

Для шести завод (BC<sub>1</sub>, ..., BC<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned}
\rho^2(x_M) &= \sum_{i=0}^6 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BCi}, y_{BCi})} \\
&= \frac{271500 \cdot (0,353)^{-4}}{135700 \cdot (1,145)^{-4} + 158400 \cdot (0,901)^{-4} + 180900 \cdot (1,75)^{-4} +} \\
&= \frac{271500 \cdot (0,353)^{-4}}{+203600 \cdot (0,901)^{-4} + 226200 \cdot (1,145)^{-4} + 248900 \cdot (1,25)^{-4}} \\
&= 4,454.
\end{aligned}$$

Таблиця 3.6 – Залежність співвідношення сигнал/завада від кількості базових станції для точки М

Кількість завад	2(БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> )	3(БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>4</sub> )	4(БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> )	5(БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	6(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )
$\rho^2(x_M)$	8,206	5,545	4,997	4,668	4,454

По результатам табл. 3.6 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кількості діючих завад і представим на рис. 3.5.

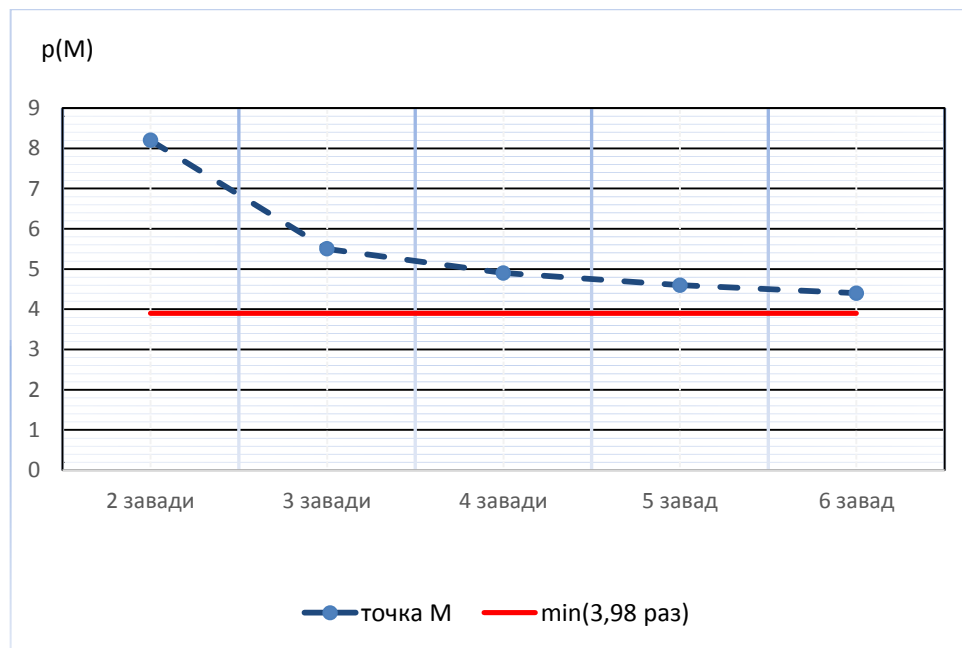


Рисунок 3.4 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кількості базових станцій для точки М

На рис. 3.5 яскраво виражений характер зміни кількості БС та їх завад на співвідношенням сигнал/завада. Чим більше завад від сусідніх БС, тим гірше співвідношення сигнал/завада. Також для точки М, яка знаходиться в стільнику є не критичним дія від будь-якої завади сусідніх БС.

Таблиця 3.7. -Технічні характеристики варіанту 2 для точки В

$P_{перБС} \text{ [Вт]}$							$G_1 \text{ [дБ]}$	$G_2 \text{ [дБ]}$	$h_1 \text{ [м]}$	$h_2 \text{ [м]}$
БС <sub>0</sub>	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>	5(3.16раз)	2 (1,58 раз)	28	1,7
24	12	14	16	18	20	22				

Тоді  $\alpha_0$  буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{\text{перБС}_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 24 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 271500, \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

У наших розрахунках міняємо потужності БС, тому характеристики приймально-передавального обладнання БС будуть відрізнятись, а їх коефіцієнти будуть мати наступний вигляд:

$$\alpha_1 = P_{\text{перБС}_1} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 135700, \text{Вт} \cdot \text{м}^4$$

$$\alpha_2 = P_{\text{перБС}_2} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 14 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 158400, \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_3 = P_{\text{перБС}_3} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 16 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 180900 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_4 = P_{\text{перБС}_4} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 18 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 203600 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_5 = P_{\text{перБС}_5} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 20 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 226200 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_6 = P_{\text{перБС}_6} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 22 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 248900 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Відстань  $r$  від точки В, де знаходиться МС до точки О, центру базової станції, та відстані від МС до сусідніх БС вже були розраховані у попередньому варіанті:

$$\begin{aligned} r &= 0,577 \text{км}; d_1(B, \text{БС}_1) = 1,155, \text{км}; d_2(B, \text{БС}_2) = 0,577, \text{км}; \\ d_3(B, \text{БС}_3) &= 0,577, \text{км}; d_4(B, \text{БС}_4) = 1,155, \text{км}; d_5(B, \text{БС}_5) = 1,528, \text{км}; \\ d_6(B, \text{БС}_6) &= 1,528, \text{км}. \end{aligned}$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_1 \cdot d_1^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{271500 \cdot 0,577^{-4}}{135700 \cdot 1,155^{-4}} = 5,667.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_2 \cdot d_2^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{271500 \cdot 0,577^{-4}}{158400 \cdot 0,577^{-4}} = 1,309.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_3 \cdot d_3^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{271500 \cdot 0,577^{-4}}{180900 \cdot 0,577^{-4}} = 1,225.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_4 \cdot d_4^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{271500 \cdot 0,577^{-4}}{203600 \cdot 1,155^{-4}} = 4,627.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_5 \cdot d_5^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{271500 \cdot 0,577^{-4}}{226200 \cdot 1,528^{-4}} = 7,683.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_6 \cdot d_6^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_6}, y_{BC_6})} = \frac{271500 \cdot 0,577^{-4}}{248900 \cdot 1,528^{-4}} = 7,324.$$

Таблиця 3.8 – Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки В

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_B)$	5,667	1,309	1,225	4,627	7,683	7,324

По результатам табл. 3.8 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кількості діючих завод і представим на рис. 3.6.

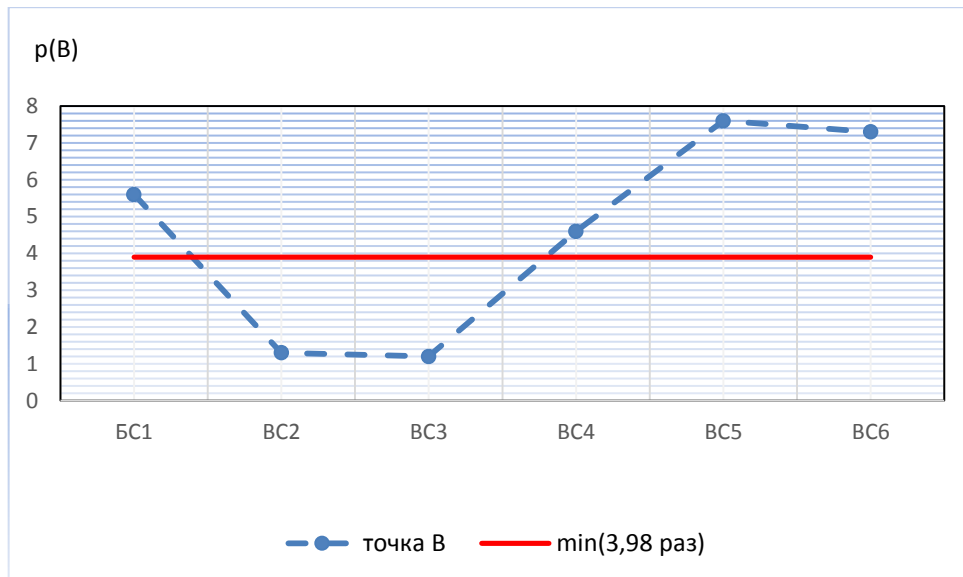


Рисунок 3.6 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки В

Розрахунки розпочинаєм з найдалших БС, що дають найкращі умови для МС.

Для двох завад (БС<sub>5</sub>, БС<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^2 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i \cdot d_i^{-4}(x_B, y_B; x_{BCi}, y_{BCi})}$$

$$= \frac{271500 \cdot (0,577)^{-4}}{226200 \cdot (1,528)^{-4} + 248900 \cdot (1,528)^{-4}} = 5,301.$$

Для трьох завад (БС<sub>4</sub>, БС<sub>5</sub>, БС<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^3 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_B, y_B; x_{BCi}, y_{BCi})}$$

$$= \frac{271500 \cdot (0,577)^{-4}}{203600 \cdot (1,155)^{-4} + 226200 \cdot (1,528)^{-4} + 248900 \cdot (1,528)^{-4}} = 3,486.$$

Для чотирьох завад (БС<sub>1</sub>, БС<sub>4</sub>, БС<sub>5</sub>, БС<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_B) &= \sum_{i=0}^5 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_B, y_B; x_{BCi}, y_{BCi})} \\ &= \frac{135700 \cdot (1,155)^{-4} + 203600 \cdot (1,155)^{-4} + 226200 \cdot (1,528)^{-4} + 271500 \cdot (0,577)^{-4}}{271500 \cdot (0,577)^{-4}} \\ &= \frac{135700 \cdot (1,155)^{-4} + 158400 \cdot (0,577)^{-4} + 203600 \cdot (1,155)^{-4} + 271500 \cdot (0,577)^{-4}}{271500 \cdot (0,577)^{-4}} = 2,969. \end{aligned}$$

Для п'яти завод (BC<sub>1</sub>, ..., BC<sub>5</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_B) &= \sum_{i=0}^5 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_B, y_B; x_{BCi}, y_{BCi})} \\ &= \frac{135700 \cdot (1,155)^{-4} + 158400 \cdot (0,577)^{-4} + 203600 \cdot (1,155)^{-4} + 271500 \cdot (0,577)^{-4}}{271500 \cdot (0,577)^{-4}} \\ &= \frac{135700 \cdot (1,155)^{-4} + 158400 \cdot (0,577)^{-4} + 180900 \cdot (0,577)^{-4} + 271500 \cdot (0,577)^{-4}}{271500 \cdot (0,577)^{-4}} = 1,197. \end{aligned}$$

Для шести завод (BC<sub>1</sub>, ..., BC<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_B) &= \sum_{i=0}^6 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_B, y_B; x_{BCi}, y_{BCi})} \\ &= \frac{135700 \cdot (1,155)^{-4} + 158400 \cdot (0,577)^{-4} + 180900 \cdot (0,577)^{-4} + 271500 \cdot (0,577)^{-4}}{271500 \cdot (0,577)^{-4}} \\ &= \frac{135700 \cdot (1,155)^{-4} + 158400 \cdot (0,577)^{-4} + 180900 \cdot (0,577)^{-4} + 203600 \cdot (1,155)^{-4} + 226200 \cdot (1,528)^{-4} + 248900 \cdot (1,528)^{-4}}{271500 \cdot (0,577)^{-4}} \\ &= 0,856. \end{aligned}$$

Таблиця 3.9 – Залежність співвідношення сигнал/завада від кількості базових станції для точки В

Кількість завод	2(BC <sub>5</sub> , BC <sub>6</sub> )	3(BC <sub>4</sub> , BC <sub>5</sub> , BC <sub>6</sub> )	4(BC <sub>1</sub> , BC <sub>4</sub> , BC <sub>5</sub> , BC <sub>6</sub> )	5(BC <sub>1</sub> , BC <sub>2</sub> , BC <sub>4</sub> , BC <sub>5</sub> , BC <sub>6</sub> )	6(BC <sub>1</sub> , BC <sub>2</sub> , BC <sub>3</sub> , BC <sub>4</sub> , BC <sub>5</sub> , BC <sub>6</sub> )
$\rho^2(x_B)$	5,301	3,486	2,969	1,197	0,856

По результатам табл. 3.9 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кількості діючих завод і представим на рис. 3.7.

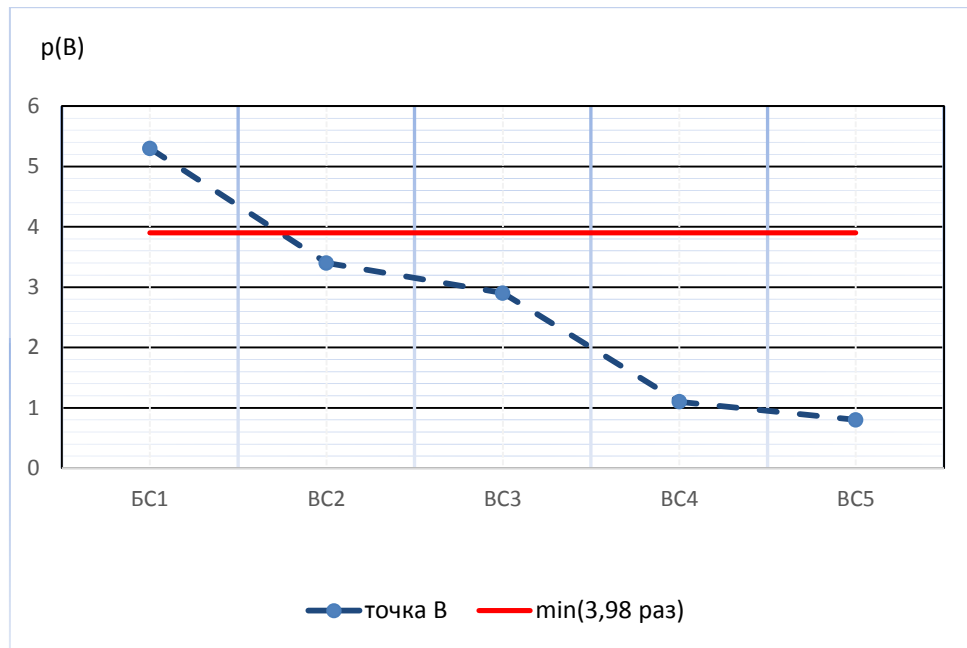


Рисунок 3.7 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кількості базових станцій для точки В

На рис. 3.6 яскраво виражений характер зміни кількості БС та їх завад на співвідношенням сигнал/завада.

Таблиця 3.10 – Технічні характеристики варіанту 2 для точки К

$P_{\text{перБС}} \text{ [Вт]}$							$G_1 \text{ [дБ]}$	$G_2 \text{ [дБ]}$	$h_1 \text{ [м]}$	$h_2 \text{ [м]}$
BC <sub>0</sub>	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>				
24	12	14	16	18	20	22	5(3,16раз)	2 (1,58 раз)	28	1,7

Тоді  $\alpha_0$  буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{\text{перБС}_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 24 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 271500, \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

У наших розрахунках міняємо потужності БС, тому характеристики приймально-передавального обладнання БС будуть відрізнятись, а їх коефіцієнти будуть мати наступний вигляд:

$$\alpha_1 = P_{\text{перБС}_1} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 135700, \text{Вт} \cdot \text{м}^4$$

$$\alpha_2 = P_{\text{перБС}_2} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 14 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 158400, \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_3 = P_{\text{перБС}_3} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 16 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 180900 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_4 = P_{\text{перБС}_4} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 18 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 203600 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_5 = P_{\text{перБС}_5} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 20 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 226200 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_6 = P_{\text{перБС}_6} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 22 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 248900 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Відстань  $r$  від точки  $K$ , до точки  $O$ , та від  $MC$  до сусідніх БС вже були розраховані у попередньому варіанті:

$$\begin{aligned} r &= 0,371 \text{км}; d_1(K, \text{БС}_1) = 1,185, \text{км}; d_2(K, \text{БС}_2) = 0,819, \text{км}; \\ d_3(K, \text{БС}_3) &= 0,636, \text{км}; d_4(K, \text{БС}_4) = 0,93, \text{км}; d_5(K, \text{БС}_5) = 1,26, \text{км}; \\ d_6(K, \text{БС}_6) &= 1,368, \text{км}. \end{aligned}$$

Тоді відношення сигнал/завада на вході приймача абонента в точці  $K$  від кожної сусідньої БС можна записати як:

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_1 \cdot d_1^{-4}(x_K, y_K; x_{\text{БС}_1}, y_{\text{БС}_1})} = \frac{271500 \cdot 0,371^{-4}}{135700 \cdot 1,185^{-4}} = 14,43.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_2 \cdot d_2^{-4}(x_K, y_K; x_{\text{БС}_2}, y_{\text{БС}_2})} = \frac{271500 \cdot 0,371^{-4}}{158400 \cdot 0,819^{-4}} = 6,38.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_3 \cdot d_3^{-4}(x_K, y_K; x_{\text{БС}_3}, y_{\text{БС}_3})} = \frac{271500 \cdot 0,371^{-4}}{180900 \cdot 0,636^{-4}} = 3,6.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_4 \cdot d_4^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{271500 \cdot 0,371^{-4}}{203600 \cdot 0,93^{-4}} = 7,256.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_5 \cdot d_5^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{271500 \cdot 0,371^{-4}}{226200 \cdot 1,26^{-4}} = 12,636.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_6 \cdot d_6^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_6}, y_{BC_6})} = \frac{271500 \cdot 0,371^{-4}}{248900 \cdot 1,368^{-4}} = 14,2.$$

Таблиця 3.11 – Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки К

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_K)$	14,43	6,38	3,6	7,256	12,636	14,2

По результатам табл. 3.11 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кількості діючих заводів і представим на рис. 3.7.

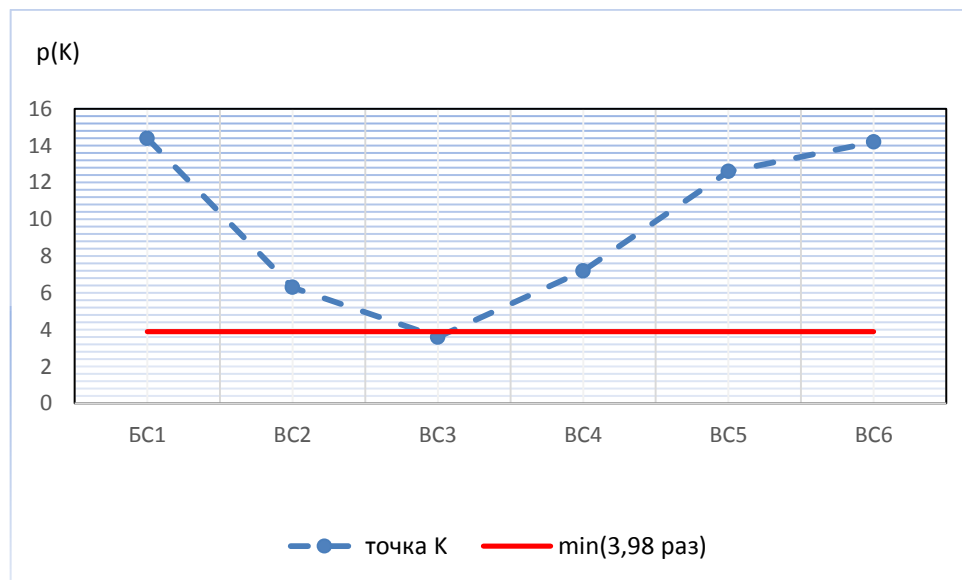


Рисунок 3.7 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки К

Продовжимо розрахунки з найдальших БС, що дають найкращі умови для МС.

Розрахуємо для двох завод (БС<sub>5</sub>, БС<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_K) &= \\ &= \sum_{i=0}^2 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i \cdot d_i^{-4}(x_K, y_K; x_{БСi}, y_{БСi})} = \frac{271500 \cdot (0,371)^{-4}}{226200 \cdot (1,26)^{-4} + 248900 \cdot (1,368)^{-4}} = \\ &= 9,44. \end{aligned}$$

Розрахуємо для трьох завод (БС<sub>4</sub>, БС<sub>5</sub>, БС<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_K) &= \sum_{i=0}^3 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_K, y_K; x_{БСi}, y_{БСi})} \\ &= \frac{271500 \cdot (0,371)^{-4}}{203600 \cdot (0,93)^{-4} + 226200 \cdot (1,26)^{-4} + 248900 \cdot (1,368)^{-4}} = \\ &= 5,753. \end{aligned}$$

Для чотирьох завод (БС<sub>1</sub>, БС<sub>4</sub>, БС<sub>5</sub>, БС<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_K) &= \sum_{i=0}^5 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_K, y_K; x_{БСi}, y_{БСi})} \\ &= \frac{271500 \cdot (0,371)^{-4}}{135700 \cdot (1,185)^{-4} + 203600 \cdot (0,93)^{-4} + 226200 \cdot (1,26)^{-4} +} \\ &= \frac{271500 \cdot (0,371)^{-4}}{+248900 \cdot (1,368)^{-4}} = 5,344. \end{aligned}$$

Для п'яти завод (БС<sub>1</sub>, ..., БС<sub>5</sub>):

$$\begin{aligned}
\rho^2(x_K) &= \sum_{i=0}^5 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_K, y_K; x_{BCi}, y_{BCi})} \\
&= \frac{271500 \cdot (0,371)^{-4}}{135700 \cdot (1,185)^{-4} + 158400 \cdot (0,819)^{-4} + 203600 \cdot (0,93)^{-4} +} \\
&= \frac{271500 \cdot (0,371)^{-4}}{+226200 \cdot (1,26)^{-4} + 248900 \cdot (1,368)^{-4}} = 4,096.
\end{aligned}$$

Для шести завод (BC<sub>1</sub>, ..., BC<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned}
\rho^2(x_K) &= \sum_{i=0}^6 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_K, y_K; x_{BCi}, y_{BCi})} \\
&= \frac{271500 \cdot (0,371)^{-4}}{135700 \cdot (1,185)^{-4} + 158400 \cdot (0,819)^{-4} + 180900 \cdot (0,636)^{-4} +} \\
&= \frac{271500 \cdot (0,371)^{-4}}{+203600 \cdot (0,93)^{-4} + 226200 \cdot (1,26)^{-4} + 248900 \cdot (1,368)^{-4} +} \\
&= 2,704.
\end{aligned}$$

Таблиця 3.12 – Залежність співвідношення сигнал/завада від кількості базових станції для точки К

Кількість завод	2(BC <sub>5</sub> , BC <sub>6</sub> )	3(BC <sub>4</sub> , BC <sub>5</sub> , BC <sub>6</sub> )	4(BC <sub>1</sub> , BC <sub>4</sub> , BC <sub>5</sub> , BC <sub>6</sub> )	5(BC <sub>1</sub> , BC <sub>2</sub> , BC <sub>4</sub> , BC <sub>5</sub> , BC <sub>6</sub> )	6(BC <sub>1</sub> , BC <sub>2</sub> , BC <sub>3</sub> , BC <sub>4</sub> , BC <sub>5</sub> , BC <sub>6</sub> )
$\rho^2(x_K)$	9,44	5,753	5,344	4,096	2,704

По результатам табл. 3.12 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кількості діючих завод і представим на рис. 3.9.

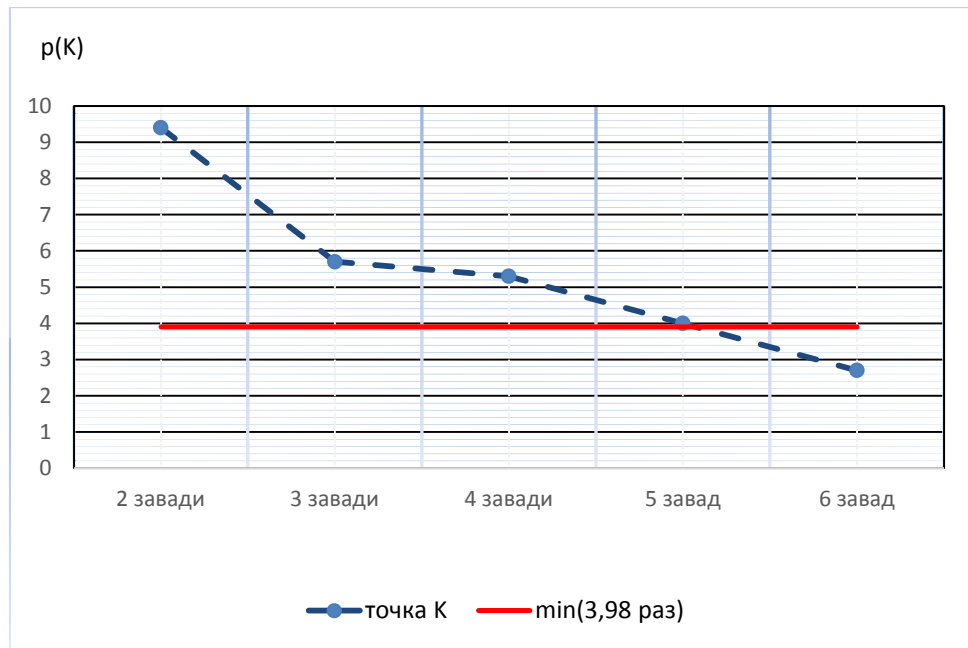


Рисунок 3.9 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кількості базових станцій для точки В

На рис. 3.9 яскраво виражений характер зміни кількості БС та їх завад на співвідношення сигнал/завада.

Таблиця 3.13 – Технічні характеристики варіанту 2 для точки L

$P_{\text{перБС}} \text{ [Вт]}$							$G_1 \text{ [дБ]}$	$G_2 \text{ [дБ]}$	$h_1 \text{ [м]}$	$h_2 \text{ [м]}$
БС <sub>0</sub>	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>	5(3.16раз)	2 (1,58 раз)	28	1,7
24	12	14	16	18	20	22				

Тоді  $\alpha_0$  буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{\text{перБС}_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 24 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 271500, \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

У наших розрахунках міняємо потужності БС, тому характеристики приймально-передавального обладнання БС будуть відрізнятись, а їх коефіцієнти будуть мати наступний вигляд:

$$\alpha_1 = P_{\text{перБС}_1} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 135700, \text{Вт} \cdot \text{м}^4$$

$$\alpha_2 = P_{\text{перБС}_2} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 14 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 158400, \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_3 = P_{\text{перБС}_3} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 16 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 180900 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_4 = P_{\text{перБС}_4} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 18 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 203600 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_5 = P_{\text{перБС}_5} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 20 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 226200 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_6 = P_{\text{перБС}_6} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 22 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 248900 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Відстань  $r$  від точки  $K$ , до точки  $O$ , та від  $MC$  до сусідніх БС вже були розраховані у попередньому варіанті:

$$\begin{aligned} r &= 0,3, \text{км}; d_1(L, \text{БС}_1) = 1,227, \text{км}; d_2(L, \text{БС}_2) = 0,961, \text{км}; \\ d_3(L, \text{БС}_3) &= 0,712, \text{км}; d_4(L, \text{БС}_4) = 0,82, \text{км}; d_5(L, \text{БС}_5) = 1,121, \text{км}; \\ d_6(L, \text{БС}_6) &= 1,294, \text{км}. \end{aligned}$$

Для початку розрахуємо співвідношення сигнал завада від кожної БС окремо, щоб в подальших розрахунках, можна було сумувати найдальші БС, що менше впливають на  $MC$ .

Тоді відношення сигнал/завада на вході приймача абонента в точці  $L$  кожної БС можна записати як:

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_1 \cdot d_1^{-4}(x_L, y_L; x_{\text{БС}_1}, y_{\text{БС}_1})} = \frac{271500 \cdot 0,3^{-4}}{135700 \cdot 1,227^{-4}} = 23,661.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_2 \cdot d_2^{-4}(x_L, y_L; x_{\text{БС}_2}, y_{\text{БС}_2})} = \frac{271500 \cdot 0,3^{-4}}{158400 \cdot 0,961^{-4}} = 13,602.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_3 \cdot d_3^{-4}(x_L, y_L; x_{\text{БС}_3}, y_{\text{БС}_3})} = \frac{271500 \cdot 0,3^{-4}}{180900 \cdot 0,712^{-4}} = 6,9.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_4 \cdot d_4^{-4}(x_L, y_L; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{271500 \cdot 0,3^{-4}}{203600 \cdot 0,82^{-4}} = 8,627.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_5 \cdot d_5^{-4}(x_L, y_L; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{271500 \cdot 0,3^{-4}}{226200 \cdot 1,121^{-4}} = 15,297.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_6 \cdot d_6^{-4}(x_L, y_L; x_{BC_6}, y_{BC_6})} = \frac{271500 \cdot 0,3^{-4}}{248900 \cdot 1,294^{-4}} = 19,431.$$

Таблиця 3.14 – Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки L

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_L)$	23,661	13,602	6,9	8,627	15,297	19,431

По результатам табл. 3.14 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кожної базової станції окремо і представим на рис. 3.10.

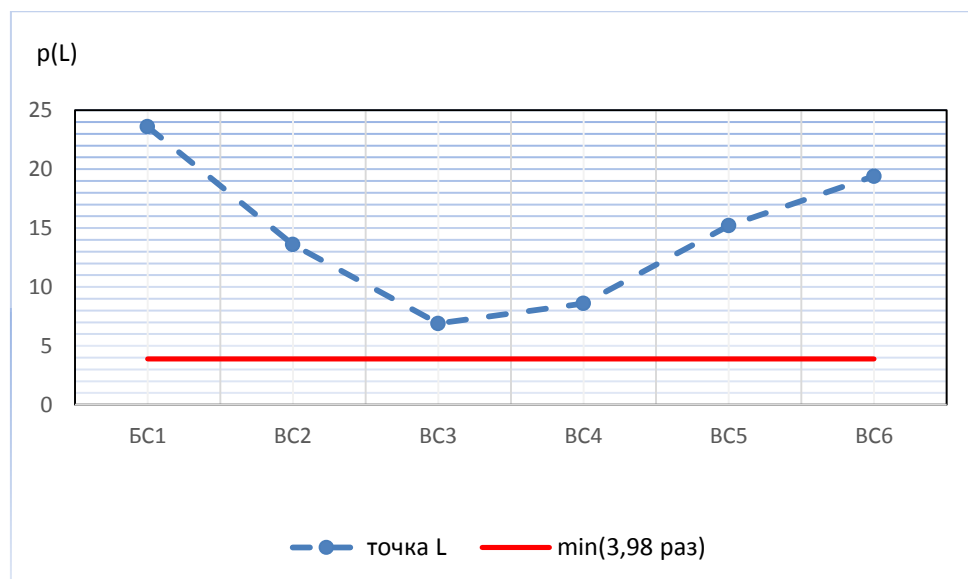


Рисунок 3.10 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки L

Розрахунки розпочинаєм з найвіддалинних БС, що дають найкращі умови для МС. Для двох завод (БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_L) &= \sum_{i=0}^2 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i \cdot d_i^{-4}(x_L, y_L; x_{\text{БС}i}, y_{\text{БС}i})} \\ &= \frac{271500 \cdot (0,3)^{-4}}{158400 \cdot (0,961)^{-4} + 180900 \cdot (0,712)^{-4}} = 6,138. \end{aligned}$$

Для трьох завод (БС<sub>1</sub>, БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_L) &= \sum_{i=0}^3 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_L, y_L; x_{\text{БС}i}, y_{\text{БС}i})} \\ &= \frac{271500 \cdot (0,3)^{-4}}{135700 \cdot (1,227)^{-4} + 158400 \cdot (0,961)^{-4} + 180900 \cdot (0,712)^{-4}} = \\ &= 5,941. \end{aligned}$$

Для чотирьох завод (БС<sub>1</sub>, БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>, БС<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_L) &= \sum_{i=0}^5 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_L, y_L; x_{\text{БС}i}, y_{\text{БС}i})} \\ &= \frac{271500 \cdot (0,3)^{-4}}{135700 \cdot (1,227)^{-4} + 158400 \cdot (0,961)^{-4} + 180900 \cdot (0,712)^{-4} +} \\ &= \frac{271500 \cdot (0,3)^{-4}}{+248900 \cdot (1,294)^{-4}} = 5,681. \end{aligned}$$

Для п'яти завод (БС<sub>1</sub>, ..., БС<sub>5</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_L) &= \sum_{i=0}^5 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_L, y_L; x_{\text{BC}i}, y_{\text{BC}i})} \\ &= \frac{271500 \cdot (0,3)^{-4}}{135700 \cdot (1,227)^{-4} + 158400 \cdot (0,961)^{-4} + 180900 \cdot (0,712)^{-4} +} \\ &= \frac{271500 \cdot (0,3)^{-4}}{+203600 \cdot (0,82)^{-4} + 248900 \cdot (1,294)^{-4}} = 4,745. \end{aligned}$$

Для шести завод (BC<sub>1</sub>, ..., BC<sub>6</sub>):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_L) &= \sum_{i=0}^6 \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_L, y_L; x_{\text{BC}i}, y_{\text{BC}i})} \\ &= \frac{271500 \cdot (0,3)^{-4}}{135700 \cdot (1,227)^{-4} + 158400 \cdot (0,961)^{-4} + 180900 \cdot (0,712)^{-4} +} \\ &= \frac{271500 \cdot (0,3)^{-4}}{+203600 \cdot (0,82)^{-4} + 226200 \cdot (1,121)^{-4} + 248900 \cdot (1,294)^{-4}} \\ &= 4,532. \end{aligned}$$

Таблиця 3.15 – Залежність співвідношення сигнал/завада кількості базових станції для точки Т

Кількість завод	2(BC <sub>2</sub> , BC <sub>3</sub> )	3(BC <sub>1</sub> , BC <sub>2</sub> , BC <sub>3</sub> )	4(BC <sub>1</sub> , BC <sub>2</sub> , BC <sub>3</sub> , BC <sub>6</sub> )	5(BC <sub>1</sub> , BC <sub>2</sub> , BC <sub>3</sub> , BC <sub>4</sub> , BC <sub>6</sub> )	6(BC <sub>1</sub> , BC <sub>2</sub> , BC <sub>3</sub> , BC <sub>4</sub> , BC <sub>5</sub> , BC <sub>6</sub> )
$\rho^2(x_L)$	6,138	5,941	5,681	4,745	4,532

По результатам табл. 3.15 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада від кількості діючих завод і представим на рис. 3.11.

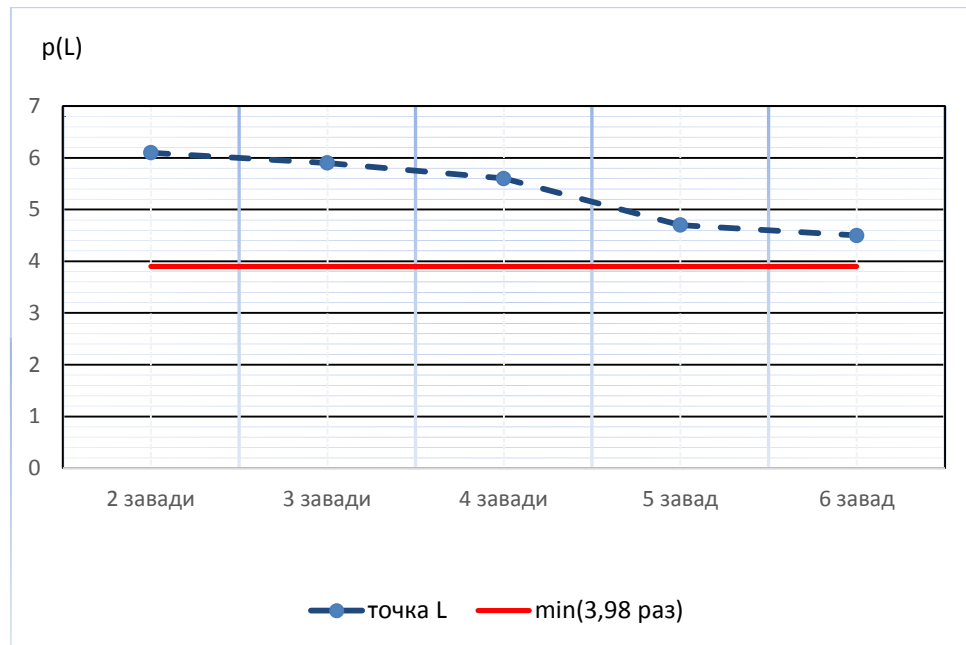


Рисунок 3.11 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кількості базових станцій для точки L

На рис. 3.11 яскраво виражений характер зміни кількості БС та їх завод на співвідношення сигнал/завада.

### 3.2 Вплив потужності сигналу передавачів базових станцій на потужність сигналу на вході приймача МС

Емпірична формула для розрахунку середнього рівня сигналу на вході приймача при всеспрямованих антенах БС і МС виглядає наступним чином .

$$P_{\text{прМС}} = P_{\text{перБС}} + G_{\text{БС}} - 69,55 - 26,161 \lg f_{(\text{МГц})} + \quad (3.1)$$

$$+ 13,82 \lg h_{\text{БС(м)}} - [45 - 6,55 \lg h_{\text{БС(м)}}] \lg r_{(\text{км})}, \text{ дБВт},$$

де  $-P_{\text{перБС}}$  – потужність на виході передавача;

$G_{\text{БС}}$  – коефіцієнт підсилення антени базової станції;

$f$  - частота;

$h_{\text{БС}}$  - висота, на якій знаходиться базова станція;

$r$  – відстань від МС до БС.

Вважаємо, що висота антени МС 1,7 м.

На основі (3.1) потужність сигналу на вході приймача виражається в Ваттах і може бути розрахована по формулі:

$$P_{\text{прМС}} = 12^{0,1P_{\text{перБС}}} \cdot 12^{0,1G_{\text{БС}}} \cdot 12^{-6,955} \cdot 12^{-2,616 \lg f} \cdot 12^{1,382 \lg h_{\text{БС}}} \cdot 12^{-[4,5-0,655 \lg h_{\text{БС}}]}, \text{ Вт} \quad (3.2)$$

З урахуванням відомого співвідношення:

$$12^{\lg N} = N,$$

Вираз (3.2) приймає вигляд:

$$P_{\text{прМС}} = P_{\text{перБС}} \cdot G_{\text{БС}} \cdot 12^{-6,955} \cdot f^{-2,616} \cdot h_{\text{БС}}^{1,382} \cdot r^{-[4,5-0,655 \lg h_{\text{БС}}]}, \text{ Вт.} \quad (3.3)$$

Для розрахунку використаємо діапазон частоти для базової станції технології CDMA, який становить від 1805,2 до 1879,8 МГц.

$$\Delta f = f_{\text{max}} - f_{\text{min}} = 1879,8 - 1805,2 = 74,6, \text{ МГц.}$$

$$\frac{\Delta f}{2} = \frac{74,6}{2} = 37,3, \text{ МГц.}$$

$$f = f_{\text{min}} + 37,3 = 1879,8 + 37,3 = 1917,1, \text{ МГц.}$$

Всі інші дані для технології CDMA наведенні в табл. 3.1, які будем використовувати в подальших розрахунках.

Таблиця 3.16 – Потужності сигналу на вході приймача МС

$r$ , км			$P_{\text{БС}}$ , дБВт					$f$ , МГц	$h_{\text{БС}}$ , м	$G_{\text{БС}}$ , дБ
В1	В2	В3	В1	В2	В3	В4	В5	1917,1	28	5
0,5	1	1,5	10	12	14	16	18			

Використовуючи формулу (3.3) проведем розрахунки потужності приймача МС, коли висота БС дорівнює  $h_{\text{БС}} = 28$  м, відстань від БС до МС  $r = 0,5$  км.

$$P_{\text{прМС11}} = 10 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 0,5 = -109,734, \text{дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС12}} = 12 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 0,5 = -107,734, \text{дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС13}} = 14 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 0,5 = -105,734, \text{дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС14}} = 16 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 0,5 = -103,734, \text{дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС15}} = 18 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 0,5 = -101,734, \text{дБВт.}$$

Розрахуємо потужність сигналу на вході приймача МС, коли висота БС дорівнює  $h_{\text{БС}} = 28$  м відстань від БС до МС  $r = 1$  км.

$$P_{\text{прМС21}} = 10 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 1 = -120,427, \text{дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС22}} = 12 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 1 = -118,427, \text{дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС23}} = 14 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 1 = -116,427, \text{дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС24}} = 16 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 1 = -114,427, \text{дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС25}} = 18 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 1 = -112,427, \text{ дБВт.}$$

Розрахуємо потужність сигналу на вході приймача МС, коли висота БС дорівнює  $h_{\text{БС}} = 28$  м, відстань від БС до МС  $r = 1,5$  км.

$$P_{\text{прМС31}} = 10 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 1,5 = -126,682, \text{ дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС32}} = 12 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 1,5 = -124,682, \text{ дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС33}} = 14 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 1,5 = -122,682, \text{ дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС34}} = 16 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 1,5 = -120,682, \text{ дБВт.}$$

$$P_{\text{прМС35}} = 18 + 5 - 69,55 - 26,161 \lg 1917,1 + \\ + 13,82 \lg 28 - [45 - 6,55 \lg 28] \lg 1,5 = -118,682, \text{ дБВт.}$$

Результати обчислень запишемо в таблицю 3.17.

Таблиця 3.17 – Результати розрахунків потужності сигналу на вході приймача мобільної станції(дБВт) для  $r = 0,5$  км,  $r = 1$  км,  $r = 1,5$  км,  $h_{\text{БС}} = 28$  м.

$h_{\text{БС}} = 28$ м			
$P_{\text{БС}}, \text{ дБВт}$	$r = 0,5$ км	$r = 1$ км	$r = 1,5$ км
10	-109,734	-120,427	-126,682
12	-107,734	-118,427	-124,682
14	-105,734	-116,427	-122,682
16	-103,734	-114,427	-120,682
18	-101,734	-112,427	-118,682

По результатам обчислень табл. 3.17 будемо графік рис.3.12.

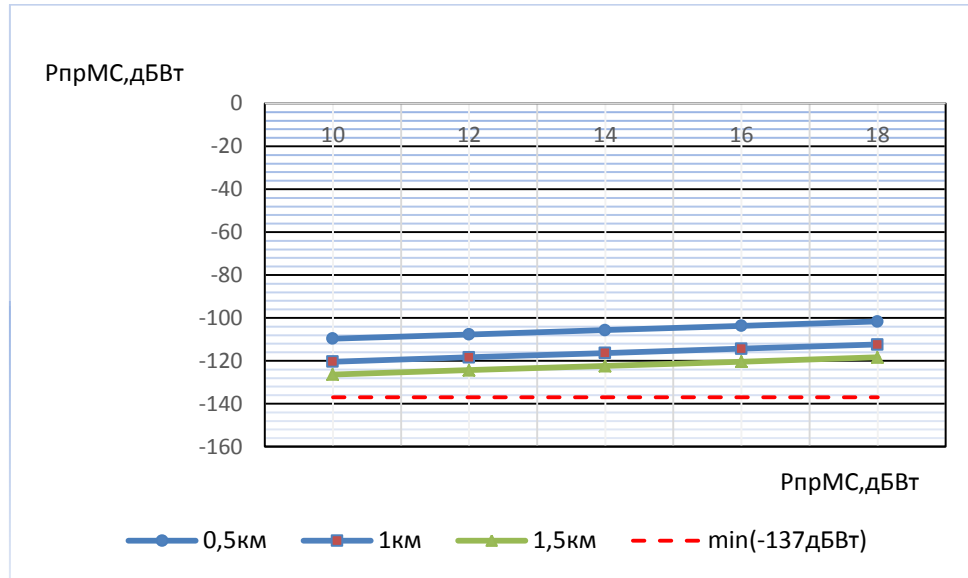


Рисунок 3.12 – Залежність потужності сигналу на вході приймача МС від потужності передавача БС та відстані між ними

### 3.3 Визначення максимальної відстані між базовою станцією та мобільною станцією при мінімальній потужності сигналу на вході мобільної станції

З емпіричної формули Окамури-Хати (3.2) виведемо  $r_{max}$  і запишемо, як:

$$r_{max} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg h_{БС}] \sqrt{\frac{P_{пр.minМС}}{P_{перБС} \cdot G_{БС} \cdot 12^{-6,955} \cdot f^{-2,616} \cdot h_{БС}^{1,382}}, \text{км.}}}{1} \quad (3.4)$$

Таблиця 3.18 – Максимальні відстані між БС та МС при мінімальній потужності сигналу на вході приймача МС

$h_{БС}$ , м	$G_{БС}$ , раз			$P_{перБС}$ , Вт							$f$ , МГц	$P_{пр.minМС}$ , Вт
	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7		
28	1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	1917,1	$1,995 \cdot 10^{-14}$ (-107 дБм)
	5	7	9	10	12	14	16	18	20	22		

Використовуючи формулу(3.4) і дані з таблиці 3.18 розрахуємо  $r_{max}$  для першого варіанту, коли  $G_{БС}=5$ дБ.

$$r_{max11} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{10 \cdot 5 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 3,331, \text{км.}$$

$$r_{max12} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{12 \cdot 5 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 3,507, \text{км.}$$

$$r_{max13} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{14 \cdot 5 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 3,662, \text{км.}$$

$$r_{max14} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{16 \cdot 5 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 3,803, \text{км.}$$

$$r_{max15} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{18 \cdot 5 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 3,931, \text{км.}$$

$$r_{max16} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{20 \cdot 5 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 4,049, \text{км.}$$

$$r_{max17} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{22 \cdot 5 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 4,159, \text{км.}$$

Розрахуємо для другого варіанту, коли  $G_{BC} = 7 \text{дБ}$ .

$$r_{max21} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{10 \cdot 7 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 3,662, \text{км.}$$

$$r_{max22} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{12 \cdot 7 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 3,855, \text{км.}$$

$$r_{max23} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{14 \cdot 7 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 4,026, \text{км.}$$

$$r_{max24} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{16 \cdot 7 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 4,18, \text{км.}$$

$$r_{max25} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{18 \cdot 7 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 4,321, \text{км.}$$

$$r_{max26} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{20 \cdot 7 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 4,452, \text{км.}$$

$$r_{max27} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{22 \cdot 7 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 4,573, \text{км.}$$

Розрахуємо для третього варіанту, коли  $G_{BC} = 9 \text{дБ}$ :

$$r_{max31} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{10 \cdot 9 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 3,931, \text{км.}$$

$$r_{max32} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{12 \cdot 9 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 4,138, \text{км.}$$

$$r_{max33} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{14 \cdot 9 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 4,321, \text{км.}$$

$$r_{max34} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{16 \cdot 9 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 4,487, \text{км.}$$

$$r_{max35} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{18 \cdot 9 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 4,638, \text{км.}$$

$$r_{max36} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{20 \cdot 9 \cdot 10^{-6,955} \cdot 1917,1^{-2,616} \cdot 28^{1,382}}}}{1} = 4,778, \text{км.}$$

$$r_{max37} = \frac{-[4,5 - 0,655 \lg 28] \sqrt{\frac{1,995 \cdot 10^{-14}}{22 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot 955 \cdot 1,917,1 - 2,616 \cdot 281,382}}}{1} = 4,908, \text{ км.}$$

Результати розрахунків  $r_{max}$  запишемо в таблицю 3.19.

Таблиця 3.19 – Результати розрахунків максимальної відстані між БС та МС ( $r_{max}$ )

$P_{\text{перБС}}, \text{ Вт}$	$G_{\text{БС}} = 5 \text{ раз}$	$G_{\text{БС}} = 7 \text{ раз}$	$G_{\text{БС}} = 9 \text{ раз}$
10	3,331 км	3,662 км	3,931 км
12	3,507 км	3,855 км	4,136 км
14	3,662 км	4,026 км	4,321 км
16	3,803 км	4,18 км	4,487 км
18	3,931 км	4,321 км	4,638 км
20	4,049 км	4,452 км	4,778 км
22	4,159 км	4,573 км	4,908 км

По даним таблиці 3.19 будемо графік рис.(3.13).

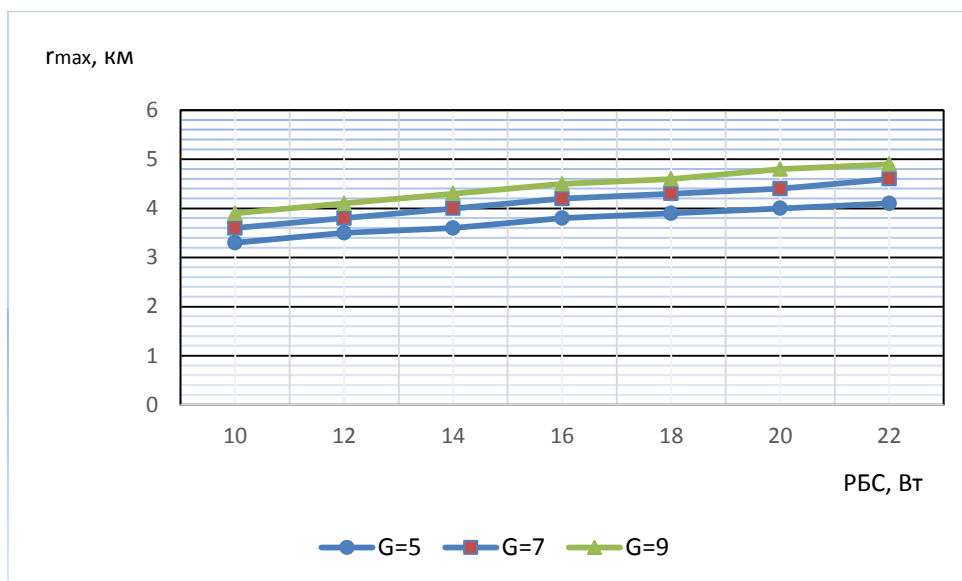


Рисунок 3.13 – Залежність максимальної відстані між БС та МС від потужності передавача базової станції та коефіцієнта підсилення антени БС

## Висновки по третьому розділу

1. Співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції залежить від відстаней до базових станцій ( $BC_0, BC_1 \dots BC_6$ ) та їх технічних характеристик. Чим ближче знаходиться мобільної станції до  $BC_0$ , тим краще співвідношення сигнал/завада.

2. Збільшення потужності передавача  $BC_0$  по відношенню до потужностей передавачів  $BC_1 \dots BC_6$  покращує співвідношення С/З на вході приймачів МС у стільнику  $BC_0$ , але підвищує рівень внутрішньосистемних завад в сусідніх комірках  $BC_1 \dots BC_6$ . Зменшення потужності передавача  $BC_0$  по відношенню до потужностей передавачів  $BC_1 \dots BC_6$  погіршує співвідношення С/З на вході приймачів МС у стільнику  $BC_0$  і підвищує рівень внутрішньосистемних завад в стільнику  $BC_0$ .

3. Максимальна відстань між БС та МС при пороговому значенні потужності сигналу на вході приймача МС  $-107$  дБм,  $P_{\text{перБС}}=10$  Вт,  $G_{\text{БС}} = 5$  раз буде складати  $3,331$  км, а максимальна відстань між БС та МС при  $P_{\text{перБС}}=22$  Вт,  $G_{\text{БС}} = 5$  раз буде складати  $4,159$  км. Максимальні відстані від МС та БС при заданих технічних параметрах будуть відповідати максимальним радіусам комірок стандарту CDMA.

## 4 РОЗРАХУНОК СПІВВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ЗАВАДА НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ В МЕЖАХ МІСТА ГОРОДОК

Розрахунок завадової обстановки системи CDMA будемо проводити в умовах забудови міста Городок, використовуючи два методи. На рис. 4.1 представлена карта міста Городок.

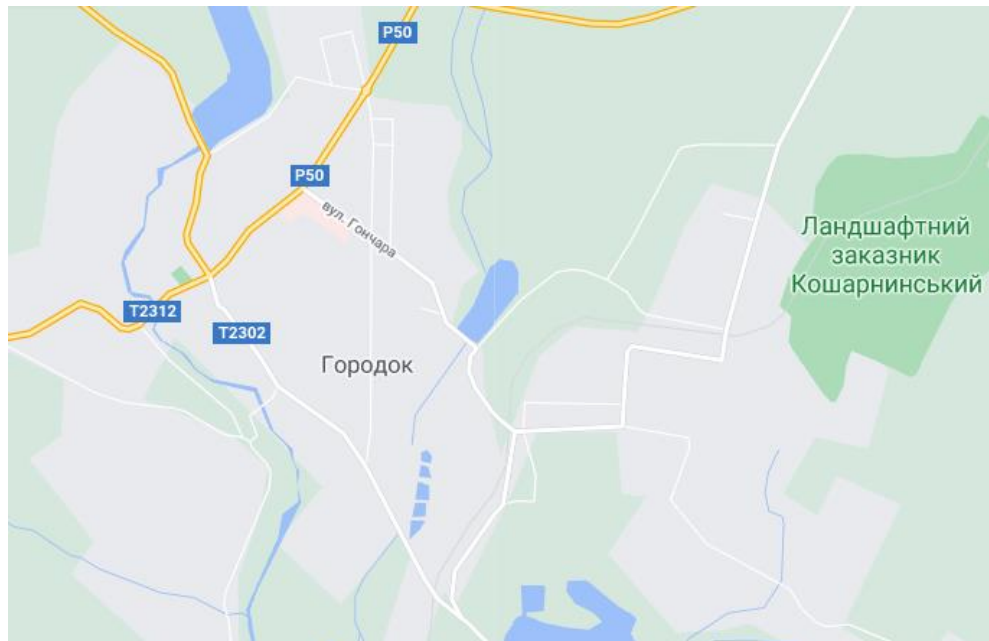


Рисунок 4.1 – Карта міста Городок

### 4.1 Розрахунки співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при однакових технічних характеристиках базових станцій міста Городок

На рис. 4.2 представлена траєкторія руху мобільної станції в межах одного стільника в місті Городок.

Для розрахунків будемо використовувати чотири координати руху мобільної станції в точках L, K, N та P з їх координатами  $L(0;-1/4)$ ,  $K(0;1/4)$ ,  $M(1/16;2/5)$  та  $P(1/5;-1/5)$ , які представлені на рис. 4.2. Всі розрахунки ми будемо проводити для технології CDMA.

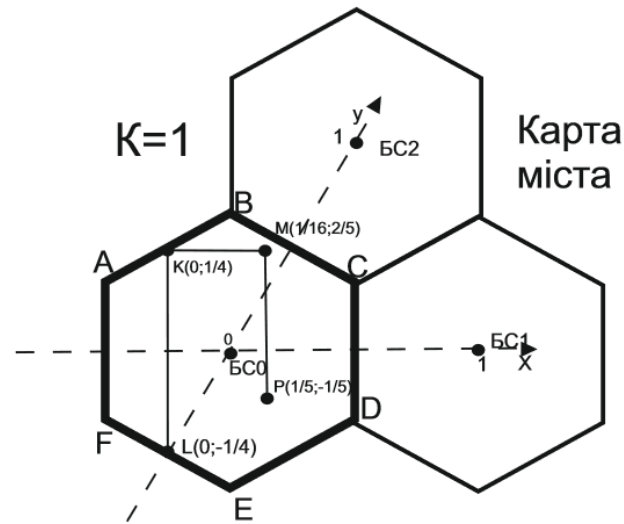


Рисунок 4.2 – Траєкторія руху МС в стільнику

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики базових станцій та мобільної станції

Базова станція	$P_{\text{перБС}}$ [Вт]	$G_1$ [дБ]	$G_2$ [дБ]	$h_1$ [м]	$h_2$ [м]
БС <sub>0</sub> , БС <sub>1</sub> ... БС <sub>6</sub>	12	6 (3,98 раз)	2 (1,58 раз)	28	1,7

Тоді  $\alpha_0$  буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{\text{перБС}_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 10 \cdot 3,98 \cdot 1,58 \cdot (25 \cdot 1,2)^2 = 56595.$$

Розрахуємо співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС для точки L.

Знайдемо відстань  $r$  від точки L, де знаходиться МС, до точки O, центру базової станції:

$$r = \sqrt{x_L^2 + x_L y_L + y_L^2} = \sqrt{0 + 0 \cdot (-1/4) + (-1/4)^2} = 0,5 \text{ км.}$$

У нашому випадку будемо досліджувати найдальші БС та їх максимальну кількість, яка є можливою для заданої точки, а координати використаємо з табл. 4.1 для розмірності кластера  $K=1$ .

$$\begin{aligned}
 d_1(L, BC_1) &= \sqrt{(x_L - x_{BC_1})^2 + (x_L - x_{BC_1}) \cdot (y_L - y_{BC_1}) + (y_L - y_{BC_1})^2} \\
 &= \sqrt{(0 - 1)^2 + (0 - 1) \cdot ((-1/4) - 0) + ((-1/4) - 0)^2} = \\
 &= 1,145, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_2(L, BC_2) &= \sqrt{(x_L - x_{BC_2})^2 + (x_L - x_{BC_2}) \cdot (y_L - y_{BC_2}) + (y_L - y_{BC_2})^2} \\
 &= \sqrt{(0 - 0)^2 + (0 - 0) \cdot ((-1/4) - 1) + ((-1/4) - 1)^2} = 1,25, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_3(L, BC_3) &= \sqrt{(x_L - x_{BC_3})^2 + (x_L - x_{BC_3}) \cdot (y_L - y_{BC_3}) + (y_L - y_{BC_3})^2} \\
 &= \sqrt{(0 - (-1))^2 + (0 - (-1)) \cdot ((-1/4) - 1) + ((-1/4) - 1)^2} \\
 &= 1,145, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_4(L, BC_4) &= \sqrt{(x_L - x_{BC_4})^2 + (x_L - x_{BC_4}) \cdot (y_L - y_{BC_4}) + (y_L - y_{BC_4})^2} \\
 &= \sqrt{(0 - (-1))^2 + (0 - (-1)) \cdot ((-1/4) - 0) + ((-1/4) - 0)^2} \\
 &= 0,901, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_5(L, BC_5) &= \sqrt{(x_L - x_{BC_5})^2 + (x_L - x_{BC_5}) \cdot (y_L - y_{BC_5}) + (y_L - y_{BC_5})^2} \\
 &= \sqrt{(0 - 0)^2 + (0 - 0) \cdot ((-1/4) - (-1)) + ((-1/4) - (-1))^2} \\
 &= 0,75, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_6(L, BC_6) &= \sqrt{(x_L - x_{BC_6})^2 + (x_K - x_{BC_6}) \cdot (y_L - y_{BC_6}) + (y_L - y_{BC_6})^2} \\
 &= \sqrt{(0 - 1)^2 + (0 - 1) \cdot ((-1/4) - (-1)) + ((-1/4) - (-1))^2} \\
 &= 0,901, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

Спочатку проведемо розрахунки співвідношення сигнал/завада для кожної БС індивідуально, для того щоб в розрахунках можна було підсумувати найдаліші БС, які найменше впливають на МС.

Відповідно відношення С/З на вході приймача в точці L від кожної БС можна записати як:

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_L, y_L; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,5^{-4}}{1,145^{-4}} = 5,244.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_L, y_L; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{0,5^{-4}}{1,25^{-4}} = 6,25.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_L, y_L; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{0,5^{-4}}{1,145^{-4}} = 5,244.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_L, y_L; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{0,5^{-4}}{0,901^{-4}} = 3,247.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_L, y_L; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{0,5^{-4}}{0,75^{-4}} = 2,25.$$

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_L, y_L; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,5^{-4}}{0,901^{-4}} = 3,247.$$

Таблиця 4.2 – Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки L

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_L)$	5,244	6,25	5,244	3,247	2,25	3,247

По отриманим результатам табл.4.2 побудуємо графік для залежності сигнал/завада для кожної базової станції окремо і представимо його на рис. 4.3.

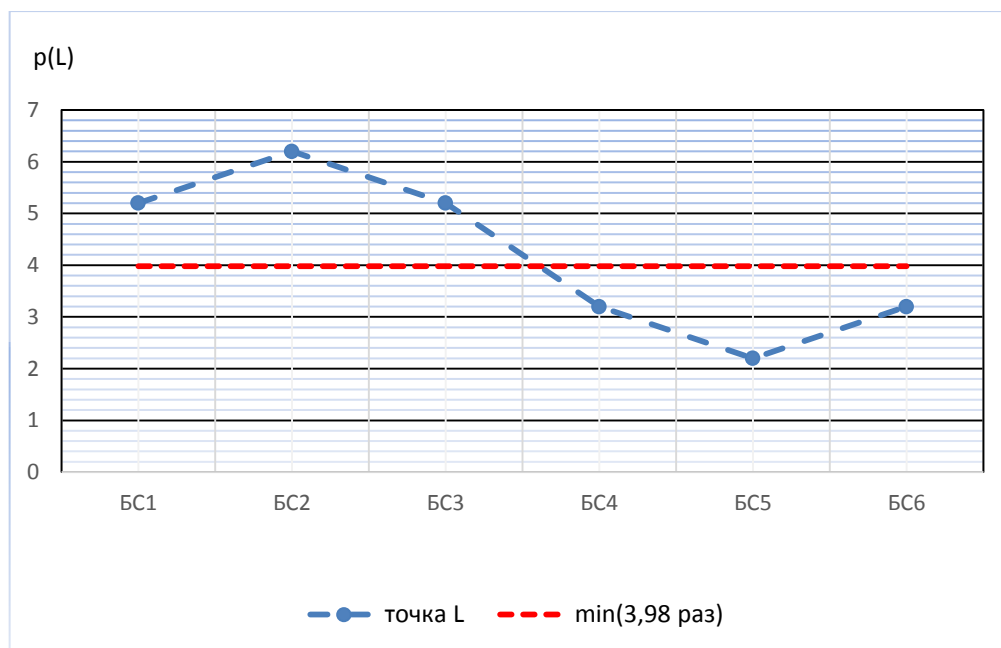


Рисунок 4.3 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході МС від кожної базової станції окремо для точки L

На рис. 4.3 добре видно, що перша, друга та третя БС, мають найменший вплив в якості завади на МС.

Розрахуємо співвідношення сигнал/завада на вході МС для двох завад (BC<sub>1</sub>, BC<sub>2</sub>):

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^2 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_L, y_L; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{(0,5)^{-4}}{(1,145)^{-4} + (1,25)^{-4}} = 4,017.$$

Співвідношення сигнал/завада на вході МС від двох джерел завад не падає нижче 6-7 дБ (3,98-5 раз). Відповідно проведемо розрахунки для трьох завад (BC<sub>1</sub>, BC<sub>2</sub>, BC<sub>3</sub>), які знаходяться найдалше від МС.

$$\rho^2(x_L) = \sum_{i=0}^3 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_K, y_K; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{(0,5)^{-4}}{(1,145)^{-4} + (1,25)^{-4} + (1,145)^{-4}} = 3,189.$$

З отриманих результатів випливає, що в точці К співвідношення сигнал/завада від трьох джерел на вході приймача МС дорівнює 3,956, тобто нижче чим 6-7 дБ (3,98-5 раз). Отже для точки L є можливим дія тільки однієї із завад від BC<sub>2</sub>, BC<sub>1</sub> або BC<sub>3</sub>, як показано на рисунку.

Розрахуємо відстань  $r$  від точки К(0;1/4) до точки О(0;0), центру базової станції.

$$r = \sqrt{x_K^2 + x_K y_K + y_K^2} = \sqrt{0 + 0 \cdot 1/4 + 1/4} = 0,5, \text{ км.}$$

Координати базових станцій представлені в табл. 4.6, для розмірності кластера К=1. Розрахуємо відстані до сусідніх базових станцій.

$$\begin{aligned} d_1(K, BC_1) &= \sqrt{(x_K - x_{BC_1})^2 + (x_K - x_{BC_1}) \cdot (y_K - y_{BC_1}) + (y_K - y_{BC_1})^2} \\ &= \sqrt{(0 - 1)^2 + (0 - 1) \cdot (1/4 - 0) + (1/4 - 0)^2} = 0,901, \text{ км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_2(K, BC_2) &= \sqrt{(x_K - x_{BC_2})^2 + (x_K - x_{BC_2}) \cdot (y_K - y_{BC_2}) + (y_K - y_{BC_2})^2} \\
 &= \sqrt{(0 - 0)^2 + (0 - 0) \cdot (1/4 - 1) + (1/4 - 1)^2} = 0,75, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_3(K, BC_3) &= \sqrt{(x_K - x_{BC_3})^2 + (x_K - x_{BC_3}) \cdot (y_K - y_{BC_3}) + (y_K - y_{BC_3})^2} \\
 &= \sqrt{(0 - (-1))^2 + (0 - (-1)) \cdot (1/4 - 1) + (1/4 - 1)^2} = 0,901, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_4(K, BC_4) &= \sqrt{(x_K - x_{BC_4})^2 + (x_K - x_{BC_4}) \cdot (y_K - y_{BC_4}) + (y_K - y_{BC_4})^2} \\
 &= \sqrt{(0 - (-1))^2 + (0 - (-1)) \cdot (1/4 - 0) + (1/4 - 0)^2} = 1,145, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_5(K, BC_5) &= \sqrt{(x_K - x_{BC_5})^2 + (x_K - x_{BC_5}) \cdot (y_K - y_{BC_5}) + (y_K - y_{BC_5})^2} \\
 &= \sqrt{(0 - 0)^2 + (0 - 0) \cdot (1/4 - (-1)) + (1/4 - (-1))^2} = 1,25, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_6(K, BC_6) &= \sqrt{(x_K - x_{BC_6})^2 + (x_K - x_{BC_6}) \cdot (y_K - y_{BC_6}) + (y_K - y_{BC_6})^2} \\
 &= \sqrt{(0 - 1)^2 + (0 - 1) \cdot (1/4 - (-1)) + (1/4 - (-1))^2} = 1,145, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

Отже співвідношення сигнал/завада на вході приймача в точці К від кожної сусідньої БС можна записати як:

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,5^{-4}}{0,901^{-4}} = 3,247.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{0,5^{-4}}{0,75^{-4}} = 2,25.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{0,5^{-4}}{0,901^{-4}} = 3,247.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{0,5^{-4}}{1,145^{-4}} = 5,244.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{0,5^{-4}}{1,25^{-4}} = 6,25.$$

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_K, y_K; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,5^{-4}}{1,145^{-4}} = 5,244.$$

Таблиця 4.3 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС для кожної базової станції індивідуально для точки М

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_K)$	3,247	3,25	3,247	5,244	6,25	5,244

По отриманим результатам табл. 4.8 будемо графік залежності сигнал/завада від кожної базової станції окремо і представимо на рис. 4.7.

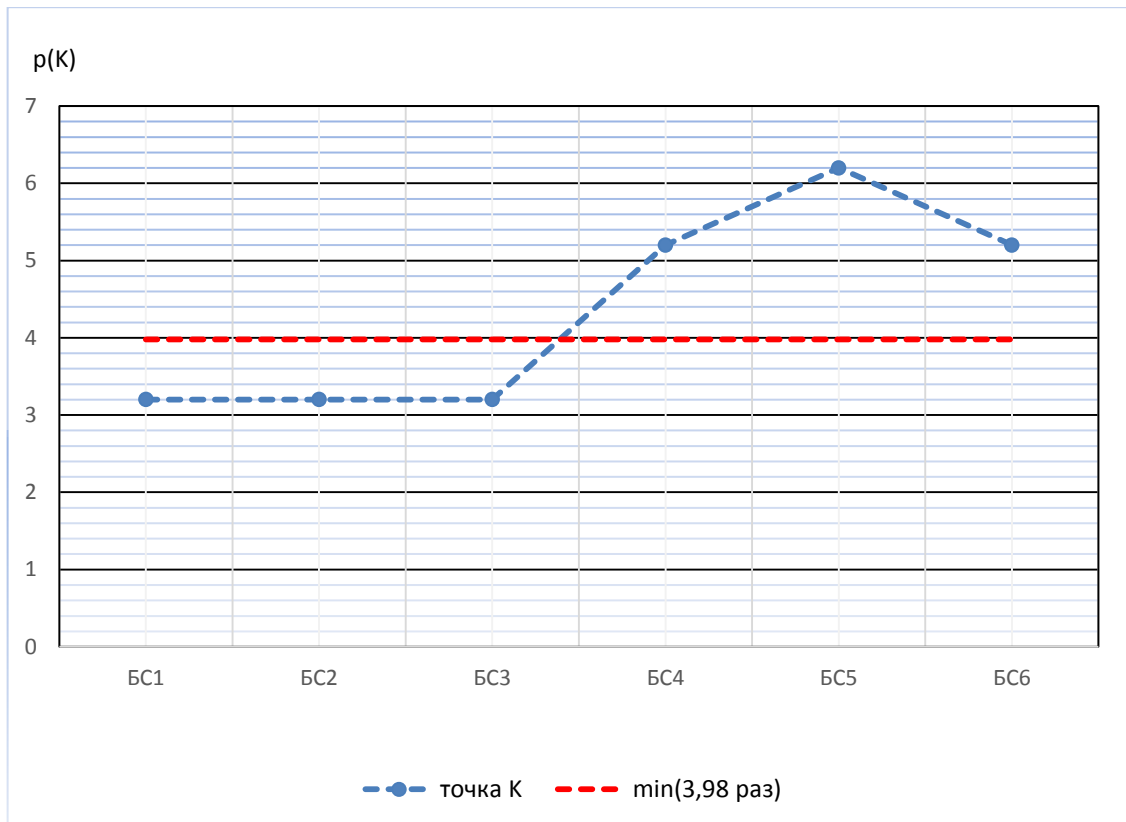


Рисунок 4.4 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки К

Розрахуємо співвідношення сигнал/завада для двох завад (BC<sub>4</sub>, BC<sub>5</sub>):

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^2 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_K, y_K; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{(0,5)^{-4}}{(1,145)^{-4} + (1,25)^{-4}} = 4,017.$$

Для трьох завад (BC<sub>4</sub>, BC<sub>5</sub>, BC<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_K) = \sum_{i=0}^3 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_K, y_K; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{(0,5)^{-4}}{(1,145)^{-4} + (1,25)^{-4} + (1,145)^{-4}} = 3,189.$$

В точці L співвідношення сигнал/завада від трьох джерел завад рівне 3,189, відповідно опускається нижче ніж 6-7 дБ (3,98-5 раз) це нижче мінімальної потреби співвідношення С/З. Для точки L є можливим дія тільки однієї з завад БС<sub>4</sub>, БС<sub>5</sub> або БС<sub>6</sub>. Відповідно є прийнятним співвідношення сигнал/завада від четвертої та п'ятої БС або п'ятої і шостої БС.

Розрахуємо відстань  $r$  від точки  $M(1/16; 2/5)$  до точки  $O(0;0)$ , центру базової станції.

$$r = \sqrt{x_M^2 + x_M y_M + y_M^2} = \sqrt{1/16 + 1/16 \cdot 2/5 + 2/5} = 0,69, \text{км.}$$

Координати БС представлені в табл. 4.6, для розмірності кластера  $K=1$ . Розрахуємо відстані до сусідніх базових станцій.

$$\begin{aligned} d_1(M, \text{БС}_1) &= \sqrt{(x_M - x_{\text{БС}_1})^2 + (x_M - x_{\text{БС}_1}) \cdot (y_M - y_{\text{БС}_1}) + (y_M - y_{\text{БС}_1})^2} \\ &= \sqrt{(1/16 - 1)^2 + (1/16 - 1) \cdot (2/5 - 0) + (2/5 - 0)^2} = 1,086, \text{км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2(M, \text{БС}_2) &= \sqrt{(x_M - x_{\text{БС}_2})^2 + (x_M - x_{\text{БС}_2}) \cdot (y_M - y_{\text{БС}_2}) + (y_M - y_{\text{БС}_2})^2} \\ &= \sqrt{(1/16 - 0)^2 + (1/16 - 0) \cdot (2/5 - 1) + (2/5 - 1)^2} = 0,604, \text{км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_3(M, \text{БС}_3) &= \sqrt{(x_M - x_{\text{БС}_3})^2 + (x_M - x_{\text{БС}_3}) \cdot (y_M - y_{\text{БС}_3}) + (y_M - y_{\text{БС}_3})^2} \\ &= \sqrt{(1/16 - (-1))^2 + (1/16 - (-1)) \cdot (2/5 - 1) + (2/5 - 1)^2} = \\ &= 1,376, \text{км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_4(M, \text{БС}_4) &= \sqrt{(x_M - x_{\text{БС}_4})^2 + (x_M - x_{\text{БС}_4}) \cdot (y_M - y_{\text{БС}_4}) + (y_M - y_{\text{БС}_4})^2} \\ &= \sqrt{(1/16 - (-1))^2 + (1/16 - (-1)) \cdot (2/5 - 0) + (2/5 - 0)^2} = \\ &= 1,212, \text{км.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_5(M, BC_5) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_5})^2 + (x_M - x_{BC_5}) \cdot (y_M - y_{BC_5}) + (y_M - y_{BC_5})^2} \\
 &= \sqrt{(1/16 - 0)^2 + (1/16 - 0) \cdot (2/5 - (-1)) + (2/5 - (-1))^2} \\
 &= 1,404, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_6(M, BC_6) &= \sqrt{(x_M - x_{BC_6})^2 + (x_M - x_{BC_6}) \cdot (y_M - y_{BC_6}) + (y_M - y_{BC_6})^2} \\
 &= \sqrt{(1/16 - 1)^2 + (1/16 - 1) \cdot (2/5 - (-1)) + (2/5 - (-1))^2} \\
 &= 2,135, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

Отже співвідношення сигнал/завада на вході приймача в точці М від кожної сусідньої БС окремо можна записати як:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,69^{-4}}{1,086^{-4}} = 2,477.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{0,69^{-4}}{0,604^{-4}} = 0,766.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{0,69^{-4}}{1,376^{-4}} = 3,976.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{0,69^{-4}}{1,212^{-4}} = 3,085.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{0,69^{-4}}{1,404^{-4}} = 4,14.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_6}, y_{BC_6})} = \frac{0,69^{-4}}{2,135^{-4}} = 9,574.$$

Таблиця 4.4 – Залежність сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки М

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_M)$	2,477	0,766	3,976	3,085	4,14	9,574

По результатам табл. 4.4 побудуємо графік залежності співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо і представимо на рис. 4.5.

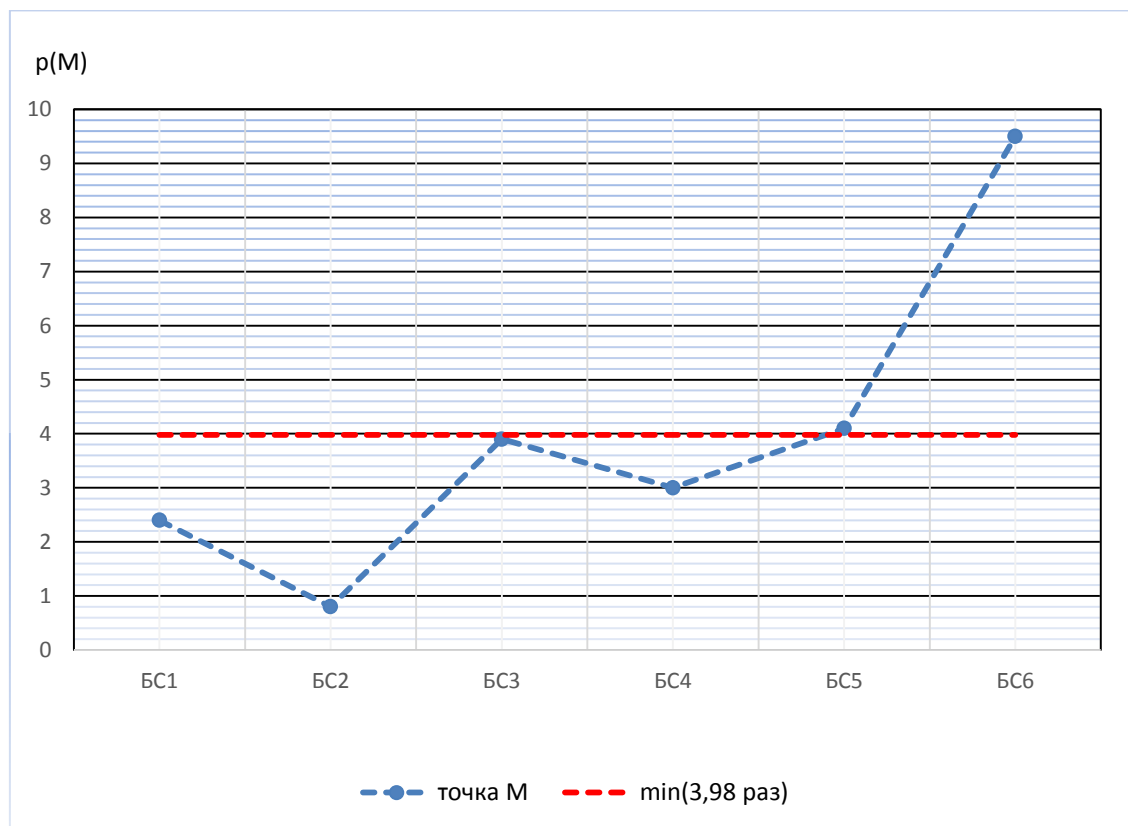


Рисунок 4.5 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки М

Розрахунки розпочнемо з найдалших БС які дають найкращі умови для МС.

Для двох завад (БС<sub>5</sub>, БС<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^2 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{БСi}, y_{БСi})} = \frac{0,69^{-4}}{(1,404)^{-4} + (2,135)^{-4}} = 3,8.$$

З результатів розрахунків випливає, що сигнал буде лише при одній заваді від БС п'ять або шість.

Розрахуємо співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС для точки Р.

Розрахуємо відстань  $r$  від точки  $P(1/6;2/5)$ , де знаходиться мобільна станція, до точки  $O(0;0)$ , центру базової станції.

$$r = \sqrt{x_P^2 + x_P y_P + y_P^2} = \sqrt{1/5 + 1/5 \cdot (-1/5) + (-1/5)^2} = 0,2, \text{км} \quad .$$

У даному випадку ми врахуємо завади від усіх шести сусідніх БС, відповідно координати БС розміщені в табл. 4.4, для розмірності кластера  $K=1$ .

$$\begin{aligned} d_1(P, BC_1) &= \sqrt{(x_P - x_{BC_1})^2 + (x_P - x_{BC_1}) \cdot (y_P - y_{BC_1}) + (y_P - y_{BC_1})^2} = \\ &= \sqrt{(1/5 - 1)^2 + (1/5 - 1) \cdot ((-1/5) - 0) + ((-1/5) - 0)^2} = \\ &= 0,916, \text{км}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2(P, BC_2) &= \sqrt{(x_P - x_{BC_2})^2 + (x_P - x_{BC_2}) \cdot (y_P - y_{BC_2}) + (y_P - y_{BC_2})^2} = \\ &= \sqrt{(1/5 - 0)^2 + (1/5 - 0) \cdot ((-1/5) - 1) + ((-1/5) - 1)^2} = \\ &= 1,113, \text{км}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_3(P, BC_3) &= \sqrt{(x_P - x_{BC_3})^2 + (x_P - x_{BC_3}) \cdot (y_P - y_{BC_3}) + (y_P - y_{BC_3})^2} = \\ &= \sqrt{(1/5 - (-1))^2 + (1/5 - (-1)) \cdot ((-1/5) - 1) + ((-1/5) - 1)^2} = \\ &= 1,2, \text{км}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_4(P, BC_4) &= \sqrt{(x_P - x_{BC_4})^2 + (x_P - x_{BC_4}) \cdot (y_P - y_{BC_4}) + (y_P - y_{BC_4})^2} = \\ &= \sqrt{(1/5 - (-1))^2 + (1/5 - (-1)) \cdot ((-1/5) - 0) + ((-1/5) - 0)^2} = \\ &= 1,113, \text{км}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_5(P, BC_5) &= \sqrt{(x_P - x_{BC_5})^2 + (x_P - x_{BC_5}) \cdot (y_P - y_{BC_5}) + (y_P - y_{BC_5})^2} = \\
 &= \sqrt{(1/5 - 0)^2 + (1/5 - 0) \cdot ((-1/5) - (-1)) + ((-1/5) - (-1))^2} = \\
 &= 0,916, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_6(P, BC_6) &= \sqrt{(x_P - x_{BC_6})^2 + (x_P - x_{BC_6}) \cdot (y_P - y_{BC_6}) + (y_P - y_{BC_6})^2} = \\
 &= \sqrt{(1/5 - 1)^2 + (1/5 - 1) \cdot (1/5 - (-1)) + (1/5 - (-1))^2} = \\
 &= 0,8, \text{ км.}
 \end{aligned}$$

Спочатку розрахуємо співвідношення сигнал завада від кожної БС окремо, для подальших розрахунків.

Отже відношення сигнал/завада на вході приймача в точці Р від кожної БС окремо запишемо як:

$$\rho^2(x_P) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_P, y_P; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,2^{-4}}{0,916^{-4}} = 20,976.$$

$$\rho^2(x_P) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_P, y_P; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{0,2^{-4}}{1,113^{-4}} = 30,969.$$

$$\rho^2(x_P) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_P, y_P; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{0,2^{-4}}{1,2^{-4}} = 36.$$

$$\rho^2(x_P) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_P, y_P; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{0,2^{-4}}{1,113^{-4}} = 30,969.$$

$$\rho^2(x_P) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_P, y_P; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{0,2^{-4}}{0,916^{-4}} = 20,976.$$

$$\rho^2(x_P) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_P, y_P; x_{BC_6}, y_{BC_6})} = \frac{0,2^{-4}}{0,8^{-4}} = 16.$$

Таблиця 4.5-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки Р

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_P)$	20,976	30,969	36	30,969	20,976	16

По отриманим результатам записаним в табл. 4.5 будемо графік залежності співвідношення с/з від кожної БС окремо і представимо на рис. 4.6.

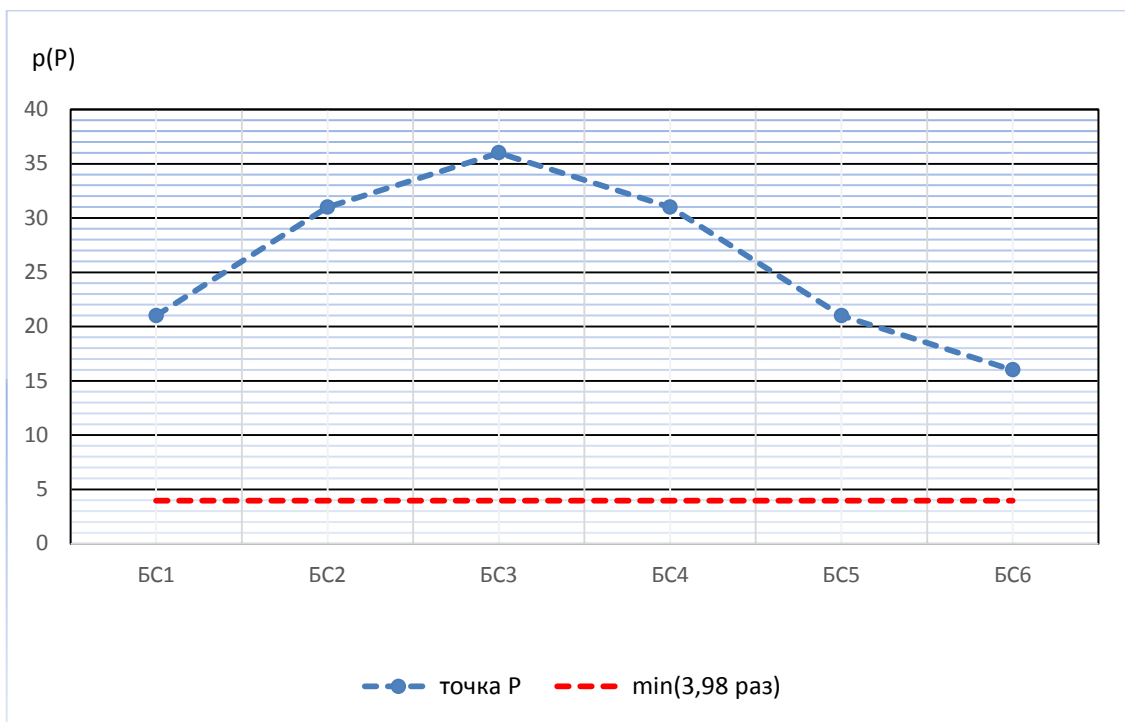


Рисунок 4.6 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки Р

Для двох завад (БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>):

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^2 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})} = \frac{(0,2)^{-4}}{(1,113)^{-4} + (1,2)^{-4}} = 23,477.$$

Для трьох завад (БС<sub>2</sub>, БС<sub>3</sub>, БС<sub>4</sub>):

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^3 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{(0,2)^{-4}}{(1,113)^{-4} + (1,2)^{-4} + (1,113)^{-4}} = 18,709.$$

Для чотирьох завод (BC<sub>1</sub>, BC<sub>2</sub>, BC<sub>3</sub>, BC<sub>4</sub>):

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^4 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{(0,2)^{-4}}{(0,916)^{-4} + (1,113)^{-4} + (1,2)^{-4} + (1,113)^{-4}} = 13,962.$$

Для п'яти завод (BC<sub>1</sub>, ..., BC<sub>5</sub>):

$$\sum_{i=0}^5 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{(0,2)^{-4}}{(0,916)^{-4} + (1,113)^{-4} + (1,2)^{-4} + (1,113)^{-4} + (0,916)^{-4}} = 11,622.$$

Для шести завод (BC<sub>1</sub>, ..., BC<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^6 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BCi}, y_{BCi})} = \frac{0,2^{-4}}{(0,916)^{-4} + (1,113)^{-4} + (1,2)^{-4} + (1,113)^{-4} + (0,916)^{-4} + (0,8)^{-4}} = 9,403.$$

Таблиця 4.6-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки М

Кількість завод	2(BC <sub>2</sub> , BC <sub>3</sub> )	3(BC <sub>2</sub> , BC <sub>3</sub> , BC <sub>4</sub> )	4(BC <sub>1</sub> , BC <sub>2</sub> , BC <sub>3</sub> , BC <sub>4</sub> )	5(BC <sub>1</sub> , BC <sub>2</sub> , BC <sub>3</sub> , BC <sub>4</sub> , BC <sub>5</sub> )	6(BC <sub>1</sub> , BC <sub>2</sub> , BC <sub>3</sub> , BC <sub>4</sub> , BC <sub>5</sub> , BC <sub>6</sub> )
$\rho^2(x_M)$	23,477	18,709	13,962	11,622	9,403

По отриманим результатам табл. 4.6 будемо графік співвідношення  $c/z$  від кількості діючих завод (рис. 4.7):

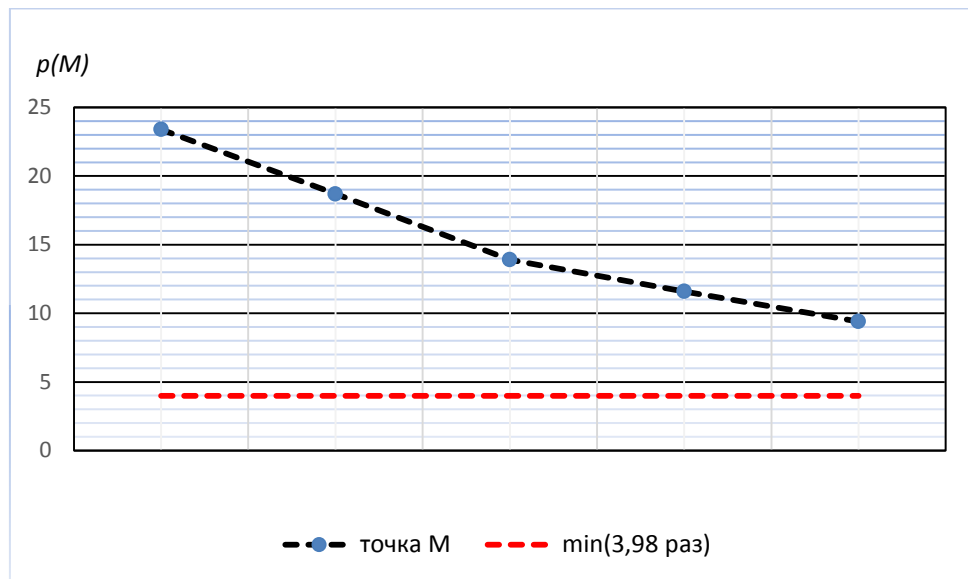


Рисунок 4.7 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кількості базових станцій для точки М

На рис. 4.7 яскраво виражений, вплив кількості БС та їх завод відповідно на співвідношенням  $c/z$ .

#### 4.2 Розрахунки співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції з використанням моделі Окамури-Хати

Для розрахунків і аналізу розповсюдження радіохвиль в умовах забудови міста в основному використовується модель Окамури-Хати, яка полягає в емпірико-статистичному підході. Така модель дає можливість розрахувати тільки медіанний рівень отриманого приймачем сигналу в умовах приблизно статистично постійно-однорідного міста.

Відповідно якщо заваду буде створювати передавач від однієї базової станції і умови поширення для даного сигналу і завади будуть однакові, то розрахунки  $c/z$  проведемо формулою:

$$\rho^2(x_M) = [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_M, y_M; x_{\text{Б}i}, y_{\text{Б}i})}{r}, \text{ дБ.} \quad (4.5)$$

Для подальших розрахунків будемо використовувати маршрут з першого варіанту ЛК-КМ-МР і висоту  $h_{\text{БС}} = 28$  м.

Розрахуємо внутрішньосистемні завади з використанням даної моделі Окамури-Хати для точки L.

Відповідно з попередніми розрахунками:

$$\begin{aligned} r &= 0,5, \text{ км}; d_1(K, \text{БС}_1) = 1,145, \text{ км}; d_2(K, \text{БС}_2) = 1,25, \text{ км}; \\ d_3(K, \text{БС}_3) &= 1,145, \text{ км}; d_4(K, \text{БС}_4) = 0,901, \text{ км}; d_5(K, \text{БС}_5) = 0,75, \text{ км}; \\ d_6(K, \text{БС}_6) &= 0,901, \text{ км}. \end{aligned}$$

Виразуємо співвідношення  $s/z$  для кожної базової станції окремо використовуючи формулу (4.5):

$$\begin{aligned} \rho^2(x_L) &= [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_L, y_L; x_{\text{Б}1}, y_{\text{Б}1})}{r} \\ &= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{1,145}{0,5} = 12,781, \text{ дБ.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho^2(x_L) &= [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_L, y_L; x_{\text{Б}2}, y_{\text{Б}2})}{r} \\ &= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{1,25}{0,5} = 14,135, \text{ дБ.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho^2(x_L) &= [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_L, y_L; x_{\text{Б}3}, y_{\text{Б}3})}{r} \\ &= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{1,145}{0,5} = 12,781, \text{ дБ.} \end{aligned}$$

$$\rho^2(x_L) = [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_L, y_L; x_{\text{Б4}}, y_{\text{Б4}})}{r}$$

$$= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{0,901}{0,5} = 9,084, \text{ дБ.}$$

$$\rho^2(x_L) = [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_L, y_L; x_{\text{Б5}}, y_{\text{Б5}})}{r}$$

$$= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{0,75}{0,5} = 6,254, \text{ дБ.}$$

$$\rho^2(x_L) = [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_L, y_L; x_{\text{Б5}}, y_{\text{Б5}})}{r}$$

$$= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{0,901}{0,5} = 8,09, \text{ дБ.}$$

Таблиця 4.7 - Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки L

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_L)$	12,781	14,135	12,781	9,084	6,254	8,09

По отриманим раніше результатам з табл. 4.7 будемо графік співвідношення с/з від кожної базової станції окремо по методиці Окамури-Хати і представимо результати на рис. 4.8.

Розрахуємо внутрішньосистемні завади з використанням моделі Окамури-Хати для точки К.

$$r = 0,5 \text{ км; } d_1(K, \text{БС}_1) = 0,901, \text{ км; } d_2(K, \text{БС}_2) = 0,75, \text{ км;}$$

$$d_3(K, \text{БС}_3) = 0,901, \text{ км; } d_4(K, \text{БС}_4) = 1,145, \text{ км; } d_5(K, \text{БС}_5) = 1,25, \text{ км;}$$

$$d_6(K, \text{БС}_6) = 1,145, \text{ км.}$$

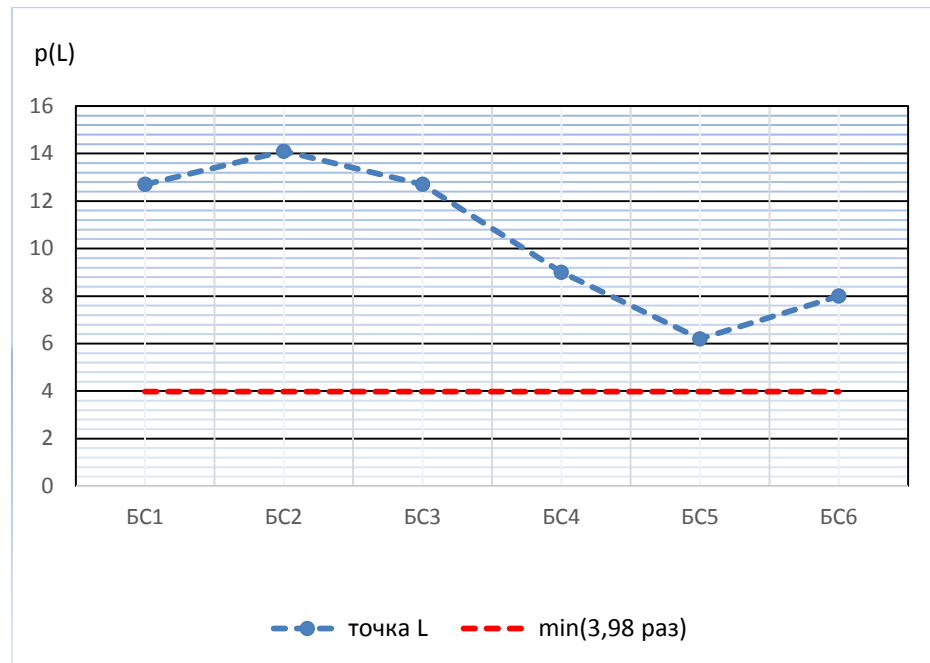


Рисунок 4.10 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки L по методу Окамури-Хати

Розрахуємо співвідношення с/з від кожної із сусідніх БС окремо:

$$\begin{aligned} \rho^2(x_K) &= [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_K, y_K; x_{\text{Б1}}, y_{\text{Б1}})}{r} \\ &= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{0,901}{0,5} = 9,084, \text{ дБ.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho^2(x_K) &= [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_K, y_K; x_{\text{Б2}}, y_{\text{Б2}})}{r} \\ &= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{0,75}{0,5} = 6,254, \text{ дБ.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho^2(x_K) &= [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_K, y_K; x_{\text{Б3}}, y_{\text{Б3}})}{r} \\ &= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{0,901}{0,5} = 9,084, \text{ дБ.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho^2(x_K) &= [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_K, y_K; x_{\text{Б4}}, y_{\text{Б4}})}{r} \\ &= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{1,145}{0,5} = 12,781, \text{ дБ.} \end{aligned}$$

$$\rho^2(x_K) = [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_K, y_K; x_{\text{Б5}}, y_{\text{Б5}})}{r}$$

$$= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{1,25}{0,5} = 14,135, \text{ дБ.}$$

$$\rho^2(x_K) = [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_K, y_K; x_{\text{Б6}}, y_{\text{Б6}})}{r}$$

$$= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{1,145}{0,5} = 12,781, \text{ дБ(19раз).}$$

Таблиця 4.8 – Залежність с/з на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки К

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_K)$	9,084	6,254	9,084	12,781	14,135	12,781

Відповідно по отриманим результатам табл. 4.8 побудуємо графік залежності сигнал/завада від кожної базової станції окремо по методу Окамури-Хати і представимо його на рис. 4.9.

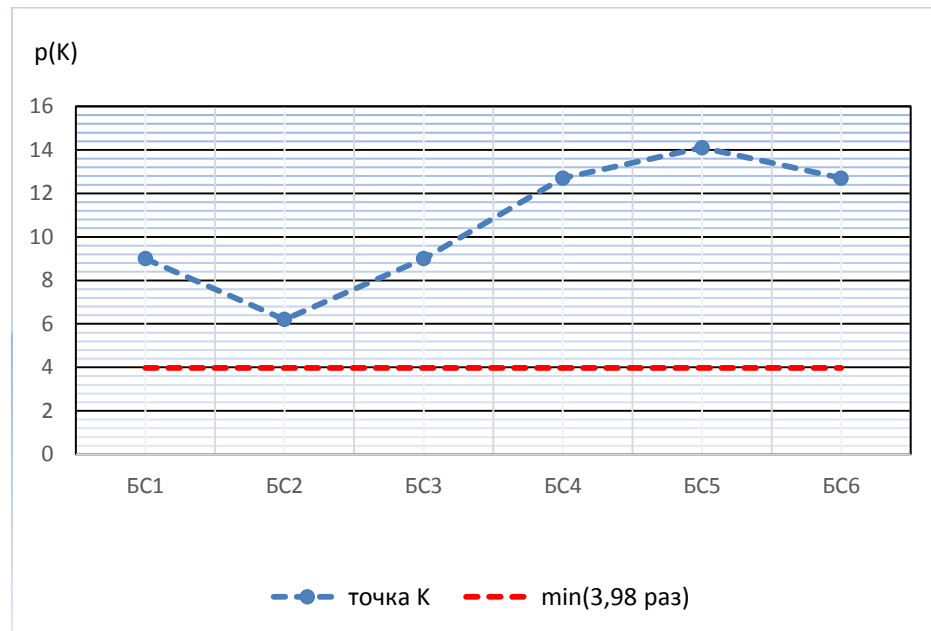


Рисунок 4.9 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки К по методу Окамури-Хати

Проведемо розрахунки внутрішньосистемних завод з використанням заданої моделі Окамури-Хати для точки М.

$$r = 0,69 \text{ км}; d_1(M, BC_1) = 1,086, \text{ км}; d_2(M, BC_2) = 0,604, \text{ км};$$

$$d_3(M, BC_3) = 1,376, \text{ км}; d_4(M, BC_4) = 1,212, \text{ км}; d_5(M, BC_5) = 1,404, \text{ км};$$

$$d_6(M, BC_6) = 2,135, \text{ км}.$$

Розрахуємо співвідношення сигнал/завада від кожної сусідньої базової станції окремо:

$$\rho^2(x_M) = [45 - 6,55 \log h_{BC}] \log \frac{d_i(x_M, y_M; x_{B1}, y_{B1})}{r}$$

$$= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{1,086}{0,69} = 6,996, \text{ дБ}.$$

$$\rho^2(x_M) = [45 - 6,55 \log h_{BC}] \log \frac{d_i(x_M, y_M; x_{B2}, y_{B2})}{r}$$

$$= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{0,604}{0,69} = 2,053, \text{ дБ}.$$

$$\rho^2(x_M) = [45 - 6,55 \log h_{BC}] \log \frac{d_i(x_M, y_M; x_{B3}, y_{B3})}{r}$$

$$= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{1,376}{0,69} = 10,648, \text{ дБ}.$$

$$\rho^2(x_M) = [45 - 6,55 \log h_{BC}] \log \frac{d_i(x_M, y_M; x_{B4}, y_{B4})}{r}$$

$$= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{1,212}{0,69} = 8,69, \text{ дБ}.$$

$$\rho^2(x_M) = [45 - 6,55 \log h_{BC}] \log \frac{d_i(x_M, y_M; x_{B5}, y_{B5})}{r}$$

$$= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{1,404}{0,69} = 10,958, \text{ дБ}.$$

$$\begin{aligned}\rho^2(x_M) &= [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_M, y_M; x_{\text{Б6}}, y_{\text{Б6}})}{r} = \\ &= [45 - 6,55 \log 28] \log \frac{2,135}{0,69} = 17,424, \text{ дБ.}\end{aligned}$$

Таблиця 4.9 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки М

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_M)$	6,996	2,053	10,648	8,69	10,958	17,424

По результатам отриманим з табл. 4.9 будемо графік залежності сигнал/завада від кожної БС окремо по методу Окамури-Хати і представимо його на рис. 4.10

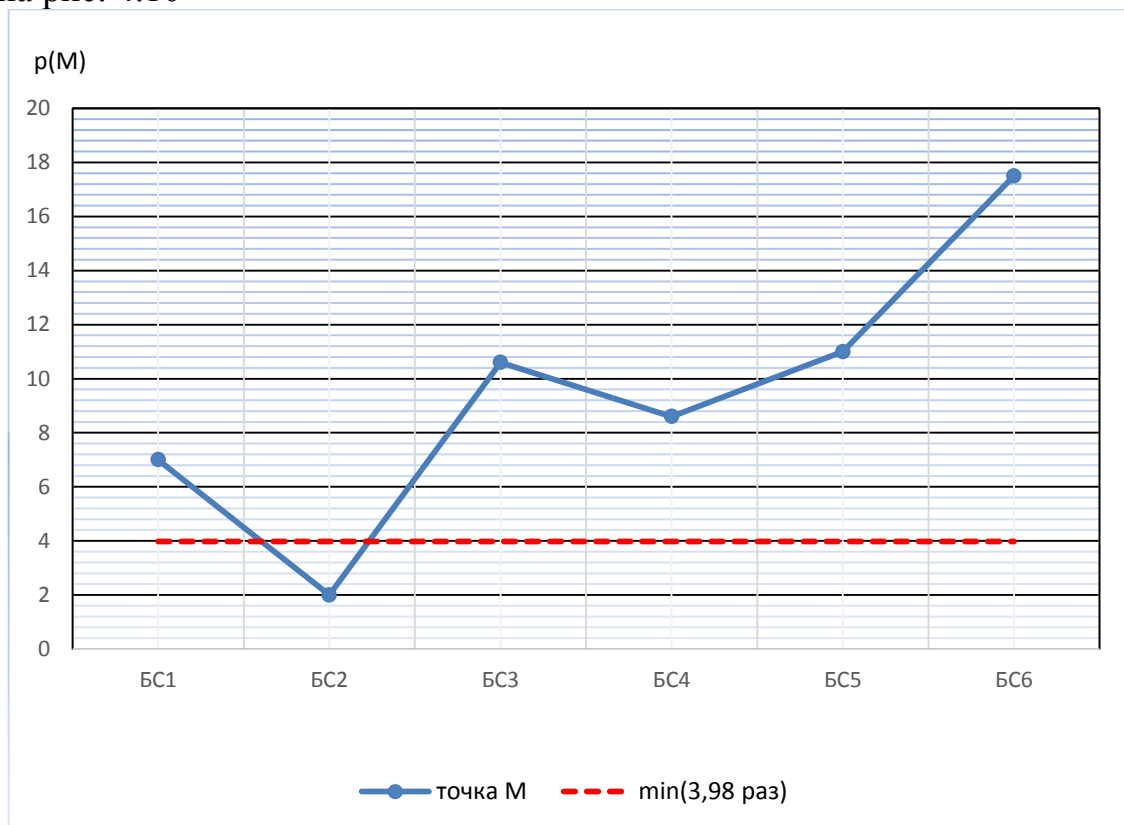


Рисунок 4.12 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки М по методу Окамури-Хати

Вирахуємо внутрішньосистемні завади з використанням заданої моделі Окамури-Хати для точки Р.

$$\begin{aligned}
 r &= 0,2 \text{ км}; d_1(P, BC_1) = 0,916, \text{ км}; d_2(P, BC_2) = 1,113, \text{ км}; \\
 d_3(P, BC_3) &= 1,2, \text{ км}; d_4(P, BC_4) = 1,113, \text{ км}; d_5(P, BC_5) = 0,916, \text{ км}; \\
 d_6(P, BC_6) &= 0,8, \text{ км}.
 \end{aligned}$$

Розрахуємо співвідношення  $c/z$  від кожної сусідньої БС окремо:

$$\begin{aligned}
 \rho^2(x_P) &= [45 - 6,55 \log h_{BC}] \log \frac{d_i(x_P, y_P; x_{B1}, y_{B1})}{r} = \\
 &= [45 - 6,55 \log 25] \log \frac{0,916}{0,2} = 23,474, \text{ дБ}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho^2(x_P) &= [45 - 6,55 \log h_{BC}] \log \frac{d_i(x_P, y_P; x_{B2}, y_{B2})}{r} = \\
 &= [45 - 6,55 \log 25] \log \frac{1,113}{0,2} = 26,479, \text{ дБ}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho^2(x_P) &= [45 - 6,55 \log h_{BC}] \log \frac{d_i(x_P, y_P; x_{B3}, y_{B3})}{r} = \\
 &= [45 - 6,55 \log 25] \log \frac{1,2}{0,2} = 27,64, \text{ дБ}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho^2(x_P) &= [45 - 6,55 \log h_{BC}] \log \frac{d_i(x_P, y_P; x_{B4}, y_{B4})}{r} = \\
 &= [45 - 6,55 \log 25] \log \frac{1,113}{0,2} = 26,479, \text{ дБ}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho^2(x_P) &= [45 - 6,55 \log h_{BC}] \log \frac{d_i(x_P, y_P; x_{B5}, y_{B5})}{r} = \\
 &= [45 - 6,55 \log 25] \log \frac{0,916}{0,2} = 23,474, \text{ дБ}.
 \end{aligned}$$

$$\rho^2(x_P) = [45 - 6,55 \log h_{\text{БС}}] \log \frac{d_i(x_P, y_P; x_{\text{Б6}}, y_{\text{Б6}})}{r} =$$

$$= [45 - 6,55 \log 25] \log \frac{0,8}{0,2} = 21,385, \text{ дБ.}$$

Таблиця 4.10 – Залежність співвідношення с/з на вході приймача МС від кожної БС окремо для точки Р

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_P)$	23,474	26,479	27,64	26,479	23,474	21,385

По результатам отриманим з табл. 4.10 будуюмо графік співвідношення с/з від кожної БС окремо по методу Окамури-Хати (рис. 4.11):

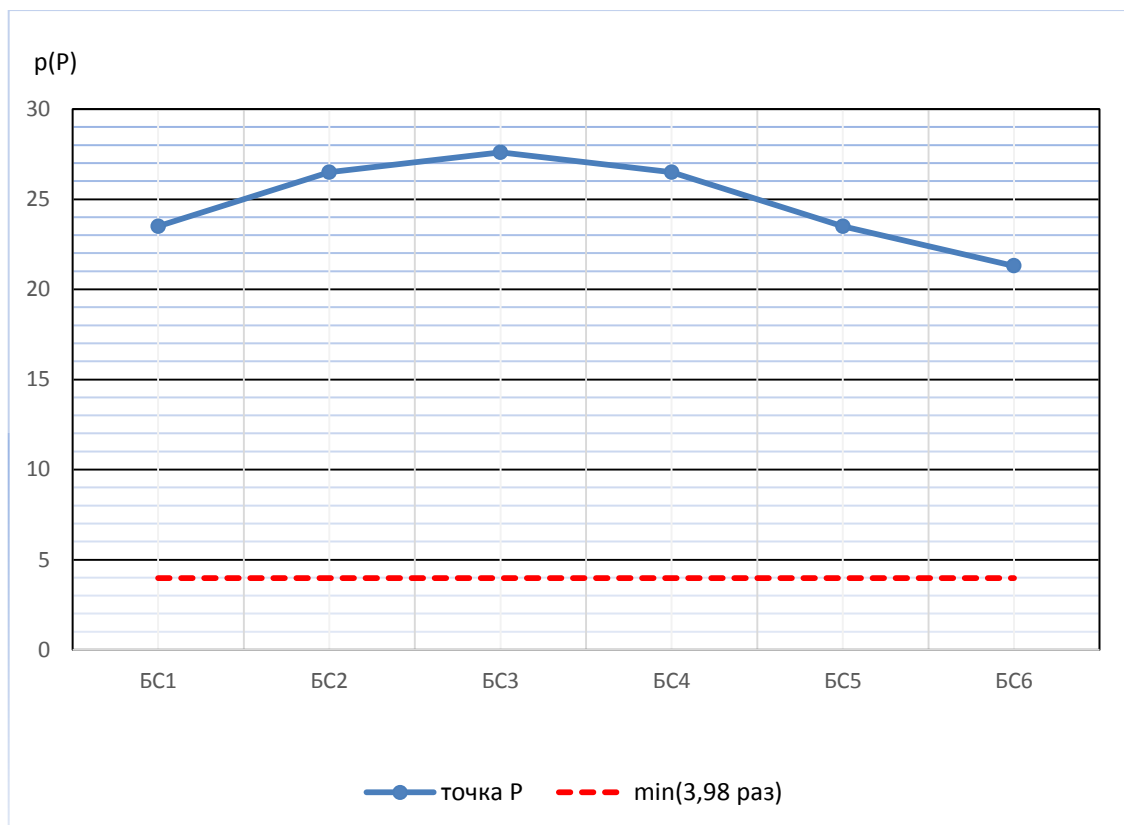


Рисунок 4.11 – Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки Р по методу Окамури-Хати

## Висновки по четвертому розділу

1. Співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС залежить від відстаней до  $БС_0$ ,  $БС_1 \dots БС_6$  та їх технічних характеристик. Чим ближче знаходиться МС до  $БС_0$ , тим вище відношення сигнал/завада. Для першого варіанту (МС знаходиться в точці L)  $\rho^2(x_L) = 5,244$ , а для точки P,  $\rho^2(x_P) = 20,976$ .

2. При проектуванні мереж мобільного зв'язку стандарту CDMA і використанні косокутної системи координат значення співвідношення сигнал/завада є нижчими ніж в моделі Окамури-Хати. Тому при проектуванні мереж мобільного зв'язку стандарту CDMA для визначення співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС необхідно брати за основу косокутну систему координат, так як вона більш реально відображає завадову обстановку.

3. Для мінімізації внутрішньосистемних завад необхідно, щоб контролер базових станцій сумісно з центром комутації рухомого зв'язку створювали умови, за яких рівень потужностей всіх передавачів базових станцій був приблизно однаковим.

4. Описана методика моделі Окамури-Хати дозволяє аналізувати динаміку завадової обстановки при розгортанні стільникових структур в приміських і районних забудов. Така модель дозволяє передбачити тільки медіанний рівень прийнятого приймачем радіосигналу в умовах статистично однорідного міста.

## ВИСНОВКИ

1. Вагомими перевагами технології 5G є велика швидкість передачі даних (до 20 Гбіт / с) і можливість підключення великої кількості користувачів одночасно порівняно з попередньою технологією 4 G (до 1 Гбіт / с).

2. Відношення сигнал /завада на вході приймача мобільної станції вагомо залежить від кількості та характеристик базових станцій, координат розміщення мобільної станції у стільнику.

3. При збільшенні числа одночасно діючих джерел завад співвідношення сигнал/завада зменшується за рахунок того, що потужність передавача, коефіцієнт підсилення антени та висота БС0 ділиться на суму потужностей передавачів, коефіцієнтів підсилення антен та висот сусідніх базових станцій.

4. Збільшення потужності передавача БС<sub>0</sub> по відношенню до потужностей передавачів БС<sub>1</sub>...БС<sub>6</sub> покращує співвідношення С/З на вході приймачів МС у стільнику БС<sub>0</sub>, але підвищує рівень внутрішньосистемних завад в сусідніх комірках БС<sub>1</sub>...БС<sub>6</sub>. Зменшення потужності передавача БС<sub>0</sub> по відношенню до потужностей передавачів БС<sub>1</sub>...БС<sub>6</sub> погіршує співвідношення С/З на вході приймачів МС у стільнику БС<sub>0</sub> і підвищує рівень внутрішньосистемних завад в стільнику БС<sub>0</sub>.

5. Максимальна відстань між БС та МС при пороговому значенні потужності сигналу на вході приймача МС -107 дБм,  $P_{\text{перБС}}=10$  Вт,  $G_{\text{БС}}=5$ раз буде складати 3,331 км, а максимальна відстань між БС та МС при  $P_{\text{перБС}}=22$  Вт,  $G_{\text{БС}}=5$ раз буде складати 4,159 км. Максимальні відстані від МС та БС при заданих технічних параметрах будуть відповідати максимальним радіусам комірок стандарту CDMA.

6. Співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС залежить від відстаней до БС<sub>0</sub>, БС<sub>1</sub>...БС<sub>6</sub> та їх технічних характеристик. Чим ближче знаходиться МС до БС<sub>0</sub>, тим вище значення співвідношення сигнал/завада. Для першого варіанту (МС знаходиться в точці L)  $\rho^2(x_L)=5,244$ , а для точки Р,

$$\rho^2(x_p) = 20,976.$$

7. При проектуванні мереж мобільного зв'язку стандарту CDMA і використанні косокутної системи координат значення співвідношення сигнал/завада є нижчими ніж в моделі Окамури-Хати. Тому при проектуванні мереж мобільного зв'язку стандарту CDMA для визначення співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС необхідно брати за основу косокутну систему координат, так як вона більш реально відображає завадову обстановку.

8. Для мінімізації внутрішньосистемних завад необхідно, щоб контролер базових станцій сумісно з центром комутації рухомого зв'язку створювали умови, за яких рівень потужностей всіх передавачів базових станцій був приблизно однаковим.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сукачов Е. А. Стільникові мережі радіозв'язку з рухомими об'єктами: навч. посібник / Е. А. Сукачов: [3-е вид, випр. і доп.] . – Одеса: ОНАЗ ім. А. С. Попова, 2013. – 256 с.
2. Маковеева М. М. Системи зв'язку з рухомими об'єктами: навч. посібник для вузів / М. М. Маковеева, Ю. С. Шінаков. – М.: Радио и связь, 2002. – 440 с.
3. Смирнов Н. І. Оцінка пропускної спроможності базових станцій систем МДКР при зміні щільності їх розташування / Н. І. Смирнов, Ю. А. Караваєв, В. А. Сівов // Електросвязь. – 2001.- № 10. – С. 30-33
4. Поспелова А. О. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступенів кандидата технічних наук. Розвиток методів Підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з Рухом об'єктами. - Редакційно-видавничий центрі ОНАЗ ім. О.С. Попова. - 2017. - 20 с.
5. Варакин Л.Є. Системи зв'язку з шумоподібним сигналами / Варакин Л.Є. - М.: Радио и связь, 1985. - 384 с.
6. Волков Л.Н. Системи цифрового радіозв'язку: базові методи і характеристики: навч. посіб. / Волков Л.Н., Немирівський М.С., Шінаков Ю.С. - М.: Еко-Трендз, 2005. - 392 с.
7. Галкін В.А. Цифрова стільникова радіозв'язок: навч. посіб. для вузів / Галкін В.А.: [2-ге вид., перераб. і доп.]. - М.: Гаряча лінія - Телеком, 2012. - 592 с.
8. Долуханов М.П. Поширення радіохвиль: навч. для вузів / Долуханов М.П. - М.: Связь, 1972. - 336 с.
9. Закіров З.Г. Стільниковий зв'язок стандарту GSM / Закіров З.Г., Надеєв А.Ф., Файзуллин Р.Р. - М.: Еко-Трендз, 2004. - 264 с.
10. Іпатов В.П. Широкопasmові системи з кодовим поділом сигналів. Принципи і програми / Іпатов В.П. - М.: Техносфера, 2007. - 488 с.
11. Маковеева М.М. Системи зв'язку з рухомими об'єктами / Маковеева М.М., Шінаков Ю.С. - М.: Радио и связь, 2002. - 440 с.

12. Феєр, К. Бездротова цифрова зв'язок. Методи, модуляції і розширення спектра / К. Феєр; пер. з англ. - М.: Радио и связь, 2000.- 520 с.
13. Смирнов, Н. І. Оцінка пропускної спроможності базових станцій систем МДКР при зміні щільності їх розташування / Н. І. Смирнов, Ю. А. Караваєв, В. А. Сівов // Електросвязь.- 2001.- № 10. - С. 30-33
14. Сукачов Е.О. Стільникові мережі радіозв'язку з рухомими об'єктами: навч. посіб. / Сукачов Е.О. - Одеса: УДАЗ ім. А.С. Попова, 1996. - 82 с.
15. Сукачов Е.О. Стільникові мережі радіозв'язку з рухомими об'єктами: навч. посіб. / Сукачов Е.А. : [2-ге вид., испр. і доп.]. - Одеса: УДАЗ ім. А.С. Попова, 2000. - 119 с.
16. Сукачов Е.О. Введення в теорію сигналів з керованою межсимвольной інтерференцією / Сукачов Е.О., Шкулипа П.А. - Одеса: ВМВ, 2011. - 200 с.
17. Абдул базитах. Розрахунок мереж LTE. - Гельсінська технологічний університет 2009
18. Бакулін М.Г., Варукіна Л.А., Крейнделін В.Б. Технологія МІМО. Принципи та алгоритми. - М.: Гаряча лінія - Телеком - 2014.-242 с.
19. Вишневський В.М., Кравець С.Л., Шахновіч І.В. - Енциклопедія 4G, Москва, «Техносфера», 2009 - 314 с.
20. Волков Л.Н., Немирівський М.С., Шинаков Ю.С. Системи цифрового радіозв'язку. - М.: Екотрендз - 2005. - 392 с.
21. Гельгор А. Л. Технологія LTE мобільної передачі даних: навчальний посібник. - СПб.: Изд-во політехн. ун-ту, 2011 2 Ал-Джанабі Х. Д. Connection quality improving of systems with MIMO in indirect visibility terms / Х. Д. Ал-Джанабі // 15-й Ювілейний Міжнародний молодіжний форум Радіоелектроніка і молодь в ХХІ столітті »Зб. матеріалів форуму. Т. 4. - Харків: ХНУРЕ. - 2011. - С. 5.
22. Девіцина С. Н. Мережі зв'язку та системи комунікацій: методична розробка - Іжевськ.: Изд-во ІжГТУ, 2006.
23. Мясковский Г.М. - Системи виробничого радіозв'язку: Довідник, Москва, «Зв'язок», 1980 - 96 с.

24. Попов В.І. - Основи стільникового зв'язку стандарту GSM, Москва, «Еко-Трендз», 2005 -126 с.
25. С.Н. Песков, А.Е. Іщенко Розрахунок ймовірності помилки в цифрових каналах зв'язку // журнал Теле-Спутник - листопад 2010, сс. 70-75  
4 Марчук А.В. Адаптивна модуляція в каналах МІМО / Марчук А.В., Вадіана З., Ал-Джанабі Х. // Радіотехніка: Всеукр. Міжвід. наук.-техн. зб. - 2010. - Вип. 163. - С.122-128
26. Скляр Б. Цифрова зв'язок. - М.: Изд. Будинок Вільямс - 2003. - 1100 с.
27. Технічна специфікація стандарту IEEE 802.16m: [www.ieeeexplore.ieee.org](http://www.ieeeexplore.ieee.org)
28. Тихвинський В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. - Мережі мобільного зв'язку LTE: технології та архітектура, Москва, «Еко-Трендз», 2010 - 158 с.
29. Шелухін О.І., Арсеньев А.В., Фоминский В.Ю. - Алгоритм оцінки ймовірності пакетування помилок в каналах зв'язку систем бездротового доступу з рухомими об'єктами // «Вісник асоціації вузів туризму і сервісу» №1 (8) 2009 стор. 70-77
30. Маковеева М. М. Системи зв'язку з рухомими об'єктами: навч. посібник для вузів / М. М. Маковеева, Ю. С. Шінаков. – М.: Радио и связь, 2002. – 440 с.
31. Смирнов Н. І. Оцінка пропускної спроможності базових станцій систем МДКР при зміні щільності їх розташування / Н. І. Смирнов, Ю. А. Караваєв, В. А. Сівов // Електросвязь. – 2001.- № 10. – С. 30-33
32. Горохов Ю.С. Прямое расширение спектра таймерных сигналов с бинарной фазовой демодуляцией / Ю.С. Горохов, Н.В. Захарченко, В.В. Корчинский, Б.К. Радзімовский // Матеріали 15 міжнародної науково-технічної конференції Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: 10–14 вересня 2015 р. в м. Одеса (Затока) – Одеса, 2015. – С. 99-101.
33. Теория и применение псевдослучайных сигналов / А. И. Алексеев, А. Г. Шереметьев, Г.И. Тузов, Б.И. Глазов – М.: Наука, 1969. – 365 с.
34. Никитин Г.И. Применение функций Уолша в сотовых системах

связи с разделением каналов: учебное пособие / Г.И. Никитин. – СПб: СПбГУАП, 2003. – 86 с.

35. Ипатов В.П. Периодические дискретные сигналы с оптимальными корреляционными свойствами/ В.П. Ипатов – М.: Радио и связь, 1992. – 152 с.

36. Захарченко Н.В. Определение координат таймерных сигналов, удовлетворяющих условию качества / Н.В. Захарченко, Д.Н. Бектурсунов, Е.А. Севастеев, Ю.С. Горохов // Материалы 9 международной научно- практической конференции, Том 33 – София, 2013. – С. 3-7.

37. Горохов Ю.С. Зв'язок потужності таймерного коду з заданим числом інформаційних відрізків і значенням твірного елемента / Ю.С. Горохов, Д.Н. Бектурсунов, М.В. Захарченко, В.В. Корчинський, Б.К. Радзімовський // Матеріали 14 міжнародної науково-технічної конференції Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах: 5-10 червня 2015 р. в м.Одеса (Затока) – Одеса, 2015– С. 240-241.

38. Горохов Ю.С. О целесообразности использования таймерных сигнальных конструкций в системах информационной безопасности / Ю. С. Горохов, Н. В. Захарченко, В. В. Корчинский, Б. К. Радзимовский // Труды XVI международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии» - Одесса, 2015 - С. 71-72.

39. Alexiou A., Naardt M. Smart antenna technologies for future wireless systems: trends and challenges Communications Magazine, IEEE, Sept. 2014, vol. 42, iss. 9, pp. 90–97

40. Ana Eira, Xavier Mestre, and Javier Rodriguez Fonollosa, Universitat Politcnica de Catalunya Smart Antennas in Software Radio Base Stations IEEE Communications Magazine, Feb. 2011, vol. 39, iss. 2, pp. 166 -173

41. Dandekar, K.R.; Hao Ling; Guanghan Xu Experimental study of mutual coupling compensation in smart antenna applications Wireless Communications, IEEE Transactions on, Jul 2002, vol. 1, iss. 3, pp. 480-487

42. Haipeng Jin; Acampora, A. A reservation-based media access control (MAC) protocol design for cellular systems using smart antennas-part I. Flat fading

Wireless Communications, IEEE Transactions on, Mar. 2015, vol. 4, iss. 2, pp. 792-801

18. Hend Koubaa Smart antenna based broadcasting in wireless ad hoc networks Ad Hoc Networks, Jan. 2016, vol. 4, iss. 1, pp. 138-146

43. Hend Koubaa Smart antenna based broadcasting in wireless ad hoc networks Ad Hoc Networks, Jan. 2006, vol. 4, iss. 1, pp. 138-146

44. J.C. Mundarath, P. Ramanathan, B.D. Van Veen A quality of service aware cross-layer approach for wireless ad hoc networks with smart antennas Ad Hoc Networks, Jul. 2009, vol. 7, iss. 5, pp. 891-903

45. Kai Chen, Fan Jiang A range-adaptive directional MAC protocol for wireless ad hoc networks with smart antennas AEU – International Journal of Electronics and Communications, Nov. 2016, vol. 61, iss. 10, pp. 645-656

46. Lee, Weon-Cheol; Choi, Seungwon; Kim, Jae-Moung Essential Considerations in Implementing the Smart Antenna System for Downlink Beamforming Wireless Personal Communications, Nov. 2015, vol. 35, number 3, pp. 227-240(14)

47. Loshakov V. A. Adaptive modulation in LTE technology by using OFDMA and SC-FDMA with MIMO / V. A. Loshakov, H.D. Al-Janabi, Y. T. Hussein, N. T. Nasif // Восточно-Европейский журнал передовых технологий (ISSN 1729-3774). – 2013. – Vol. 2/9 (62). – P. 8–11.

48. Mahmoud, K. R.; El-Adawy, M. I.; Ibrahem, S. M. M.; Bansal, R.; Zainud-Deen, S. H. MPSO-MOM: A Hybrid Modified Particle Swarm Optimization and Method of Moment Algorithm for Smart Antenna Synthesis Electromagnetics, Aug. 2014, vol. 28, number 6, pp. 411-426(16)

49. Mani, V.; Bose, R. Direction of Arrival Estimation of Multiple UWB Signals Wireless Personal Communications, Mar. 2015, vol. 57, number 2, pp. 277-289(13)

50. Martin Haardt, Quentin Spencer Smart antennas for wireless communications beyond the third generation Computer Communications, Jan. 2003, vol. 26, iss. 1, pp. 41-45.

51. Mina Yazdanpanah, Chadi Assi, Yousef Shayan Cross-layer optimization

for wireless mesh networks with smart antennas *Computer Communications*, Oct. 2011, vol. 34, iss. 16, pp. 1894-1911 .

28. Rezk M., Kim W., Yun Z., Iskander M.F. Performance comparison of a novel hybrid smart antenna system versus the fully adaptive and switched beam antenna arrays *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, 2015, vol. 4, pp. 285-288

52. Seungheon Hyeon, Yusuk Yun, Seungwon Choi Novel automatic calibration technique for smart antenna systems *Digital signal processing*, Jan. 2015, vol. 19, iss. 1, pp. 14-21 .

## ДОДАТОК А

(Таблиці Q-функції)

## ТАБЛИЦІ Q – ФУНКЦІЇ Q(x)

Таблиця А.1 – дані Q – функції Q(x),  $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-u^2/2} du$   $Q(-x) = 1 - Q(x)$ 

x	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2297	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1335	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2.0	0.2275E-01	0.2222E-01	0.2169E-01	0.2118E-01	0.2068E-01	0.2018E-01	0.1970E-01	0.1923E-01	0.1876E-01	0.1831E-01
2.1	0.1786E-01	0.1743E-01	1.700E-01	0.1659E-01	0.1618E-01	0.1578E-01	0.1539E-01	0.1500E-01	0.1463E-01	0.1426E-01
2.2	0.1390E-01	0.1355E-01	0.1321E-01	0.1287E-01	0.1255E-01	0.1222E-01	0.1191E-01	0.1160E-01	0.1130E-01	0.1101E-01
2.3	0.1072E-01	0.1044E-01	0.1017E-01	0.9903E-02	0.9642E-02	0.9387E-02	0.9137E-02	0.8894E-02	0.8656E-02	0.8424E-02

Таблиця А.2 – дані  $Q$  – функції

$x$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
2.4	0.8198E-02	0.7976E-02	0.7760E-02	0.7549E-02	0.7344E-02	0.7143E-02	0.6947E-02	0.6756E-02	0.6569E-02	0.6387E-02
2.5	0.6210E-02	0.6037E-02	0.5868E-02	0.5703E-02	0.5543E-02	0.5386E-02	0.5234E-02	0.5085E-02	0.4940E-02	0.4799E-02
2.6	0.4661E-02	0.4527E-02	0.4396E-02	0.4269E-02	0.4145E-02	0.4025E-02	0.3907E-02	0.3793E-02	0.3681E-02	0.3573E-02
2.7	0.3467E-02	0.3364E-02	0.3264E-02	0.3167E-02	0.3072E-02	0.2980E-02	0.2890E-02	0.2803E-02	0.2718E-02	0.2635E-02
2.8	0.2555E-02	0.2477E-02	0.2401E-02	0.2327E-02	0.2256E-02	0.2186E-02	0.2118E-02	0.2052E-02	0.1988E-02	0.1926E-02
2.9	0.1866E-02	0.1807E-02	0.1750E-02	0.1695E-02	0.1641E-02	0.1589E-02	0.1538E-02	0.1489E-02	0.1441E-02	0.1395E-02
3.0	0.1350E-02	0.1306E-02	0.1264E-02	0.1223E-02	0.1183E-02	0.1144E-02	0.1107E-02	0.1070E-02	0.1035E-02	0.1001E-02
3.1	0.9676E-03	0.9354E-03	0.9043E-03	0.8740E-03	0.8447E-03	0.8164E-03	0.7888E-03	0.7622E-03	0.7364E-03	0.7114E-03
3.2	0.6871E-03	0.6637E-03	0.6410E-03	0.6190E-03	0.5977E-03	0.5770E-03	0.5571E-03	0.5377E-03	0.5190E-03	0.5009E-03
3.3	0.4834E-03	0.4665E-03	0.4501E-03	0.4342E-03	0.4189E-03	0.4041E-03	0.3897E-03	0.3758E-03	0.3624E-03	0.3495E-03
3.4	0.3369E-03	0.3248E-03	0.3131E-03	0.3018E-03	0.2909E-03	0.2803E-03	0.2701E-03	0.2602E-03	0.2507E-03	0.2415E-03
3.5	0.2326E-03	0.2241E-03	0.2158E-03	0.2078E-03	0.2001E-03	0.1926E-03	0.1854E-03	0.1785E-03	0.1718E-03	0.1653E-03
3.6	0.1591E-03	0.1531E-03	0.1473E-03	0.1417E-03	0.1363E-03	0.1311E-03	0.1261E-03	0.1213E-03	0.1166E-03	0.1121E-03
3.7	0.1078E-03	0.1036E-03	0.9961E-04	0.9574E-04	0.9201E-04	0.8842E-04	0.8496E-04	0.8162E-04	0.7841E-04	0.7532E-04
3.8	0.7235E-04	0.6948E-04	0.6673E-04	0.6407E-04	0.6152E-04	0.5906E-04	0.5669E-04	0.5442E-04	0.5223E-04	0.5012E-04
3.9	0.4810E-04	0.4615E-04	0.4427E-04	0.4247E-04	0.4074E-04	0.3908E-04	0.3748E-04	0.3594E-04	0.3446E-04	0.3304E-04
4.0	0.3167E-04	0.3036E-04	0.2910E-04	0.2789E-04	0.2673E-04	0.2561E-04	0.2454E-04	0.2351E-04	0.2252E-04	0.2157E-04
4.1	0.2066E-04	0.1978E-04	0.1894E-04	0.1814E-04	0.1737E-04	0.1662E-04	0.1591E-04	0.1523E-04	0.1458E-04	0.1395E-04
4.2	0.1335E-04	0.1277E-04	0.1222E-04	0.1168E-04	0.1118E-04	0.1069E-04	0.1022E-04	0.9774E-05	0.9345E-05	0.8934E-05
4.3	0.8540E-05	0.8163E-05	0.7802E-05	0.7456E-05	0.7124E-05	0.6807E-05	0.6503E-05	0.6212E-05	0.5934E-05	0.5668E-05
4.4	0.5413E-05	0.5169E-05	0.4935E-05	0.4712E-05	0.4498E-05	0.4294E-05	0.4098E-05	0.3911E-05	0.3732E-05	0.3561E-05
4.5	0.3398E-05	0.3241E-05	0.3092E-05	0.2949E-05	0.2813E-05	0.2682E-05	0.2558E-05	0.2439E-05	0.2325E-05	0.2216E-05
4.6	0.2112E-05	0.2013E-05	0.1919E-05	0.1828E-05	0.1742E-05	0.1660E-05	0.1581E-05	0.1506E-05	0.1434E-05	0.1366E-05
4.7	0.1301E-05	0.1239E-05	0.1179E-05	0.1123E-05	0.1069E-05	0.1017E-05	0.9680E-06	0.9211E-06	0.8765E-06	0.8339E-06
4.8	0.7933E-06	0.7547E-06	0.7178E-06	0.6827E-06	0.6492E-06	0.6173E-06	0.5869E-06	0.5580E-06	0.5304E-06	0.5042E-06
4.9	0.4792E-06	0.4554E-06	0.4327E-06	0.4112E-06	0.3906E-06	0.3711E-06	0.3525E-06	0.3348E-06	0.3179E-06	0.3019E-06
5.0	0.2867E-06	0.2722E-06	0.2584E-06	0.2452E-06	0.2328E-06	0.2209E-06	0.2096E-06	0.1989E-06	0.1887E-06	0.1790E-06
5.1	0.1698E-06	0.1611E-06	0.1528E-06	0.1449E-06	0.1374E-06	0.1302E-06	0.1235E-06	0.1170E-06	0.1109E-06	0.1051E-06
5.2	0.9964E-07	0.9442E-07	0.8946E-07	0.8475E-07	0.8029E-07	0.7605E-07	0.7203E-07	0.6821E-07	0.6459E-07	0.6116E-07
5.3	0.5790E-07	0.5481E-07	0.5188E-07	0.4911E-07	0.4647E-07	0.4398E-07	0.4161E-07	0.3937E-07	0.3724E-07	0.3523E-07
5.4	0.3332E-07	0.3151E-07	0.2980E-07	0.2818E-07	0.2664E-07	0.2518E-07	0.2381E-07	0.2250E-07	0.2127E-07	0.2010E-07

Таблиця А.3 – дані  $Q$  – функції

$x$	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
5.5	0.1899E-07	0.1794E-07	0.1695E-07	0.1601E-07	0.1512E-07	0.1428E-07	0.1349E-07	0.1274E-07	0.1203E-07	0.1135E-07
5.6	0.1072E-07	0.1012E-07	0.9548E-08	0.9011E-08	0.8503E-08	0.8022E-08	0.7569E-08	0.7140E-08	0.6735E-08	0.6352E-08
5.7	0.5990E-08	0.5649E-08	0.5326E-08	0.5022E-08	0.4734E-08	0.4462E-08	0.4206E-08	0.3964E-08	0.3735E-08	0.3519E-08
5.8	0.3316E-08	0.3124E-08	0.2942E-08	0.2771E-08	0.2610E-08	0.2458E-08	0.2314E-08	0.2179E-08	0.2051E-08	0.1931E-08
5.9	0.1818E-08	0.1711E-08	0.1610E-08	0.1515E-08	0.1425E-08	0.1341E-08	0.1261E-08	0.1186E-08	0.1116E-08	0.1049E-08
6.0	0.9866E-09	0.9276E-09	0.8721E-09	0.8198E-09	0.7706E-09	0.7242E-09	0.6806E-09	0.6396E-09	0.6009E-09	0.5646E-09
6.1	0.5303E-09	0.4982E-09	0.4679E-09	0.4394E-09	0.4126E-09	0.3874E-09	0.3637E-09	0.3415E-09	0.3205E-09	0.3008E-09
6.2	0.2823E-09	0.2649E-09	0.2486E-09	0.2332E-09	0.2188E-09	0.2052E-09	0.1925E-09	0.1805E-09	0.1693E-09	0.1587E-09
6.3	0.1488E-09	0.1395E-09	0.1308E-09	0.1226E-09	0.1149E-09	0.1077E-09	0.1009E-09	0.9451E-10	0.8854E-10	0.8294E-10
6.4	0.7769E-10	0.7276E-10	0.6814E-10	0.6380E-10	0.5974E-10	0.5593E-10	0.5235E-10	0.4900E-10	0.4586E-10	0.4292E-10
6.5	0.4016E-10	0.3758E-10	0.3515E-10	0.3289E-10	0.3076E-10	0.2877E-10	0.2690E-10	0.2516E-10	0.2352E-10	0.2199E-10
6.6	0.2056E-10	0.1922E-10	0.1796E-10	0.1678E-10	0.1568E-10	0.1465E-10	0.1369E-10	0.1279E-10	0.119.5E-10	0.1116E-10
6.7	0.1042E-10	0.9731E-11	0.9086E-11	0.8483E-11	0.7919E-11	0.7392E-11	0.6900E-11	0.6439E-11	0.6009E-11	0.5607E-11
6.8	0.5231E-11	0.4880E-11	0.4552E-11	0.4246E-11	0.3960E-11	0.3693E-11	0.3443E-11	0.3210E-11	0.2993E-11	0.2790E-11
6.9	0.2600E-11	0.2423E-11	0.2258E-11	0.2104E-11	0.1961E-11	0.1826E-11	0.1701E-11	0.1585E-11	0.1476E-11	0.1374E-11
7.0	0.1280E-11	0.1192E-11	0.1109E-11	0.1033E-11	0.9612E-12	0.8946E-12	0.8325E-12	0.7747E-12	0.7208E-12	0.6706E-12
	$Q(x)$	$x$	$Q(x)$	$x$	$Q(x)$	$x$	$Q(x)$	$x$	$Q(x)$	$x$
	1E-01	1.28115	1E-06	4.75342	1E-06	4.75342	1E-06	4.75342	1E-06	4.75342
	1E-02	2.32635	1E-07	5.19934	1E-07	5.19934	1E-07	5.19934	1E-07	5.19934
	1E-03	3.09023	1E-08	5.61200	1E-08	5.61200	1E-08	5.61200	1E-08	5.61200
	1E-04	3.71902	1E-09	5.99781	1E-09	5.99781	1E-09	5.99781	1E-09	5.99781
	1E-05	4.26489	1E-10	6.63134	1E-10	6.63134	1E-10	6.63134	1E-10	6.63134

## ДОДАТОК Б (стаття у фаховому журналі)

УДК 621.396.12

В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Л.В.КАРПОВА, А. І. ПОВХ

Хмельницький національний університет

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СИГНАЛУ НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ПРИ РІЗНИХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ЗАБУДОВИ МІСТА

*Мета наукової статті полягає в дослідженні впливу внутрішньосистемних завад, які виникають внаслідок переміщення мобільної станції в стільнику зони обслуговування, яка передбачає використання одних і тих же частот, що погіршує умови зв'язку. В статті наводяться розрахункові формули для визначення відношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції. Також наведені розрахунки, включаючи таблиці і рисунки, при різних характеристиках базових станцій (БС) мобільної мережі .*

*Ключові слова: мобільний зв'язок, плоский регулярний гексагональний стільник , мобільна станція, базова станція, співвідношення сигнал/завада, внутрішньосистемні завади, завадостійкість.*

V.I LUZHANSKY, L. V. KARPOVA, A.I. POVKH

Khmelnitsky National University

### INVESTIGATION OF SIGNAL DISTURBANCE OF THE SIGNAL AT THE INPUT OF THE MOBILE STATION RECEIVER WITH DIFFERENT CHARACTERISTICS OF BASE STATIONS IN THE CONDITIONS OF CITY BUILDING

*The purpose of the scientific paper is to study the effects of internal system interference caused by the movement of a mobile station in the cell of the service area, which involves the use of the same frequencies, which worsens the communication conditions. The article provides calculation formulas for determining the signal-to-noise ratio at the input of the receiver of the mobile station. Calculations, including tables and figures, for different characteristics of base stations (BS) of the mobile network are also given. The analysis of literature sources shows insufficient depth of the conducted researches in directions for improving the noise immunity of the signal under different conditions in particular: city development, terrain, interference from other base stations.*

*The use of radio networks with moving objects makes it possible to repeatedly use the same dedicated frequency band to increase the speed of digital information transmission and economical use of the frequency range. This method has a significant disadvantage, which is the presence of mutual internal system interference between base and mobile stations that use the same frequency range.*

*The purpose of the scientific article is to study the noise immunity of the signal at the input of the receiver of the mobile station at different characteristics of the base stations in terms of urban development.*

*Keywords: mobile communication, flat regular hexagonal cell, mobile station, base station, signal/noise ratio, intra-system noise, noise immunity.*

#### **Вступ**

Використання мереж радіозв'язку з рухомими об'єктами надає можливість багаторазово використовувати одну і ту ж виділену смугу частот для збільшення швидкості передачі цифрової інформації та економічного використання частотного діапазону. Цей метод має вагомий недолік, який полягає в наявності взаємних внутрішньосистемних завад між базовими та мобільними станціями, які використовують однаковий частотний діапазон.

#### **Аналіз стану досліджень та публікацій.**

Аналіз літературних джерел показує недостатню глибину проведених досліджень у напрямку покращення завадостійкості сигналу при різних умовах зокрема: забудова міста, рельєфу, завад від інших базових станцій ([1-4] та ін.).

#### Формування мети.

Метою наукової статті є дослідження завадостійкості сигналу на вході приймача мобільної станції при різних характеристиках базових станцій в умовах забудови міста.

#### Результати дослідження.

Для проектування і подальшої побудови стільникових мереж рухомого радіозв'язку потрібно врахувати розмірність кластера  $K$  і радіус стільника  $R$ . Потім на карті міста викреслюють плоский регулярний гексагональний стільник, який покриває всю зону обслуговування мереж мобільного зв'язку [1].

Мобільна станція (МС) буде вільно переміщуватись по даній території обслуговування, внаслідок чого рівень внутрішньосистемних завад від базових станцій (БС) буде постійно змінюватись і буде змінюватись відношення сигнал/завада на вході приймача МС.

Розрахуємо відношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції, оскільки нам відомі характеристики базових станцій приймально-передавального обладнання, відстані від МС до передавача базової станції БС0 та передавачів, які створюють завади БС1, БС2, БС3, БС4, БС5, БС6.

Можна використати афінну (косокутну) систему координат, яка буде доцільною для стільникової організації зони обслуговування.

При дослідженні завадової обстановки в певному стільнику потрібно використати косокутну систему координат, поєднавши його центр з початком косокутної системи координат з точкою  $O$  так, щоб осі координат  $Ox$  і  $Oy$  були перпендикулярні до суміжних сторін шестикутника. Відповідно між осями кут буде становити  $60^\circ$ . Топологія даної мережі продемонстрована на рис. 1.

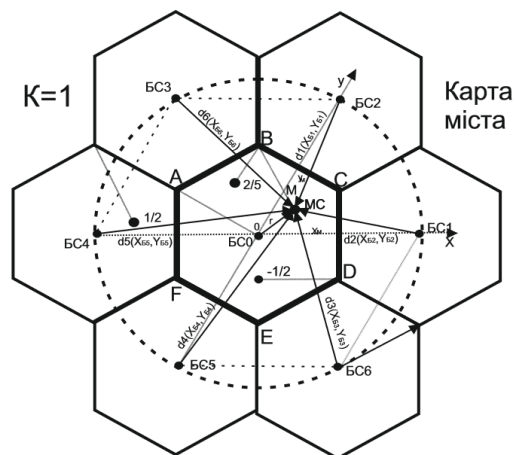


Рис.1. Траскторія руху мобільної станції по плоскому гексагональному стільнику

Оскільки розмірність кластера  $K = 1$ , при умові, що кожен кластер складається з одного стільника, що характерно для технології CDMA. За одиницю масштабу в косокутній системі координат доцільно прийняти відстань між центральними точками двох сусідніх стільників  $H(R\sqrt{3})$  [1]. Щоб спростити обчислення використаємо нормування, що передбачає ділення всіх відстаней на величину  $H$ . Відповідно до цієї системи координат отримаємо формулу радіусу стільника  $R_H = R/(R\sqrt{3})$ . Для того, щоб перейти до звичайних одиниць довжини нам буде потрібно відносно відстань помножити на  $R\sqrt{3}$ .

Отже, нормування координати кутових точок центральних стільників можуть бути записані наступним чином:

$$A(-2/3, 1/3), B(-1/3, 2/3), C(1/3, 1/3), \\ D(2/3, -1/3), E(1/3, -2/3), F(-1/3, -1/3).$$

При використанні системи косокутних координат знайдемо відстань між точками  $A(x_A, y_A)$  і  $B(x_B, y_B)$ , використовуючи формулу (1):

$$d(A, B) = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (x_A - x_B) \cdot (y_A - y_B) + (y_A - y_B)^2}. \quad (1)$$

Отже  $\{x_M; y_M\}$  і  $\{0;0\}$  – координати МС і БС<sub>0</sub>. Тоді відстань  $r$  між приймачем абонента і передавачем БС<sub>0</sub>, що знаходиться в центральному стільнику при умові формули (1) буде виглядати:

$$r = \sqrt{x_M^2 + x_M y_M + y_M^2}. \quad (2)$$

Окрім корисного сигналу станції БС<sub>0</sub> на вхід приймача МС будуть постійно надходити перешкоди від передавачів БС<sub>1</sub>...БС<sub>6</sub>, які розміщені відповідно у сусідніх від БС<sub>0</sub> кластерах (див. рис. 1). З цього випливає, що відстань між БС<sub>i</sub>, які створюють перешкоди та приймачем абонента відповідно до формули (1) визначається за формулою:

$$\begin{aligned} d_i(x_M, y_M; x_{B_i}, y_{B_i}) &= \sqrt{(x_M - x_{B_i})^2 + (x_M - x_{B_i}) \cdot (y_M - y_{B_i}) + (y_M - y_{B_i})^2} = \\ &= \sqrt{K + r^2 - x_M(2x_{B_i} + y_M(x_{B_i} + 2y_{B_i})), i = 1, \dots, 6, \end{aligned} \quad (3)$$

де  $x_M, y_M$  – координати МС;  $r$  – відстань між МС і БС<sub>0</sub>;  $K$  – розмірність кластера, буде визначатися за формулою (2); відповідно  $x_{B_i}, y_{B_i}$  – координати БС<sub>i</sub> в нормованій косокутній системі координат. Доволі просто перевірити, що координати БС<sub>i</sub> пов'язані з розмірністю  $K$  кластера відповідно за формулою:

$$K = x_{B_i}^2 + x_{B_i} y_{B_i} + y_{B_i}^2, i = 1, \dots, 6.$$

Координати джерел завад БС<sub>i</sub> для різних значень кластера  $K$  представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Координати БС<sub>i</sub>, які створюють завади МС на співпадаючих частотах

Базова станція	Координати БС <sub>i</sub>							
	K=1		K=3		K=4		K=7	
	X <sub>Бi</sub>	Y <sub>Бi</sub>	X <sub>Бi</sub>	Y <sub>Бi</sub>	X <sub>Бi</sub>	Y <sub>Бi</sub>	X <sub>Бi</sub>	Y <sub>Бi</sub>
БС <sub>1</sub>	1	0	1	1	2	0	2	1
БС <sub>2</sub>	0	1	-1	2	0	2	-1	3
БС <sub>3</sub>	-1	1	-2	1	-2	2	-3	2
БС <sub>4</sub>	-1	0	-1	-1	-2	0	-2	-1
БС <sub>5</sub>	0	-1	1	2	0	-2	1	-3
БС <sub>6</sub>	1	-1	2	-1	2	-2	3	-2

Для побудови моделі стільникових мереж рухомого радіозв'язку потрібно визначити характер поширення радіохвиль в зоні обслуговування. На модель впливає рельєф місцевості, висота будівель, густина забудови міста та інші фактори. Відповідно при обчисленнях будемо використовувати відомі співвідношення для вільного простору, або двохвильового поширення радіохвиль.

Для розрахунку потужності сигналу використаємо формулу(4):

$$P_{прМС} = \alpha_0 \cdot r^{-n}, \quad (4)$$

де  $\alpha_0$  – коефіцієнт пропорційності, що залежить від технічних характеристик обладнання МС і БС<sub>0</sub>,  $\alpha_0 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2$ ;  $P_{перБС_0}$  – потужність на виході передавача БС<sub>0</sub>;  $G_1, G_2$  – коефіцієнти підсилення антен відповідно БС<sub>0</sub> і МС;  $h_1, h_2$  – висоти антен відповідно БС<sub>0</sub> і МС;  $r$  – відстань між МС і БС<sub>0</sub>, залежна від координат МС;  $n$  - показник ослаблення сигналу, що враховує ослабленість траси.

Загасання радіохвиль в (4) буде:  $n = 2$  - у вільному просторі;  $n = 4$  - при поширенні над поверхнею землі. Отже, в формулі (4), що використовується у моделі Окамури-Хати, параметр мережі для типових значень теж близький до  $n = 4$ . Відповідно до цих значень вважатимемо, що умови поширення для сигналів і перешкод однакові і  $n = 4$ .

Використовуючи формулу (4) визначимо потужність внутрішньосистемних завад на вході приймача МС від  $i$ -тої БС:

$$P_{ПБi} = \alpha_i \cdot d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i}), i = 1, \dots, 6, \quad (5)$$

де  $\alpha_i$  виступає нормуючим коефіцієнтом для  $i$ -го напрямлення.

Отже, відношення сигнал/завада на вході приймача абонента запишемо як:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{P_{npMC}(x_M)}{P_{ПБi}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})}, N = 1, 2, \dots, 6. \quad (6)$$

Використовуємо для підстановки формули (4) і (5) в (6). Це дасть нам можливість переписати вираз (6) у вигляді:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_M)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})}, N = 1, 2, \dots, 6. \quad (7)$$

При умові, що  $\alpha_0$  та  $\alpha_i$  – коефіцієнти пропорційності, які залежать від технічних характеристик обладнання МС і БС<sub>0</sub> будуть однаковими між собою, тобто  $\alpha_0 = \alpha_1 \dots \alpha_6$ , то в даному випадку можна вираз (7) записати у вигляді:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{r^{-4}(x_M)}{d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})}, N = 1, 2, \dots, 6. \quad (8)$$

Для розрахунків ми будемо використовувати дві координати які будуть відображати знаходження мобільної станції в точках М і В з їх координатами М(-1/4, 1/4) та В(1/2, -2/5), які продемонстровані на рисунку 1. Відповідно для кожної точки проведемо розрахунки по трьом варіантам. У першому варіанті з ідентичними характеристиками приймально-передавальних пристроїв, у другому варіанті використаємо БС<sub>0</sub> з найменшою висотою антени і найменшою потужністю, а у третьому використаємо БС<sub>0</sub> з найбільшою потужністю і найбільшою висотою антени. Розрахунки будуть проведені по технології CDMA.

Таблиця 2

Технічні характеристики варіанту 1

Базові станції	$P_{перБС}$ , Вт	$G_1$ , дБ	$G_2$ , дБ	$h_1$ , м	$h_2$ , м
БС <sub>0</sub> , БС <sub>1</sub> ...БС <sub>6</sub>	12	5 (3,16 раз)	2 (1,58 раз)	28	1,7

Отже  $\alpha_0$  буде такого вигляду:

$$\alpha_0 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 13575.$$

Розрахуємо відстань  $r$  від точки М, де знаходиться МС до точки О, центру базової станції:

$$r = \sqrt{x_M^2 + x_M y_M + y_M^2} = \sqrt{(-1/4)^2 + (-1/4) \cdot 1/4 + 1/4^2} = 0,353 \text{ км.}$$

Врахуємо завади від всіх шести сусідніх БС, як показано на рис.1.

$$d_1(M, BC_1) = \sqrt{(x_M - x_{BC_1})^2 + (x_M - x_{BC_1}) \cdot (y_M - y_{BC_1}) + (y_M - y_{BC_1})^2} = \sqrt{((-1/4) - 1)^2 + ((-1/4) - 1) \cdot (1/4 - 0) + (1/4 - 0)^2} = 1,145 \text{ км.}$$

$$d_2(M, BC_2) = \sqrt{(x_M - x_{BC_2})^2 + (x_M - x_{BC_2}) \cdot (y_M - y_{BC_2}) + (y_M - y_{BC_2})^2} = \sqrt{((-1/4) - 0)^2 + ((-1/4) - 0) \cdot (1/4 - 1) + (1/4 - 1)^2} = 0,901 \text{ км.}$$

$$d_3(M, BC_3) = \sqrt{(x_M - x_{BC_3})^2 + (x_M - x_{BC_3}) \cdot (y_M - y_{BC_3}) + (y_M - y_{BC_3})^2} = \\ \sqrt{((-1/4) - 1)^2 + ((-1/4) - 1) \cdot (1/4 - 1) + (1/4 - 1)^2} = 1,75 \text{ км.}$$

$$d_4(M, BC_4) = \sqrt{(x_M - x_{BC_4})^2 + (x_M - x_{BC_4}) \cdot (y_M - y_{BC_4}) + (y_M - y_{BC_4})^2} = \\ \sqrt{((-1/4) - (-1))^2 + ((-1/4) - (-1)) \cdot (1/4 - 0) + (1/4 - 0)^2} = 0,901 \text{ км.}$$

$$d_5(M, BC_5) = \sqrt{(x_M - x_{BC_5})^2 + (x_M - x_{BC_5}) \cdot (y_M - y_{BC_5}) + (y_M - y_{BC_5})^2} = \\ \sqrt{((-1/4) - 0)^2 + ((-1/4) - 0) \cdot (1/4 - (-1)) + (1/4 - (-1))^2} = 1,145 \text{ км.}$$

$$d_6(M, BC_6) = \sqrt{(x_M - x_{BC_6})^2 + (x_M - x_{BC_6}) \cdot (y_M - y_{BC_6}) + (y_M - y_{BC_6})^2} = \\ \sqrt{((-1/4) - 1)^2 + ((-1/4) - 1) \cdot (1/4 - (-1)) + (1/4 - (-1))^2} = 1,25 \text{ км.}$$

Отже, відношення сигнал/завада на вході приймача абонента в точці М від шести сусідніх БС можна записати як:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{r^{-4}(x_M)}{d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})} = \\ = \frac{(0,353)^{-4}}{(1,145)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,75)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,145)^{-4} + (1,25)^{-4}} = 13,66$$

Змінимо потужність та висоти сусідніх базових станцій, значення яких наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Технічні характеристики варіанту 2

Базові станції	$P_{\text{перБС}}$ , Вт	$G_1$ , дБ	$G_2$ , дБ	$h_1$ , м	$h_2$ , м
БС <sub>0</sub>	12	5 (3,16 раз)	2 (1,58 раз)	28	1,7
БС <sub>1</sub>	14			30	
БС <sub>2</sub>	16			30	
БС <sub>3</sub>	18			32	
БС <sub>4</sub>	20			26	
БС <sub>5</sub>	22			34	
БС <sub>6</sub>	24			35	

Тоді  $\alpha_0$  буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{\text{перБС}_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 135700 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Підставляємо з таблиці 3 дані для розрахунку інших коефіцієнтів.

$$\alpha_1 = P_{\text{перБС}_1} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 14 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (30 \cdot 1,7)^2 = 181800 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_2 = P_{\text{перБС}_2} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 16 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (30 \cdot 1,7)^2 = 207800 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_3 = P_{\text{перБС}_3} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 18 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (32 \cdot 1,7)^2 = 265900 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_4 = P_{\text{перБС}_4} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 20 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (26 \cdot 1,7)^2 = 195100 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_5 = P_{\text{перБС}_5} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 22 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (34 \cdot 1,7)^2 = 333600 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_6 = P_{\text{перБС}_6} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 24 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (35 \cdot 1,7)^2 = 424200 \text{ Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Також розрахуємо співвідношення сигнал/завада від кожної БС окремо:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,353^{-4}}{1,145^{-4}} = 10,521.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{0,353^{-4}}{0,901^{-4}} = 6,514.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{0,353^{-4}}{1,75^{-4}} = 24,576.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{0,353^{-4}}{0,901^{-4}} = 6,514.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{0,353^{-4}}{1,145^{-4}} = 10,521.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_6}, y_{BC_6})} = \frac{0,353^{-4}}{1,25^{-4}} = 12,539.$$

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_M)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})} =$$

$$= \frac{135700 \cdot (0,353)^{-4}}{181800 \cdot (1,145)^{-4} + 207800 \cdot (0,901)^{-4} + 265900 \cdot (1,175)^{-4} + 195100 \cdot (0,901)^{-4} + 333600 \cdot (1,145)^{-4} + 424200 \cdot (1,25)^{-4}} =$$

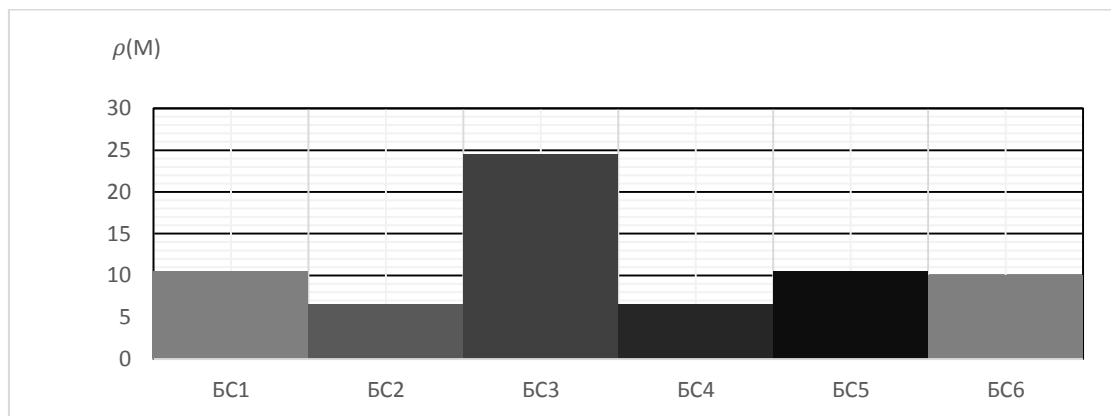
$$= 7,849$$

Таблиця 3

**Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки М.**

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_M)$	10.521	6.514	24.576	6.514	10.521	12.539

По результатам обчислень таблиці [4] побудуємо графік, який представлений на рис.2

Рис.2. Співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від шести сусідніх (BC<sub>1</sub>...BC<sub>6</sub>).

Розрахуємо співвідношення С/З на вході приймача МС для точки М від шести завад (BC<sub>1</sub>... BC<sub>6</sub>):

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^6 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{BC_i}, y_{BC_i})} =$$

$$= \frac{(0,353)^{-4}}{(1,145)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,75)^{-4} + (0,901)^{-4} + (1,145)^{-4} + (1,25)^{-4}} = 4,319.$$

Третій варіант з різними технічними характеристиками БС в залежності від забудови міста надано в таблиці 5.

Таблиця 5

Технічні характеристики варіанту 3

Базові станції	$P_{перБС}$ , Вт	$G_1$ , дБ	$G_2$ , дБ	$h_1$ , м	$h_2$ , м
БС <sub>0</sub>	24	5 (3,16 раз)	2 (1,58 раз)	35	1,7
БС <sub>1</sub>	22			34	
БС <sub>2</sub>	20			26	
БС <sub>3</sub>	18			32	
БС <sub>4</sub>	16			30	
БС <sub>5</sub>	14			30	
БС <sub>6</sub>	12			28	

Тоді  $\alpha_0$  буде мати такий вигляд:

$$\alpha_0 = P_{перБС_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 24 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (35 \cdot 1,7)^2 = 424200 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Підставляємо з таблиці 5 дані для розрахунку коефіцієнтів  $\alpha_1 \dots \alpha_6$ :

$$\alpha_1 = P_{перБС_1} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 22 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (34 \cdot 1,7)^2 = 363900 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_2 = P_{перБС_2} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 20 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (26 \cdot 1,7)^2 = 195100 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_3 = P_{перБС_3} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 18 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (32 \cdot 1,7)^2 = 265900 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_4 = P_{перБС_4} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 16 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (30 \cdot 1,7)^2 = 207800 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_5 = P_{перБС_5} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 14 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (30 \cdot 1,7)^2 = 181800 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

$$\alpha_6 = P_{перБС_6} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2 = 12 \cdot 3,16 \cdot 1,58 \cdot (28 \cdot 1,7)^2 = 135700 \text{Вт} \cdot \text{м}^4.$$

Відношення С/З на вході приймача абонента в точці М від шести сусідніх БС з різними технічними характеристиками можна записати як:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_M)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_M, y_M; x_{БС_i}, y_{БС_i})} =$$

$$= \frac{424200 \cdot (0,353)^{-4}}{366900 \cdot (1,145)^{-4} + 195100 \cdot (0,901)^{-4} + 265900 \cdot (1,175)^{-4} + 207800 \cdot (0,901)^{-4} + 181800 \cdot (1,145)^{-4} + 135700 \cdot (1,25)^{-4}} =$$

$$= 26,928$$

Розрахуємо відстань  $r$  від точки В(-1/2, 2/5) до точки О(0;0), центру базової станції.

$$r = \sqrt{x_B^2 + x_B y_B + y_B^2} = \sqrt{(-1/3)^2 + (-1/3) \cdot 2/3 + 2/3^2} = 0,577 \text{км}.$$

Враховуємо завади від шести сусідніх БС, а координати базових станцій представлені в таблиці 1.

$$d_1(B, BC_1) = \sqrt{(x_B - x_{БС_1})^2 + (x_B - x_{БС_1}) \cdot (y_B - y_{БС_1}) + (y_B - y_{БС_1})^2} =$$

$$\sqrt{((-1/3) - 1)^2 + ((-1/3) - 1) \cdot (2/3 - 0) + (2/3 - 0)^2} = 1,155 \text{км}.$$

$$d_2(B, BC_2) = \sqrt{(x_B - x_{БС_2})^2 + (x_B - x_{БС_2}) \cdot (y_B - y_{БС_2}) + (y_B - y_{БС_2})^2} =$$

$$\sqrt{((-1/3) - 0)^2 + ((-1/3) - 0) \cdot (2/3 - 1) + (2/3 - 1)^2} = 0,577 \text{км}.$$

$$d_3(B, BC_3) = \sqrt{(x_B - x_{BC_3})^2 + (x_B - x_{BC_3}) \cdot (y_B - y_{BC_3}) + (y_B - y_{BC_3})^2} = \\ \sqrt{((-1/3) - (-1))^2 + ((-1/3) - (-1)) \cdot (2/3 - 1) + (2/3 - 1)^2} = 0,577 \text{ км.}$$

$$d_4(B, BC_4) = \sqrt{(x_B - x_{BC_4})^2 + (x_B - x_{BC_4}) \cdot (y_B - y_{BC_4}) + (y_B - y_{BC_4})^2} = \\ \sqrt{((-1/3) - (-1))^2 + ((-1/3) - (-1)) \cdot (2/3 - 0) + (2/3 - 0)^2} = 1,155 \text{ км.}$$

$$d_5(B, BC_5) = \sqrt{(x_B - x_{BC_5})^2 + (x_B - x_{BC_5}) \cdot (y_B - y_{BC_5}) + (y_B - y_{BC_5})^2} = \\ \sqrt{((-1/3) - 0)^2 + ((-1/3) - 0) \cdot (2/3 - (-1)) + (2/3 - (-1))^2} = 1,528 \text{ км.}$$

$$d_6(B, BC_6) = \sqrt{(x_B - x_{BC_6})^2 + (x_B - x_{BC_6}) \cdot (y_B - y_{BC_6}) + (y_B - y_{BC_6})^2} = \\ \sqrt{((-1/3) - (-1))^2 + ((-1/3) - (-1)) \cdot (2/3 - (-1)) + (2/3 - (-1))^2} = 1,528 \text{ км.}$$

Розрахуємо співвідношення сигнал/завада від кожної БС окремо:

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_1^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_1}, y_{BC_1})} = \frac{0,577^4}{1,155^4} = 4.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_2^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_2}, y_{BC_2})} = \frac{0,577^4}{0,577^4} = 1.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_3^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_3}, y_{BC_3})} = \frac{0,577^4}{0,577^4} = 1.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_4^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_4}, y_{BC_4})} = \frac{0,577^4}{1,155^4} = 4.$$

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_5^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_5}, y_{BC_5})} = \frac{0,577^4}{1,528^4} = 7,012.$$

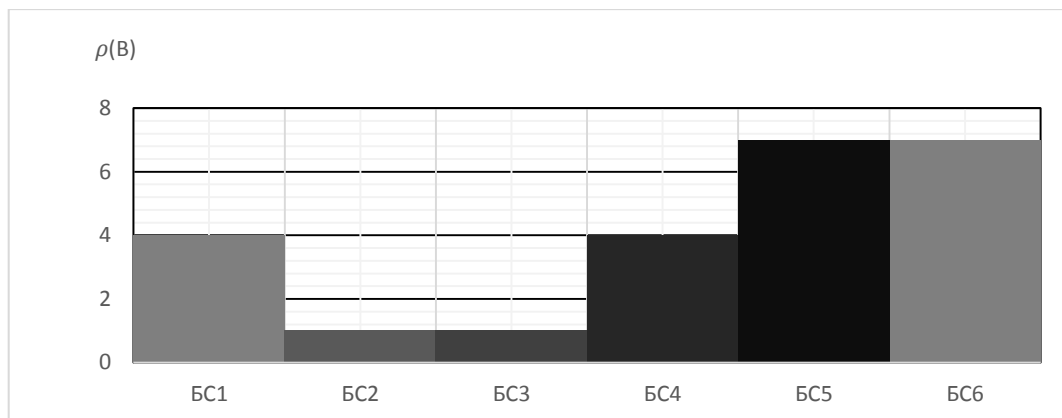
$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^1 \frac{r^{-4}}{d_6^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_6}, y_{BC_6})} = \frac{0,577^4}{1,528^4} = 7,012.$$

Таблиця 6

**Залежність співвідношення С/З на вході приймача МС для кожної базової станції окремо для точки В.**

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_B)$	4	1	1	4	7,012	7,012

По результатам обчислень таблиці 6 побудуємо графік, який представлений на рис.3.

Рис.3. Співвідношення С/З на вході приймача МС від шести сусідніх (БС<sub>1</sub>...БС<sub>6</sub>).

При цьому С/З на вході приймача МС абонента в точці В від шести сусідніх БС можна записати як:

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=0}^6 \frac{r^{-4}}{d_i^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_i}, y_{BC_i})} =$$

$$= \frac{(0,577)^{-4}}{(1,155)^{-4} + (0,577)^{-4} + (0,577)^{-4} + (1,155)^{-4} + (1,528)^{-4} + (1,528)^{-4}} = 10,198.$$

Отже, для другого варіанту точки В технічні характеристики БС візьмемо з таблиці 3. Тоді,  $\alpha_0, \alpha_1 \dots \alpha_6$  буде мати такий вигляд як і в другому варіанті .

Відстань  $r$  від точки В до точки О є однаковими з першим варіантом для точки М.

Відношення  $C/3$  на вході приймача МС в точці В від шести сусідніх БС можна записати як:

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_B)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_i}, y_{BC_i})} =$$

$$= \frac{135700 \cdot (0,577)^{-4}}{181800 \cdot (1,155)^{-4} + 207800 \cdot (0,577)^{-4} + 265900 \cdot (0,577)^{-4} + 195100 \cdot (1,155)^{-4} + 333600 \cdot (1,528)^{-4} + 424200 \cdot (1,528)^{-4}} = 7,44.$$

Для третього варіанту точки В дані беремо з таблиці 4.

Відношення  $C/3$  на вході приймача МС в точці В від шести сусідніх БС можна записати як:

$$\rho^2(x_B) = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}(x_B)}{\alpha_i \cdot d^{-4}(x_B, y_B; x_{BC_i}, y_{BC_i})} =$$

$$= \frac{424200 \cdot (0,577)^{-4}}{366900 \cdot (1,155)^{-4} + 195100 \cdot (0,577)^{-4} + 265900 \cdot (0,577)^{-4} + 207800 \cdot (1,155)^{-4} + 181800 \cdot (1,528)^{-4} + 135700 \cdot (1,528)^{-4}} = 21,18.$$

### Висновки

1. Відношення сигнал /завада на вході приймача мобільної станції в точках М та В вагомо залежить від кількості та характеристик базових станцій, координат розміщення МС у стільнику.

2. При збільшенні числа одночасно діючих джерел завад функція  $\rho^2(x_M)$  зменшується за рахунок того, що потужність передавача, коефіцієнт підсилення антени та висота  $BC_0$  ділиться на суму потужностей передавачів, коефіцієнтів підсилення антен та висот сусідніх БС.

3.Співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС залежить від відстаней до  $BC_0, BC_1 \dots BC_6$  та їх технічних характеристик. Чим ближче знаходиться МС до  $BC_0$ , тим краще співвідношення сигнал/завада. Так, для першого варіанту(МС знаходиться в точці М)  $\rho^2(x_M) = 13,66$ , а для точки В,  $\rho^2(x_M) = 10,198$ .

4. Співвідношення  $C/3$  на вході приймача МС для другого варіанту (МС знаходиться в точці М)  $\rho^2(x_M) = 4,319$ , а для третього варіанту  $\rho^2(x_M) = 10,198$ . Збільшення потужності передавача  $BC_0$  по відношенню до потужностей передавачів  $BC_1 \dots BC_6$  покращує співвідношення  $C/3$  на вході приймачів МС у стільнику  $BC_0$ , але підвищує рівень внутрішньосистемних завад в сусідніх комірках  $BC_1 \dots BC_6$ . Зменшення потужності передавача  $BC_0$  по відношенню до потужностей передавачів  $BC_1 \dots BC_6$  погіршує співвідношення  $C/3$  на вході приймачів МС у стільнику  $BC_0$  і підвищує рівень внутрішньосистемних завад в стільнику  $BC_0$ .

5.Для мінімізації внутрішньосистемних завад необхідно, щоб контролер базових станцій сумісно з центром комутації рухомого зв'язку створювали умови, за яких рівень потужностей всіх передавачів базових станцій був приблизно однаковим.

### Література

1. Сукачов Е. А. Стільникові мережі радіозв'язку з рухомими об'єктами: навч. посібник / Е. А. Сукачов: [3-е вид, випр. і доп.] . – Одеса: ОНАЗ ім. А. С. Попова, 2013. – 256 с.

2. Маковеева М. М. Системи зв'язку з рухомими об'єктами: навч. посібник для вузів / М. М. Маковеева, Ю. С. Шінаков. – М.: Радио и связь, 2002. – 440 с.

3. Смирнов Н. І. Оцінка пропускної спроможності базових станцій систем МДКР при зміні щільності їх розташування / Н. І. Смирнов, Ю. А. Караваєв, В. А. Сівов // Електросвязь. – 2001.- № 10. – С. 30-33

4. Пospelova A. O. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Розвиток методів підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з рухомими об'єктами. – Редакційно-видавничому центрі ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2017. – 20с.

#### References

1. Sukachov E. A. Stil'nykovi mrezi radiozv'jazku z ruhomymy ob'jektamy: navch. posibnyk / E. A. Sukachov: [3-e vyd, vypr. i dop.] . – Odesa: ONAZ im. A. S. Popova, 2013. – 256 s.

2. Makovjejeva M. M. Systemy zv'jazku z ruhomymy ob'jektamy: navch. posibnyk dlja vuziv / M. M. Makovjejeva, Ju. S. Shinakov. – M.: Radio y svjaz', 2002. – 440 s.

3. Smyrnov N. I. Ocinka propusknoi' spromozhnosti bazovyh stancij system MDKR pry zmini shhil'nosti i'h roztashuvannja / N. I. Smyrnov, Ju. A. Karavajev, V. A. Sivov // Elektrosvjaz'. – 2001.- № 10. – S. 30-33

4. Pospelova A. O. Avtoreferat dysertacii' na zdobuttja naukovogo stupenja kandydata tehnicnyh nauk. Rozvytok metodiv pidvyshhennja efektyvnosti stil'nykovykh system radiozv'jazku z ruhomymy ob'jektamy. – Redakcijno-vydavnychomu centri ONAZ im. O.S. Popova. – 2017. – 20s.

Стаття надійшла до редакції

Рецензент – завідувач кафедри телекомунікацій та радіотехніки ХНУ, д.т.н., професор Ю.М. Бойко

ДОДАТОК В  
(презентація)

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
КАФЕДРА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ТА РАДІОТЕХНІКИ

ДИПЛОМНА РОБОТА

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СТІЛЬНИКОВИХ  
СИСТЕМ РАДІОЗВ'ЯЗКУ З РУХОМИМИ ОБ'ЄКТАМИ  
В УМОВАХ ДІЇ ВНУТРІШНЬОСИСТЕМНИХ ЗАВАД

Студент групи ТРм

Повх Андрій Ігорович

Керівник проекту  
к.в.н, доцент

Лужанський Віктор Ігорович

### Актуальність теми:

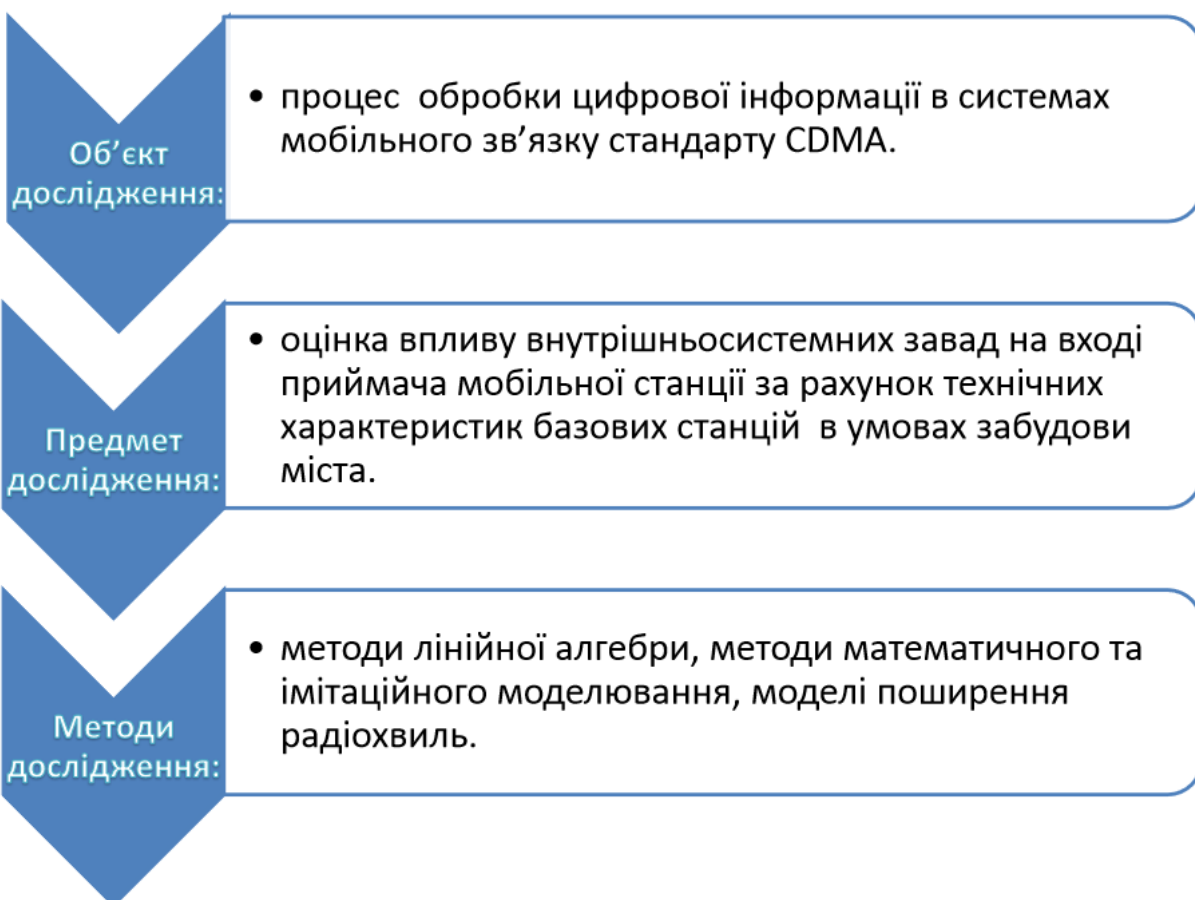
- Під час передачі даних мобільні станції постійно переміщуються в зоні обслуговування, отже завадова обстановка постійно змінюється. Відповідно від вчасної оцінки співвідношення сигнал/завада на вході приймачів мобільних станцій і приймачів базових станцій в умовах дії внутрішньосистемних завад, залежить якість мобільного зв'язку. При вирішенні даних задач отримуємо можливість покращити і оптимізувати мережу, ще при її проектуванні. Отже, тема дипломної роботи, у якій вирішуються дані науково-технічні задачі, є актуальною.

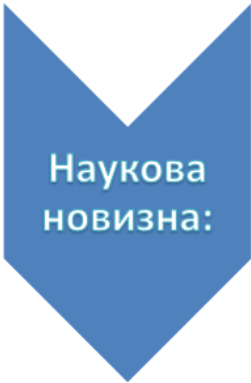
### Мета дослідження:

- Розвиток та удосконалення методів підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з рухомими об'єктами в умовах дії внутрішньосистемних завад.

## Задачі дослідження:

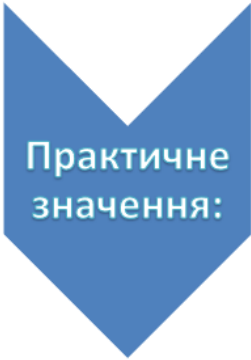
- 1. Характеристики мереж мобільного зв'язку «п'ятого покоління» 5G;
- 2. Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при однакових технічних характеристиках базових станцій в умовах дії внутрішньосистемних завад;
- 3. Розрахунки співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при різних характеристиках базових станцій в умовах дії внутрішньо системних завад;
- 4. Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції, яка переміщується в межах міста Городок в умовах дії внутрішньо системних завад.





### Наукова новизна:

- Проведено розрахунок впливу внутрішньосистемних завад у мережі радіозв'язку під час руху мобільної станції у межах стільника при різних технічних характеристиках базових станцій.
- Отримали подальший розвиток методика «моніторинг заводової обстановки» у стільникових системах, яка дозволила визначати важливі параметри системи на етапі проектування мобільної мережі.
- Проведено розрахунок впливу внутрішньосистемних завад у мережі мобільного зв'язку при різних технічних характеристиках базових станцій. Це дозволило підвищити ефективність мережі мобільного зв'язку на 5,6% в умовах дії внутрішньосистемних завад.



### Практичне значення:

- Проведено аналіз впливу внутрішньосистемних завад на вході приймача мобільної станції при її русі за заданим маршрутом.
- Використана методика дозволяє здійснювати моніторинг реальної заводової обстановки та оцінювати якість зв'язку. Це дозволить виявити проблемні зони впевненого прийому сигналів, а також оперативно вирішувати питання щодо покращення роботи такої мережі.
- Сформульовані науково – обґрунтовані практичні рекомендації щодо раціонального використання стільникових мереж мобільного радіозв'язку з урахуванням переміщення мобільних станцій в умовах дії внутрішньосистемних завад.

# 1 РОЗРАХУНОК СПІВВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ЗАВАДА НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ПРИ ОДНАКОВИХ ТЕХНІЧНИХ ХРАКТЕРИСТИКАХ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В УМОВАХ ДІЇ ВНУТРІШНЬОСИСТЕМНИХ ЗАВАД

## 1.1 Вплив кількості базових станцій та їх технічних характеристик на співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції

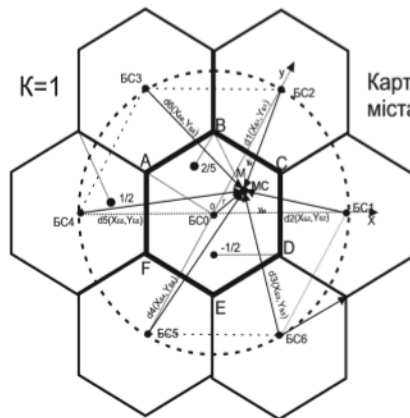


Рисунок 1- Вплив завад від сусідніх базових станцій на мобільну станцію в плоскому гексагональному стільнику

У косокутній системі координат відстань між точками з координатами  $A(x_A, y_A)$  і  $B(x_B, y_B)$  визначається за формулою:

$$d(A, B) = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (x_A - x_B) \cdot (y_A - y_B) + (y_A - y_B)^2}. \quad (1)$$

Відстань  $r$  між передавачем  $BS_0$  і приймачем  $MS$  в центральному стільнику на підставі формули (1) представляється у вигляді:

$$r = \sqrt{x_M^2 + x_M \cdot y_M + y_M^2}. \quad (2)$$

Потужність сигналу на вході приймача мобільної станції :

$$P_{\text{п МС}} = \alpha_0 \cdot r^{-4}, \quad (3)$$

де  $\alpha_0$  - коефіцієнт пропорційності, що залежить від технічних характеристик приймально-передаючого обладнання МС і БС<sub>0</sub>;  $\alpha_0 = P_{\text{п еБС}_0} G_1 G_2 (h_1 h_2)^2$ ;  $P_{\text{п еБС}_0}$  - потужність на виході передавача БС<sub>0</sub>;  $G_1, G_2$  - коефіцієнти підсилення антен відповідно БС<sub>0</sub> і МС;  $r$  - відстань між МС і БС<sub>0</sub>, залежна від координат МС.

Потужність внутрішньосистемних завад на вході приймача мобільної станції від  $i$ -тої базової станції:

$$P_{\text{п Б}} = \alpha_i \cdot d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{\text{Б } i}, y_{\text{Б } i}), \quad i=1, \dots, 6, \quad (4)$$

де  $\alpha_i$ , - нормуючий коефіцієнт для  $i$ -го напрямлення;  $x_M, y_M$  - координати МС;  $x_{\text{Б } i}, y_{\text{Б } i}$  - координати базової  $i$ -тої станції.

Відношення сигнал/завада на вході приймача абонента:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^N \frac{P_{\text{п р МСМ}}}{P_{\text{п Б}(x_M, y_M; x_{\text{Б } i}, y_{\text{Б } i})}}, \quad N = 1, 2 \dots 6. \quad (5)$$

Тоді:

$$\rho^2(x_M) = \sum_{i=0}^N \frac{\alpha_0 \cdot r^{-4}}{\alpha_i d_i^{-4}(x_M, y_M; x_{\text{Б } i}, y_{\text{Б } i})}, \quad N = 1, 2 \dots 6. \quad (6)$$

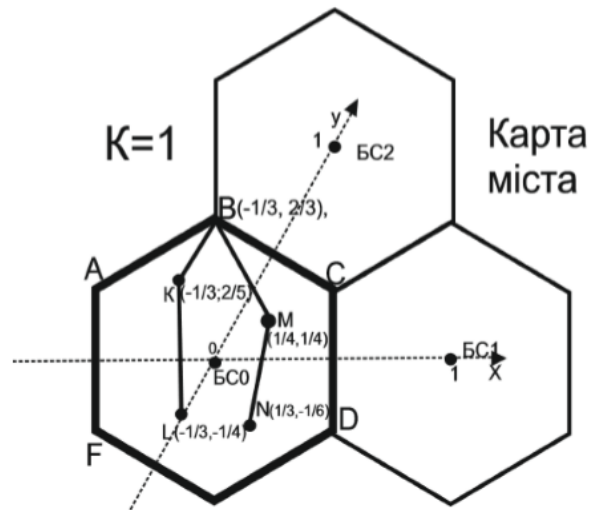


Рисунок 2 - Траєкторія руху мобільної станції по плоскому гексагональному стільнику NMBKL

В наших розрахунках представимо чотири координати знаходження мобільної станції в точках N, M, B, K та L з їх координатами  $N(1/3, -1/6)$ ,  $M(1/4, 1/4)$ ,  $B(-1/3, 2/3)$ ,  $K(-1/3, 2/5)$  та  $L(-1/3, -1/4)$

**1.1 Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС при однакових характеристиках приймально–передавального обладнання базових станцій для точки М**

Таблиця 1-Технічні характеристики БС та МС

Базові станції	$P_{\text{перБС, Вт}}$	$G_1, \text{дБ}$	$G_2, \text{дБ}$	$h_1, \text{м}$	$h_2, \text{м}$
Б <sub>1</sub> , Б <sub>2</sub> ... Б <sub>6</sub>	12	5 (3,1 ф а)	2 (1,5 ф а)	28	1,7

Таблиця 2-Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_M)$	10.521	6.514	24.576	6.514	10.521	12.539

Таблиця 3 - Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кількості базових станцій

Кількість завод	2(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> )	3(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>6</sub> )	4(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>6</sub> )	5(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	6(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )
$\rho^2(x_M)$	6,297	4,527	4,159	3,947	3,695

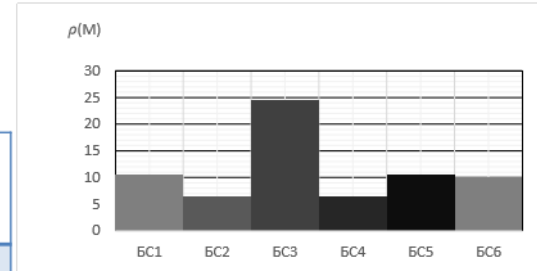


Рисунок 3-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо

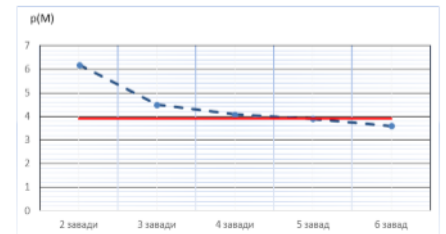


Рисунок 4-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кількості базових станцій

**1.2 Розрахунок значень співвідношення сигнал/завада на вході примача МС з різними характеристиками приймально – передавального обладнання базових станцій для точки М**

Таблиця 4 - Технічні характеристики БС та МС

$P_{\text{перБС}}, \text{Вт}$							$G_1,$	$G_2,$	$h_1,$	$h_2,$
							дБ	дБ	м	м
БС <sub>0</sub>	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>	5	2	28	1,7
24	12	14	16	18	20	22				

Таблиця 5 - Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_M)$	14,881	8,529	30,108	7,523	11,526	13,096

Таблиця 6 - Залежність співвідношення сигнал/завада від кількості базових станцій

Кількість завад	2(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> )	3(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>6</sub> )	4(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>6</sub> )	5(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )	6(БС <sub>1</sub> , БС <sub>2</sub> , БС <sub>3</sub> , БС <sub>4</sub> , БС <sub>5</sub> , БС <sub>6</sub> )
$\rho^2(x_M)$	8,206	5,545	4,997	4,668	4,454

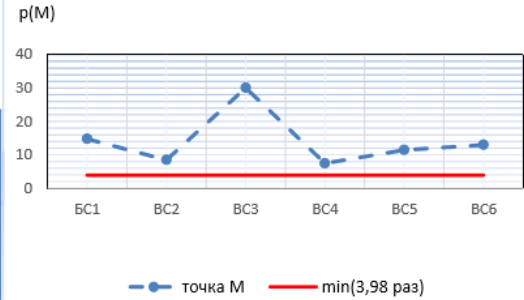


Рисунок 5-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо

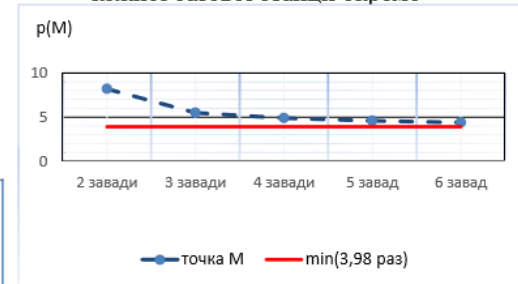


Рисунок 6-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кількості базових станцій

### 1.3 Розрахунок потужності сигналу на вході приймача мобільної станції на основі емпіричних формул та визначення максимального радіусу зони при мінімальній потужності приймача МС

Емпірична формула Окамури-Хати для розрахунку потужності сигналу на вході приймача МС:

$$P_{\text{пр МС}} = P_{\text{пер БС}} G_{\text{БС}} - 6 \text{ дБ} - 2 \text{ дБ} - 0,1 \text{ дБ} \left( \frac{f_{\text{МГД}}}{1 \text{ МГц}} + 1 \right)^{0,1} \left( \frac{h_{\text{БС}}}{1 \text{ км}} \right) - \left[ 4,5 - 6,5 \left( \frac{h_{\text{БС}}}{1 \text{ км}} \right) \right] \text{ дБ} \quad (7)$$

де  $P_{\text{пер БС}}$  – потужність на виході передавача БС;  $G_{\text{БС}}$  – коефіцієнт підсилення антени базової станції;  $f$  – середня частота;  $h_{\text{БС}}$  – висота антени БС;  $r$  – відстань від МС до БС.

Потужність сигналу на вході приймача МС в Вагтах:

$$P_{\text{пр МС}} = P_{\text{пер БС}} G_{\text{БС}} \cdot 10^{6,955} f^{-2,616} h_{\text{БС}}^{1,382} r^{-[4,5-0,65 \text{ дБ}]} \text{ Вт} \quad (8)$$

З емпіричної формули Окамури-Хати (8) виведемо  $r_{\text{max}}$  від МС до БС і запишемо, як:

$$r_{\text{max}} = \sqrt{\frac{P_{\text{пр МС}}}{P_{\text{пер БС}} G_{\text{БС}} \cdot 10^{6,955} f^{-2,616} h_{\text{БС}}^{1,382}}} \quad (9)$$

Таблиця 7 – Дані для розрахунків потужності сигналу на вході приймача МС

r, км			P <sub>БС</sub> , дБВт					f, МГц	h <sub>БС</sub> , м	G <sub>БС</sub> , дБ
В1	В2	В3	В1	В2	В3	В4	В5	1917,1	28	5
0,5	1	1,5	10	12	14	16	18			

Таблиця 8 – Результати розрахунків потужності сигналу на вході приймача мобільної станції (дБВт)

h <sub>БС</sub> = 28 м			
P <sub>БС</sub> , дБВт	r = 0,5 км	r = 1 км	r = 1,5 км
10	-109,734	-120,427	-126,682
12	-107,734	-118,427	-124,682
14	-105,734	-116,427	-122,682
16	-103,734	-114,427	-120,682
18	-101,734	-112,427	-118,682

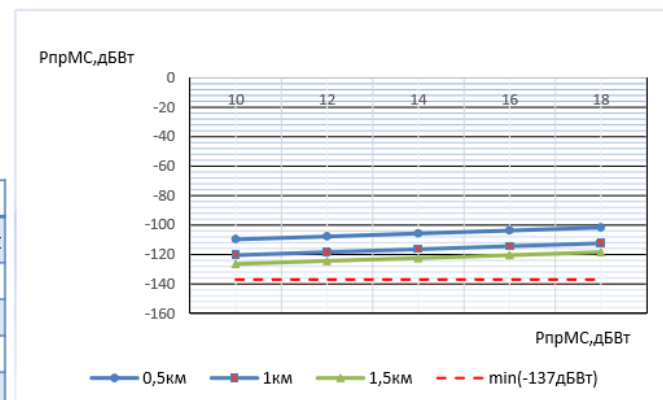


Рисунок 7 – Залежність потужності сигналу на вході приймача МС від потужності передавача БС та відстані між ними

#### 1.4 Визначення максимальної відстані між базовою та мобільною станціями при мінімальній потужності сигналу на вході примача МС

Таблиця 9- Дані для розрахунків максимальної відстані між БС та МС

$h_{БС,М}$	$G_{БС}$ , раз			$P_{перБС}$ , Вт							$f$ , МГц	$P_{пр.минМС}$ , Вт (-107 дБм)
	В1	В2	В3	В1	В2	В3	В4	В5	В6	В7		
28	5	7	9	10	12	14	16	18	20	22	1917,1	$1,995 \cdot 10^{-4}$

Таблиця 10- Результати розрахунків максимальної відстані між БС та МС

$P_{перБС}$ , Вт	$G_{БС} = 5$ раз	$G_{БС} = 7$ раз	$G_{БС} = 9$ раз
10	3,331 км	3,662 км	3,931 км
12	3,507 км	3,855 км	4,136 км
14	3,662 км	4,026 км	4,321 км
16	3,803 км	4,18 км	4,487 км
18	3,931 км	4,321 км	4,638 км
20	4,049 км	4,452 км	4,778 км
22	4,159 км	4,573 км	4,908 км

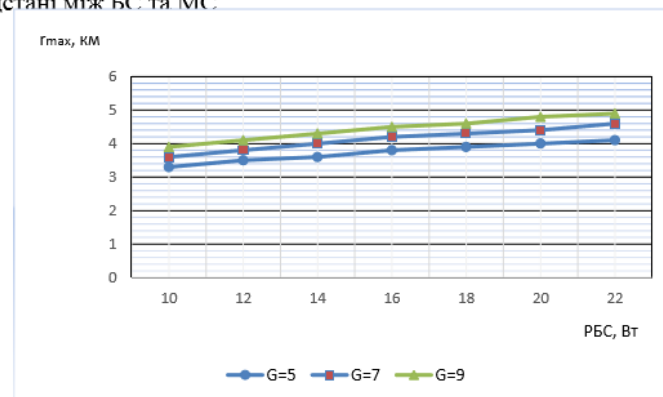


Рисунок 8 – Залежність максимальної відстані між БС та МС від потужності передавача базової станції та коефіцієнта підсилення антени БС

**2 РОЗРАХУНОК СПІВВІДНОШЕННЯ СИГНАЛ/ЗАВАДА  
НА ВХОДІ ПРИЙМАЧА МОБІЛЬНОЇ СТАНЦІЇ, ЯКА  
ПЕРЕМІЩУЄТЬСЯ В МЕЖАХ МІСТА ГОРОДОК В УМОВАХ  
ДІЇ ВНУТРІШНЬОСИСТЕМНИХ ЗАВАД**

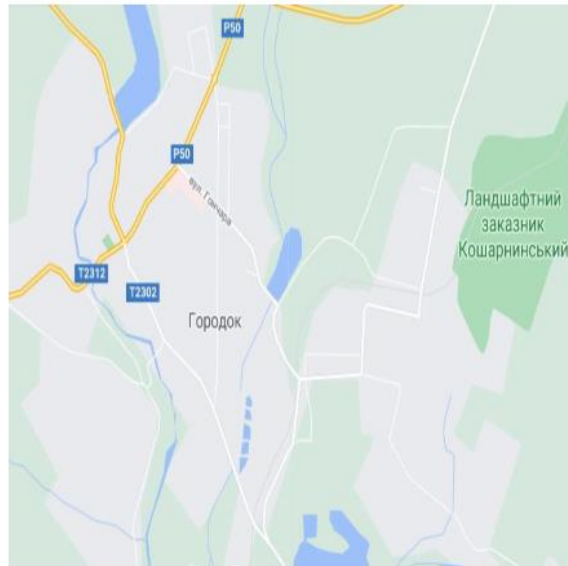


Рисунок 9 – Карта міста Городок

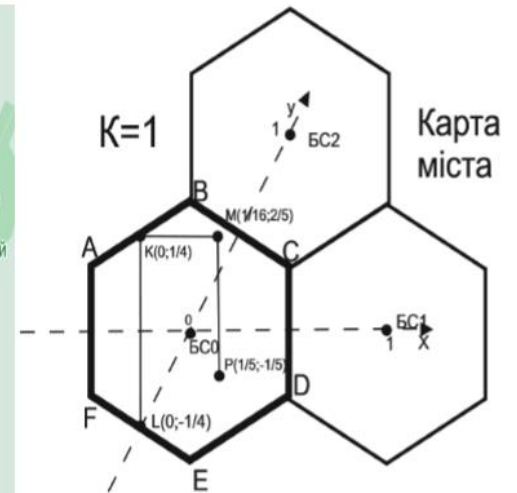


Рисунок 10-Траекторія руху мобільної станції по плоскому гексагональному стільнику LKMP м.Городок

## 2.1 Розрахунки співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції при однакових технічних характеристиках базових станцій міста Городок

Таблиця 11 - Технічні характеристики БС та МС

Базові станції	$P_{\text{перБС, Вт}}$	$G_1, \text{дБ}$	$G_2, \text{дБ}$	$h_1, \text{м}$	$h_2, \text{м}$
Б <sub>1</sub> , Б <sub>2</sub> , Б <sub>3</sub> ... Б <sub>6</sub>	12	6 (3,9 ф а)	2 (1,5 ф а)	28	1,7

Таблиця 12 - Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки L

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_L)$	5,244	6,25	5,244	3,247	2,25	3,247

Таблиця 13 - Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки K

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_K)$	3,247	3,25	3,247	5,244	6,25	5,244

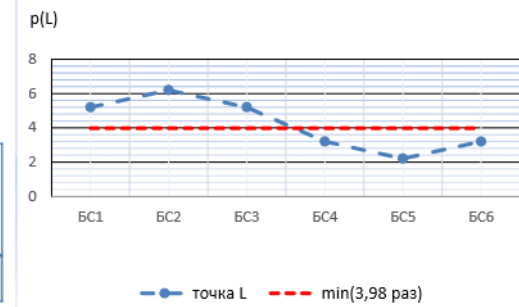


Рисунок 11-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки L

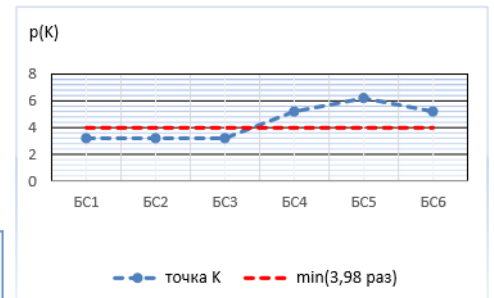


Рисунок 12-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки M

Таблиця 14 - Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки М

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_M)$	2,477	0,766	3,976	3,085	4,14	9,574

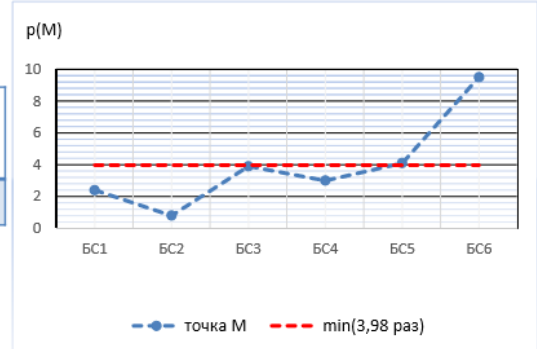


Рисунок 13-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки М

Таблиця 15 - Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки Р

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_P)$	20,976	30,969	36	30,969	20,976	16

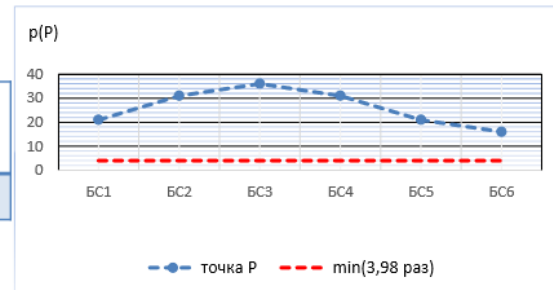


Рисунок 14-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки Р

Таблиця 16 - Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_L)$	5,244	6,25	5,244	3,247	2,25	3,247
$\rho^2(x_K)$	3,247	3,25	3,247	5,244	6,25	5,244
$\rho^2(x_M)$	2,477	0,766	3,976	3,085	4,14	9,574
$\rho^2(x_P)$	20,976	30,969	36	30,969	20,976	16

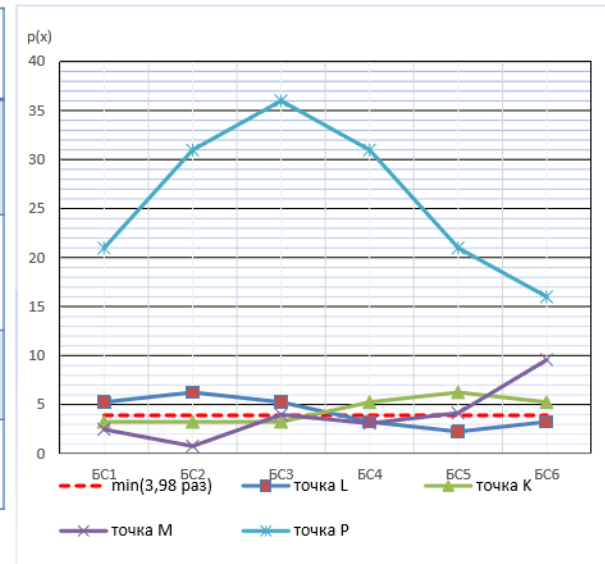


Рисунок 15-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції

**2.3 Розрахунки співвідношення сигнал/завада на вході приймача мобільної станції з використанням моделі Окамури-Хаті.**

Таблиця 17 - Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки L

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_L)$	12,781	14,135	12,781	9,084	6,254	8,09

Таблиця 18 - Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки K

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_K)$	9,084	6,254	9,084	12,781	14,135	12,781

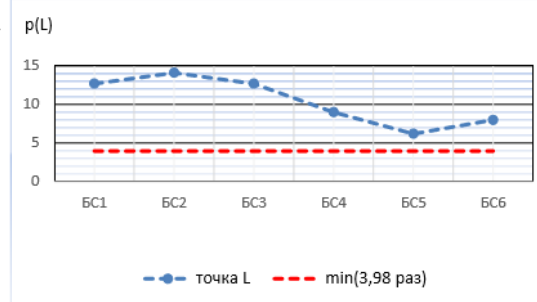


Рисунок 16-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки L

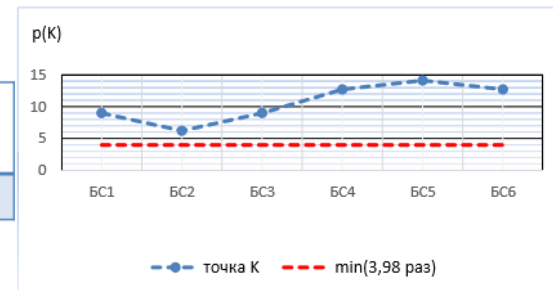


Рисунок 17-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки K

Таблиця 19 - Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки М

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_M)$	6,996	2,053	10,648	8,69	10,958	17,424

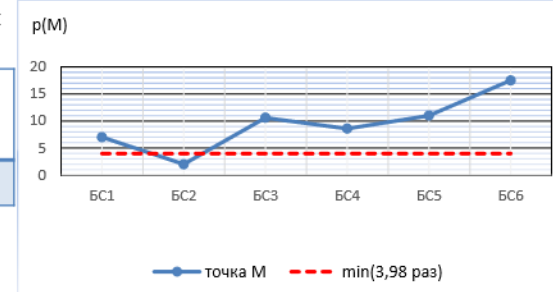


Рисунок 18-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки М

Таблиця 20 - Залежність співвідношення сигнал/завада для кожної базової станції окремо для точки Р

Базові станції	БС <sub>1</sub>	БС <sub>2</sub>	БС <sub>3</sub>	БС <sub>4</sub>	БС <sub>5</sub>	БС <sub>6</sub>
$\rho^2(x_P)$	23,474	26,479	27,64	26,479	23,474	21,385

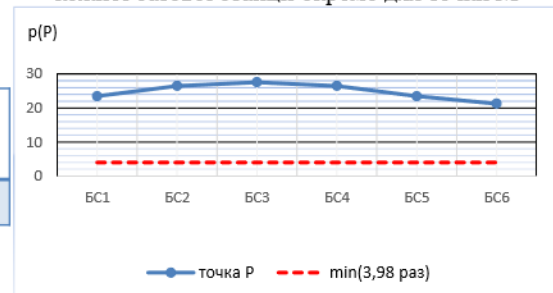


Рисунок 19-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції окремо для точки Р

## 2.4 Розрахунок співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС по методу аналітичного опису траєкторії рухомого об'єкта з використанням моделі Окамури-Хати

Відношення сигнал/завада на вході приймача МС:

$$\rho^2(x_M) = [4 \cdot 5^{-6,5} \cdot \text{ohg} \cdot \left| 1 - \frac{d_i(x_M, y_M; x_{B1}, y_{B1})}{r} \right|], \text{ дБ.} \quad (14)$$

Таблиця 21 - Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС

Базові станції	BC <sub>1</sub>	BC <sub>2</sub>	BC <sub>3</sub>	BC <sub>4</sub>	BC <sub>5</sub>	BC <sub>6</sub>
$\rho^2(x_L)$	12,781	14,135	12,781	9,084	6,254	8,09
$\rho^2(x_K)$	9,084	6,254	9,084	12,781	14,135	12,781
$\rho^2(x_M)$	6,996	2,053	10,648	8,69	10,958	17,424
$\rho^2(x_P)$	23,474	26,479	27,64	26,479	23,474	21,385

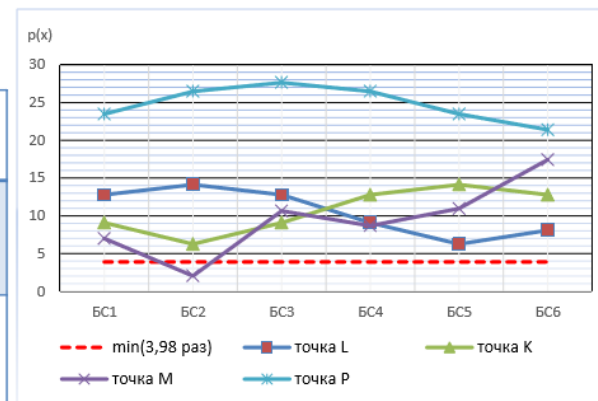


Рисунок 20-Залежність співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС від кожної базової станції (модель Окамури-Хати)

## ВИСНОВКИ

1. Відношення сигнал /завада на вході приймача мобільної станції вагомо залежить від кількості та характеристик базових станцій, координат розміщення мобільної станції у стільнику.

2. При збільшенні числа одночасно діючих джерел завад співвідношення сигнал/завада зменшується за рахунок того, що потужність передавача, коефіцієнт підсилення антени та висота Б С ділиться на суму потужностей передавачів, коефіцієнтів підсилення антен та висот сусідніх базових станцій.

3. Збільшення потужності передавача Б С по відношенню до потужностей передавачів Б С ... Б С покращує співвідношення С/З на вході приймачів МС у стільнику Б С, але підвищує рівень внутрішньосистемних завад в сусідніх комірках Б С ... Б С . Зменшення потужності передавача Б С по відношенню до потужностей передавачів Б С ... Б С погіршує співвідношення С/З на вході приймачів МС у стільнику Б С і підвищує рівень внутрішньосистемних завад в стільнику Б С.

4. Максимальна відстань між БС та МС при пороговому значенні потужності сигналу на вході приймача МС -107 дБм,  $P_{\text{e p}} = 10$  Вт,  $G_{\text{B}} = 5$ дб буде складати 3,331 км, а максимальна відстань між БС та МС при  $P_{\text{e p}} = 22$  Вт,  $G_{\text{B}} = 5$ дб буде складати 4,159 км. Максимальні відстані від МС та БС при заданих технічних параметрах будуть відповідати максимальним радіусам комірок стандарту CDMA.

5. Співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС залежить від відстаней до  $BC_0, BC_1 \dots BC_6$  та їх технічних характеристик. Чим ближче знаходиться МС до  $BC_0$ , тим краще співвідношення сигнал/завада. Так, для першого варіанту (МС знаходиться в точці L)  $\rho^2(x_L) = 5,244$ , а для точки P,  $\rho^2(x_P) = 20,976$ .

6. При проектуванні мереж мобільного зв'язку стандарту CDMA і використанні косокутної системи координат значення співвідношення сигнал/завада є нижчими ніж в моделі Окамури-Хати. Тому при проектуванні мереж мобільного зв'язку стандарту CDMA для визначення співвідношення сигнал/завада на вході приймача МС необхідно брати за основу косокутну систему координат, так як вона більш реально відображає завадову обстановку.

7. Для мінімізації внутрішньосистемних завад необхідно, щоб контролер базових станцій сумісно з центром комутації рухомого зв'язку створювали умови, за яких рівень потужностей всіх передавачів базових станцій був приблизно однаковим.

8. Проведено розрахунок впливу внутрішньосистемних завад у мережі мобільного зв'язку при різних технічних характеристиках базових станцій. Це дозволило підвищити ефективність мережі мобільного зв'язку на 5,6% в умовах дії внутрішньосистемних завад.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**

**Anti-Plagiarism v-15.257****Максимальне співпадіння з одним документом 14.0%****Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA Помилки в документах: 8%**

ID: 82475 Назва: Підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з рухомими об'єктами в умовах дії внутрішньосистемних завод Додано в БД: 2020-12-04 Автор: А.І. Повх Керівник: В.І. Лузанський Консультанти: Опоненти: Ю.М. Бойко	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	82296	537	16200 (20%)	79 (15%)

## Джерело плагиату

ID	Опис	Наявність плагиату в документі	
		Символи	Лексеми
43901	Назва: Підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з рухомими об'єктами за рахунок їх заводостійкості Додано в БД: 2018-01-09 Автор: Наркевич Марія Юрївна Керівник: Лузанський Віктор Ігорович Консультанти: Опоненти: Підченко Сергій Костянтинович	11478 (14.0%)	108 (20.0%)



Ім'я користувача:  
Кафедра АКІПТК

ID перевірки:  
1005404542

Дата перевірки:  
08.12.2020 18:31:58 EET

Тип перевірки:  
Doc vs Internet

Дата звіту:  
08.12.2020 22:16:49 EET

ID користувача:  
100005862

Назва документа: Дипломна Повх

Кількість сторінок: 143 Кількість слів: 24942 Кількість символів: 152402 Розмір файлу: 5.74 MB ID файлу: 1005696379

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

**10%**  
**Схожість**

Найбільша схожість: 5.02% з Інтернет-джерелом (<http://elar.khnu.km.ua/jspui/bitstream/123456789/6012/1/14.pdf>)

10% Джерела з Інтернету

531

Сторінка 145

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

**0% Цитат**

Вилучення цитат вимкнено

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнено

**0%**  
**Вилучень**

Немає вилучених джерел

**Модифікації**

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

1600

Підозріле форматування

61  
сторінка

**РЕЦЕНЗІЯ**

на дипломну роботу

**«Підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з рухомими об'єктами в умовах дії внутрішньосистемних завад»**

студента Повха Андрія Ігоровича

Дипломна робота та її зміст повністю відповідають завданню. Сформульовані мета, об'єкт та предмет дослідження свідчать про актуальність теми – підвищення ефективності стільникових мереж рухомого радіозв'язку шляхом впровадження підвищеної завадостійкості від внутрішньосистемних завад при одночасному забезпеченні заданої якості зв'язку.

Дипломна робота виконана відповідно до перспективних планів наукової роботи, кафедри автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій і телекомунікацій університету з тематики подальшого розвитку систем мобільного зв'язку.

Метою роботи є розвиток та удосконалення методів підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з рухомими об'єктами в умовах дії внутрішньосистемних завад.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що автором надані науково-обґрунтовані рекомендації щодо підвищення ефективності роботи систем мобільного зв'язку в умовах дії внутрішньосистемних завад при заданій якості обслуговування абонентів.

Результати дипломної роботи можуть бути використані при проектуванні мереж мобільного зв'язку стандарту CDMA. В цілому зміст роботи відповідає темі, вся інформація подана у роботі є достовірною. До недоліків роботи можна віднести деякі стилістичні помилки, які суттєво не впливають на її наукову-технічну цінність.

Робота викладена науковою мовою, логічно й послідовно. Пояснювальна записка відповідає стандартам до її оформлення.

Робота Повха Андрія Ігоровича відповідає вимогам, які висуваються до дипломної роботи і може бути оцінена на оцінку «Відмінно».

**Рецензент:**

доктор технічних наук, професор

**Бойко Ю. М.**“ 7 ” 12 2020 р.

Завідувачу кафедри  
проф. Мартинюку В.В.  
здобувача вищої освіти (студента ПІБ,  
факультет, «курс», «група»)  
Повха А.І.ФІКТС.другий курс  
Магістратури.ТРМ-19-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

03 грудня 2020 р.

дата

Повха

підпис



## РІШЕННЯ КАФЕДРИ

**АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ**

## ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Підвищення ефективності стільникових систем радіозв'язку з рухомими об'єктами в умовах дії внутрішньосистемних завад.

Автор: **Повх Андрій Ігорович**

Спеціальність: **172 Телекомунікації та радіотехніка**

Освітня програма: Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: **д.т.н. проф. Лужанський Віктор Ігорович**

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	<b><u>Відповідає</u></b>
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження: Запозичення у розмірі 14%, виявлені в роботі відповідають тексту стандартних бланків та списку літератури, решта запозичень є випадковими, або на них є посилання, тому ці запозичення не є плагіатом, бо вони не стосуються наукової новизни і практичної значущості роботи.

3.12.2020р.

Науковий керівник роботи:

Зав. каф. АКІТІТК



Лужанський В.І.

Мартинюк В.В.