

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"
КАФЕДРА ЗВУКОТЕХНІКИ ТА РЕЄСТРАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ**

ПРОЕКТУВАННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

Навчальний посібник для виконання курсової роботи з дисципліни
«Телекомунікаційні безпроводові системи»

(для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки
6.050903 «Телекомунікації»)

Київ 2014

Пілінський В.В. Проектування безпроводових стільникових мереж зв'язку: навчальний посібник для виконання курсової роботи з дисципліни «Телекомунікаційні безпроводові системи» для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050903 «Телекомунікації»/В.В. Пілінський, П.В. Попович, С.М. Веретюк – К.: НТУУ "КПІ", 2014. – 69 с.

*Рекомендовано Вченою радою факультету електроніки НТУУ "КПІ"
(Протокол № 03/14 від 31 березня 2014 р.)*

Навчальне видання

Проектування безпроводових стільникових мереж зв'язку

Навчальний посібник

для виконання курсової роботи з дисципліни «Телекомунікаційні безпроводові системи»
для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050903 «Телекомунікації»

Укладачі: Пілінський Володимир Володимирович, кандидат техн. наук, професор
Попович Павло Васильович, асистент
Веретюк Сергій Михайлович, аспірант

Відповідальний редактор:

Лазебний Володимир Семенович, кандидат техн. наук, доцент

Рецензент:

Терлецький Олександр Володимирович, кандидат техн. наук, доцент

Ухвалено на засіданні кафедри звукотехніки та реєстрації інформації / протокол №1 від 30.08.2013 р.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Мета та завдання курсової роботи.....	5
Завдання на курсову роботу.....	6
Вимоги до змісту курсової роботи.....	10
1 Аналітичний огляд безпроводової телекомунікаційної системи.....	12
2 Розрахунок параметрів безпроводових стільникових мереж зв'язку.....	14
3 Вибір антени базової станції.....	26
4 Моделювання безпроводової мережі в програмному середовищі Atoll.....	35
Додаток А. Приклади базових станцій.....	40
Додаток Б. Приклади антенного обладнання.....	47
Додаток В. Моделі поширення радіохвиль.....	57
Додаток Г. Теми курсових робіт.....	64
Список рекомендованої літератури.....	69

ВСТУП

Дисципліна "Телекомунікаційні безпроводові системи" належить до ряду фундаментальних фахових дисциплін під час вивчення та освоєння спеціальності "Телекомунікаційні системи та мережі" за напрямом підготовки 6.050903 "Телекомунікації".

Вивчення дисципліни базується на змісті дисциплін "Технічна електродинаміка, антени та поширення радіохвиль", "Основи теорії телекомунікацій", "Мережні технології", "Телекомунікаційні мережі". Вона є основою для вивчення дисципліни "Телекомунікаційні мережі наступного покоління".

В дисципліні розглядають сучасні концепції побудови систем безпроводового зв'язку та тенденції їх розвитку, технології їх поєднання з іншими телекомунікаційними каналами під час передавання інформації, що відповідає основній задачі стандартизації цих систем з метою створення регіональних загальнонаціональних мереж зв'язку.

Це повинно забезпечити належну підготовку студентів для успішного вивчення інших дисциплін відповідно до вимог кваліфікаційної характеристики бакалавра, спеціаліста та магістра, а також для вирішення виробничих задач під час самостійної роботи в галузі телекомунікацій.

Курсова робота дає можливість студентам більш глибоко зануритись у вивчення дисципліни та розкрити практичні особливості побудови безпроводових телекомунікаційних мереж.

МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Метою курсової роботи є засвоєння студентами основних особливостей функціонування систем рухомого безпроводового зв'язку, отримання навичок розрахунку параметрів безпроводових стільникових мереж, проектування, моделювання та аналізу таких мереж в спеціалізованих програмних середовищах. Під час виконання курсової роботи студенти:

- виконують аналітичний огляд системи безпроводового зв'язку певного стандарту;
- здійснюють розрахунок основних параметрів мережі, таких як радіус стільника та кількість базових станцій;
- виконують підбір антенного обладнання та обладнання базових станцій (БС);
- розраховують висоту підвісу антени БС;
- здійснюють налаштування параметрів передавачів та антен БС і моделювання радіопокриття мереж GSM/GPRS/EDGE, CDMA2000 1x EV-DO/UMTS, WiMAX, LTE у спеціалізованому програмному середовищі Atoll;
- виконують підключення БС до контролера мережі за допомогою радіорелейних ліній зв'язку (РРЛ) та здійснюють вибір обладнання РРЛ;
- виконують моделювання радіопокриття за параметрами, специфічними для певної системи зв'язку (наприклад, за пропускнуою здатністю чи за ефективним рівнем сигналу);
- налаштовують частотні канали та складають частотний план проектованої безпроводової мережі зв'язку.

ЗАВДАННЯ НА КУРСОВУ РОБОТУ

Оператору системи безпроводового зв'язку необхідно розгорнути інфраструктуру мережі абонентського доступу на заданій території відповідно до умов наданої йому ліцензії.

В табл. 1-5 наведені початкові дані для розрахунку безпроводових мереж відповідно до номеру варіанту та безпроводової технології, що має бути застосована.

Таблиця 1 – Технологія та місцевість, де розгортається мережа (докладно див. додаток Г)

№ варіанту	Тема курсової роботи	Місто

Таблиця 2 – Початкові дані для розрахунку мережі GSM

Варіант №	F , МГц	Система	M	C	A_0 , Ерл	$P_{бл}$, %
1, 25	8	GSM-900	3	3	0,1	2
6, 22	15	GSM-1800	3	4	0,05	3
9, 27	10	GSM-900	3	3	0,015	4
14, 28	20	GSM-1800	3	4	0,02	2
17, 36	8	GSM-900	3	3	0,03	3
37, 46	10	GSM-1800	3	4	0,04	2
41, 50	12	GSM-900	3	3	0,06	5

Таблиця 3 – Початкові дані для розрахунку мережі CDMA2000/UMTS

Варіант №	FR , МГц	F , МГц	Δf_k , МГц	M	C	$R_{аб}$, Мбіт/с	HSPA	Тип трафіку	A_0 , Ерл	$P_{бл}$, %
2, 18	850	8	1,25	3	1	0,384	нема	Веб-трафік	-	-
4, 15	2000	15	5	3	1	0,0122	нема	Голос	0,05	3
7, 12	2000	15	5	3	1	2	є	Відеоконф.	-	-

10, 34	850	4	1,25	3	1	0,144	нема	Веб-трафік	-	-
20, 29	2000	30	5	3	1	0,0122	нема	Голос	0,03	2
23, 33	2000	30	5	3	1	4	є	Відеосервіс	-	-
18, 49	850	8	1,25	3	1	0,0122	нема	Голос	0,04	3
38, 43	2000	30	5	3	1	1	нема	VoIP	-	-
39, 48	2000	15	5	3	1	2	є	Веб-трафік	-	-

Таблиця 4 – Початкові дані для розрахунку мережі WiMAX

Варіант №	FR , МГц	F , МГц	Δf_k , МГц	M	C	$R_{аб}$, Мбіт/с	Схема MIMO	Тип трафіку
5, 26	2500	30	10	3	1	2	1x1	Веб-трафік
8, 30	3500	30	5	3	1	10	2x2	VoIP
13, 35	2500	21	7	3	1	1	1x1	Веб-трафік
16, 40	3500	30	10	3	1	5	2x2	Відеосервіс
21, 44	2500	30	5	3	1	0,5	1x1	Відеоконференції
24, 45	3500	21	7	3	1	2	2x2	VoIP

Таблиця 5 – Початкові дані для розрахунку мережі LTE

Варіант №	FR , МГц	F , МГц	Δf_k , МГц	M	C	$R_{аб}$, Мбіт/с	Схема MIMO	Тип трафіку
3	900	30	5	3	1	5	1x1	Веб-трафік
11	2600	30	10	3	1	10	2x2	Відеосервіс
19	2100	45	15	3	1	5	1x1	VoIP
32	1800	30	10	3	1	5	2x2	Відеоконференції
42	2600	60	20	3	1	20	1x1	Веб-трафік
47	900	9	2,5	3	1	2	2x2	VoIP

Під час виконання курсової роботи необхідно:

1. Виконати *аналітичний огляд* системи безпроводового зв'язку – розкрити особливості архітектури проектованої мережі, навести основні технічні

характеристики системи та проаналізувати особливості радіоінтерфейсу системи зв'язку, що проектується.

2. Розрахувати *просторові параметри* мережі – кількість базових станцій (БС) та радіус стільника; обрати обладнання базової станції, навести його технічні характеристики та зображення.

3. Обрати антену для базової станції, навести основні параметри антени та її зображення, розрахувати *бюджет радіолінії* та *висоту підвісу антени* БС на основі вибраної моделі поширення радіохвиль (ПРХ). Вибір моделі ПРХ аргументувати.

4. Виконати *моделювання безпроводової мережі* в програмному середовищі Atoll.

4.1. Розташували БС на заданій території відповідно до результатів розрахунку просторових параметрів мережі, змоделювати *радіопокриття мережі за рівнем сигналу*. Навести статистику покриття, виконати оптимізацію мережі там, де це необхідно.

4.2. Підключити усі БС до контролера мережі за допомогою *радіорелевних ліній* (РРЛ) зв'язку. Підтвердити працездатність сегментів РРЛ, навівши їх профілі. За необхідності використати повторювачі. Обрати обладнання РРЛ, навести його технічні характеристики.

4.3. Розробити *функціональну схему* мережі безпроводового зв'язку на основі розрахунку просторових параметрів та враховуючи підключення БС мережі до контролера за допомогою РРЛ. Включити до функціональної схеми розроблену мережу абонентського доступу та базову (опорну) мережу відповідної безпроводової системи. Функціональну схему виконати засобами пакету MS Visio.

4.4 Здійснити *частотно-територіальне планування* безпроводової системи зв'язку (для систем GSM/WiMAX/LTE виділити відповідно до результатів розрахунків частоти для передавачів БС, для систем CDMA2000/UMTS виконати розподіл скремблювальних послідовностей). Студенти можуть виконати це

завдання з використанням або без використання програми Atoll (за вибором студента).

ВИМОГИ ДО ЗМІСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Курсова робота має містити такі складові:

1. **Титульний аркуш** встановленого зразка, на якому має бути обов'язково зазначено тему роботи та варіант завдання.

2. **Завдання на курсову роботу** з початковими даними відповідно до варіанту та переліком завдань, які треба вирішити в результаті виконання роботи (можна скористатися текстом, наведеним у файлі з темами та завданням).

3. **Реферат**, в якому треба зазначити шифр УДК, стисло сформулювати мету роботи, охарактеризувати очікувані результати та сферу їх використання, а також навести перелік ключових слів.

4. **Зміст** курсової роботи (починаючи з цього аркуша всі сторінки мають бути *пронумеровані* і поміщені *в рамку*; аркуш з першою сторінкою змісту – у рамку з великим штампом, інші сторінки – у рамку з малим штампом. У штампі вказати децимальний номер ЕТДФ.464160.XXX ПЗ, де XXX – це номер варіанту завдання).

5. **Перелік скорочень та умовних позначень** виконують в алфавітному порядку, спочатку наводять україномовні скорочення, а потім англomовні з розшифруванням спочатку англійською мовою, а потім – українською.

6. **Вступ**, в якому треба сформулювати *актуальність роботи*, її мету, задачі, які мають бути вирішені в результаті виконання роботи. Крім того, треба зазначити *об'єкт проектування*, перерахувати *методи та засоби*, за допомогою яких заплановано досягнути поставленої мети, а також сформулювати *сферу використання* отриманих результатів.

7. **Основна частина пояснювальної записки** (чотири розділи відповідно до завдання).

8. **Висновки**, в яких коротко охарактеризувати отримані результати: вказати кількість БС та радіус стільника, виробника та модель обладнання БС і антен, їх кількість для забезпечення функціонування одного сайту, максимально допустимі втрати та мінімально необхідну висоту підвісу антени БС, зазначити

модель ПРХ та пояснити її вибір, коротко охарактеризувати результати проектування (моделювання) безпроводової мережі в програмному середовищі Atoll.

9. Перелік посилань.

10. **Додаток А. Функціональна схема системи безпроводового зв'язку**, виконана у вигляді креслення на аркуші формату А3 (А4) (децимальний номер ЕТДФ.464160.ХХХ Е2 з написом "Система безпроводового зв'язку (*вказати стандарт*). Схема електрична функціональна").

11. **Додаток Б. Карта радіопокриття мережі безпроводового зв'язку**, виконана у вигляді креслення на аркуші формату А3 (А4) (децимальний номер ЕТДФ.464160.ХХХ ТК з написом "Карта радіопокриття мережі безпроводового зв'язку (*вказати стандарт*). Теоретичне креслення").

12. **Додаток В. Карта з підключеними БС до контролера за допомогою РРЛ**, виконана у вигляді креслення на аркуші формату А3 (А4) (децимальний номер ЕТДФ.464160.ХХХ-1 ТК з написом "Радіорелейні лінії для зв'язку між БС мережі (*вказати стандарт*). Теоретичне креслення").

Загальний обсяг пояснювальної записки до курсової роботи не повинен перевищувати 50-60 сторінок.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД БЕЗПРОВОДОВОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Виконання першого розділу курсової роботи має продемонструвати ґрунтовні знання студента з принципів функціонування запропонованої безпроводової системи зв'язку

Студент виконує аналітичний огляд запропонованої безпроводової телекомунікаційної системи у такій послідовності:

- за наявними літературними джерелами [1-5] досліджує архітектуру безпроводової мережі, аналізує складові елементи мережі та з'ясовує їх призначення;

- здійснює пошук та аналіз основних параметрів і технічних характеристик досліджуваної безпроводової телекомунікаційної системи. Знайдені параметри та характеристики необхідно представити у вигляді таблиці, після якої навести коментарі щодо їх особливостей, притаманних для даної системи;

- аналізує особливості реалізації радіоінтерфейсу запропонованої безпроводової системи: наводить інформацію про типи каналів, які використовує досліджувана система, та структуру кадру радіоінтерфейсу, розкриває принципи каналного кодування і модуляції, технології багатостанційного доступу (OFDM, OFDMA, SC-FDMA), застосування багатоантенних систем (MIMO) тощо.

Аналітичний огляд має бути виконаний чітко за вказаним планом, розкривати сутність основних питань і відповідати темі курсової роботи. Також, у різі необхідності, дозволяється виконувати огляд додаткових можливостей і функцій, які реалізовані на фізичному рівні досліджуваної системи, що мають безпосереднє відношення до тематики курсової роботи.

Обсяг розділу аналітичного огляду має складати не більше 20 сторінок.

Структура першого розділу курсової роботи:

1 Аналітичний огляд безпроводової телекомунікаційної системи GSM-900 (GSM-1800, CDMA2000/UMTS HSPA, WiMAX, LTE)

1.1 Архітектура безпроводової мережі

1.2 Основні параметри та технічні характеристики GSM-900 (GSM-1800, UMTS HSPA, WiMAX, LTE)

1.3 Особливості радіоінтерфейсу безпроводової телекомунікаційної системи

2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ БЕЗПРОВОДОВИХ СТІЛЬНИКОВИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Загальні підходи до розрахунку параметрів безпроводових мереж зв'язку

Для виконання розрахунку покриття заданої території системою безпроводового зв'язку GSM, CDMA2000 1x EV-DO/UMTS HSPA, WiMAX, LTE необхідно мати такі початкові дані (табл. 2.1-2.4):

- S – площа території, що обслуговується, км²;
- ρ – щільність населення, осіб/км²;
- FR – діапазон частот, в якому працює система;
- F – смуга частот, виділена оператору за умовами ліцензії для розгортання системи стільникового зв'язку, МГц;
- Δf_k – смуга частот одного радіоканалу, МГц;
- $N_{\text{фк_чк}}$ – кількість фізичних каналів, які одночасно використовують один частотний канал (для системи GSM $N_{\text{фк_чк}} = 8$);
- M – кількість секторів у стільнику ($M = 3$ при $\theta = 120^\circ$, де θ – ширина діаграми спрямованості антен БС);
- C – розмірність кластера ($C = 3$ для GSM-900, $C = 4$ для GSM-1800, $C = 1$ для LTE і WiMAX);
- $R_{\text{аб}}$ – гарантована абонентська швидкість, Мбіт/с;
- k – коефіцієнт, що враховує застосування технології MIMO для LTE, WiMAX (для схеми MIMO 2x2 $k = 2$, за відсутності технології MIMO $k = 1$);
- Тип трафіку – заданий тип трафіку (веб-трафік, VoIP, потокове відео, відеоконференції або ігри через інтернет);
- $P_{\text{бл}}$ – допустима імовірність блокування виклику в CC3 GSM, CDMA2000/UMTS HSPA, %;

A_0 – активність одного абонента в годину найбільшого навантаження для GSM, UMTS HSPA, Ерл.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку мережі GSM

Варіант №	F , МГц	Система	M	C	A_0 , Ерл	$P_{\text{бл}}$, %

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розрахунку мережі CDMA2000/UMTS

Вар. №	FR , МГц	F , МГц	Δf_k , МГц	M	C	$R_{\text{аб}}$, Мбіт/с	HSPA	Тип трафіку	A_0 , Ерл	$P_{\text{бл}}$, %

Таблиця 2.3 – Вихідні дані для розрахунку мережі WiMAX

Варіант №	FR , МГц	F , МГц	Δf_k , МГц	M	C	$R_{\text{аб}}$, Мбіт/с	Схема MIMO	Тип трафіку

Таблиця 2.4 – Початкові дані для розрахунку мережі LTE

Варіант №	FR , МГц	F , МГц	Δf_k , МГц	M	C	$R_{\text{аб}}$, Мбіт/с	Схема MIMO	Тип трафіку

Необхідно виконати обчислення кількості базових станцій і радіусу стільника [6].

Для цього спочатку визначаємо загальну кількість частотних каналів, виділених для розгортання мережі безпроводового зв'язку:

$$n_k = \text{int} \left(\frac{F}{\Delta f_k} \right),$$

де F – смуга частот, виділена оператору за умовами ліцензії для розгортання системи, МГц;

Δf_k – смуга частот одного радіоканалу, МГц (для GSM $\Delta f_k = 200$ кГц).

Визначаємо кількість частотних каналів для обслуговування абонентів в одному секторі одного стільника:

$$n_{\text{чк}_c} = \text{int} \left(\frac{n_k}{M \cdot C} \right),$$

де M – кількість секторів в стільнику; C – розмір кластера.

Визначаємо кількість потенційних абонентів :

$$N_A = Z \cdot \mu \cdot \rho \cdot S,$$

де Z – запланована частка ринку ($Z = 80\%$, не враховуючи населення, молодше 12 років, і літніх людей), для GSM-900 частка ринку може становити менше 50% через низьку абонентську ємність;

μ – проникнення даного типу сервісу (для GSM $\mu = 1,1$, CDMA2000/UMTS HSPA $\mu = (0,4 \dots 0,6)$, для WiMAX $\mu = (0,05 \dots 0,15)$, для LTE $\mu = (0,3 \dots 0,5)$);

ρ – щільність населення, осіб/км², розраховують як відношення кількості населення в місті $N_{\text{нас}}$ до площі території, зайнятої містом, $S_{\text{тер}}$;

S – площа території, на якій розгортається система стільникового зв'язку, км².

2.2 Визначення кількості БС та радіусу стільника для мережі GSM

Визначаємо необхідну пропускну здатність мережі для якісного обслуговування N_A абонентів (загальний трафік в мережі):

$$A_A = N_A \cdot A_0,$$

де A_0 – інтенсивність трафіку, що генерується одним абонентом, Ерл.

Визначаємо інтенсивність трафіку, що створюється однією БС. Для цього спочатку треба визначити кількість фізичних каналів в стільнику:

$$N_{\text{фк_ст}} = M \cdot n_{\text{чк_ст}} \cdot N_{\text{фк_чк}},$$

де $N_{\text{фк_чк}}$ – кількість фізичних каналів в одному радіоканалі (для системи GSM $N_{\text{фк_чк}} = 8$).

Для визначення інтенсивності трафіку $A_{\text{БС}}$, що створюється однією БС, треба скористатися графіком першої формули Ерланга – Erlang B (рис. 2.1) або калькулятором Ерланга, наданого викладачем, куди потрібно ввести значення імовірності блокування виклику $P_{\text{бл}}$ і знайдену кількість фізичних каналів в стільнику $N_{\text{фк_ст}}$.

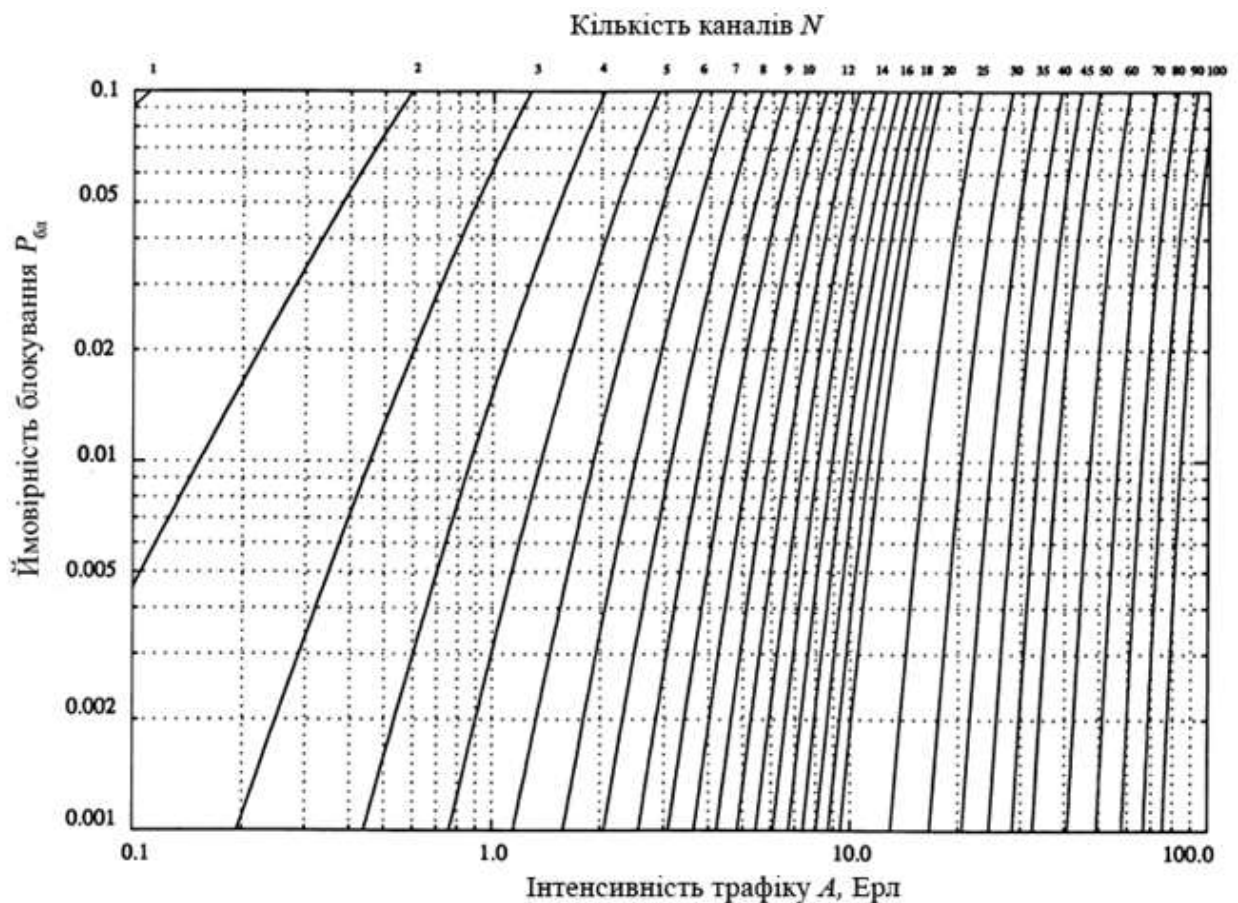


Рисунок 2.1 – Графічне представлення першої формули Ерланга (Erlang B)

Визначаємо кількість базових станцій:

$$N_{\text{БС}} = \frac{A_{\text{А}}}{A_{\text{БС}}},$$

та радіус стільника:

$$R_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{2S}{3\sqrt{3}N_{\text{БС}}}}.$$

2.3 Визначення кількості БС та радіусу стільника для безпроводових мереж CDMA2000 1x EV-DO/UMTS HSPA

Визначаємо максимальну кількість каналних ресурсів N , які надають $n_{\text{чк}_c}$ передавачів БС в секторі:

$$N = \text{int} \left(n_{\text{чк}_c} \cdot \frac{\frac{W}{R_{\text{аб}}}}{\frac{E_b}{N_0} \cdot \nu \cdot (1+i)} \cdot k \right),$$

де W – чіпова швидкість, Мчп/с (CDMA2000 1x EV-DO $W = 1,2288$ Мчп/с, для системи UMTS HSPA $W = 3,84$ Мчп/с);

$R_{\text{аб}}$ – абонентська швидкість, Мбіт/с;

E_b/N_0 – відношення енергії біта до спектральної густини потужності шуму, $E_b/N_0 = 5$ дБ (або 3,16) – для голосу, $E_b/N_0 = 1 \dots 1,5$ дБ (або 1,26...1,4) – для даних, чим вища абонентська швидкість $R_{\text{аб}}$, тим нижче значення E_b/N_0 ;

ν – коефіцієнт активності абонента, $\nu = 0,67$ – для голосу, $\nu = 1$ – для даних;

i – співвідношення потужностей завад від користувачів, що знаходяться поза стільником, до завад від користувачів всередині стільника, $i = 0,55$ – для неспрямованих антен, $i = 0,65$ – для трисекторних антен (при $M = 3$);

k – коефіцієнт, що визначає зростання пропускну здатності системи у випадку використання технології HSPA (у випадку використання HSPA $k=4$, за відсутності HSPA $k = 1$).

Після цього розраховують кількість базових станцій. Розрахунок кількості базових станцій здійснюють по-різному у випадку передавання даних та у випадку передавання голосу.

У випадку *передавання даних* необхідно знайти кількість абонентів в стільнику $N_{аб_с}$, виходячи з виразу:

$$N_{аб_с} = M \cdot N \cdot k_{os},$$

де k_{os} – коефіцієнт, який враховує, що для заданого виду трафіку кількість користувачів може бути збільшено внаслідок конкурентного доступу до середовища (oversubscription ratio, табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Значення коефіцієнту конкурентного доступу k_{os} для різних видів трафіку

Сервіс	k_{os}
Веб-трафік	10...25
VoIP	5...10
Відео-, аудіосервіси	1
Відеоконференції	1...2
Ігри через інтернет	5...10

Визначаємо кількість базових станцій у випадку передавання даних:

$$N_{BC} = \frac{N_A}{N_{аб_с}}.$$

У випадку *передавання голосу* спочатку визначаємо необхідну пропускну здатність мережі для якісного обслуговування N_A абонентів (загальний трафік в мережі):

$$A_A = N_A \cdot A_0,$$

де A_0 – інтенсивність трафіку, що генерується одним абонентом, Ерл.

Потім визначаємо інтенсивність трафіку A_C , що створюється в секторі БС. Скористаємося для цього графіком першої формули Ерланга – Erlang B (рис. 2.1) або калькулятором Ерланга, куди потрібно ввести значення імовірності блокування виклику $P_{\text{бл}}$ і отриману кількість каналних ресурсів N в секторі.

Визначаємо кількість базових станцій:

$$N_{\text{БС}} = \frac{A_A}{M \cdot A_C},$$

та радіус стільника:

$$R_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{2S}{3\sqrt{3}N_{\text{БС}}}}.$$

2.4 Визначення кількості БС та радіусу стільника для високошвидкісних безпроводових мереж WiMAX

Визначаємо пропускну здатність БС в секторі (з врахуванням каналного кодування і наявності захисного інтервалу) R , Мбіт/с:

$$R = \frac{n_{\text{чк_с}} \cdot N_{\text{data}} \cdot m \cdot V_{rs} \cdot V_c}{T_s(1 + F_g)},$$

де N_{data} – кількість інформаційних носійних;

m – кількість рівнів модуляції, біт/символ;

T_s – тривалість символу OFDM, мкс;

V_{rs} – швидкість коду Ріда-Соломона, приймаємо $V_{rs} = 96/108$;

V_c – швидкість загорткового коду, приймаємо $V_c = 3/4$;

F_g – величина захисного інтервалу, приймаємо $F_g = 1/8$.

Кількість рівнів модуляції m визначимо з виразу:

$$m = k \cdot \log_2 M',$$

де M' – кількість можливих станів модуляції (максимальна пропускна здатність буде при 64-QAM, отже $M' = 64$);

k – коефіцієнт, що враховує застосування технології MIMO (для схеми MIMO 2×2 $k = 2$, за відсутності технології MIMO $k = 1$).

Тривалість символу OFDM T_s визначимо за формулою:

$$T_s = \frac{7}{8} \cdot \frac{N_{FFT}}{\Delta f_k},$$

де N_{FFT} – кількість точок зворотного перетворення Фур'є (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Залежність N_{FFT} та N_{data} від смуги частот одного радіоканалу

Δf_k , МГц	5	7	10
N_{FFT}	512	1024	1024
N_{data}	384	768	768

Визначаємо кількість абонентів в стільнику $N_{аб_с}$:

$$N_{аб_с} = \frac{M \cdot R}{R_{аб}} \cdot k_{os},$$

де $R_{аб}$ – гарантована швидкість для одного абонента, Мбіт/с;

k_{os} – коефіцієнт, який враховує, що для заданого виду трафіку кількість користувачів може бути збільшено через конкурентний доступ до середовища (oversubscription ratio, табл. 2.1).

Визначаємо кількість базових станцій:

$$N_{BC} = \frac{N_A}{N_{аб_с}},$$

та радіус стільника:

$$R_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{2S}{3\sqrt{3}N_{\text{БС}}}}$$

2.5 Визначення кількості БС та радіусу стільника для високошвидкісних безпроводових мереж LTE

Спочатку визначаємо пропускну здатність БС в секторі (з врахуванням каналного кодування і наявності циклічної приставки) R , Мбіт/с:

$$R = \frac{n_{\text{чк}_c} \cdot N_{\text{рб}} \cdot n_{\text{пн}} \cdot N_{\text{сим}}^{\text{рб}} \cdot V_{\text{сc}} \cdot m}{T_{\text{рб}}},$$

де $N_{\text{рб}}$ – кількість ресурсних блоків у виділеній смузі частот радіоканалу (табл. 2.3);

$n_{\text{пн}}$ – кількість носійних частот в ресурсному блоці, $n_{\text{пн}} = 12$;

$N_{\text{сим}}^{\text{рб}}$ – кількість символів OFDM в часовому слоті, що утворює ресурсний блок, $N_{\text{сим}}^{\text{рб}} = 7$;

$V_{\text{сc}}$ – швидкість каналного коду, $V_{\text{сc}} = 1/3$;

m – кількість рівнів модуляції, біт/символ;

$T_{\text{рб}}$ – тривалість часового слоту, що утворює ресурсний блок, $T_{\text{рб}} = 0,5$ мс.

Кількість рівнів модуляції m визначимо з виразу:

$$m = k \cdot \log_2 M',$$

де M' – кількість можливих станів модуляції (максимальна пропускна здатність буде при 64 – QAM, отже $M' = 64$);

k – коефіцієнт, що враховує застосування технології MIMO (для схеми MIMO 2x2 $k = 2$, за відсутності технології MIMO $k = 1$).

Таблиця 2.7 – Залежність кількості ресурсних блоків $N_{рб}$ від ширини смуги каналу

Δf_k

Ширина смуги каналу Δf_k , МГц	1,25	2,5	5	10	15	20
Смуга, зайнята однією носійною, кГц	15					
Смуга ресурсного блоку на фізичному рівні, кГц	180					
Можлива кількість ресурсних блоків $N_{рб}$	6	12	25	50	75	100

Визначаємо кількість абонентів в стільнику $N_{аб_с}$:

$$N_{аб_с} = \frac{M \cdot R}{R_{аб}} \cdot k_{os},$$

де $R_{аб}$ – гарантована швидкість для одного абонента, Мбіт/с;

k_{os} – коефіцієнт, який враховує, що для заданого виду трафіку кількість користувачів може бути збільшено через конкурентний доступ до середовища (oversubscription ratio, табл. 2.5).

Визначаємо кількість базових станцій:

$$N_{БС} = \frac{N_A}{N_{аб_с}},$$

та радіус стільника:

$$R_{ст} = \sqrt{\frac{2S}{3\sqrt{3}N_{БС}}}.$$

2.6 Вибір обладнання базової приймально-передавальної станції

У відповідності до розрахованої кількості частотних каналів у стільнику $n_{чк_с} \cdot M$ обираємо обладнання BTS (зазначити виробника та модель BTS). Обладнання має підтримувати розраховану кількість приймально-передавальних

модулів TRX (тобто частотних каналів), а також працювати в потрібному діапазоні частот. Приклади обладнання БС для різних безпроводових технологій наведено в додатку А.

В таблиці 2.8-2.10 наведені основні параметри базової станції для певної технології (зазначити виробника та модель BTS), а на рис. 2.2 – її зовнішній вигляд.

Таблиця 2.8 – Основні параметри базової станції (виробник, модель) системи GSM

Параметр	Опис
Діапазон частот	
Кількість приймачів	
Кількість секторів	
Розміри	
Вага	
Потужність випромінювання	
Чутливість приймача	

Таблиця 2.9 – Основні параметри базової станції (виробник, модель) системи CDMA/UMTS

Параметр	Опис
Діапазон частот	
Кількість приймачів	
Кількість секторів	
Розміри	
Вага	
Потужність випромінювання	

Таблиця 2.10 – Основні параметри базової станції (*виробник, модель*) системи WiMAX, LTE

Параметр	Опис
Діапазон частот, ГГц	
Смуга частот радіоканалу, МГц	
Розмір FFT	
Кількість приймачів	
Кількість секторів	
Потужність випромінювання	
Розміри, мм	

3 ВИБІР АНТЕНИ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ

3.1 Вибір антени

Антену БС обирають, виходячи з робочого діапазону частот, в якому працює система зв'язку, та ширини діаграми спрямованості, яку має забезпечити антена для формування стільників з потрібною кількістю секторів.

Важливо! Необхідно навести характеристики обраної антени (за шаблоном, див. табл. 3.1), зазначити виробника та модель антени, навести на окремих рисунках зовнішній вигляд антени і діаграми спрямованості в горизонтальній та вертикальній площині.

Деякі приклади антен для БС та їх характеристики наведено в додатку Б.

Таблиця 3.1 – Характеристики антени (виробник, модель)

Типовий номер	
Частотний діапазон	
Поляризація	
Підсилення	
Ізоляція між портами	
Хвильовий опір	
Максимальна потужність на вході	

3.2 Обчислення висоти підвісу антени БС

Для обчислення висоти підвісу антени необхідно мати такі початкові дані (табл. 3.2-3.5):

$P_{\text{пер_БС}}$ – потужність передавача БС в дБм;

$P_{\text{пер_МС}}$ – потужність передавача МС в дБм;

$P_{\text{пр_БС}}$ – чутливість приймача БС в дБм;

$P_{\text{пр_МС}}$ – чутливість приймача МС, дБм;

- $G_{\text{БС}}$ – коефіцієнт підсилення антени БС в дБ;
- $G_{\text{МС}}$ – коефіцієнт підсилення антени МС в дБ;
- $h_{\text{БС}}$ – висота підвісу антени БС, м;
- $h_{\text{МС}}$ – висота підвісу антени МС (для GSM приймаємо $h_{\text{МС}} = 1,5$ м, для CDMA2000 1x EV-DO/UMTS HSPA приймаємо $h_{\text{МС}} = 2$ м, для WiMAX і LTE приймаємо $h_{\text{МС}} = 3$ м);
- $L_{\text{фід}}$ – втрати в фідерному тракті БС (приймаємо 2 дБ для GSM, CDMA2000 1x EV-DO/UMTS HSPA; 3 дБ для WiMAX; для LTE приймаємо 0,4 дБ у випадку, коли РЧ-блок знаходиться у безпосередній близькості біля антени, 2 дБ у протилежному випадку);
- $M_{\text{зат}}$ – запас на затінення радіотраси, 6...10 дБ (для CDMA2000 1x EV-DO/UMTS HSPA, WiMAX, LTE);
- $M_{\text{вн}}$ – запас на внутрішньосистемні завади, 3 дБ (для CDMA2000 1x EV-DO/UMTS HSPA, WiMAX, LTE);
- $L_{\text{зат}}$ – запас на затінення радіотраси, що вноситься багатопроменевим характером поширення хвиль, 4...10 дБ (для GSM).
- $W_{\text{Т}}$ – втрати в тілі абонента, 3 дБ; (для GSM, CDMA2000 1x EV-DO/UMTS HSPA);
- $M_{\text{шз}}$ – запас на швидкі завмирання, 4 дБ (для CDMA2000 1x EV-DO/UMTS HSPA);
- M_{soft} – запас на м'який хендовер, 3 дБ (для CDMA2000 1x EV-DO/UMTS HSPA);
- $L_{\text{буд}}$ – втрати при проникненні в будівлі. WiMAX: 13 дБ для діапазону частот 2500 МГц, 17 дБ для діапазону частот 3500; CDMA2000 1x EV-DO/UMTS HSPA, LTE: 13 дБ;
- M_h – запас на хендовер, 2,5 дБ (для LTE).

Таблиця 3.2 – Дані для обчислення висоти підвісу антени GSM

$G_{\text{БС}}$, дБі	$P_{\text{пер_БС}}$, дБм	$P_{\text{пр_БС}}$, дБм	$P_{\text{пер_МС}}$, дБм	$P_{\text{пр_МС}}$, дБм
			24	-105

Таблиця 3.3 – Дані для обчислення висоти підвісу антени CDMA2000 1x EV-DO/UMTS HSPA

$G_{\text{БС}}$, дБі	$G_{\text{МС}}$, дБі		$P_{\text{пер_МС}}$, дБм	
	голос	дані	голос	дані
	0	2	21	24

Таблиця 3.4 – Дані для обчислення висоти підвісу антени WiMAX

$G_{\text{БС}}$, дБі	$P_{\text{пер_БС}}$, дБм	$G_{\text{МС}}$, дБі	$P_{\text{пер_МС}}$, дБм
		5,5	27

Таблиця 3.5 – Дані для розрахунку висоти підвісу антени LTE

$G_{\text{БС}}$, дБі	$P_{\text{пер_БС}}$, дБм	$G_{\text{МС}}$, дБі	$P_{\text{пер_МС}}$, дБм
		0	23

Виконаємо розрахунок для системи стільникового зв'язку **GSM**.

Визначимо висоту підвісу антени $h_{\text{БС}}$. Для цього знайдемо втрати в радіолінії у напрямках від БС L_{DL} та до БС L_{UL} :

$$L_{\text{DL}} = P_{\text{пер_БС}} + G_{\text{БС}} + G_{\text{МС}} - P_{\text{пр_МС}} - L_{\text{фід}},$$

$$L_{\text{UL}} = P_{\text{пер_МС}} + G_{\text{БС}} + G_{\text{МС}} - P_{\text{пр_БС}} - L_{\text{фід}}.$$

Для подальших розрахунків будемо використовувати найменше значення втрат – L_{UL} .

Враховуючи втрати в тілі абонента і запас на затінення радіотраси в процесі поширення радіохвиль, максимально допустимі втрати будуть становити:

$$L_{\text{доп}} = L_{UL} - L_{\text{зат}} - W_T,$$

де $L_{\text{зат}}$ – середньоквадратичне значення флуктуацій рівня сигналу, який вноситься багатопробним характером поширення хвиль (4...10 дБ);

W_T – втрати в тілі абонента (3 дБ).

Для обчислення висоти підвісу антени скористаємося моделлю поширення радіохвиль (*вказати модель*), яка визначає медіанне значення допустимих втрат в умовах міста (*обґрунтувати вибір моделі ПРХ, для прикладу наведена модель Окамура-Хата, для вибору і обґрунтування моделі див. додаток В*):

$$L_{50|_{\text{місто}}} = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,83 \lg h_{\text{БС}} - \alpha(h_{\text{МС}}) + (44,9 - 6,55 \lg h_{\text{БС}}) \lg R + K.$$

Звідки виразимо висоту підвісу антени БС $h_{\text{БС}}$.

Коефіцієнт K означає величину корекції рівня допустимих втрат для території України та деяких інших країн, оскільки модель Окамура-Хата була отримана експериментальним шляхом для щільності і висотності забудови Японії ($K = 6...10$ дБ).

Виконаємо розрахунок для систем стільникового зв'язку **CDMA2000 1x EV-DO/UMTS HSPA**.

Абонентською станцією для передавання голосу є мобільний телефон, а для передавання даних – USB модем. Необхідні для розрахунку параметри цих пристроїв наведені в табл. 3.3.

Визначимо висоту підвісу антени $h_{\text{БС}}$. Для цього знайдемо втрати в радіолінії в напрямку до БС L_{UL} :

$$L_{UL} = P_{\text{пер_МС}} + G_{\text{БС}} + G_{\text{МС}} - P_{\text{пр_БС}} - L_{\text{фид}}.$$

Попередньо потрібно розрахувати чутливість приймача БС:

$$P_{\text{пр_БС}} = N + 10 \cdot \lg(W) + NF + \frac{E_b}{N_0} + M_{\text{вн}} - G_p,$$

де N – спектральна густина потужності теплового шуму приймача,
 $N = -174$ дБм/Гц;

NF – внутрішній шум приймача, $NF = 5$ дБ для БС;

E_b/N_0 – відношення енергії біта до спектральної густини потужності шуму,
 $E_b/N_0 = 5$ дБ – для голосу, $E_b/N_0 = 1 \dots 1,5$ дБ – для даних, чим вища абонентська швидкість $R_{аб}$, тим нижче значення E_b/N_0 ;

$M_{вн}$ – запас на внутрішньосистемні завади, 3 дБ;

G_p – коефіцієнт, що враховує виграш в процесі розширення спектра,
 $G_p = 10 \cdot \lg \frac{W}{R_{аб}}$, дБ.

Враховуючи втрати в тілі абонента, запас на швидкі завмирання, запас на затінення радіотраси і запас на м'який хендовер, максимально допустимі втрати складуть:

$$L_{доп} = L_{UL} - W_T - M_{шз} - M_{зат} - L_{буд} + M_{soft},$$

де $M_{зат}$ – запас на затінення радіотраси, (6...10) дБ;

W_T – втрати в тілі абонента, 3 дБ (у разі передавання даних $W_T = 0$ дБ);

$M_{шз}$ – запас на швидкі завмирання, 4 дБ;

$L_{буд}$ – втрати на проникнення в будівлі, 13 дБ;

M_{soft} – запас на м'який хендовер, 3 дБ.

Для обчислення висоти підвісу антени скористаємося моделлю ПРХ (вказати модель), яка визначає медіанне значення допустимих втрат в умовах міста (обґрунтувати вибір моделі ПРХ, для прикладу наведена модель COST231-Хата, для вибору і обґрунтування моделі див. додаток В):

$$L_{50|місто} = 46,3 + 33,9 \lg f - 13,83 \lg h_{БС} - \alpha(h_{МС}) + (44,9 - 6,55 \lg h_{БС}) \lg R.$$

Звідки виразимо висоту підвісу антени БС $h_{БС}$.

Коефіцієнт K означає величину корекції рівня допустимих втрат для території України та деяких інших країн, оскільки модель COST231-Хата була

отримана експериментальним шляхом для щільності і висотності забудови Японії ($K = 6 \dots 10$ дБ).

Виконаємо розрахунок для безпроводової системи доступу **WiMAX**.

Абонентська станція знаходиться в приміщенні і є WiMAX-маршрутизатором.

Визначимо висоту підвісу антени h_{BC} . Для цього знайдемо втрати в радіолінії в напрямках від БС L_{DL} і до БС L_{UL} :

$$L_{\text{DL}} = P_{\text{пер_BC}} + G_{\text{BC}} + G_{\text{MC}} - P_{\text{пр_MC}} - L_{\text{фід}},$$

$$L_{\text{UL}} = P_{\text{пер_MC}} + G_{\text{MC}} + G_{\text{BC}} - P_{\text{пр_BC}} - L_{\text{фід}}.$$

Попередньо потрібно розрахувати чутливість приймачів БС і МС:

$$P_{\text{пр}} = N + 10 \cdot \lg(\Delta f_{\text{к}}) + NF + SNR - G_{\text{sc}},$$

де N – спектральна густина потужності теплового шуму приймача, $N = -174$ дБм/Гц;

NF – внутрішній шум приймача, $NF = 5$ дБ для МС, $NF = 8$ дБ для БС;

SNR – допустиме відношення сигнал-шум, $SNR = 2$ дБ для МС, $SNR = 1$ дБ для БС;

G_{sc} – коефіцієнт, що враховує розподіл на підканали (в режимі OFDM 16 підканалів, $G_{\text{sc}} = 12$ дБ).

Для подальших розрахунків будемо використовувати найменше значення втрат – L_{UL} .

Враховуючи запас на затінення радіотраси, запас на внутрішньосистемні завади і втрати на проникнення в будівлі, максимально допустимі втрати складуть:

$$L_{\text{доп}} = L_{\text{UL}} - M_{\text{зат}} - M_{\text{вн}} - L_{\text{буд}},$$

де $M_{\text{зат}}$ – запас на затінення радіотраси, (6...10) дБ;

$M_{\text{вн}}$ – запас на внутрішньосистемні завади, 3дБ;

$L_{\text{буд}}$ – втрати на проникнення в будівлі, 13 дБ або 17 дБ.

Для розрахунку висоти підвісу антени скористаємося моделлю Ергцега-Грінштайна (SUI), яка визначає медіанне значення допустимих втрат у різних умовах поширення (*обґрунтувати вибір моделі ПРХ*):

$$L = L_{FSL} + 10\gamma \cdot \lg\left(\frac{R}{d_0}\right) + X_f + X_h,$$

де L – максимально допустимі втрати в радіолінії;

L_{FSL} – втрати у вільному просторі для базової відстані $d_0 = 0,1$ км;

γ – експонента втрат;

R – радіус стільника, км;

X_f – корегувальний коефіцієнт для частоти;

X_h – корегувальний коефіцієнт для висоти МС.

Експоненту втрат визначають за виразом:

$$\gamma = a - b \cdot h_{\text{БС}} + \frac{c}{h_{\text{БС}}},$$

де a, b, c – константи, що залежать від типу рельєфу місцевості (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 – Залежність констант a, b, c від типу рельєфу місцевості

	Тип А	Тип В	Тип С
a	4,6	4	3,6
b	0,007	0,007	0,0065
c	12,6	17,1	20

Тип А – місто (щільна міська забудова), тип В – передмістя (місто з будівлями нижче 5 поверхів), тип С – відкрита сільська місцевість.

Корегувальний коефіцієнт для частоти можна розрахувати за формулою:

$$X_f = 6 \cdot \lg\left(\frac{f_{\text{МГц}}}{2000}\right).$$

Корегувальний коефіцієнт для висоти МС визначають за виразами:

$$X_h = -10,8 \cdot \lg\left(\frac{h_{\text{МС}}}{2}\right) \text{ для рельєфів типу А і В;}$$

$$X_h = -20 \cdot \lg\left(\frac{h_{\text{МС}}}{2}\right) \text{ для рельєфу типу С.}$$

Розрахувавши коефіцієнт γ , можна, розв'язавши квадратне рівняння, визначити висоту підвісу антени БС $h_{\text{БС}}$.

Виконаємо розрахунок для безпроводової системи доступу **LTE**.

Абонентська станція розташована в приміщенні і є USB-модемом.

Визначимо висоту підвісу антен $h_{\text{БС}}$. Для цього знайдемо втрати в радіолінії в напрямках від БС L_{DL} і до БС L_{UL} :

$$L_{\text{DL}} = P_{\text{пер_БС}} + G_{\text{БС}} + G_{\text{МС}} - P_{\text{пр_МС}} - L_{\text{фід}},$$

$$L_{\text{UL}} = P_{\text{пер_МС}} + G_{\text{МС}} + G_{\text{БС}} - P_{\text{пр_БС}} - L_{\text{фід}}.$$

Попередньо потрібно розрахувати чутливість приймачів БС і МС:

$$P_{\text{пр}} = N + 10 \cdot \lg(\Delta f_k) + NF + SNR,$$

де N – спектральна густина потужності теплового шуму приймача, $N = -174$ дБм/Гц;

Δf_k – смуга частот радіоканалу; на лінії вниз відповідає значенню з початкових даних табл. 2.4, на лінії вгору відповідає смузі для передавання 2 ресурсних блоків у рамках SC-FDMA;

NF – внутрішній шум приймача, $NF = 2,5$ дБ для МС, $NF = 7$ дБ для БС;

SNR – допустиме відношення сигнал-шум, $SNR = 2$ дБ для МС, $SNR = 1$ дБ для БС.

Для подальших розрахунків будемо використовувати найменше значення втрат $-L_{UL}$.

Враховуючи запас на затінення радіотраси, запас на внутрішньосистемні завади і втрати на проникнення в будівлі, максимально допустимі втрати складуть:

$$L_{\text{доп}} = L_{UL} - M_{\text{зат}} - M_{\text{вн}} - L_{\text{буд}} + M_h,$$

де $M_{\text{зат}}$ – запас на затінення радіотраси, (6...10) дБ;

$M_{\text{вн}}$ – запас на внутрішньосистемні завади, 2 дБ;

$L_{\text{буд}}$ – втрати на проникнення в будівлі, 13 дБ;

M_h – запас на хендовер, 2,5 дБ.

Для розрахунку висоти підвісу антени скористаємося моделлю ПРХ (*вказати модель*), яка визначає медіанне значення допустимих втрат в умовах міста (*обґрунтувати вибір моделі ПРХ, для прикладу наведена модель Окамура-Хата, для вибору і обґрунтування моделі див. додаток В*):

$$L_{50|_{\text{місто}}} = 69,55 + 26,16 \lg f - 13,83 \lg h_{\text{БС}} - \alpha(h_{\text{МС}}) + (44,9 - 6,55 \lg h_{\text{БС}}) \lg R.$$

Звідки виразимо висоту підвісу антени БС $h_{\text{БС}}$.

Коефіцієнт K означає величину корекції рівня допустимих втрат для території України та деяких інших країн, оскільки модель Окамура-Хата була отримана експериментальним шляхом для щільності і висотності забудови Японії ($K = 6...10$ дБ).

4 МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПРОВОДОВОЇ МЕРЕЖІ В ПРОГРАМНОМУ СЕРЕДОВИЩІ ATOLL

4.1 Моделювання радіопокриття безпроводової мережі [7]

1. Здійснити налаштування параметрів БС відповідно до результатів розрахунків за розділами 2 та 3 (кількість БС та радіус стільника; висота підвісу антени БС – повинна бути не менше розрахункової; тип та модель антени; потужність передавача БС; втрати в антенно-фідерному тракті БС тощо), а також використовуючи початкові дані (наприклад, чи використано технологію MIMO, HSPA).

2. Розташувати БС на карті міста, приблизно дотримуючись стільникової структури.

3. Виконати налаштування моделі ПРХ, яка має відповідати обраній моделі для розрахунку висоти підвісу антени БС з розділу 3. Обрати формулу що описує модель ПРХ та відповідає характеру місцевості.

4. Виконати моделювання радіопокриття за рівнем сигналу.

5. Навести статистику радіопокриття у вигляді таблиці (див. табл. 4.1).

6. У випадку необхідності здійснити оптимізацію мережі.

Важливо! Всі дії у програмі Atoll мають супроводжуватись ілюстраціями та поясненнями.

4.2 Підключення БС до контролера мережі за допомогою РРЛ [7]

1. Задати систему координат для заданої місцевості.

2. Створити РРЛ між двома БС, дотримуючись умови забезпечення прямої видимості між ними.

3. У випадку неможливості забезпечення умови прямої видимості використати повторювач.

4. Навести профіль РРЛ між двома БС.

5. Повторити п. 2 та 3 для всіх БС в мережі.

6. Виписати параметри обладнання РРЛ – приймально-передавального обладнання, антен та повторювачів.

Важливо! Всі дії у програмі Atoll мають супроводжуватись ілюстраціями та поясненнями.

Таблиця 4.1 – Статистика радіопокриття за рівнем сигналу

Параметр	Значення
Площа розгортання мережі, км.кв.	
Кількість базових станцій	
Потужність передавача БС, дБм	
Відсоток території з покриттям, % з них за рівнем сигналу:	
≥ -70 дБм	
$-70 \dots -75$ дБм	
$-75 \dots -80$ дБм	
$-80 \dots -85$ дБм	
$-85 \dots -90$ дБм	
$-90 \dots -95$ дБм	
$-95 \dots -100$ дБм	
$-100 \dots -105$ дБм	
$-105 \dots -110$ дБм	

4.3 Частотне планування безпроводової мережі [7]

Для системи GSM:

1. Розподілити частоти для передавачів БС уручну відповідно до кількості частотних каналів у секторі. **Важливо!** Якщо кількість стільників більша ніж розмір кластеру, необхідно застосувати принцип *повторного використання частот*, розподіляючи частотний ресурс лише між передавачами у кластері, а

потім повторюючи його для інших передавачів. У цьому випадку треба навести схематичну структуру стільників, відповідно до якої буде виконано повторне використання частот.

2. Експортувати частотний план у файл та представити його у вигляді таблиці.

Для систем CDMA2000/UMTS:

1. Здійснити планування сусідніх стільників.

2. Виконати розподілення розширювальних послідовностей для передавачів БС.

3. Експортувати результати розподілення у файл та навести у вигляді таблиці.

4. Якщо за умовою завдання використано *технологію HSPA*, необхідно виконати моделювання покриття "HSDPA Coverage".

Для систем WiMAX та LTE:

1. Здійснити планування сусідніх стільників.

2. Виконати розподілення частот для передавачів БС уручну відповідно до кількості частотних каналів у секторі.

3. Виконати розподілення індексів преамбули (WiMAX) або ідентифікаторів стільника (LTE).

4. Експортувати результати розподілення частот та індексів преамбули/ ідентифікаторів стільників у файл і навести у вигляді таблиці.

5. Виконати моделювання покриття за ефективним рівнем сигналу ("Effective Signal Level") та за пропускнуою здатністю ("Coverage by Throughput") на лінії вниз.

Важливо! Всі дії у програмі Atoll мають супроводжуватись ілюстраціями та поясненнями.

4.4 Функціональна схема безпроводової мережі

Навести функціональну схему безпроводової мережі, використовуючи результати розрахунку просторових параметрів та враховуючи підключення БС мережі до контролера за допомогою РРЛ. Включити до функціональної схеми розроблену мережу абонентського радіодоступу та базову (опорну) мережу відповідної безпроводової системи. Описати призначення основних вузлів функціональної схеми. Функціональну схему виконати засобами пакету MS Visio.

Приклад виконання функціональної схеми наведено на рис. 4.1 для таких початкових даних: система UMTS, кількість базових станцій 5.

Важливо! Якщо кількість БС виявиться більше 30, тоді їх треба розподілити між двома контролерами мережі, оскільки кожний контролер може обслуговувати не більше 30 БС.

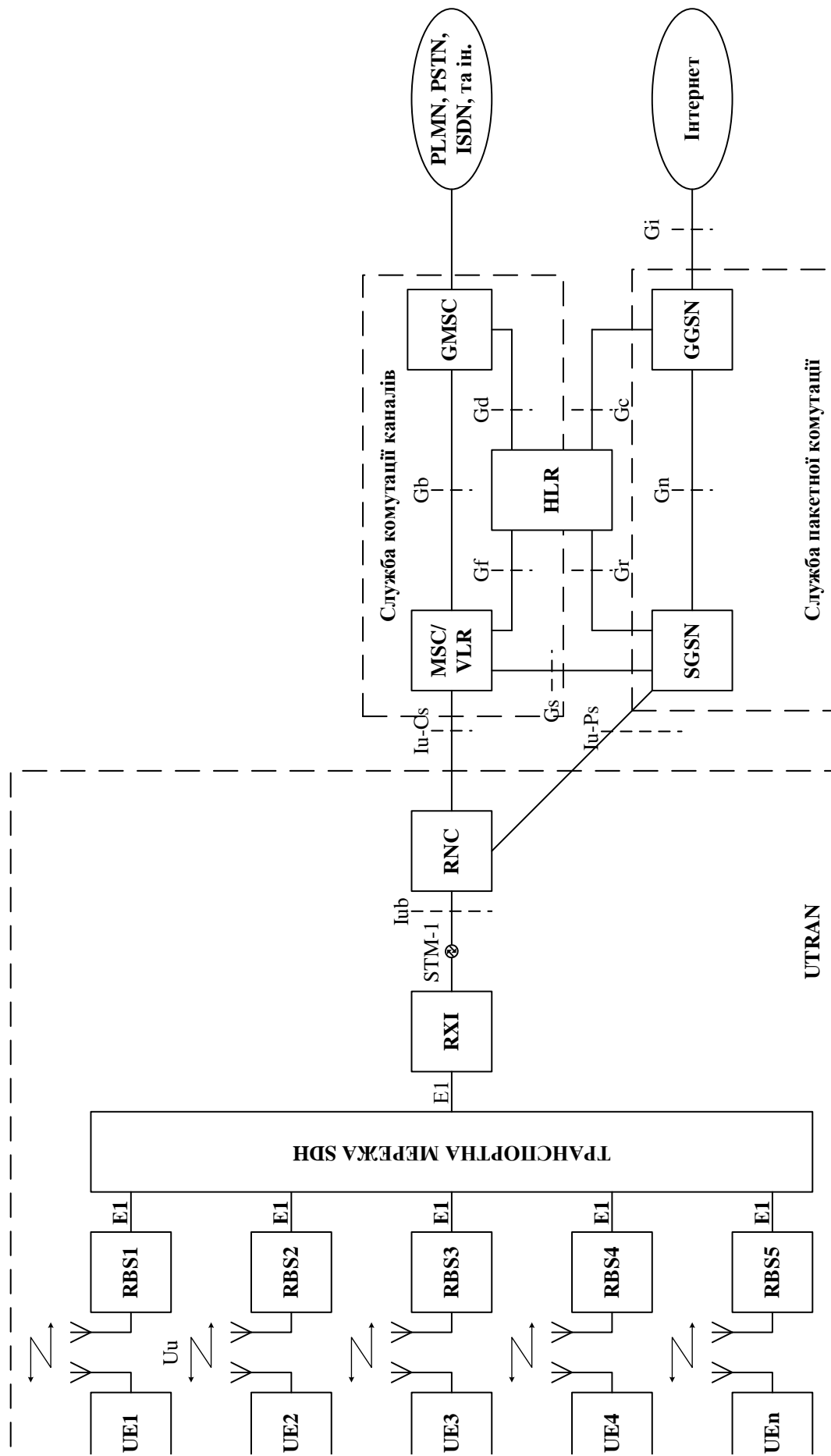


Рисунок 4.1 – Функціональна схема мережі UMTS

Додаток А
Приклади базових станцій

Обладнання БС GSM: Ericsson RBS 2116



Рисунок А.1 – Зовнішній вигляд базової станції "Ericsson RBS 2116"

Таблиця А.1 – Основні параметри базової станції "Ericsson RBS 2116"

Параметр	Опис
Діапазон частот	880-915, 925-960, 1710-1785, 1805-1880 МГц
Кількість секторів	6
Кількість приймачів	6
Розміри	140x65x90 см
Вага	270-300 кг
Потужність випромінювання	46 дБм
Чутливість приймача	-111 дБм

Обладнання БС GSM, UMTS: Huawei BTS3900

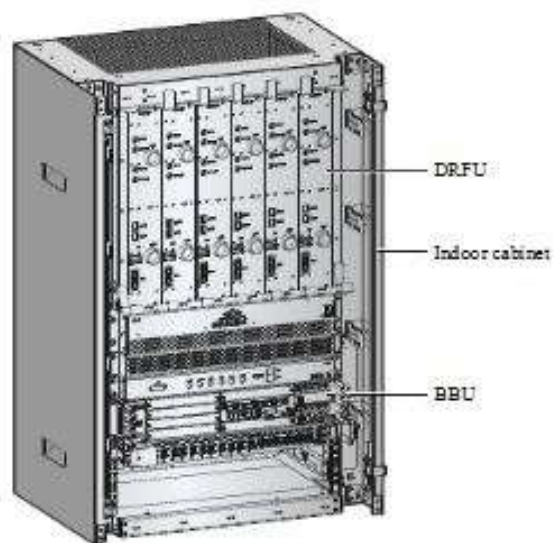


Рисунок А.2 – Зовнішній вигляд базової станції "Huawei BTS3900"

Таблиця А.2 – Основні параметри базової станції "Huawei BTS3900"

Параметр	Опис
Діапазон частот	GSM 900, 1800 МГц, UMTS 2100 МГц
Кількість секторів	6
Кількість приймачів	6
Розміри	400x600x420
Вага	142 кг
Потужність випромінювання	43 дБм
Струм живлення	200-250 В АС
Чутливість приймача	-115 дБм

Обладнання БС UMTS: Ericsson RBS 3418



Рисунок А.3 – Зовнішній вигляд базової станції "Ericsson RBS 3418"

Таблиця А.3 – Основні параметри базової станції "Ericsson RBS 3418"

Параметр	Опис
Діапазон частот	1700-2100 МГц
Кількість секторів	3
Розміри	514x334x176
Вага	24 кг
Потужність випромінювання	20 Вт (43 дБм)
Струм живлення	100-250 В АС, 8 А

Обладнання БС WiMAX: BreezeMAX Macro Indoor



Рисунок А.4 – Зовнішній вигляд БС "BreezeMAX Macro Indoor"

Таблиця А.4 – Основні параметри базової станції "BreezeMAX Macro Indoor"

Параметр	Опис
Діапазон частот, ГГц	3,4-3,6
Смуга частот радіоканалу, МГц	5, 10, 7
Розмір FFT	512, 1024
Кількість приймачів	6
Кількість секторів	6
Потужність випромінювання	34 дБм

Обладнання БС WiMAX: HiperMAX Base Station



Рисунок А.5 – Зовнішній вигляд БС "HiperMAX Base Station"

Таблиця А.5 – Основні параметри базової станції "HyperMAX Base Station"

Параметр	Опис
Діапазон частот, ГГц	2.3, 2.5, 3.3, 3.5, 3.7, 4.9
Смуга частот радіоканалу, МГц	20, 2x10, 10, 7, 5, 3.5, 1.75
Розмір FFT	256, 512, 1024, 2048
Кількість приймачів	12
Кількість секторів	6
Потужність випромінювання	40 дБм

Обладнання БС LTE: Huawei DBS3900

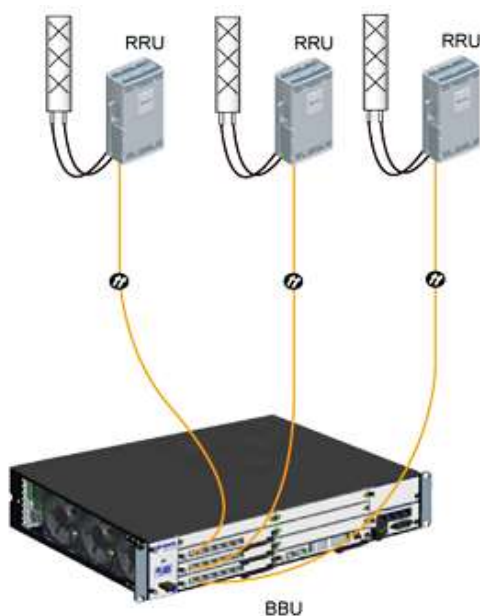


Рисунок А.6 – Зовнішній вигляд БС "Huawei DBS3900"

Таблиця А.6 – Основні параметри базової станції "Huawei DBS3900"

Параметр	Опис
Діапазон частот, МГц	LTE FDD: 700/800/850/900/ 1000/1800/2100/2600; LTE TDD: 1800/2300/2600/3500 /3700/5800
Смуга частот радіоканалу, МГц	1.4/3/5/10/15/20
Розмір FFT	256, 512, 1024
Кількість приймачів	6
Кількість секторів	9
Потужність випромінювання, Вт	40 дБм
Розміри, мм	485 × 300 × 170

Додаток Б
Приклади антенного обладнання

Mti Wireless Edge LTD MT-404005/H 60°, 3,3-3,8 ГГц



Рисунок Б.1 – Зовнішній вигляд антени MT-404005/H 60°

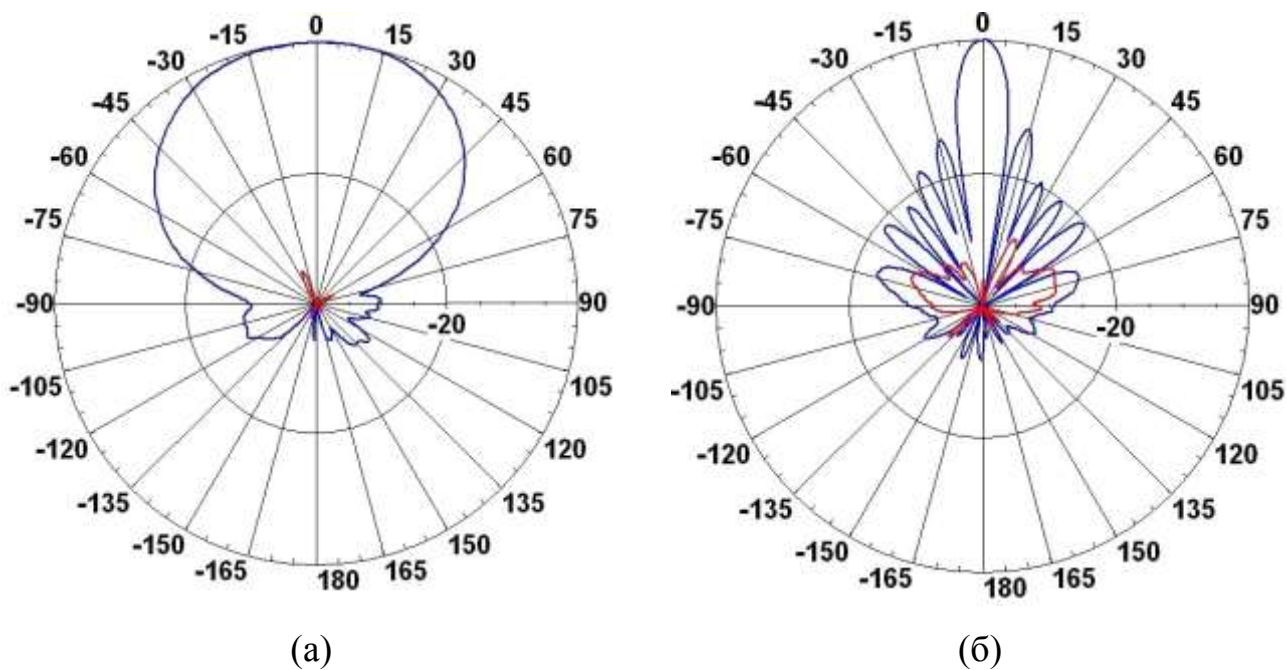


Рисунок Б.2 – Діаграми спрямованості в горизонтальній (а) та вертикальній (б) площині, 60°

Таблиця Б.1 – Характеристики антени "Mti Wireless Edge LTD МТ-404005/Н 60°"

Типовий номер	МТ-404005/Н
Частотний діапазон	3,3-3,8 ГГц
Поляризація	Горизонтальна лінійна
Підсилення	16,5 дБі
Ізоляція між портами	Пластик, Алюміній з хімічним конверсійним покриттям
Хвильовий опір	50 Ом
Максимальна потужність на вході	6 Вт

Kathrein 800 10360 65° Tri-sector Antenna, 1920-2170 МГц

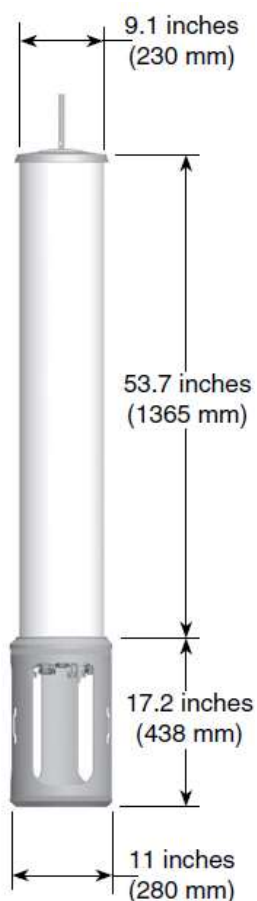


Рисунок Б.3 – Зовнішній вигляд антени AVS ODP 800 10360

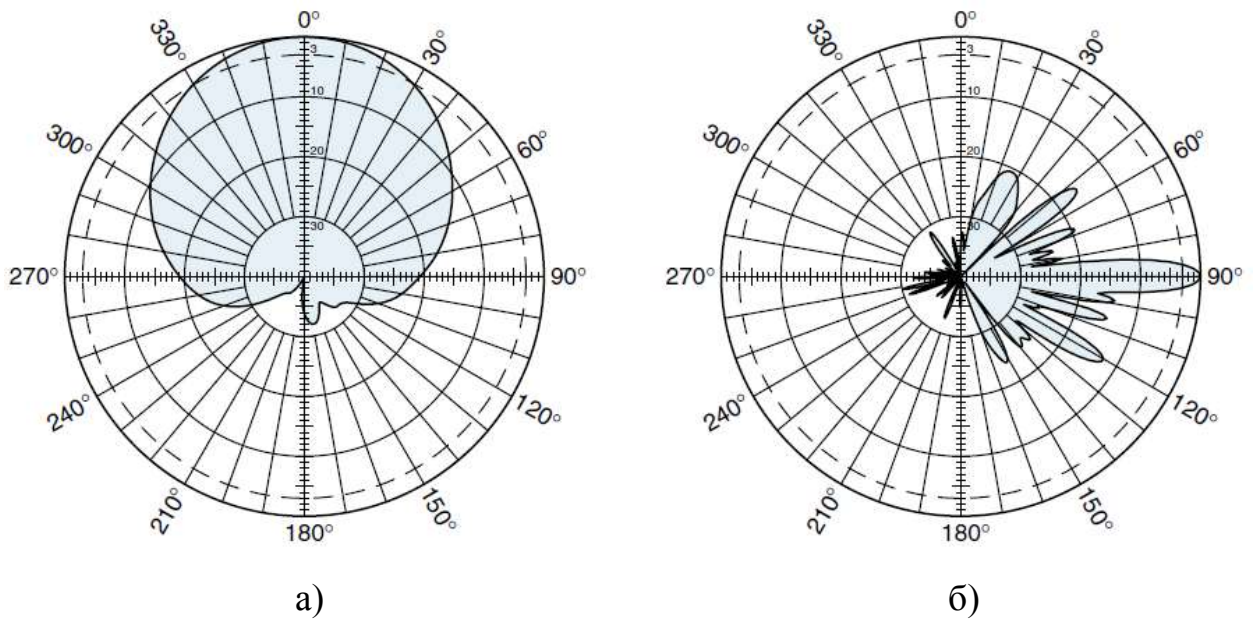


Рисунок Б.4 – Діаграми спрямованості в горизонтальній (а) та вертикальній (б) площині, 65°

Таблиця Б.2 – Характеристики антени Kathrein 800 10360 65° Tri-sector Antenna

Типовий номер	800 10360
Частотний діапазон	1920-2170 МГц
Поляризація	±45°
Підсилення	17,8 дБ
Ізоляція між портами	30 дБ
Хвильовий опір	50 Ом
Максимальна потужність на вході	300 Вт

XPol Panel 806–960 65°, 806-960 МГц



Рисунок Б.5 – Зовнішній вигляд антени XPol Panel 806–960 65° 15dBi 0°–14°Т

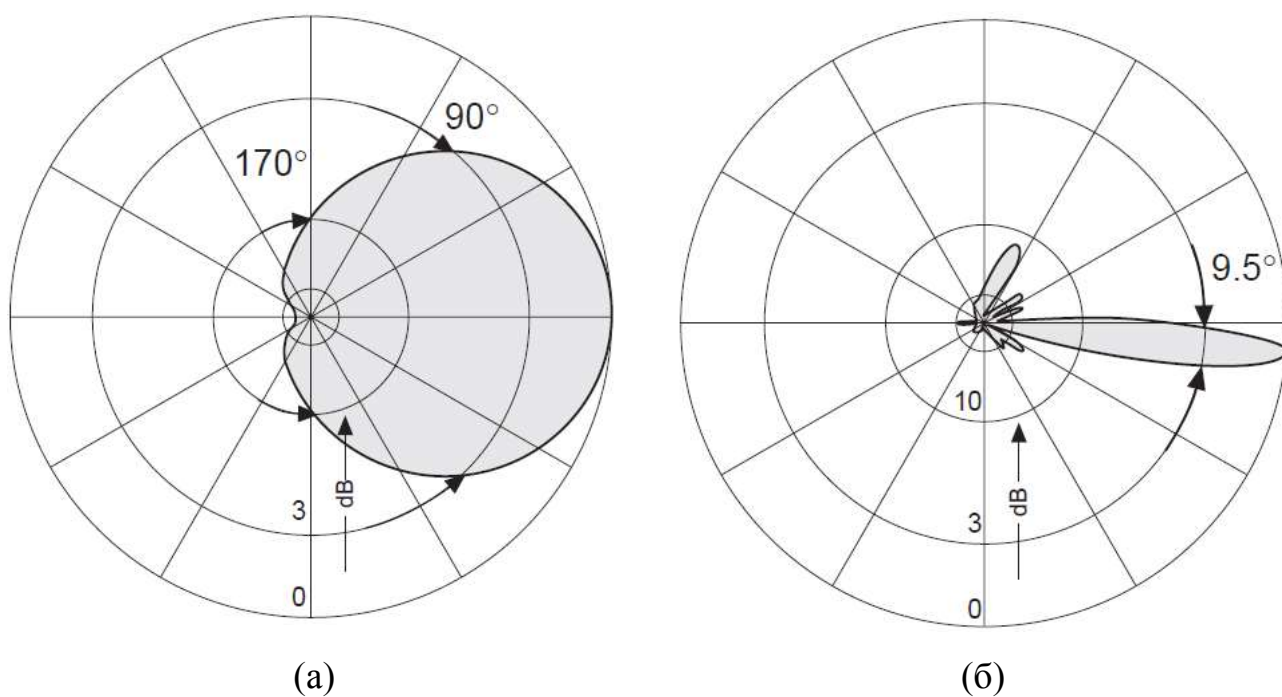


Рисунок Б.6 – Діаграми спрямованості в горизонтальній (а) та вертикальній (б) площині, 65°

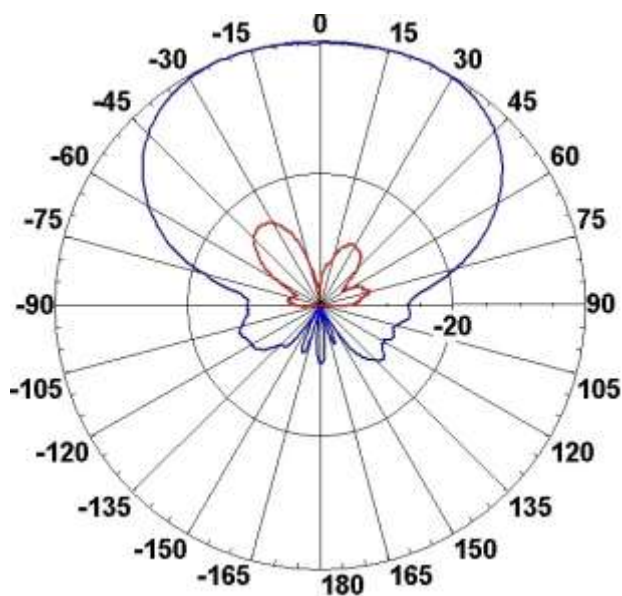
Таблиця Б.3 – Характеристики антени XPol Panel 806–960 65° 15 dBi 0°–14°Т

Типовий номер	800 10303
Частотний діапазон	806-960 МГц
Поляризація	+45°, - 45°
Підсилення	15дБі
Ізоляція між портами	> 30 дБ
Хвильовий опір	50 Ом
Максимальна потужність на вході	400 Вт (при температурі навколишнього середовища 50°)

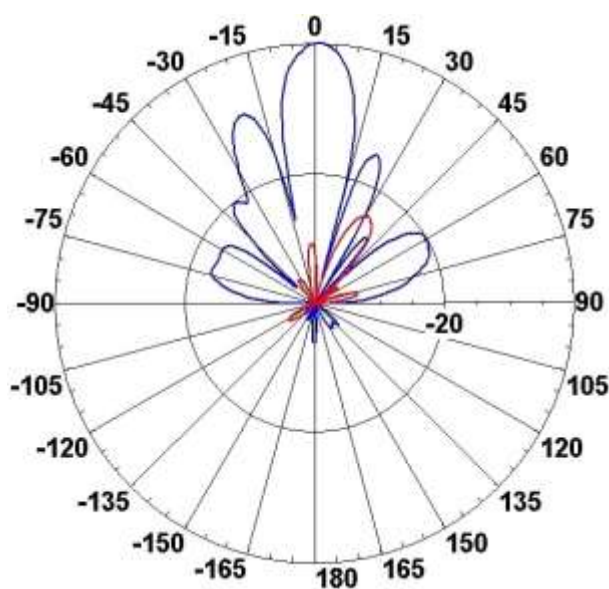
Mti Wireless Edge LTD MT-363010/NH 90°, 2,4-2,7 ГГц



Рисунок Б.7 – Зовнішній вигляд антени MT-363010/NH 90°



(a)



(б)

Рисунок Б.8 – Діаграми спрямованості в горизонтальній (а) та вертикальній (б) площині, 90°

Таблиця Б.4 – Характеристики антени "Mti Wireless Edge LTD МТ-363010/НН 90°"

Типовий номер	МТ-363010/НН
Частотний діапазон	2,4-2,7 ГГц
Поляризація	Горизонтальна лінійна
Підсилення	13 дБі
Ізоляція між портами	Алюміній з хімічним конверсійним покриттям
Хвильовий опір	50 Ом
Максимальна потужність на вході	6 Вт

Mti Wireless Edge LTD MT-403019/NV 120°, 3,3-3,8 ГГц



Рисунок Б.9 – Зовнішній вигляд антени MT-403019/NV 120°

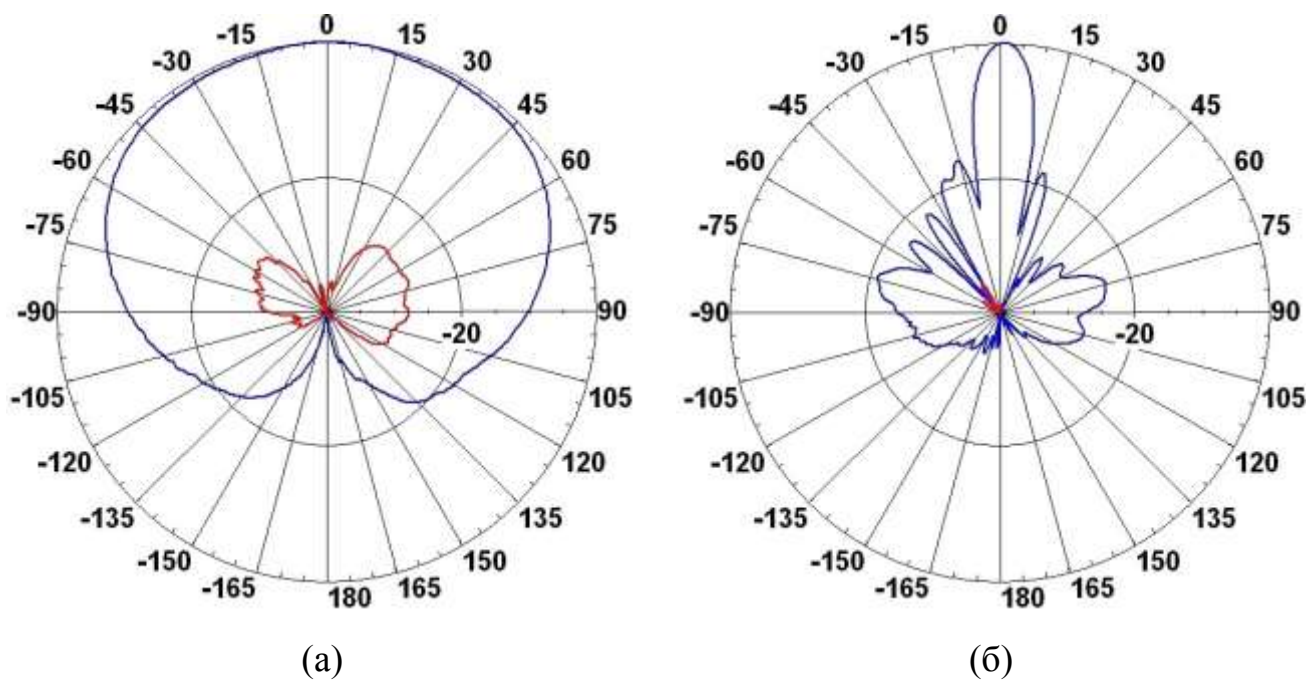


Рисунок Б.10 – Діаграми спрямованості в горизонтальній (а) та вертикальній (б) площині, 120°

Таблиця Б.5 – Характеристики антени "Mti Wireless Edge MT-403019/NV 120°"

Типовий номер	MT-403019/NV
Частотний діапазон	3,3-3,8 ГГц
Поляризація	Вертикальна лінійна
Підсилення	15 дБі
Ізоляція між портами	Алюміній з хімічним конверсійним покриттям
Хвильовий опір	50 Ом
Максимальна потужність на вході	10 Вт

Mti Wireless Edge LTD MT-243003/NH 0°, 902-928 МГц



Рисунок Б.11 – Зовнішній вигляд антени MT-403019/NV 0°

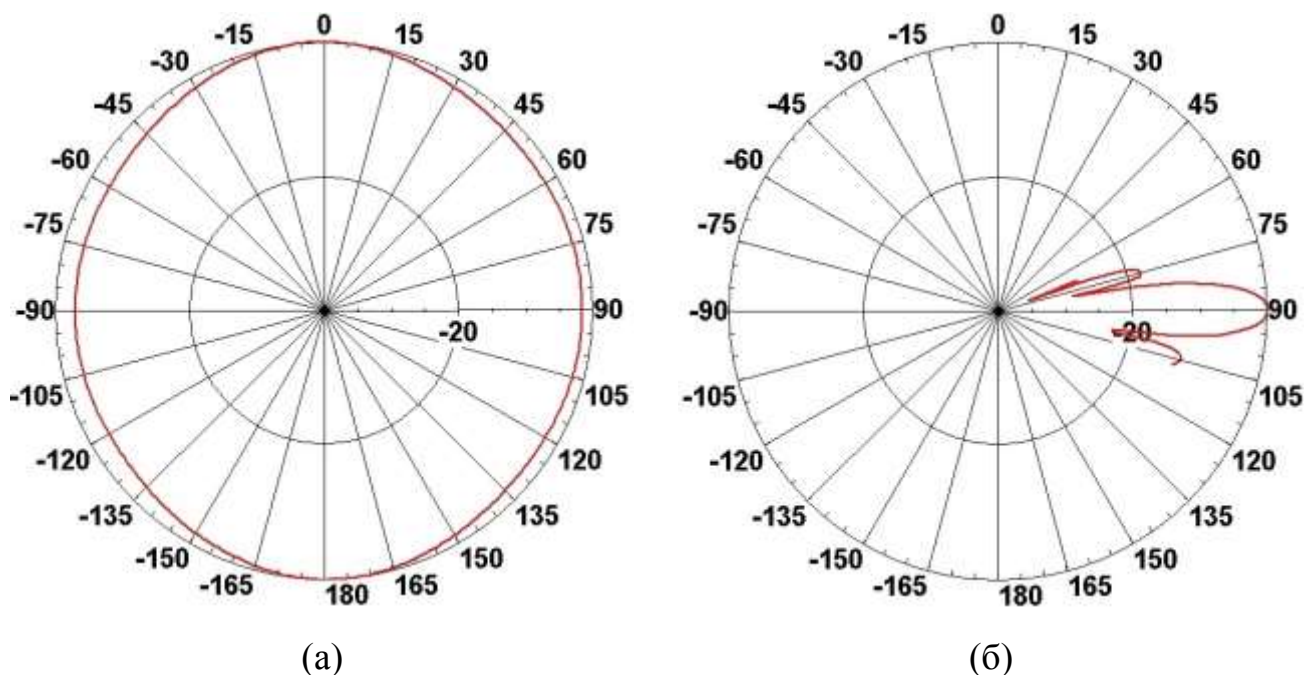


Рисунок Б.12 – Діаграми спрямованості в горизонтальній (а) та вертикальній (б) площині, ізотропна

Таблиця Б.6 – Характеристики антени "Mti Wireless Edge MT-403019/NV 0°"

Типовий номер	MT-403019/NV
Частотний діапазон	902-928 МГц
Поляризація	Горизонтальна лінійна
Підсилення	11,5 дБі
Ізоляція між портами	Алюміній з хімічним конверсійним покриттям
Хвильовий опір	50 Ом
Максимальна потужність на вході	20 Вт

Додаток В

Моделі поширення радіохвиль

Модель Окамура-Хата

Модель Хата (інша назва – Окамура-Хата) виникла в результаті адаптації емпіричних формул до графіків, отриманих Окамурою за результатами практичних вимірювань втрат в районі м. Токіо. Ці формули добре апроксимують графіки в діапазоні частот 50...1500 МГц для відстані до передавальної базової станції 1...100 км та ефективної висоти передавальної антени 30...200 м.

Для даної моделі втрати на поширення радіохвиль в умовах міста описують такими співвідношенням:

$$L_{50/\text{місто}} = 69,55 + 26,16 \lg(f_{[\text{МГц}]}) - 13,83 \lg(h_{BS}) - a(h_{MS}) + (44,9 - 6,55 \lg(h_{BS})) \cdot \lg(r_{[\text{км}]}) \text{ дБ},$$

де $a(h_{MS})$ – поправочний коефіцієнт; висоти МС та БС вказують в метрах.

Для малого та середнього міста $a(h_{MS})$:

$$a(h_{MS}) = (1,11 \cdot \lg(f_{[\text{МГц}]}) - 0,7) \cdot h_{MS} - (1,56 \cdot \lg(f_{[\text{МГц}]}) - 0,8) \text{ дБ}.$$

Для великого міста $a(h_{MS})$:

$$f < 300 \text{ МГц} \quad a(h_{MS}) = 8,29 \cdot (\lg(1,54 \cdot h_{MS}))^2 - 1,1 \text{ дБ},$$

$$f > 300 \text{ МГц} \quad a(h_{MS}) = 3,2 \cdot (\lg(11,75 \cdot h_{MS}))^2 - 4,97 \text{ дБ}.$$

Втрати в передмісті:

$$L_{50/\text{передмістя}} = L_{50/\text{місто}} - 2 \left(\lg \left(\frac{f_{[\text{МГц}]}}{28} \right) \right)^2 - 5,4 \text{ дБ}.$$

Втрати в сільській місцевості:

$$L_{50/\text{село}} = L_{50/\text{місто}} - 4,78 \cdot (\lg(f_{[\text{МГц}]}))^2 + 18,33 \cdot \lg(f_{[\text{МГц}]}) - 40,94 \text{ дБ}.$$

Модель Хата підходить для оцінки втрат в ССЗ з великим розміром стільників: $R > 1 \text{ км}$.

Модель COST-231 Хата

Ця модель є розширенням моделі Окамура-Хата на діапазон частот 1,5...2 ГГц для відстані 1...20 км та висоти підвісу антени БС 30...200 м.

Для даної моделі втрати на поширення радіохвиль для міста описують таким співвідношенням:

$$L_{50/\text{місто}} = 46,3 + 33,91\lg(f_{[\text{МГц}]}) - 13,821\lg(h_{BS[\text{М}]}) - a(h_{MS[\text{М}]}) + \\ + (44,9 - 6,551\lg(h_{BS})) \cdot \lg(r_{[\text{км}]}) + C_M \text{ дБ.}$$

Висоти МС та БС в формулі, що наведена вище, вказують у метрах.

$$C_M = \begin{cases} 0 \text{ дБ, для невеликих міст та сільської місцевості;} \\ 3 \text{ дБ, для центрів міст.} \end{cases}$$

Втрати в передмісті та сільській місцевості оцінюють за формулами, що аналогічні до відповідних формул моделі Окамура-Хата.

Модель COST231-Уолфіш-Ікегамі

Для оцінки втрат у мікростільниках ($R \in (100 \text{ м} \dots 1 \text{ км})$), де потрібно враховувати дифракційні процеси, які виникають внаслідок відбиття від різних частин будівель, використовують модель COST231-Уолфіш-Ікегамі:

$$L = L_0 + L_{rts} + L_{ms},$$

де L_0 – втрати у вільному просторі;

L_{rts} – втрати через дифракцію та розсіювання від дахів будинків;

L_{ms} – багаторазова дифракція від рядів будівель.

Ця модель рекомендована Міжнародним союзом електрозв'язку (ITU) для систем безпроводового зв'язку третього покоління (наприклад, UMTS), якщо потрібно врахувати дифракційні процеси в процесі оцінювання величини втрат. Цю модель можна застосовувати в діапазоні частот 800...2000 МГц для висоти антени БС 4...50 м та відстані 0,02...5 км.

Модель Ергцега-Грінштайна (SUI)

Модель Ергцега-Грінштайна (інша назва – SUI) розроблена для оцінювання значення допустимих втрат для системи WiMAX у діапазоні частот 2...4 ГГц:

$$L = L_{\text{FSL}} + 10\gamma \cdot \lg\left(\frac{R}{d_0}\right) + X_f + X_h,$$

де L – максимально допустимі втрати в радіолінії;

L_{FSL} – втрати у вільному просторі для базової відстані $d_0 = 0,1$ км;

γ – експонента втрат;

R – радіус стільника, км;

X_f – корегувальний коефіцієнт для частоти;

X_h – корегувальний коефіцієнт для висоти МС.

Експоненту втрат визначають за виразом:

$$\gamma = a - b \cdot h_{\text{БС}} + \frac{c}{h_{\text{БС}}},$$

де a, b, c – константи, що залежать від типу рельєфу місцевості (табл. 3.6).

Корегувальний коефіцієнт для частоти можна розрахувати за формулою:

$$X_f = 6 \cdot \lg\left(\frac{f_{\text{МГц}}}{2000}\right).$$

Корегувальний коефіцієнт для висоти МС визначають за виразами:

$$X_h = -10,8 \cdot \lg\left(\frac{h_{\text{МС}}}{2}\right) \text{ для рельєфів типу А і В;}$$

$$X_h = -20 \cdot \lg\left(\frac{h_{\text{МС}}}{2}\right) \text{ для рельєфу типу С.}$$

Модель Альсбрука-Парсона

Втрати в місті, дБ:

$$L_{\text{М}} = L_{\text{F}} + \sqrt{(L_{\text{ПЛ}} - L_{\text{F}})^2 + L_{\text{D}}^2} + L_{\text{B}} + \gamma,,$$

де $L_{\text{F}} = 32,45 + 20\lg f + 20\lg R$ - втрати передавання у вільному просторі, дБ;

$L_{\text{ПЛ}} = 120 - 20 \lg h_{\text{МС}} - 20 \lg h_{\text{БС}} + 40 \lg R$ – втрати поширення над плоскою поверхнею землі (за необхідності, з врахуванням атмосферної рефракції), дБ;

$L_{\text{Д}}$ – дифракційні втрати, що обумовлені характером рельєфу під міською забудовою (сферичність землі, наявність впадин тощо), дБ;

$$L_{\text{В}} = 20 \lg \left(\frac{h_0 - h_{\text{МС}}}{\sqrt{w_e \gamma}} \right) + 16 - \text{втрати, що спричинені міськими будівлями, дБ;}$$

h_0 – середня висота будівель біля МС;

w_e – ефективна ширина вулиці, на якій розміщена МС;

γ – коригувальний коефіцієнт (залежить від частоти).

Модель Лі

Потужність сигналу на вході приймача $P_{\text{ПРМ}}$, дБм:

$$P_{\text{ПРМ}} = A - B \lg R - n \lg \left(\frac{f}{900} \right) + 10 \lg \alpha,$$

де A і B – параметри, які залежать від навколишнього середовища і визначені в результаті статистичної обробки даних вимірювань в умовах міста; для великих міст $A = 55 \dots 80$, $B = 30 \dots 43$, для невеликих міст $A = 54$, $B = 39$;

n – множник приймає такі значення: $n = 2$ в передмістях, який для смуги $f < 450$ МГц, $n = 3$ в передмістях для смуги $f > 450$ МГц;

α – параметр, який визначають таким чином:

$$\alpha = \frac{h_{\text{БС}}^2 h_{\text{МС}}^m P_{\text{ПРД}} G_{\text{ПРД}} G_{\text{ПРМ}}}{3660},$$

де $P_{\text{ПРД}}$ – потужність передавача, Вт;

$G_{\text{ПРД}}$, $G_{\text{ПРМ}}$ – коефіцієнти підсилення антен передавача і приймача відповідно;

m - показник ступеня $h_{\text{МС}}$: $m = 1$ для $h_{\text{МС}} < 3$ м і $m = 2$ $h_{\text{МС}} > 3$ м.

Модель Еглі

Модель описує втрати на шляху від базової станції до мобільної станції в широкому діапазоні частот – ДВЧ та УВЧ в умовах прямої видимості:

$$P_{\text{ПРМ}} = 0,668 \cdot G_{\text{БС}} \cdot G_{\text{МС}} \left[\frac{h_{\text{БС}} h_{\text{МС}}}{d^2} \right]^2 \cdot \left[\frac{40}{f} \right]^2 \cdot P_{\text{ПРД}},$$

де $P_{\text{ПРМ}}$ – потужність сигналу на вході приймача, Вт;

$P_{\text{ПРД}}$ – потужність передавача, Вт;

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

$G_{\text{МС}}$ – коефіцієнт підсилення антени МС;

$h_{\text{БС}}$ – висота антени БС, м;

$h_{\text{МС}}$ – висота антени МС, м;

d – відстань між БС та МС, м;

f – частота передавача, МГц.

Похибки моделей ПРХ для території України

Модель ПРХ	Смуга частот, МГц	Відстань, км	Похибка*		Додаткові обмеження
			середня, дБ	середньоквадратична, дБ	
Окумура – Хата	150...1500	1...20	4...12	9...20	Висота підвісу антени БС – 30...200 м Висота антени МС -- 1...10 м
COST231-Хата	1500...2000	1...20	3...5	9...13	Висота підвісу антени БС – 30...200 м Висота антени МС -- 1...10 м
COST231-Уолфіш-Ікегамі	800...2000	0,02...5	<3	4...8	Висота підвісу антени БС – 4...50 м Висота антени МС - 1...10 м
Альсбрука - Парсона	100...900	0,02...3	<3	4...10	-
Модель Лі	100...1800	0,02...5	<3	4...8	-
Еглі	30...1000	1...50	<14	12...19	-

* Наведені похибки емпіричних моделей властиві для місцевостей, на яких проводились дослідження. Так, наприклад, в модель Окумура-Хата закладені вимірювання, які мали місце в Токіо і його передмістях. Оскільки характер структури забудови українських міст і селищ відрізняються від японських, то в процесі реалізації моделі в умовах міста отримують дещо інші результати (для випадку моделі Окумура-Хата середня похибка в умовах міста становить 8...15 дБ).

Додаток Г
Теми курсових робіт

ТЕМИ

курсової роботи з дисципліни «Телекомунікаційні безпроводові системи»

Для студентів групи ДЗ-х1

№ варіанту	Тема курсової роботи	Місто	Прізвище студента	Дата	Підпис
1	Мережа стільникового зв'язку стандарту GSM - 900 для району міста	Ашгабат			
2	Мережа стільникового зв'язку стандарту CDMA2000 1xEV-DO для району міста	Астана			
3	Мережа безпроводового мобільного доступу LTE для району міста	Баку			
4	Мережа стільникового зв'язку стандарту UMTS HSPA для району міста	Бангкок			
5	Мережа безпроводового мобільного доступу WiMAX для району міста	Бішкек			
6	Мережа стільникового зв'язку стандарту GSM - 1800 для району міста	Київ			
7	Мережа стільникового зв'язку стандарту UMTS HSPA для району міста	Дамаск			
8	Мережа безпроводового мобільного доступу WiMAX для району міста	Джакарта			
9	Мережа стільникового зв'язку стандарту GSM - 900 для району міста	Душанбе			
10	Мережа стільникового зв'язку стандарту CDMA2000 1xEV-DO для району міста	Стамбул			
11	Мережа безпроводового мобільного доступу LTE для району міста	Карачі			
12	Мережа стільникового зв'язку стандарту UMTS HSPA для району міста	Кишинів			
13	Мережа безпроводового мобільного доступу WiMAX для району міста	Куала-Лумпур			
14	Мережа стільникового зв'язку стандарту GSM - 1800 для району	Ліма			

	міста				
15	Мережа стільникового зв'язку стандарту UMTS HSPA для району міста	Манагуа			
16	Мережа безпроводового мобільного доступу WiMAX для району міста	Маніла			
17	Мережа стільникового зв'язку стандарту GSM - 900 для району міста	Мінськ			
18	Мережа стільникового зв'язку стандарту CDMA2000 1xEV-DO для району міста	Москва			
19	Мережа безпроводового мобільного доступу LTE для району міста	Подгоріца			
20	Мережа стільникового зв'язку стандарту UMTS HSPA для району міста	Пхеньян			
21	Мережа безпроводового мобільного доступу WiMAX для району міста	Санкт-Петербург			
22	Мережа стільникового зв'язку стандарту GSM - 1800 для району міста	Ташкент			
23	Мережа стільникового зв'язку стандарту UMTS HSPA для району міста	Тбілісі			
24	Мережа безпроводового мобільного доступу WiMAX для району міста	Туніс			
25	Мережа стільникового зв'язку стандарту GSM - 900 для району міста	Улан-Батор			

Для студентів групи ДЗ-х2

№ варіанту	Тема курсової роботи	Місто	Прізвище студента	Дата	Підпис
26	Мережа безпроводового мобільного доступу WiMAX для району міста	Улан-Батор			
27	Мережа стільникового зв'язку стандарту GSM - 900 для району міста	Туніс			
28	Мережа стільникового зв'язку стандарту GSM - 1800 для району міста	Тбілісі			
29	Мережа стільникового зв'язку стандарту UMTS HSPA для району міста	Ташкент			
30	Мережа безпроводового мобільного доступу WiMAX для району міста	Стамбул			
31	Мережа стільникового зв'язку стандарту CDMA2000 1xEV-DO для району міста	Санкт-Петербург			
32	Мережа безпроводового мобільного доступу LTE для району міста	Пхеньян			
33	Мережа стільникового зв'язку стандарту UMTS HSPA для району міста	Подгоріца			
34	Мережа стільникового зв'язку стандарту CDMA2000 1xEV-DO для району міста	Москва			
35	Мережа безпроводового мобільного доступу WiMAX для району міста	Мінськ			
36	Мережа стільникового зв'язку стандарту GSM - 900 для району міста	Маніла			
37	Мережа стільникового зв'язку стандарту GSM - 1800 для району міста	Манагуа			
38	Мережа стільникового зв'язку стандарту UMTS HSPA для району міста	Ліма			
39	Мережа стільникового зв'язку стандарту UMTS HSPA для району міста	Куала-Лумпур			
40	Мережа безпроводового мобільного доступу WiMAX для району міста	Кишинів			

41	Мережа стільникового зв'язку стандарту GSM - 900 для району міста	Карачі			
42	Мережа безпроводового мобільного доступу LTE для району міста	Душанбе			
43	Мережа стільникового зв'язку стандарту UMTS HSPA для району міста	Джакарта			
44	Мережа безпроводового мобільного доступу WiMAX для району міста	Дамаск			
45	Мережа безпроводового мобільного доступу WiMAX для району міста	Київ			
46	Мережа стільникового зв'язку стандарту GSM - 1800 для району міста	Бішкек			
47	Мережа безпроводового мобільного доступу LTE для району міста	Бангкок			
48	Мережа стільникового зв'язку стандарту UMTS HSPA для району міста	Баку			
49	Мережа стільникового зв'язку стандарту CDMA2000 1xEV-DO для району міста	Ашгабат			
50	Мережа стільникового зв'язку стандарту GSM - 900 для району міста	Астана			

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Весоловский Кшиштоф. Системы подвижной радиосвязи / Весоловский Кшиштоф. Пер. с польск. И. Д. Рудинского; под ред. А.И. Ледовского. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. - 536 с.
2. Гепко И.А. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития / Гепко И.А., Олейник В.Ф., Чайка Ю.Д., Бондаренко А.В. - К.: «ЕКМО», 2009. - 672 с.
3. Рашич А. В. Сети беспроводного доступа WiMAX: учеб. пособие / Рашич А.В. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 179 с.
4. Гельгор А.Л. Технология LTE мобильной передачи данных: учеб. пособие / Гельгор А.Л., Попов Е.А. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 204 с.
5. Вишневский В.М. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G / Вишневский В.М., Портной С.Л., Шахнович И.В. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
6. Бабков В.Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование. Учебное пособие для вузов / В. Ю. Бабков, М. А. Вознюк, П. А. Михайлов. - 2-е изд. испр. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 224 с.
7. Навчальний практикум з кредитного модуля “Безпроводові телекомунікаційні системи-2. Системи та засоби зв’язку з рухомими об’єктами“. Методичні рекомендації до проведення практичних занять та виконання лабораторних робіт для студентів усіх форм навчання за напрямом підготовки 6.050903 “Телекомунікації” / Укл. В.Г. Абакумов, П.В. Попович, К.О. Трапезон. – К.: Аверс, 2013. – 146 с.