

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки, факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи
(ступінь вищої освіти)

на тему Визначення зон залясання телекомунікаційного сигналу
у Шевченківській мікрорайоні м. Запоріжжя шляхом застосування
сучасних моделей поширення радіохвиль в умовах міської висотки
забудови

Виконав: студент(ка) 6 курсу, групи РТ-218М

Спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і найменування спеціальності)

Освітньої програми Радіотехніка

Понурка О.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Бурова Т.І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Касьен М.М.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформатики та радіоелектроніки, факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
 Кафедра Радіотехніки та телекомунікацій
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
 (код і найменування)
 Освітня програма радіотехніка
 (назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри РТТк.т.н., доц. Морщавка С.В.«12» грудня 2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА (КИ)

- Пенюра Олександр Васильович
 (прізвище, ім'я, по батькові)
- Тема роботи Вивчення зон загасання телекомунікаційного сигналу у Шейтенківській мікроматоні м. Запоріжжя шляхом застосування сучасних моделей поширення радіохвиль в цифровій лінійній висотній забудові
 керівник роботи доцент кафедри РТТ Біркова Т.І.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 - затверджені наказом закладу вищої освіти від «08» 11 2019 року № 365
 - Строк подання студентом роботи 12.12.2019 р.
 - Вихідні дані до роботи Дослідити закономірності поширення радіохвиль в цифровій лінійній забудові на прикладі Шейтенківської мікроматони м. Запоріжжя для телекомунікаційного стандарту GSM 300, GSM 1800.
 - Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз стану моделювання поширення радіохвиль в лінійній висотній забудові, моделі затухання радіохвиль в містках, розрахунок та експериментальне дослідження рівня телекомунікаційного сигналу у Шейтенківській мікроматоні м. Запоріжжя, експліцитні розрахунки та розрахунки з оглядом на приціли та безприціли
 - Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 28 презентацій Power Point на тему: Вивчення зон загасання телекомунікаційного сигналу у Шейтенківській мікроматоні м. Запоріжжя шляхом застосування сучасних моделей поширення радіохвиль в цифровій лінійній висотній забудові

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1 розділ	доц. кафедри РТТ Бурова Т.І.	30.09.19	12.12
2 розділ	доц. кафедри РТТ Бурова Т.І.	30.09.19	12.12
3 Економічна частинка	Лівицько Т.В., доцент		
4 Охорона праці	Івченко Ю.В. к.т.н, доцент		
5 - Бюджет	Мороз Т.В. асистент кафедри РТТ		

7. Дата видачі завдання « 30 » вересня 2019 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану моделювання напруги розсіювання в міських умовах	30.09.19	
2	Моделі поширення радіохвиль в реальних умовах	5.09.19	
3	Моделювання поширення радіохвиль в місті за допомогою емпіричних моделей	15.09.19	
4	Організаційно-економічна частинка	20.09.19	
5	Охорона праці та безпека в період надзвичайних ситуацій	10.12.19	

Студент(ка) Тр (підпис) Поприца О.В. (прізвище та ініціали)

Керівник роботи Тр (підпис) Бурова Т. (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 96 сторінки, 29 рисунків, 14 таблиць, 11 джерел

Об'єкт дослідження – телекомунікаційний сигнал.

Мета роботи полягає в тому, щоб виявити зони загасання та просторовий розподіл телекомунікаційного сигналу у Шевченківському мікрорайоні м. Запоріжжя шляхом математичного моделювання у середовищі MathCAD та прямого вимірювання інтенсивності сигналу мобільного оператора.

Методи – емпіричні статистичні методи розрахунку загасання телекомунікаційних сигналів на трасах, експериментальні методи, чисельні методи.

Основні результати. Проведено аналіз існуючих моделей поширення УКХ в місті: модель Окамура, Хата, COST-231 Хата, Лі, Уолфіш-Ікегамі, для діапазонів частот 900 МГц і 1800 МГц. Показано, що всі відомі моделі будуються на основі експериментальних даних та статистики. Особливістю роботи є дослідження зон загасання в мікрорайоні Шевченківський міста Запоріжжя.

Представлено детальний розрахунок ослаблення УКХ в умовах міської забудови, для моделей Хата, COST231 – Хата, Уолфіш-Ікегамі в програмному середовищі MathCAD.

ВІЛЬНИЙ ПРОСТІР, ЗАГАСАННЯ, ВІДБИТТЯ, ЗАЛОМЛЕННЯ,
РОЗСІЮВАННЯ, МОДЕЛЬ ОКАМУРА, МОДЕЛЬ ХАТА, МОДЕЛЬ COST-
231 ХАТА, МОДЕЛЬ ЛІ, МОДЕЛЬ УОЛФІШ-ІКЕГАМІ

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ В МІСЬКИХ УМОВАХ	10
1.1 Основні проблеми поширення радіохвиль і методи їх вирішення	10
1.2 Загасання радіосигналів при поширенні	13
2 МОДЕЛІ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ В РЕАЛЬНИХ УМОВАХ.....	15
2.1 Модель поширення радіосигналу у вільному просторі	15
2.2 Двопроменева модель поширення радіосигналу	17
2.3 Стандартні моделі поширення на відкритому просторі	18
2.4 Модель Okamura.....	18
2.5 Модель Хата	21
2.6 Модель COST 231-Хата.....	23
2.7 Модель Лі «від зони до зони».....	24
2.8 Модель Лі «від точки до точки».....	29
2.9 Модель Уолфіш-Ікегамі	38
2.10 Висновки та постановка задачі.....	42
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ В МІСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕМПІРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ	43
3.1 Моделювання загасання радіосигналу від відстані для мікрорайону Шевченківський м. Запоріжжя	43
3.2 Експериментальне дослідження рівня сигналу базової станції розташованої в мікрорайоні Шевченківський у місті Запоріжжі і визначення зон загасання	55
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	59
4.1 Планування науково-дослідницької роботи.....	59
4.2 Визначення витрат на проведення експерименту	61
4.2.1 Розрахунок основної заробітної плати	61
4.2.2 Розрахунок додаткової заробітної плати.....	62

4.2.3 Відрахування на ЄСВ	62
4.2.4 Визначення витрат на матеріали	62
4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання	63
4.2.6 Розрахунок загальних виробничих витрат	67
4.3 Розрахунок економічної ефективності НДР.....	67
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В ПЕРІОД НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ	70
5.1 Аналіз потенційних небезпек	70
5.2 Заходи щодо забезпечення техніки безпеки.....	71
5.3 Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці	73
5.4 Заходи з пожежної безпеки	80
5.5 Заходи щодо забезпечення безпеки при надзвичайних ситуаціях.....	83
ВИСНОВКИ.....	88
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	89
ДОДАТОК А.....	91
ДОДАТОК Б	92
ДОДАТОК В.....	93
ДОДАТОК Г	94

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

BTS	—	(Base Telecommunication Station) базова телекомунікаційна станція
GSM	—	Global System for Mobile
MMDS	—	Multichannel Multipoint Distribution System
PCS	—	Personal Communication Systems
АС	—	абонентська станція
АПС	—	автоматична пожежна система
БС	—	базова станція
ВЧ ПРА	—	високочастотний пускорегулюючий апарат
ДСанПіН	—	державні санітарні правила і норми
ДСН	—	державні санітарні норми
КПО	—	коефіцієнт природної освітленості
КТ	—	комп'ютерна техніка
МККР	—	міжнародний консультативний комітет по радіо
ПЕОМ	—	персональні електронні обчислювальні машини
ПУЕ	—	правила улаштування електроустановок
СНіП	—	санітарні норми і правила
УКХ	—	ультракороткі хвилі

ВСТУП

Актуальність, наукова новизна та практичне значення роботи. З початку 70-х років і по теперішній час увагу дослідників і інженерів у багатьох країнах світу було приділено проблемі поширення ультракоротких хвиль (УКХ) в містах. Це пов'язано з інтенсивним розвитком систем радіозв'язку різного призначення – від телебачення до систем зв'язку з рухомими об'єктами та радіотелефонії, що грають в житті міст величезну роль. Вперше проблема поширення радіохвиль цього діапазону в міських умовах виникла ще в 30-ті роки [7]. Після перших робіт, які стосуються в основному діапазону метрових хвиль, інтерес до проблеми поступово падав через складність поширення УКХ радіохвиль і труднощі отримання достовірних кількісних оцінок. За влучним висловом Б.А. Введенського [6], що опублікував в 1938 р перший аналітичний огляд по поширенню метрових радіохвиль в містах, для ультракоротких хвиль «міські райони представляють собою місцевості, пересіченість яких доведена до крайніх меж». Великі затінення, створювані будівлями, відбиття, дифракція і розсіювання хвиль надають процесу поширення та випромінювання багатопроменевий характер і формують складну інтерференційну структуру поля з глибокими і різкими просторовими завмираннями. Це створює значні труднощі для прогнозу умов роботи радіозасобів.

Багатопроменевий характер поширення радіохвиль в умовах міста визначає специфічні особливості міського каналу зв'язку на УКХ, породжуючи спотворення широкосмугових сигналів, частотно-селективного завмирання і явища інтерференції при передачі кодових послідовностей імпульсів [1...14]. Тому побудова математичної моделі міста є основним завданням для опису процесу поширення УКХ в умовах міста і вирішення низки практичних завдань для систем стільникового зв'язку. При цьому РЕЗ розташовані в межах міста і грають важливу роль в його нормальному функціонуванні. Зараз складно знайти велике місто, в якому не було б

розгорнуто велику кількість систем радіозв'язку (стільникового, передачі даних і т.д.). Для забезпечення якісного функціонування цих РЕЗ необхідна інформація про розподіл поля всередині забудови. Сучасний мегаполіс з точки зору взаємодії радіохвиль з міською забудовою представляє складну неоднорідну конгломерацію, яка простягається іноді на сотні (Китай, Гонконг, Сеул і т.п.) кілометрів.

Крім того, обсяги переданої інформації з кожним роком зростають. Цим обумовлюється освоєння нових, більш високих областей частот, яке рухається паралельно з розвитком систем зв'язку з рухомими об'єктами. А при використанні більш високочастотних діапазонів міська забудова і рельєф, як відомо, мають все більший вплив на процеси поширення-випромінювання. Прикладом сучасного мегаполісу є м. Запоріжжя. Таким чином, існує актуальна проблема дослідження функціонування систем стільникового зв'язку, утворення зон затінення в цьому місті.

З метою більш детального розбору, робота була розбита на кілька послідовних розділів.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану моделювання поширення УКХ в міських умовах, детально розглянуті моделі поширення радіохвиль в шарі міської забудови.

У другому розділі розглянуто моделювання поширення радіохвиль в місті за допомогою емпіричних моделей. Також розглянуто затухання радіосигналу для мікрорайону Шевченківський р Запоріжжя і визначені зони затінення сигналу.

У висновку наведено результати.

Всі матеріали, необхідні для більш докладного опису і розуміння інформації, наведені в додатку А.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ В МІСЬКИХ УМОВАХ

У цьому розділі розглянуто основні особливості поширення УКВ в умовах міста, проведений огляд методів аналізу взаємодії випромінювання з міською забудовою і існуючих моделей на основі класифікації за типом дослідження. Виконано зіставлення найбільш поширених методів моделювання та вибрано оптимальні для Запоріжжя. Визначено основні проблеми функціонування систем стільникового зв'язку, які потребують вирішення.

1.1 Основні проблеми поширення радіохвиль і методи їх вирішення

В даний час все більш активно використовуються і впроваджуються радіосистеми, що функціонують в діапазонах частот вище 30 МГц. Тому вивчення особливостей поширення радіохвиль в цій ділянці електромагнітного спектра в умовах міста дуже актуально, так як вирішення задач електромагнітної сумісності, частотного планування, проблем електромагнітної екології є неможливим без інформації про просторово-часовий розподіл електромагнітного поля. Коректний розрахунок радіотрас, що проходять в міській забудові, представляється в даний час вкрай важливим і практично значущим, адже саме в містах зосереджена найбільша кількість радіозасобів.

Більшість робіт з дослідження поширення УКХ було виконано стосовно систем стільникового зв'язку в силу їх практичної значущості [1,2,3]. Для мережевого планування, виконаного на високому рівні, потрібно оптимальне покриття території, визначення зон виникнення багатопроменевих ефектів, інтерференції, тощо. Високий рівень мережевого планування включає частотне призначення і визначення параметрів базових станцій. Подібні завдання існують і у всіх інших системах зв'язку. Умови, в

яких ці системи можуть використовуватися, змінюються від невеликих просторів всередині будівель до величезних сільських місцевостей, адже наша країна – найбільша країна Європи. Отже, методи прогнозу поширення радіохвиль потрібні для покриття сот різного розміру: макро-, мікро- і пікосоти, включаючи простір усередині будівель і ситуації в спеціальних ситуаціях, таких як тунелі і залізні дороги.

В реальних умовах поширення радіосигналу на місцевості величина загасання залежить від комплексу факторів, що визначають характер поширення радіохвиль. До них відносяться: відбиття, дифракція, розсіювання, заломлення і ефект Доплера для рухомих засобів зв'язку.

Відбиття відбувається, коли електромагнітна хвиля натикається на об'єкт, який за розмірами більший за довжину хвилі. Це може привести до ослаблення потужності сигналу при проходженні через перешкоду типу стіни, але може також змусити відбиту хвилю поширюватися в зовсім іншому напрямку.

Дифракція відбувається, коли електромагнітна хвиля зустрічається з нерівною поверхнею з характерним радіусом кривизни, який є істотно меншим за довжину хвилі. Це може привести до руху хвилі навколо кутів і інших вигинів. Цей ефект дуже корисний в умовах будинку, оскільки це дозволяє сигналу проходити по іншому шляху, потрапляти у затінені ділянки простору, які не розташовуються у зонах прямої видимості.

Розсіювання відбувається, коли на шляху електромагнітної хвилі зустрічається об'єкт розміром меншим, ніж довжина хвилі. Результатом буде розсіювання сигналу, він буде рухатися по різних шляхах (наприклад, розсіювання кронами листяних і дерев).

Рефракція (заломлення) відбувається при поширенні електромагнітних хвиль в середовищі з плавною зміною від точки до точки показником заломлення; причому терміном "переломлення" частіше називається різка зміна напрямку променів на межі поділу двох однорідних середовищ зі стрибками показників заломлення. Сигнал піддається дії

рефракції, проходячи через повітряне і водне середовище, стіни будівель, різні перекриття та інші перешкоди.

Ефект Доплера має місце при переміщенні в просторі з певною швидкістю рухомого об'єкту. Внаслідок цього змінюється частота відбитого сигналу. Ці ефекти призводять до множинного поширенню одного сигналу, і в результаті ми отримуємо багатопроменевий ефект.

У разі відсутності прямої видимості між передавачем і приймачем в точку прийому приходять промені, що з'явилися внаслідок дифракції на горизонтальних дахах і вертикальних крайках будівель, а також відбиті від будівель, розташованих в безпосередній близькості від передавальної станції. Умови зовнішнього середовища змінюються в часі (погода, наявність чи відсутність листя у рослинності і т.п.). Все це обумовлює випадковий характер поля в точці прийому.

При наявності прямої видимості до цієї сукупності променів додається прямий промінь, який прийшов від джерела. Висота будівель може бути довільною, а також можуть зустрічатися різні види профілів дахів (прямокутний, трикутний), що містять різного роду неоднорідності (труби, антени і ін.). У цьому випадку поле в місці прийому, якщо не враховувати перевипромінення від дахів навколишніх будівель, утворюється за рахунок інтерференції прямого і відбитого променів.

Основні механізми поширення радіохвиль зображено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Механізми поширення радіохвиль

Існує кілька причин, які ускладнюють дослідження явища поширення радіохвиль:

- відстань між приймачем і передавачем може становити від декількох метрів до декількох кілометрів;
- структури, створені людиною, і природні особливості рельєфу можуть мати розмір як менше, так і більше довжини хвилі;
- опис навколишнього середовища не може врахувати всі деталі, до того ж воно повсякчас змінюється.

З представленого видно, що процес поширення радіохвиль досить складний. Тому на основі теоретичних і експериментальних досліджень був розроблений цілий ряд моделей для розрахунку ослаблення сигналу в умовах міста.

1.2 Загасання радіосигналів при поширенні

Згідно емпіричних даних середнє значення загасання зростає прямо пропорційно ступеня n відстані d :

$$L \approx d^n,$$

де n – індекс загасання, що визначається експериментально і лежить в межах від 2 до 6, в залежності від характеру місцевості [1, 11].

Аналогічно, середнє значення рівня сигналу на вході приймальної антени обернено пропорційно індексу загасання:

$$P_r \approx d^{-n}.$$

При визначенні n результати експериментів, як правило, усереднюють по безлічі реалізацій на колі з радіусом d від передавальної антени. При розповсюдженні радіосигналу його потужність зменшується зі збільшенням відстані. У загальному вигляді цю залежність можна записати так:

$$P_r = a_0 P_t d^{-n},$$

де P_t та P_r – вихідна потужність сигналу передавача та приймача, відповідно;

d – відстань між передавальною і приймальною станціями;

n – показник загасання;

a_0 – нормувальний множник [1...8, 11].

2 МОДЕЛІ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ В РЕАЛЬНИХ УМОВАХ

Моделювання поширення радіохвиль в реальних умовах засноване на передбаченні середнього рівня сигналу на заданій відстані від випромінювача, а також передбачає визначення розкиду його значень в залежності від конкретної ситуації на трасі. Розрахунок радіолінії дозволяє визначити зону обслуговування передавача. Моделювання середнього рівня сигналу в залежності від відстані між передавачем і приймачем називається крупномасштабним моделюванням, оскільки дозволяє визначити сигнал на великій відстані (кілька сотень і тисяч метрів). З іншого боку, інші моделі характеризують швидкоплинні значення рівня сигналу при малих зсувах точки прийому у просторі (кілька довжин хвиль) або за короткий час (секунди) – вони називаються дрібномасштабними моделями [4].

2.1 Модель поширення радіосигналу у вільному просторі

Модель поширення хвиль у вільному просторі використовується для розрахунку прийнятого сигналу в умовах, коли передавальна і приймальна антени знаходяться на відкритій незатіненій перешкодами радіолінії. Ця модель застосовується для аналізу радіоканалів зв'язку через супутники і для наземних радіоліній, що працюють в діапазоні надвисоких частот (3...30 ГГц) [3, 17, 32].

При поширенні радіосигналу у вільному просторі потужність на виході приймальної антени зручно виразити як функцію від відстані до передавальної антени $P_r(d)$:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r}{(4\pi d)^2} \cdot \lambda^2,$$

де G_r та G_t – коефіцієнти посилення передавальної та приймальної антен.

При використанні цього рівняння передбачається, що приймальна антена знаходиться від передавальної на відстані $d \geq d_0$, яке відповідає дальній зоні (зона Фраунгофера).

Рівняння вільного простору часто виражається по відношенню до точки відліку d_0 , що знаходиться в зоні Фраунгофера, $P_r(d) = P_r(d_0) \cdot \left(\frac{d_0}{d}\right)^2$.

Опорна відстань d_0 звичайно вибирається у 100 м або 1 км для зв'язку на відкритій місцевості.

Однією з найважливіших характеристик поширення радіосигналу є його згасання в каналі зв'язку. Для вільного простору згасання (в дБ) в зоні Фраунгофера визначається виразом

$$L(d) = 10 \lg \frac{P_t}{P_r} = -10 \lg G_t - 10 \lg G_r - 20 \lg \lambda + 20 \lg(d) + 20 \lg(4\pi)$$

Зручна інша форма запису загасання у вільному просторі:

$$L(d) = 10 \lg \frac{P_t}{P_r} = -10 \lg G_t - 10 \lg G_r + 20 \lg f + 20 \lg(d) + 32,44, \quad (2.1)$$

де $G = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}$ – коефіцієнт посилення антени;

A_e – ефективна площа поверхні антени, м²;

$L(d)$ – загасання сигналу у вільному просторі;

P_t , та P_r – рівні потужності передавача і приймача;

G_r та G_t , – коефіцієнти посилення передавальної і приймальної антени відповідно, виражені в децибелах;

d – відстань між приймачем і передавачем (в кілометрах);

f – частота сигналу (в МГц).

Параметри такого опису поширення радіосигналу показані на рисунку 2.1 [3].

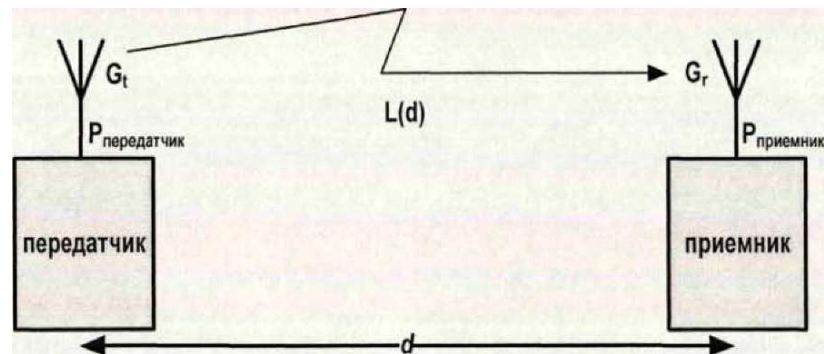


Рисунок 2.1 – Параметри поширення радіосигналу

2.2 Двопроменева модель поширення радіосигналу

Для рухомих систем зв'язку опис поширення радіосигналу уздовж земної поверхні може бути представлено двопроменевою моделлю (рисунок 2.2).

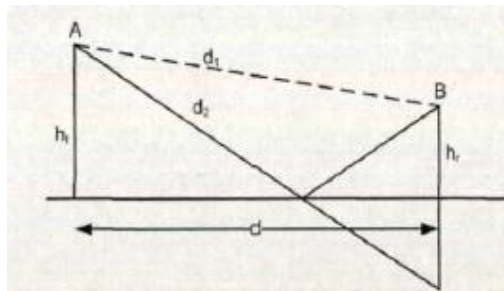


Рисунок 2.2 – Двопроменева модель поширення сигналу

Якщо вважати, що поверхня Землі є ідеальним відбивачем, і кут падіння променя дуже маленький, то для цих умов потужність сигналу на виході примальної антени визначається з виразу (2.2), а h_t , h_r та d такі, що ця залежність використовується при плануванні мереж радіомовлення та дає

результат, який добре збігається з даними МККР (Міжнародний консультативний комітет по радіо) [3].

$$P_r = P_t G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4}. \quad (2.2)$$

З формули (2.2) видно, що на великих відстанях прийнята потужність зменшується обернено пропорційно d зі швидкістю 40 дБ на декаду. Це істотно швидше, ніж у вільному просторі.

Для двопроменевої моделі, відповідно до (2.2), втрати потужності в радіоканалі визначаються виразом, дБ.

$$P_r = -10 \lg G_t - 10 \lg G_r - 20 \lg h_r + 40 \lg d.$$

2.3 Стандартні моделі поширення на відкритому просторі

Моделі поширення, які оцінюють середню потужність сигналу для різних відстаней між приймачем і передавачем, в межах декількох сотень або тисяч метрів, називають крупномасштабними моделями поширення. Крупномасштабні моделі досить прості і не враховують дуже маленькі зміни, наприклад, загасання, які викликані багатопроменевим поширенням. Ці моделі корисні при прогнозі охоплення систем радіозв'язку навколишньої місцевості [1...6].

2.4 Модель Okamura

Модель Okamura заснована на графічному поданні експериментальних даних, отриманих Okamura при вимірах рівнів радіосигналу в м Токіо (Японія).

Цей експериментальний підхід є одним із широко використовуваних методів для розрахунку радіоліній в умовах міста. Модель Okamura застосовують при значеннях параметрів в межах, зазначених в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Допустимі значення параметрів для моделі Okamura

Параметр	Області застосування моделі Okamura	
	Основна	Розширена
Робоча частота, МГц	Від 150 до 2000	До 3000
Протяжність траси, км	Від 1 до 20	До 100
Висота антени БС, м	Від 30 до 400	Від 1,5 до 1000
Висота антени АС, м	Від 1 до 10	Від 1 до 10

Модель Окамура заснована на результатах експериментальних досліджень і в порівнянні з двопробеневою моделлю дозволяє більш точно прогнозувати середнє значення загасання радіосигналу на відносно великій відстані між передавальною і приймальною антенами (більше 1 км) при наявності перешкод. Згідно з моделлю Окамура середнє загасання в дБ визначається як:

$$L_{50} = L(d) + A(f, d) - H(h_t) - H(h_r) - C, \quad (2.3)$$

де L_{50} – середня величина втрат;

$L(d)$ – втрати в свободному просторі;

$A(f, d)$ – загасання в місті щодо загасання у вільному просторі при висоті антени передавача $h_t = 200$ м і висоті прийомної антени $h_r = 3$ м;

C – фактор загасання для різних типів місцевості.

Коефіцієнти висоти $H(h_t)$ і $H(h_r)$ для антен базової і абонентської станції відповідно визначаються наступним чином:

$$H(h_t) = 20\lg\left(\frac{h_t}{200}\right) \text{ при } 1000 \text{ м} > h_t > 10 \text{ м},$$

$$H(h_r) = 10\lg\left(\frac{h_r}{3}\right) \text{ при } h_r \leq 3 \text{ м};$$

$$H(h_r) = 20\lg\left(\frac{h_r}{3}\right) \text{ при } 10 \text{ м} > h_r > 3 \text{ м}.$$

Складові для загасання $A(f, d)$ і C визначаються графічним способом, використовуючи рисунок 2.3 і 2.4. Для сільської місцевості фактор загасання C на 5 дБ менше, ніж для відкритого простору [3, 27].

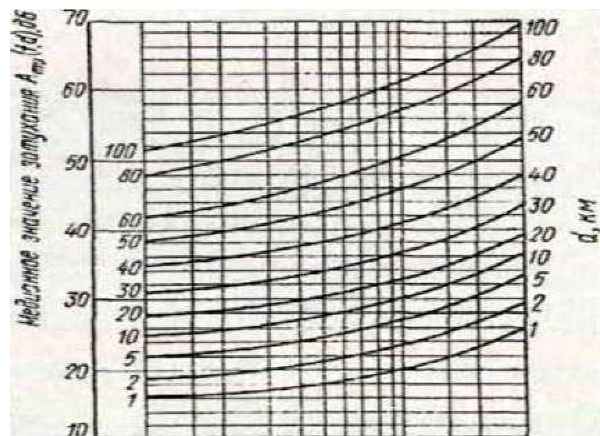


Рисунок 2.3 – Залежність загасання в місті щодо загасання в вільному просторі від частоти сигналу і відстані при $h_t=200$ м



Рисунок 2.4 – Залежність фактора загасання C від частоти сигналу і типу місцевості

2.5 Модель Хата

Очевидно, що наведена вище модель незручна для обчислень за допомогою ЕОМ. Для зручності її реалізації Хата запропонував емпіричну модель опису графічної інформації, представлені Окамура. Отже, модель Хата у вигляді математичного запису також заснована на експериментальних даних Окамура. Модель Хата застосовують при зміні значень параметрів в межах, зазначених в таблиці 2.2 [1...6, 12,28...30].

Таблиця 2.2 – Допустимі значення параметрів для моделі Хата

Параметр	Області приміння моделі Хата	
	Основна	Розширена
Робоча частота, МГц	Від 150 до 1500	від 150 до 1500
Протяжність траси, км	від 1 до 20	До 80
Висота антени БС, м	від 30 до 200	від 1,5 до 400
Висота антени АС, м	від 1 до 10	від 1 до 10

Середнє загасання радіосигналу в міських умовах розраховується за емпіричною формулою, дБ:

$$L_{(город)} = 69,55 + 26,16 \lg(f) - 13,82 \lg(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg(h_t)) \lg(d) - a(h_r), \quad (2.4)$$

де $a(h_r)$ – поправочний коефіцієнт для висоти антени АС.

Для великих міст цей параметр слабо залежить від частоти і від типу місцевості, проте використовуються наступні апроксимуючі формули:

для малих і середніх міст:

$$a(h_r) = (1,1 \lg(f) + 0,7) \cdot h_r - (1,56 \lg(f) - 0,8),$$

для великих міст:

$$a(h_r) = 8,29 [\lg(1,54 \cdot h_r)]^2 - 1,1 \text{ при } f < 300 \text{ МГц},$$

$$a(h_r) = 3,2 [\lg(11,75 \cdot h_r)]^2 - 4,97 \text{ при } f \geq 300 \text{ МГц},$$

для приміських районів, дБ:

$$L_{np} = L_{город} - 2 \left[\lg \frac{f}{28} \right]^2 - 5,4,$$

для сільської місцевості, дБ:

$$L_c = L_{город} - 4,78 \cdot \lg(f)^2 + 18,33 \cdot \lg(f) - 40,94.$$

Хоча формули Хата не дозволяють врахувати всі специфічні поправки, які доступні в методі Окамура, вони мають істотне практичне значення. Розрахунки за формулами Хата (рисунок 2.5) добре збігаються з даними моделі Окамура для відстаней, більших за 1 км, Додаток Б.

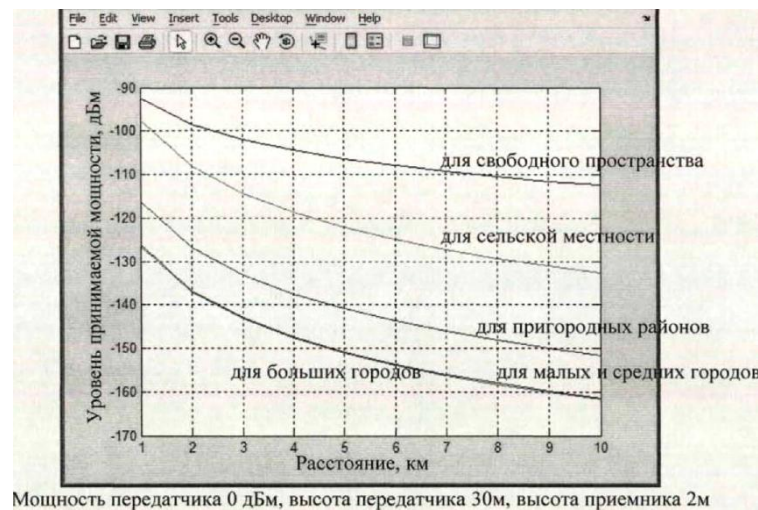


Рисунок 2.5 – Залежність загасання сигналу від відстані на різних місцевості

2.6 Модель COST 231-Хата

Для діапазону частот 1,5 ... 2 ГГц широко використовується модель COST 231-Хата, яка є модифікованим варіантом моделі Хата. Формула для розрахунку середнього загасання в місті (дБ) записується у вигляді:

$$L_{(город)} = 46,3 + 33,9 \lg(f) - 13,82 \lg(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg(h_t)) \cdot \lg(d) - a(h_r) \quad (2.5)$$

де $a(h_r) = (1,1 \lg(f) + 0,7) \cdot h_r - (1,56 \lg(f) - 0,8)$,

$C = 0$ дБ для малих і середніх міст;

$C = 3$ дБ для великих міст.

Коригування для приміських районів не використовуються. Для сільської місцевості поправочний коефіцієнт $a(h_r)$ такий самий, що і в моделі Хата [1...6]. Результат знаходиться в Додатку В.

2.7 Модель Лі «від зони до зони»

У моделях Лі місцевість класифікують за такими ознаками [1...4, 29...33]:

- за інфраструктурою, сформованою людиною (характер забудови);
- відкрита територія, приміська зона, міська забудова;
- за природними властивостями (характер траси) – гладка, горбиста, траса над водною поверхнею, траса через листяні ліси.

Модель Лі «від зони до зони» створена на основі аналізу результатів вимірювань рівня сигналу (локального середнього), опублікованих різними авторами для зон з різним характером забудови. Відповідно до цієї моделі, на вході приймача абонентської станції (АС) рівень медіанної потужності сигналу дорівнює:

$$P_m(d) = P_{\text{л}} + a_1 + \gamma \lg(\bar{r}) + a_2 + a_3 + a_4 + a_5, \quad (2.6)$$

де $\bar{r}$ – протяжність траси, виражена в милях (миля = 1,6 км);

$P_{\text{л}}$ – рівень ММС в точці, віддаленій від базової станції (БС) на 1 милю, виміряний при стандартних енергетичних параметрах апаратури;

γ – нахил кривої втрат поширення, дБ / декада, який чисельно дорівнює ослабленню сигналу при збільшенні довжини траси в 10 разів;

a_1 - a_5 – поправочні коефіцієнти; вводяться в разі, коли технічні параметри радіоінтерфейсу відрізняються від стандартних параметрів моделі (див. таблицю 2.3).

Поправочні коефіцієнти для параметрів в таблиці 2.4:

$$a_2 = 20 \lg h_t - 29,54, \quad (2.7 \text{ а})$$

$$a_4 = 20 \lg h_r - 4,77, \quad (2.7 \text{ б})$$

Таблиця 2.3 – Порівняння параметрів радіоінтерфейсу і моделі

Енергетичний параметр	Стандартне значення параметра	Поправочний коефіцієнт
Рівень потужності передавача БС (P_{bc})	$P_{BC} = 40\text{дБм}$	$a_1 = P_{BC} - 40$
Висота антени БС (h_t)	100 футів (30м)	$a_2 = 10 \lg(h_r / h_r^*), h_r^* = 30 \text{ м}$
Коефіцієнт підсилення антени БС (g_l)	6дБ	$a_3 = g_l - 6$
Висота антени АС (h_r)	10 футов (3м)	$a_4 = 10 \lg(h_r / h_r^*), h_r^* = 3 \text{ м}$
Коефіцієнт підсилення антени АС (g_2)	0 дБ	$a_5 = g_2$

При підстановці в (1.6) протяжності траси, вираженої в кілометрах, слід ввести поправку:

$$Z_l = \gamma \lg\left(\frac{d}{1,6}\right) = \gamma \lg(d) - 0,204 \cdot \gamma.$$

Знаходимо:

$$P_m(d) = P^* - 80,31 + P_{bc} + \gamma \lg(d) + 20 \cdot \lg(h_t) + 10 \cdot \lg(h_r) + g_1 + g_2, \quad (2.8)$$

$$P_{\text{л}}^* = P_{\text{л}} + 0,204 \cdot \gamma, \quad (2.9)$$

Визначимо по таблиці 2.4 параметри траси «типова приміська» і по (2.9) рівень потужності сигналу на відстані 1 км від БС:

$$P_{\text{л}}^* = -61,7 + 7,84 = -53,86 \text{ дБм}.$$

Підставивши це значення і $\gamma = 38,4$ в (1.8), отримаємо:

$$P_m(d) = P_{bc} - 134,31 - 38,41 \lg(d) + 20 \lg(h_t) + 10 \lg(h_r) + g_1 + g_2.$$

Остаточно в моделі Лі для траси «типова приміська» прийнятий нахил $\gamma = 40$ дБ / декада, і вказана контрольна точка $r = 10$ миль, в якій прийнято рівень потужності сигналу -100 дБм. Розрахункова формула для траси «типова приміська»:

$$P_m(d) = P_{\text{бс}} - 132,7 - 40 \cdot \lg(d) + 20 \cdot \lg(h_t) + 10 \cdot \lg(h_r) + g_1 + g_2 \quad (2.10)$$

(Відстань виражено в кілометрах, а висоти антен – в метрах).
Фізичний сенс доданків в (2.10) пояснюється в таблиці. 2.4.

Таблиця 2.4 – Позначення величин у формулі 2.4

Доданок формули	Фізичний зміст
$P_{\text{бс}} - 132,7$	Рівень потужності сигналу на відстані 1 км від БС при стандартних умовах, дБм
$40\lg(r)$	Враховує вплив сформованої структури ($\gamma = 40$ дБ / декада для траси «типова приміська»)
$20\lg(h_r)$	Фактор «висота – підсилення антени БС», що враховує вплив профілю траси
$\varepsilon = 10\lg(h_r) + g_1 + g_2$	Фактор, що враховує відхилення технічних параметрів від стандартних

Залежність від відстані. Для траси «типова приміська» (2.10) представляють у вигляді:

$$P_m(d) = k_{\text{л}} - 40 \cdot \lg(d),$$

де $k_{\text{л}} = P_{\text{бс}} - 132,7 - 40 \cdot \lg(d) + 20 \cdot \lg(h_t) + 10 \lg(h_r) + g_1 + g_2$ – рівень потужності прийому на відстані 1 км від БС, дБм.

Аналогічно можна записати вираз для потужності сигналу в точці прийому на трасі будь-якого типу:

$$P_m(d) = k_{Z_n} \cdot r^{-n},$$

де $k_{zл}$ – потужність сигналу в точці прийому на відстані 1 км від БС, для траси з заданим (Z) типом забудови;

$n = 0,1\gamma$ – показник загасання, що залежить від типу забудови.

При розрахунку реальних трас слід порівняти розглянуту територію з відповідною структурою в таблиці 2.3. Оскільки всі приміські зони схожі, то для них використовують (2.10). Для міст показники загасання істотно відрізняються. Так, для Токіо $n=3$, а для центральної частини Нью-Йорка $n=5$. У моделі Лі зазначено, що в разі потреби для конкретних трас можуть бути проведені досить прості вимірювання рівня сигналу на відстані 1 миля та 10 миль від БС. У кожній точці має бути виконано по 5 - 7 вимірювань і їх результати усереднені. Локальні середні значення можуть бути підставлені в (2.6).

Зіставивши, відзначимо, що збіглися закони залежності потужності сигналу від протяжності траси, отримані в моделі Окамура і в моделі Лі [1-4, 10-15].

При радіальному розташуванні міських вулиць щодо БС можливе виникнення хвилеводного ефекту, в результаті якого прийнятий сигнал може посилитися. Прийняті на АС сигнали, напрямки поширення яких паралельні напрямкам вулиць, мають рівень потужності на 10 ... 20 дБ вище, ніж сигнали, що приходять з інших напрямків. На частотах нижче 1 ГГц цей ефект значно послаблюється.

На поширення сигналів в лісовій зоні впливають параметри дерев (розмір стовбура, розмір гілок, щільність листя, відстань між деревами, висота і ін.). У тропічних районах з дуже густими лісами сигнал може не проходити через лісовий масив, він поширюється тільки за рахунок огинання верхівок дерев і відбиття від них. Деякі соснові ліси сильно поглинають енергію сигналу, оскільки розміри голок відповідають приблизно половині довжини хвилі сигналу.

Однак, в ряді експериментальних досліджень було показано, що середнє погонне ослаблення сигналу в листі для різних лісових масивів в даному географічному районі можна вважати однаковим для трас довше 1 км. Тому, для врахування впливу листя можна прийняти такі положення. Втрати в листі враховують за допомогою коефіцієнта погонних втрат, який вимірюється в децибелах на декаду або в децибелах на метр для коротких ділянок лісу.

Втрати на ділянці через листяний ліс пропорційні множнику $A_r = f^4$, тоді як втрати у вільному просторі - множнику $A_0 = f^4$. Отже, наявність лісу на всій трасі призводить до збільшення втрат вдвічі в порівнянні з втратами у вільному просторі.

Теоретично загальні погонні втрати можуть досягати 60 дБ/декаду (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Погонні втрати для різних середовищ

Загальні погонні втрати	Складові загальних погонних втрат		
	У вільному просторі	За рахунок забудови	У листі
60 дБ/декада	20 дБ/декада	20 дБ/декада	20 дБ/декада

Втрати в листі (виражені в децибелах):

$$a_l = 20 \cdot \frac{r_l}{(10 \cdot R_l - R_l)} \approx 2,22 \cdot \frac{r_l}{R_l}, \quad (2.11)$$

де R_l – відстань від БС до початку лісового масиву;

R_l – протяжність лісового масиву.

З (2.11) видно, що чим ближче БС до початку лісового масиву, тим сильніше ослаблення сигналу в листі. Це положення підтверджується на практиці. Тому слід уникати розташування БС поблизу листяних масивів. Докладніше в Додатку Г.

2.8 Модель Лі «від точки до точки»

Ця модель [1...6,19] дозволяє передбачити рівень сигналу з урахуванням профілю траси (рельєфу) і параметрів забудови. При цьому пропонується розділяти траси за профілем рельєфу місцевості на відкриті і закриті, подібно до того, як це робиться для трас РРЛ. Тільки на відміну від РРЛ на відкритій трасі в системах рухомого зв'язку, як правило, немає прямої видимості між антенами БС і АС, оскільки лінію перекривають міські будови. Тому таку трасу будемо називати трасою з відкритим рельєфом [2-6].

У цьому завданні зручно уявити (2.8) у вигляді:

$$P_m(d) = P_m(d_0, h_t) - \gamma \cdot \lg(d, r_0) + 20 \lg \left(\frac{h_{\text{эфф}}}{h_l} \right), \quad (2.12)$$

де d_0 – еталонна відстань;

h_l – фактична висота антени БС;

$h_{\text{эфф}}$ – ефективна висота антени БС для конкретної ділянки траси.

$$P_m(d_0, h_t) = P_{\text{л}}^* - 80,31 + P_{\text{ос}} + g_1 + g_2 \cdot \lg(h_r), \quad (2.13)$$

Рівень потужності сигналу на еталонній відстані d_0 від БС при фактичній висоті антени БС, дБм.

У рівнянні (2.12) виділено коефіцієнт «висота – підсилення антени БС», що дозволяє розрахувати зміну коефіцієнта підсилення антени БС при зміні профілю траси:

$$\Delta g_1 = 20 \lg \left(\frac{h_{\text{эфф}}}{h_l} \right), \quad (2.14)$$

Траси з відкритим рельєфом.

Для визначення ефективної висоти антени на профілі траси виконують такі побудови (рис. 2.7):

- визначають потенційну точку z відображення радіохвиль від земної поверхні, для чого з'єднують антену БС з дзеркальним зображенням антени АС. Точка перетину цієї лінії з земною поверхнею і є z ;
- будують площину відбиття від Землі як дотичну до профілю траси в точці z ;
- продовжують її до перетину з висотою антени БС1. Слід цієї площини – лінія ab ;
- з рис. 2.8 знаходимо ефективну висоту антени БС1 ($h_{\text{еф}} \sim 13$ м), і по (2.14):

$$\Delta g_1 = 20 \lg \left(\frac{h_{\text{еф}}}{h_l} \right) = 20 \lg \left(\frac{13}{30} \right) = -7,3 \text{ дБ}$$

Ефективна висота антени менша за реальну, і відповідно, зменшився рівень сигналу в точці прийому.

Так само можна визначити другу потенційну точку відбиття на цій площині z^* , з'єднавши антену АС з дзеркальним зображенням антени БС щодо площині ab . З двох потенційних точок відбиття рекомендується розглядати ту, яка ближче до АС, оскільки значна частина відбитої від неї енергії може потрапити до АС. При знаходженні точки z слід пам'ятати, що при побудові профілю траси використовують різні горизонтальний (Γ) і вертикальний (B) масштаби. Наприклад, якщо для висот масштаб 1:10 000 а для відстаней – 1: 100 000, то коефіцієнт відношення масштабів Γ/B становить $\gamma_m = 0,1$. Кути падіння і відбиття на кресленні профілю в системі координат з різними масштабами будуть однаковими тільки в разі, коли площина відбиття горизонтальна.

На рисунку 2.8 ефективна висота антени збільшилася. В цьому випадку:

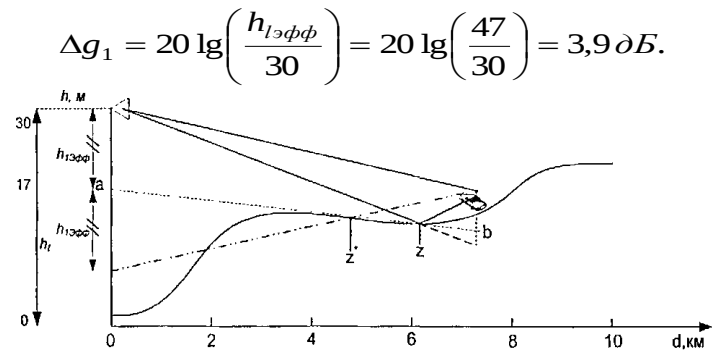


Рисунок 2.7 – До визначення ефективної висоти антени БС1

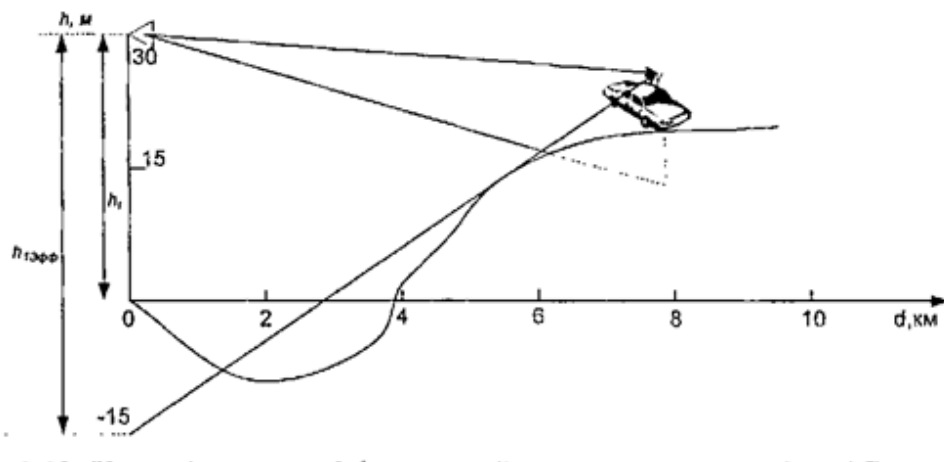


Рисунок 2.8 – До визначення ефективної висоти антени БС2

Ефективна висота антени БС2 буде змінюватися при русі АС, хоча реальна висота залишається незмінною. Відповідно буде змінюватися рівень сигналу в точці прийому [1, 2].

Необхідність враховувати ефективну висоту антени замість реальної ілюструє риунок 2.9. На рисунку 2.9 а, висота $H \gg h_2$ і довжина підстильної поверхні l порівнянна з довжиною автомобіля. У цьому випадку на приймач АС приходить тільки одна пряма хвиля 1 і умови поширення такі самі, як у вільному просторі Ситуація на рисунку 2.9,б відрізняється тільки тим, що значно збільшилася довжина l , так що може бути вказана потенційна точка відбиття від підстильної поверхні. На приймач АС приходять два сигнали:

прямий 1 і відбитий 2. Оскільки відстань r зазвичай становить кілька кілометрів, а висоти антен близько 3 ... 30 м, то кут ковзання θ дуже малий. При цьому фаза коефіцієнта відбиття близька до 180° . У разі, коли має місце дзеркальне відбиття, можуть виникати глибокі завмирання сигналу на прийомі [10].

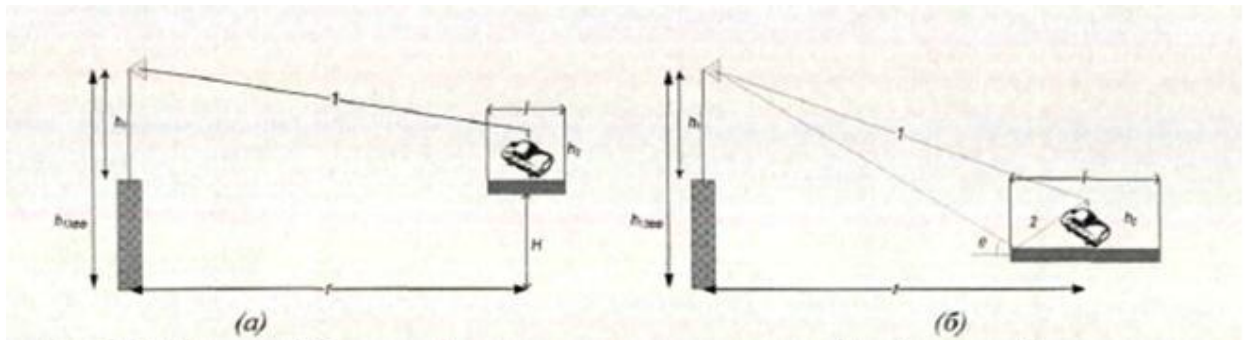


Рисунок 2.9 – До визначення ефективної висоти антени при малих (а) і великих (б) розмірах підстильної поверхні

На місцевості з великим ухилом (рисунок 2.10) сигнал, що приходить на АС, буде слабким, оскільки рельєф місцевості послаблює пряму хвилю. Ефективна висота антени стає в цьому випадку дуже малою.

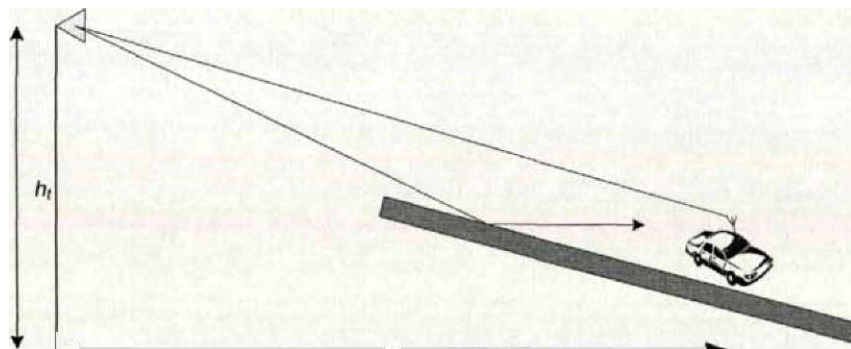


Рисунок 2.10 – До визначення ефективної висоти антени БС для АС на схилі пагорба

Зміна ефективної висоти антени БС при переміщенні АС ілюструє рисунок 2.11. Ділянки траси з різним нахилом позначені латинськими буквами. Пунктирні лінії на рисунку 2.11, а – площини відбиття.

Зміну рівня сигналу показано на рисунку 2.11, б суцільною лінією – при розрахунку по моделі від точки до точки; пунктирною - від зони до зони [14].

Якщо на трасі має місце дзеркальне відбиття, то модуль коефіцієнта відбиття $\Phi = 1$, при дифузному відбитті (розсіянні) $\Phi < 0,5$. Характер відбиття залежить від типу підстильної поверхні.

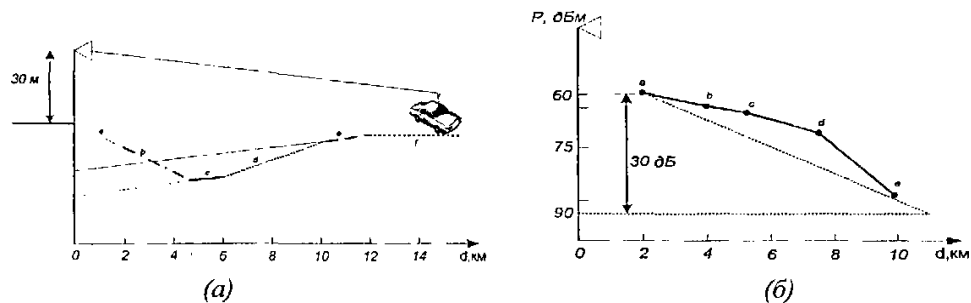


Рисунок 2.11 – Зміна ефективної висоти антени (а) і рівня потужності (б)

Для систем з фіксованими станціями, наприклад РРЛ, при розрахунку трас над водною поверхнею використовується двопроменева модель (рис. 2.12 а), а при розрахунку подібних трас для систем рухомого зв'язку – трипроменева модель Лі (рис. 2.12 б). При цьому передбачається, що хвилі 2 і 3 складаються в протифазі і компенсують одна одну. При цьому рівень сигналу такий самий, як і у вільному просторі.

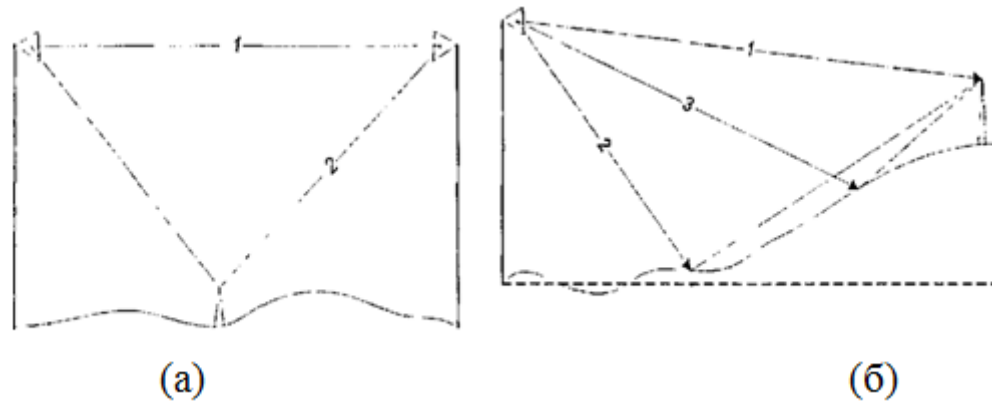


Рисунок 2.12 – Моделі для врахування впливу водної поверхні:
двопроменева (а) і трипроменева (б)

Вплив міської інфраструктури. На рівень сигналу впливає щільність забудови. Щільна забудова також може впливати на рівень сигналу. При щільній забудові розрізняють варіанти:

- антени БС і АС з'єднуються між собою. Рівень радіохвиль, відбитих будівлями, малий у порівнянні з основним сигналом. Завмирання сигналу підкоряються закону Райса [3, 10];
- лінія прямої видимості перекрита будівлями. Завмирання сигналу підкоряються закону Релея [3, 10].

У цих двох випадках середня потужність сигналу не однакова. Однак, відмінності малі, якщо потужність відбитих хвиль значна. В обох випадках втрати поширення становлять приблизно 40 дБ на декаду.

Закриті траси. На них лінія прямої видимості перекрита перешкодами рельєфу місцевості – пагорбами, через що мають місце дифракційні втрати. Останні розраховують, застосовуючи теорію дифракції радіохвиль на перешкоді клиноподібної форми. Виконують побудову траси способом, який показано на рисунку 1.13.

За профілем траси визначають три параметри: r_1 – відстань від БС до вершини пагорба; r_2 – відстань від вершини пагорба до АС; h_x – висоту пагорба з клиноподібною вершиною, і обчислюють параметр v :

$$v = -h_x \cdot \frac{2}{\lambda} \cdot \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right), \quad (1.15)$$

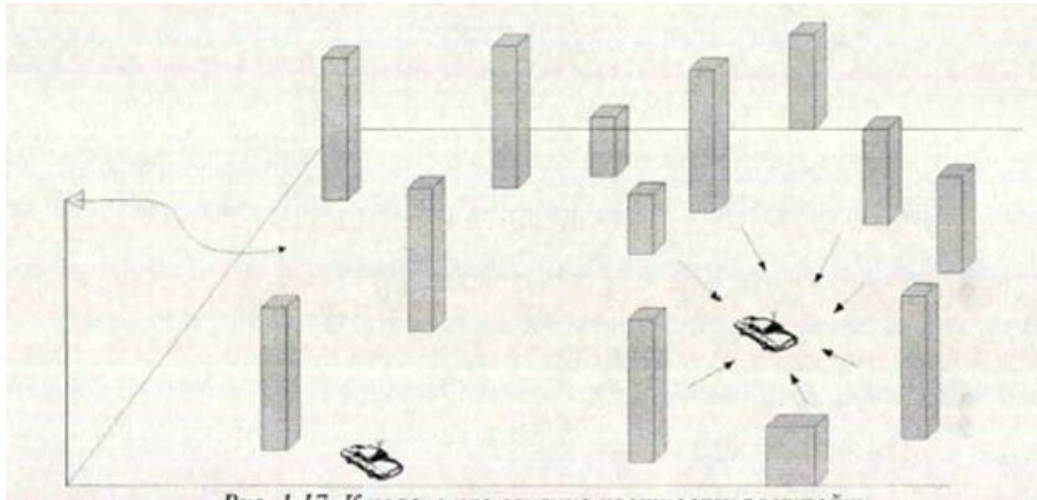


Рисунок 2.13 – До пояснення впливу щільності забудови

Висота перешкоди в розрахунку може приймати від'ємне значення (рисунок 2.14). Це означає, що траса відкрита і немає дифракційних втрат [1, 2].

Теоретично слід в (2.15) підставляти значення величин $r^* 1$ і $r^* 2$. Однак, з огляду на різну розмірність масштабів по осях x : і y на рисунку 2.14, вважають, що $r^* 1, = r1, i r^* 2 = r2$.

Дифракційні втрати виражаються в децибелах. Відомо аналітичне подання величини $Y(v)$ через інтеграли Френеля. В інженерній практиці користуються графічним представленням $L_{dif}(v)$, а також наступними виразами, апроксимуючими ці графіки [23, 29... 33]:

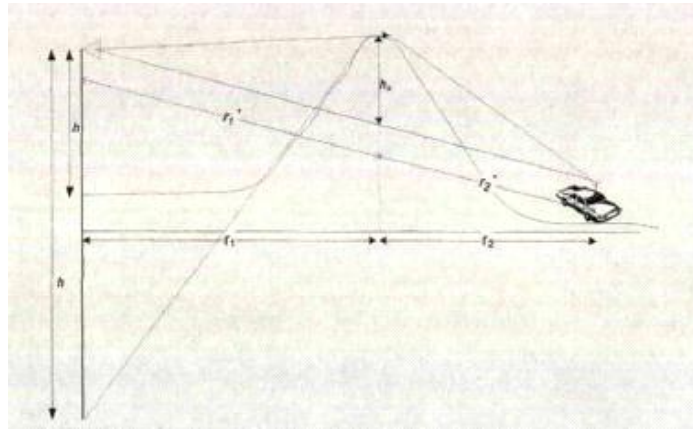


Рисунок 1.14 – До визначення параметрів перешкоди

$$\begin{aligned}
 L_{\text{диф}}(\nu) &= 0 \text{ дБ}, \nu \geq 1; \\
 L_{\text{диф}}(\nu) &= 20 \lg(0,5 + 0,62\nu), 0 \leq \nu \leq 1; \\
 L_{\text{диф}}(\nu) &= 20 \lg[0,5 \exp(0,95 \cdot \nu)], -1 \leq \nu \leq 0; \\
 L_{\text{диф}}(\nu) &= 20 \lg(0,4 - 0,1184 - (0,1\nu + 0,38)^2), -24 \leq \nu \leq -1; \\
 L_{\text{диф}}(\nu) &= 20 \lg\left(-\frac{0,225}{\nu}\right), \nu < -24;
 \end{aligned} \tag{2.16}$$

На дотичній трасі $h_x = 0$, $L_{\text{диф}}(\nu) = 6 \text{ дБ}$

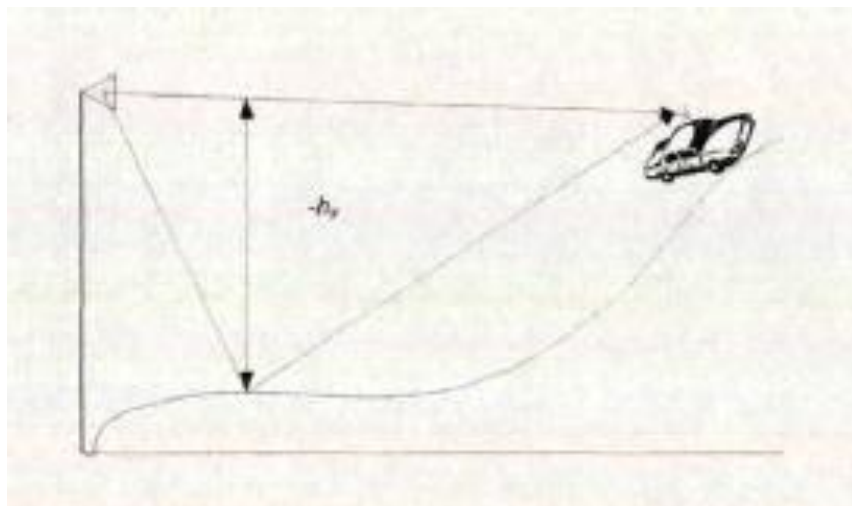


Рисунок 2.15 – Приклад траси без дифракційних втрат

Подвійна дифракція. Це випадок, коли на трасі є кілька пагорбів. Тут може виникнути подвійна або навіть складніша дифракція. Для розрахунку значення втрат використовується моделі Буллінгтона, Епштейна і Пітерсона і

ін. [20-23, 25]. На рисунку 2.16 показані побудови по моделі Піквінарда [10]. Для цього будують трикутники ACB і CDB. Знаходять висоти пагорбів C і D: $h_{эффC}$ та $h_{эффD}$. Визначають дифракційні втрати окремо для кожного пагорба: $L_{дифC}$ та $L_{дифD}$. Загальні втрати

$$L_{диф}(v) = L_{дифC} + L_{дифD}.$$

Універсальна модель Лі. Для моделі Лі «від точки до точки» в якості основної прийнята формула (2.20), яка може бути поширена на наступні випадки:

а) Відкрита траса. Використовують формулу (2.13).

б) Закрита траса. Додатково враховують дифракційні втрати. Крім цього, ефективна висота антени БС на закритій трасі збігається з фактичною, так що в (2.13) вважають $(h_{эфф}/h_l) = 0$.

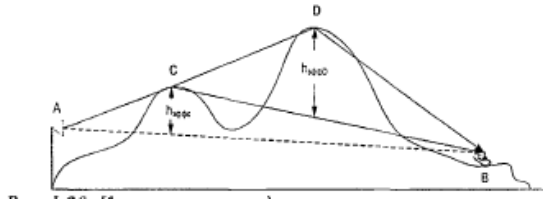


Рисунок 1.16 – До появи визначення параметрів перешкоди

Рівень медіанної потужності сигналу на закритій трасі:

$$P_m(d) = P_m(r_0, h_t) - r \cdot \lg(d, r_0) + L_{диф}(v). \quad (2.17)$$

Додаткові відомості щодо розрахунку дифракційних втрат наведені в спеціальній літературі [23...26].

2.9 Модель Уолфіш-Ікегамі

Модель Уолфіш-Ікегамі визнана найкращою для передбачення рівня сигналу в малих стільниках. Ця модель заснована на фізичному поданні поля в точці прийому у вигляді двох складових: когерентної і розсіяної. Когерентна складова визначається хвилею, яка дифрагує навколо будівель вздовж дороги з боку БС. Розсіяний компонент створюють хвилі, які утворюються в результаті перевипромінення будівлями падаючої на них хвилі від БС. Розсіяний компонент приходить з напрямків, які не збігаються з напрямом на БС і навіть протилежних цим напрямкам. Модель стверджує (рисунок 2.17), що в умовах міста з відносно маловисотною, але щільною забудовою основним шляхом поширення радіосигналу (в разі відсутності прямої видимості між вузлами) є шлях, що проходить через дахи будівель (які можуть бути описані як серії послідовних екранів), супроводжуваний багаторазовим розсіюванням [25].

Основні параметри, що використовуються в моделі:

- частота передачі (f);
- висота передавальної антени (hb);
- висота приймальної антени (hm);
- відстань між приймачем і передавачем (d);
- середня висота будівель (hr);
- середня ширина вулиць (w);
- відстань між будівлями (b).

Енергія сигналу залежить від того, де знаходиться передавач по відношенню до приймача.

Розрахункові формули для моделі Уолфіш-Ікегамі отримані при параметрах: відстань між БС і АС від 0,02 км до 5 км в діапазоні частот 800 ... 2000 МГц, висота антен БС $h_t = 4 \dots 50$ м, висота антен АС $h_r = 1 \dots 3$ м; висота прилеглих до БС будівель до 60 м. Маємо:

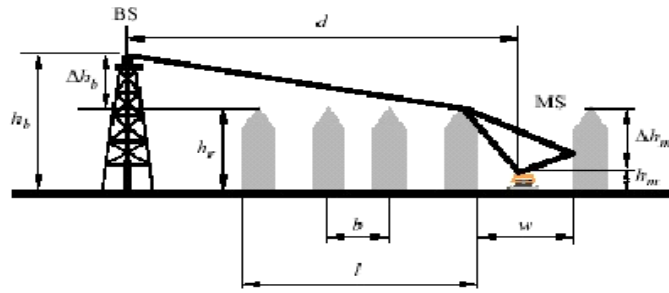


Рисунок 2.17 – Основний шлях поширення радіосигналу і параметри моделі Уолфіш-Ікегами

У зоні прямої видимості («line of sight», LOS). Для обчислення величини втрат при поширенні використовується відносно проста формула:

$$L_b = 42,6 + 26 \log \left(\frac{d}{\text{км}} \right) + 20 \log \frac{f}{\text{МГц}}$$

Поза зоною прямої відимості («none line of sight», NLOS). Цей випадок складніший. Значення потужності сигналу зменшується, і при проходженні шляху від джерела до одержувача, задається наступною формулою:

$$L_b = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{msd}, & L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_0, & L_{rts} + L_{msd} < 0 \end{cases}, \quad (2.18)$$

де L_0 – втрати при поширенні у вільному просторі, без перешкод:

$$L_0 = 32,44 + 20 \lg \left(\frac{d}{\text{км}} \right) + 20 \lg \frac{f}{\text{МГц}}, \quad (2.19)$$

L_{rts} – втрати на стороні одержувача, викликані розсіюванням радіосигналу при відбитті від поверхні «кінцевої» вулиці, на якій знаходиться приймач:

$$L_{rts} = -16,9 - 10 \lg \left(\frac{w}{m} \right) + 10 \lg \frac{f}{M\Gamma u} + 20 \lg \frac{\Delta h_m}{m} + L_{Ori}, \quad (2.20)$$

L_{Ori} – складова втрат, що залежить від орієнтації вулиць щодо напрямку приходу сигналу:

$$L_{Ori} = \begin{cases} -10 + 0,354 \frac{w}{m} & \text{при } 0^\circ \leq \varphi \leq 35^\circ \\ 2,5 + 0,075 \left(\frac{\varphi}{\text{deg}} - 35^\circ \right) & \text{при } 35^\circ \leq \varphi \leq 55^\circ, \\ 4,0 + 0,114 \left(\frac{\varphi}{\text{deg}} - 35^\circ \right) & \text{при } 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \end{cases} \quad (2.21)$$

де φ – орієнтація дороги по відношенню до шляху поширення сигналу.

Як бачимо, діапазон зміни значень втрат від орієнтації вулиць становить 14 дБ.

L_{msd} – оцінка величини втрат, що викликаються багаторазовим перевідбиттів і розсіюванням радіосигналу від дахів будинків (вперше опублікована Уолфіш і Бартон);

$$L_{msd} = l_{bsh} + k_a + k_d \cdot \lg d + k_f \cdot \lg f - 9 \lg b, \quad (2.22)$$

де d – середня відстань між приймачем і передавачем.

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \lg \left(1 + \frac{\Delta h_b}{m} \right), & h_b > h_r, \\ 0, & h_b < h_r \end{cases},$$

$$k_a = \begin{cases} 54, & h_b > h_R \\ 54 - 0,8 \cdot \frac{\Delta h_b}{m}, & d \geq 0,5 \text{ км}, h_b \leq h_R ; \\ 54 - 0,8 \cdot \frac{\Delta h_b}{m} \cdot \frac{d}{0,5}, & d < 0,5 \text{ км}, h_b \leq h_R \end{cases}$$

$$k_d = \begin{cases} 18, & h_b > h_r \\ 18 - 15 \cdot \frac{\Delta h_b}{h_R - h_b}, & h_b < h_r \end{cases};$$

$$k_f = -4 + \begin{cases} 0,7 \cdot \left(\frac{f}{925} - 1 \right), & \text{для міста середніх розмірів, передмістя} \\ 1,5 \cdot \left(\frac{f}{925} - 1 \right), & \text{для суцільної забудови} \end{cases}$$

Параметри k_d і k_f визначають залежність величини втрат при поширенні від частоти сигналу і розсіювання при проходженні через послідовні екрани. Збільшення втрат при зменшенні висоти антени по відношенню до середньої висоти навколишніх будинків задається параметром k_a .

У робочих формулах (2.18) - (2.22) і в формулах їх коефіцієнтів слід підставляти частоту в мегагерцах, протяжність траси в кілометрах, інші параметри моделі (h_{Roof} , w , h_{RX} , h_{TX}) в метрах. Ці формули дозволяють визначити медіанні втрати як для трас, на яких антена БС розташована над міською забудовою, так і для трас, на яких антена БС розташована на рівні дахів або нижче цього рівня.

При проектуванні малих сот необхідні відомості про конкретні ділянки міських трас. У ряді випадків можна скористатися статистичними даними для міста. Райони сучасної міської забудови: щільність забудови 90 будівель на 1 км; середня довжина будівлі 80 ... 105 м; ширина 15 м; поверховість від 9 до 14; просвіти між будинками 15 ... 20 м; середня

дальність прямої видимості в шарі міської забудови – 170 м. Забудову можна вважати однорідною для районів, де немає великих площ і парків.

2.10 Висновки та постановка задачі

Проведено аналіз існуючих моделей поширення УКХ в діапазоні частот 900 МГц і 1800 МГц. Показано, що всі відомі моделі будуються на основі експериментальних даних. Як правило, моделі використовуються для передбачення поширення хвиль на складних трасах, що необхідно для ефективного планування мереж і коректного розміщення базових станцій. З огляду на вищевикладене, ставляться такі завдання на розрахунково-експериментальну частину:

- моделювання поширення радіохвиль в місті за допомогою емпіричних моделей;
- дослідження зон загасання в мікрорайоні Шевченківський міста Запоріжжя, в припущенні того, що він є шаром однорідної міської забудови.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ В МІСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕМПІРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

3.1 Моделювання загасання радіосигналу від відстані для мікрорайону Шевченківський м. Запоріжжя

Сучасні міста з точки зору поширення радіохвиль являють собою складну структуру, опис якої немислимий без спрощення, яке визначається для конкретного завдання.

Розглянемо послаблення сигналу за допомогою емпіричних моделей Окамура-Хата, COST 231 – Хата для міста Запоріжжя, мікрорайону Шевченківський. Вихідні дані наступні.

Однотипний за характером забудови міської район без великих площ і парків, в якому на 1 км^2 в середньому припадає 60 будівель. Середня довжина будівель 130-180 м, ширина 15-20 м. Число 10 і 12 поверхових будівель практично однакове в порівнянні з малоповерховими будівлями. Система зв'язку – це система стільникового зв'язку стандарту GSM 900, GSM 800. Тип антени базової станції – панельна. Діаграма спрямованості антени – секторальна. Поляризація – вертикальна. Висота установки антени БС становить 40-70 м.

Для розглянутих частот 900 МГц і 1800 МГц втрати в районі з міською забудовою будуть визначатися моделлю Окамура-Хата і моделлю COST 231 – Хата, відповідно.

Середнє загасання радіосигналу в міських умовах розраховується за емпіричною формулою (3.1), дБ:

$$L_{(город)} = 69,55 + 26,16 \lg(f) - 13,82 \lg(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg(h_r)) \lg(d) - a(h_r), \quad (3.1)$$

де f – несуча частота, МГц;

h_r та h_t – висоти антен АС і БС, м;

$a(h_r)$ – поправочний коефіцієнт для висоти антени АС;

d – відстань між БС і АС, км.

Поправочний коефіцієнт $a(h_r)$ для району становитиме:

$$a(h_r) = (1,1 \lg(f) + 0,7) \cdot h_r - (1,56 \lg(f) - 0,8),$$

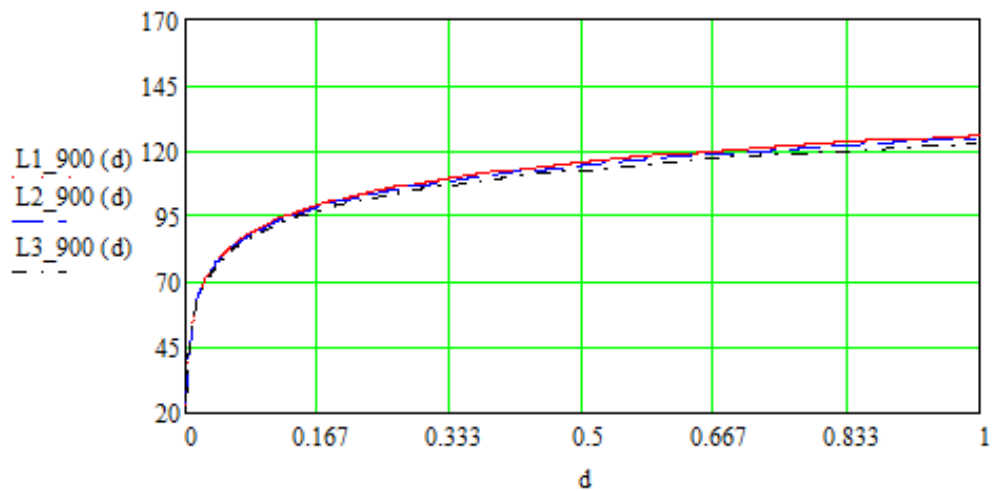


Рисунок 3.1 – Загасання на частоті 900 МГц при відстані між БС і АС

1 км $L_1 - h_t = 40$ м, $L_2 - h_t = 50$ м, $L_3 - h_t = 70$ м

Формула для розрахунку середнього загасання в місті для моделі COST 231 – Хата (3.2), дБ:

$$L_{(город)} = 46,3 + 33,9 \lg(f) - 13,82 \lg(h_r) + (44,9 - 6,55 \lg(h_t)) \cdot \lg(d) - a(h_r) + C, \quad (3.2)$$

де f – несуча частота, МГц;

h_r та h_t м висоти антен АС і BTS, м;

$a(h_r)$ – поправочний коефіцієнт для висоти антени АС;

d – відстань між БС і АС, км;

$C = 0$ дБ для малих і середніх міст.

Поправочний коефіцієнт $a(h_r)$ для даного району буде визначатися по тій жсамій формулі, що і для моделі Окамура-Хата.

Так як район вважається практично однорідним з 10 – поверховою забудовою (висота поверху близько 3 метрів), вулицями шириною 30 м і інтервал між будівлями становить згідно стандарту міської забудови 80 метрів, $h_t = 40 \dots 70$ м, $h_r = 1 \dots 3$ м, можемо розрахувати загасання, що виникають в цьому районі на частоті при різних підйомах антени, і отримати залежність загасання від відстані між базовою станцією і абонентською станцією (рисунок 3.2).

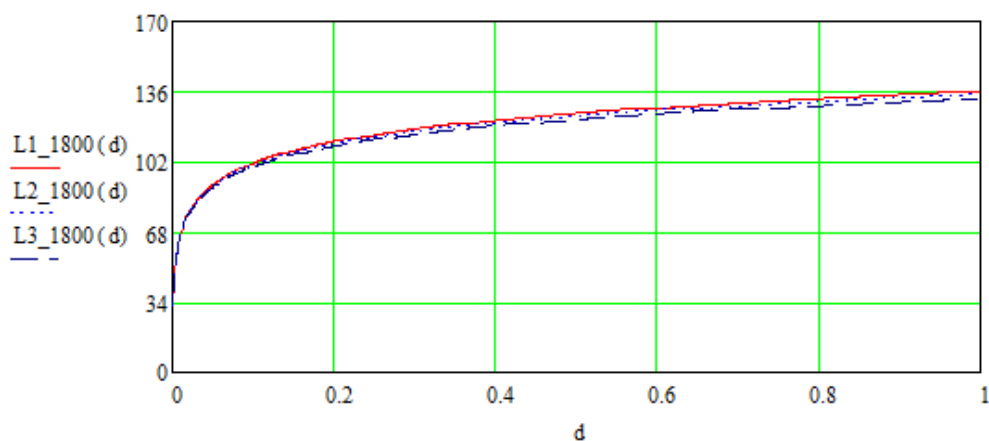


Рисунок 3.2 – Загасання на частоті 1800 МГц при відстані між БС і АС

1 км $L_1 - h_t = 40$ м, $L_2 - h_t = 50$ м, $L_3 - h_t = 70$ м

Одним з недоліків побудованої чисельної моделі є те, що вона не бере до уваги специфіку зони розгортання мобільної мережі (поверховість будівель, ширину вулиць).

Чисельне моделювання моделі показує наступне: потужність сигналу згасає зі швидкістю 33,4 дБ / декаду і 33,5 дБ / декаду в залежності від дистанції БС - АС для частот 900 МГц і 1800 МГц, відповідно.

Проведемо розрахунок оцінки загасання радіохвиль на основі «Методики визначення очікуваної дальності УКХ радіозв'язку з рухомими об'єктами» «Рекомендації 370» і «Звіт 239», розроблених МККР.

В основі методики МККР лежать наступні положення.

Величину зони радіозв'язку системи зв'язку з рухомими об'єктами розраховують виходячи з мінімальної величини сигнал/шум на виході приймача, при якій забезпечується задана розбірливість мови. Загальноприйнятно для систем з цифровими сигналами замінювати поняття «розбірливість мови» на «достовірність прийому». «Методика» і «Рекомендації» не вирізняють ці поняття.

Всі розрахунки за «Методикою» і «Рекомендаціями» мають імовірнісний характер. Це пояснюється тим, що тільки окремі параметри, що впливають на дальність радіозв'язку, можуть бути отримані шляхом точних математичних розрахунків. Велика кількість поправочних коефіцієнтів рекомендується, виходячи з середньостатистичних багаторічних спостережень. Питання про повноту цих даних і їх застосовності в кожному окремому випадку залишається відкритим.

Виконаємо розрахунок за методикою МККР.

Дана модель дає поліпшену оцінку загасання шляхом обліку більшого числа даних для опису міських умов, а саме:

- висота будівель h_R ;
- ширина дороги w ;
- відстань між будівлями b ;
- напрямок дороги щодо направлення радіозв'язку.

Параметри визначені на рисунку 3.3

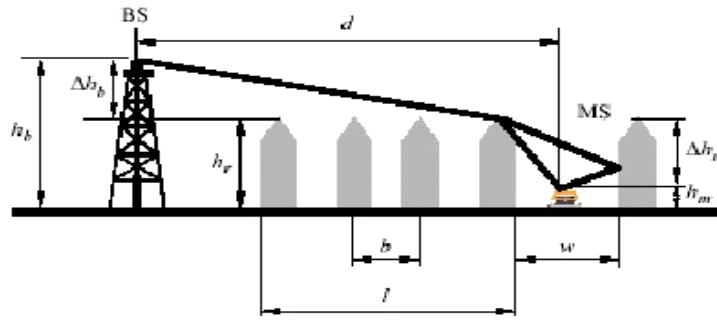


Рисунок 3.3 – Типовий випадок поширення сигналу в міських умовах і визначення параметрів, використовуваних в моделі Уолфіш –Ікегамі

При відсутності прямої видимості основне загасання передачі L_b складається з загасання вільного простору L_0 , з загасання багатоекранної дифракції L_{msd} , і загасання від дифракції та відбиття від вуличних дахів L_{rts} , розраховується за формулою (3.3).

$$L_b = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{msd}, & L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ L_0 & L_{rts} + L_{msd} < 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

Загасання вільного простору визначається як:

$$L_0 = 32,44 + 20 \lg \left(\frac{d}{\text{км}} \right) + 20 \lg \frac{f}{\text{МГц}}. \quad (3.4)$$

Використовуючи формулу (3.4), отримаємо вирази, що характеризують загасання сигналу БС у вільному просторі для двох діапазонів роботи передавачів (GSM 900, GSM 1800). Отримаємо наступні вирази:

$$\text{Для} \quad f = 900 \text{ МГц}$$

$$L_0 = 32,44 + 20 \lg d + 20 \lg 900 = 32,44 + 20 \lg d + 59,08 = 91,52 + 20 \lg d$$

Для $f = 1800 \text{ МГц}$

$$L_0 = 32,44 + 20 \lg d + 20 \lg 1800 = 32,44 + 20 \lg d + 65,11 = 97,55 + 20 \lg d$$

Для наочності, значення L_0 , отримані вище, зобразимо на рисунку 3.4.

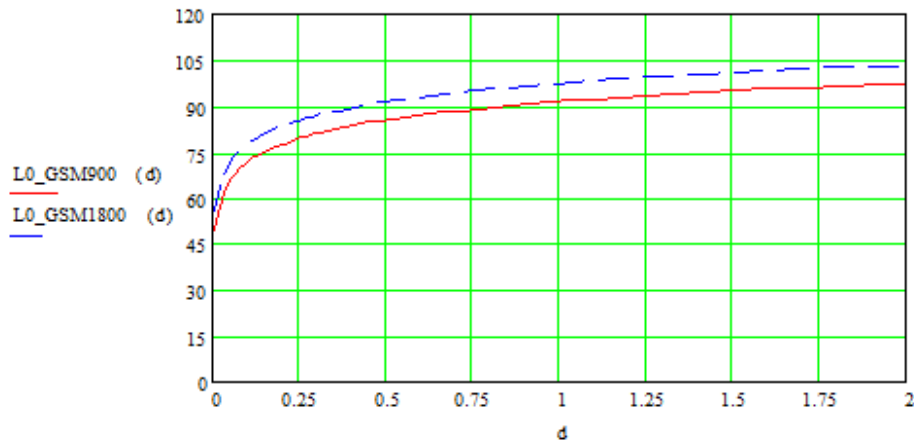


Рисунок 3.4 – Залежність загасання в атмосфері від відстані

Так як поширення радіохвиль відбувається уздовж багатоекранного шляху по вулиці, на якій знаходиться мобільна станція, вводиться додатковий параметр L_{rts} , що характеризує загасання сигналу через багатоекранність, створену дахами і фасадами будівель, розташованих вздовж вулиці. Параметр L_{rts} залежить від ширини вулиці, частоти радіосигналу, висоти будівлі і висоти установки антени БС, а також від орієнтації антени БС в просторі.

Розрахуємо значення загасання багатоекранної інтерференції, ґрунтуючись на моделі Уолфіш-Ікегамі за формулою (2.5)

$$L_{rts} = -16,9 - 10 \lg \left(\frac{w}{m} \right) + 10 \lg \frac{f}{\text{МГц}} + 20 \lg \frac{\Delta h_m}{m} + L_{Ori}. \quad (3.5)$$

Параметр L_{Ori} у формулі (3.5) характеризує внесене загасання, пов'язане з орієнтацією антени в просторі і залежить від кута φ – кут між вектором напрямку випромінювання антени і вектором напрямку вулиці. (Кут 0° відповідає напрямку антени уздовж вулиці, відповідно при куті 90° антени направлена перпендикулярно до вулиці.) Відповідно до Уолфіш-Ікегами L_{Ori} , розраховується за формулою (2.6).

$$L_{Ori} = \begin{cases} -10 + 0,354 \frac{w}{m} & \text{при } 0^\circ \leq \varphi \leq 35^\circ \\ 2,5 + 0,075 \left(\frac{\varphi}{\text{deg}} - 35^\circ \right) & \text{при } 35^\circ \leq \varphi \leq 55^\circ \\ 4,0 + 0,114 \left(\frac{\varphi}{\text{deg}} - 35^\circ \right) & \text{при } 55^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \end{cases} \quad (3.6)$$

З виразу (3.6) випливає, що L_{Ori} змінюється від -10 до 4 дБ, приймаючи значення 0 при кутах між напрямком поширення і напрямком вулиці 28° і 90°

Середнє значення також можна вважати рівним нулю.

З огляду на сказане вище, вираз (3.5) приймає вид:

$$L_{rts} = -16,9 - 10 \lg \left(\frac{w}{m} \right) + 10 \lg \frac{f}{MГц} + 20 \lg \frac{\Delta h_m}{m}.$$

Підставивши в формулу (3.5) частоти GSM 900, GSM 1800, отримаємо вирази для розрахунку загасання багатоекранної інтерференції (в залежності від ширини вулиці, середньої висоти будинків і висоти антени БС).

для $f = 900 \text{ МГц}$

$$L_{rts} = -16,9 - 10 \lg \left(\frac{w}{m} \right) + 20 \lg \Delta h_m + 10 \lg 900 = 12,64 - 10 \lg \left(\frac{w}{m} \right) + 20 \lg \Delta h_m.$$

Для $f = 1800 \text{ МГц}$

$$L_{rts} = -16,9 - 10 \lg \left(\frac{w}{M} \right) + 20 \lg \Delta h_m + 10 \lg 1800 = 15,65 - 10 \lg \left(\frac{w}{M} \right) + 20 \lg \Delta h_m.$$

В силу того, що на шляху поширення радіосигналу в місті зустрічається безліч перешкод, на краях перешкод відбувається явище дифракції радіохвиль. Дане явище вносить значне загасання радіосигналу. Розрахуємо загасання багатоекранної дифракції за формулою (3.7).

$$L_{msd} = l_{bsh} + k_a + k_d \cdot \lg d + k_f \cdot \lg f - 9 \lg b, \quad (3.7)$$

де

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \lg \left(1 + \frac{\Delta h_b}{M} \right), & h_b > h_r, \\ 0, & h_b < h_r \end{cases}$$

k_a – коефіцієнт, що показує збільшення загасання поширення сигналу для антен базової станції нижче дахів сусідніх будівель.

$$k_a = \begin{cases} 54, & h_b > h_R. \\ 54 - 0,8 \cdot \frac{\Delta h_b}{M}, & d \geq 0,5 \text{ км}, h_b \leq h_R. \\ 54 - 0,8 \cdot \frac{\Delta h_b}{M} \cdot \frac{d}{0,5}, & d < 0,5 \text{ км}, h_b \leq h_R. \end{cases}$$

k_d – коефіцієнт, що показує залежність загасання багатоекранної дифракції від частоти.

$$k_d = \begin{cases} 18, & h_b > h_r \\ 18 - 15 \cdot \frac{\Delta h_b}{h_R - h_b}, & h_b < h_r \end{cases}.$$

k_f – коефіцієнт, що показує залежність загасання багатоекранної дифракції від радіочастоти.

Для міста з щільною забудовою:

$$k_f = -4 + 1,5 \cdot \left(\frac{f}{925} - 1 \right).$$

Розраховуємо коефіцієнт k_f для 2-х діапазонів частот:

Для $f=900\text{МГц}$

$$k_f = -4 + 1,5 \cdot \left(\frac{900}{925} - 1 \right) = -4,04.$$

Для $f=1800\text{МГц}$

$$k_f = -4 + 1,5 \cdot \left(\frac{1800}{925} - 1 \right) = -2,6.$$

Для випадку, коли антена БС розташована вище дахів будинків

($h_b > h_r$) з урахуванням коефіцієнтів k_a , k_d , k_f , за формулою (3.7)

розрахуємо загасання багатоекранної дифракції:

$$\begin{aligned} L_{msd} &= l_{bsh} + k_a + k_d \cdot \lg d + k_f \cdot \lg f - 9 \lg b = \\ &= -18 \lg \left(1 + \frac{\Delta h_b}{m} \right) + 54 + 18 \lg d - 4,04 \lg f - 9 \lg b. \end{aligned}$$

Підставивши в формулу (3.7) частоти GSM 900 і GSM 1800, а також значення коефіцієнтів k_a , k_d , k_f , отримаємо вирази для розрахунку загасання багатоекранної дифракції (L_{msd}).

Для $f = 900\text{МГц}$

$$\begin{aligned}
 L_{msd} &= -18 \lg \left(1 + \frac{\Delta h_b}{m} \right) + 54 + 18 \lg d - 4,04 \lg f - 9 \lg b = \\
 &= -18 \lg \left(1 + \frac{\Delta h_b}{m} \right) + 42,06 + 18 \lg d - 9 \lg \left(\frac{b}{m} \right).
 \end{aligned}$$

Для $f = 1800 \text{ МГц}$

$$L_{msd} = -18 \lg \left(1 + \frac{\Delta h_b}{m} \right) + 40,85 + 18 \lg d - 9 \lg \left(\frac{b}{m} \right).$$

Виконаємо розрахунок L_b , виходячи з таких параметрів мобільного зв'язку, характерних для середніх міст:

$h_b = 50\text{м}$ – висота підйому антени БС (16 поверхів);

$h_r = 30\text{м}$ – середня висота будівель (10 поверхів);

$\Delta h_b = 20\text{м}$ – різниця між антенною на даху і на щоглі. У разі, якщо антена встановлена на даху будівлі, характеризує висоту підйому антенної щогли;

$\Delta h_m = 28\text{м}$ – різниця між висотою будівлі і висотою розташування антени мобільного терміналу;

$w = 15\text{м}$ – ширина вулиці на якій знаходиться мобільний термінал, в разі, якщо мобільний термінал знаходиться в будівлі, w береться рівним b ;

$b = 15\text{м}$ – середня відстань між будівлями.

Для $f = 900 \text{ МГц}$,

$$\begin{aligned}
 L_b &= 91,52 + 20 \lg d + 12,64 - 10 \lg w + 20 \lg \Delta h_m - 18 \lg (1 + \Delta h_b) + 42,06 + \\
 &+ 18 \lg d - 9 \lg b = 146,16 + 38 \lg d - 10 \lg 15 + 20 \lg 28 - 18 \lg 21 - 9 \lg 15 = \\
 &= 128,95 + 38 \lg d.
 \end{aligned}$$

Для $f = 1800 \text{ МГц}$,

$$\begin{aligned}
 L_b &= 97,55 + 20 \lg d + 15,65 - 10 \lg w + 20 \lg \Delta h_m - 18 \lg (1 + \Delta h_b) + 40,85 + \\
 &+ 18 \lg d - 9 \lg b = 154,05 + 38 \lg d - 10 \lg 15 + 20 \lg 28 - 18 \lg 21 - 9 \lg 15 = \\
 &= 136,84 + 38 \lg d.
 \end{aligned}$$

Для наочності L_b , значення, отримані вище, зобразимо на рисунку 3.5.

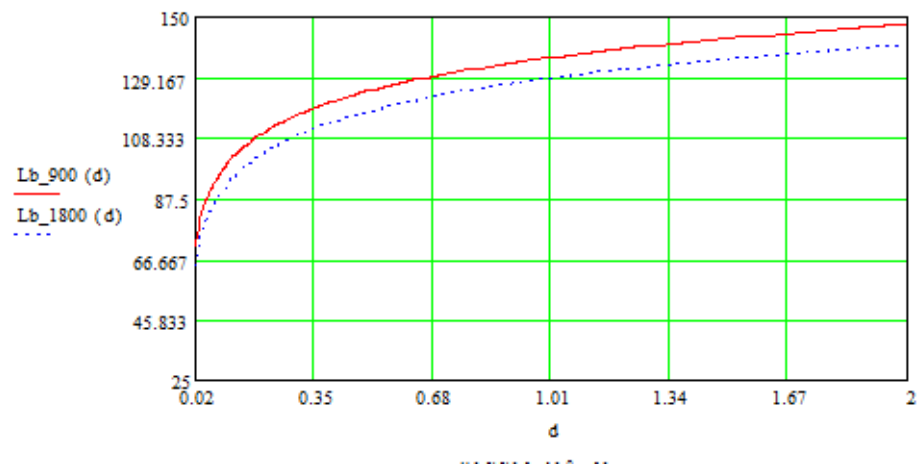


Рисунок 3.5 – Залежність загасання в атмосфері від відстані

Мінімальний і максимальний рівень сигналу на вході приймача базової станції

$$P_{\text{вхпр.мин}} = \text{ЭИИМ}_{\text{БС}} + G_{\text{ант.АС}} - L_{b_{\text{макс}}}, \quad (3.8)$$

$$P_{\text{вхпр.макс}} = \text{ЭИИМ}_{\text{БС}} + G_{\text{ант.АС}} - L_{b_{\text{мин}}}, \quad (3.9)$$

Відповідно до виразом (3.5) L_{Ori} і, отже L_{rts} , і L_b змінюються в залежності від орієнтації вулиці щодо лінії поширення хвилі від базової станції в межах від -10 до +4дБ

Тому:

$$L_{b_{\text{макс}}} = L_b + 4\text{дБ}, \quad (3.10)$$

$$L_{b_{\text{мин}}} = L_b - 10\text{дБ}, \quad (3.11)$$

$$\text{ЭИИМ}_{\text{БС}} = 40\text{дБм}.$$

$G_{\text{антАС}} = 0$ дБ (антену абонентської станції можна наближено вважати ізотропною).

З урахуванням наведених формул:

$$P_{\text{вхпр.мин}} = 36 - L_{b.\text{макс.}}$$

$$P_{\text{вхпр.макс}} = 50 - L_{b.\text{мин.}}$$

Вирази (3.8) і (3.9) показують рівень сигналу в точці прийому з урахуванням загасання сигналу в атмосфері, загасання через багатоекранність і дифракцію.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку для діапазону GSM 900

	d, км	L_b , дБм	$P_{\text{вх пр мин}}$, дБм	$P_{\text{вх пр макс}}$, дБм
1	0,1	90,95	-54,95	-40,95
2	0,2	102,39	-66,39	-52,39
3	0,3	109,08	-73,08	-59,08
4	0,4	113,83	-77,83	-63,83
5	0,5	117,51	-81,51	-67,51
6	0,6	120,52	-84,52	-70,52
7	0,7	123,06	-87,06	-73,06
8	0,8	125,27	-89,27	-75,27
9	0,9	127,21	-91,21	-77,21
10	1,0	128,95	-92,95	-78,95
11	1,1	130,52	-94,52	-80,52
12	1,2	131,96	-95,96	-81,96
13	1,3	133,28	-97,28	-83,28
14	1,4	134,50	-98,50	-84,50
15	1,5	135,64	-99,64	-85,64
16	1,6	136,71	-100,71	-86,71
17	1,7	137,71	-101,71	-87,71
18	1,8	138,65	-102,65	-88,65
19	1,9	139,54	-103,54	-89,54
20	2,0	140,39	-104,39	-90,39

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку для діапазону GSM1800

№	d, км	$L_{\text{в}}$, дБм	$P_{\text{вх пр мин}}$, дБм	$P_{\text{вх пр макс}}$, дБм
1	0,1	98,84	-62,84	48,84
2	0,2	110,28	-74,28	-60,28
3	0,3	116,97	-80,97	-66,97
4	0,4	121,72	-85,72	-71,72
5	0,5	125,40	-89,40	-75,40
6	0,6	128,41	-92,41	-78,41
7	0,7	130,95	-94,95	-80,95
8	0,8	133,16	-97,16	-83,16
9	0,9	135,10	-99,10	-85,10
10	1,0	136,84	-100,84	-86,84
11	1,1	138,41	-102,41	-88,41
12	1,2	139,85	-103,85	-89,85
13	1,3	141,17	-105,17	-91,17
14	1,4	142,39	-106,39	-92,39
15	1,5	143,53	-107,53	-93,53
16	1,6	144,60	-108,60	-94,60
17	1,7	145,60	-109,60	-95,60
18	1,8	146,54	-110,54	-96,54
19	1,9	147,43	-111,43	-97,43
20	2,0	148,28	-112,28	-98,28

У будь-якому випадку розрахунок затуханий по моделі дає усереднену картину полів. Для їх точного визначення слід проводити вимірювання на місцевості.

3.2 Експериментальне дослідження рівня сигналу базової станції розташованої в мікрорайоні Шевченківський у місті Запоріжжі і визначення зон загасання

Мобільний телефон міцно укорінився в нашому житті, ставши рядовим явищем. Але ж це не просто засіб зв'язку – це маленький «комп'ютер», що має свій дисплей, клавіатуру, пам'ять, процесор і програмне забезпечення. Сервісне меню мобільного телефону – це прихована функція, яка відображає різну технічну інформацію в різних апаратах. Зазвичай ця інформація стосується двох речей: параметрів GSM – мережі (наприклад, рівня сигналу, що приймається телефоном; відстані до базової станції;

режимів, включених в GSM-мережі) і параметрів самого телефону (напруга акумулятора, дата виробництва телефону). Рівень сигналу в телефоні позначається розподілами, а в сервісному меню в дБм.

Використовуючи приховане меню - Netmonitor телефону Meizu M5, проведемо експериментальне дослідження рівня сигналу в мікрорайоні Шевченківський міста Запоріжжя. Точки проведення дослідження показані на рисунку 3.6.

Короткі характеристики стільникового телефону наведені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Характеристики Meizu M5

Робочий діапазон	900/1800 МГц
Межі вимірювань потужності сигналу	0...-110 дБм
Підсилення	5 дБ
Чутливість	-110 дБм

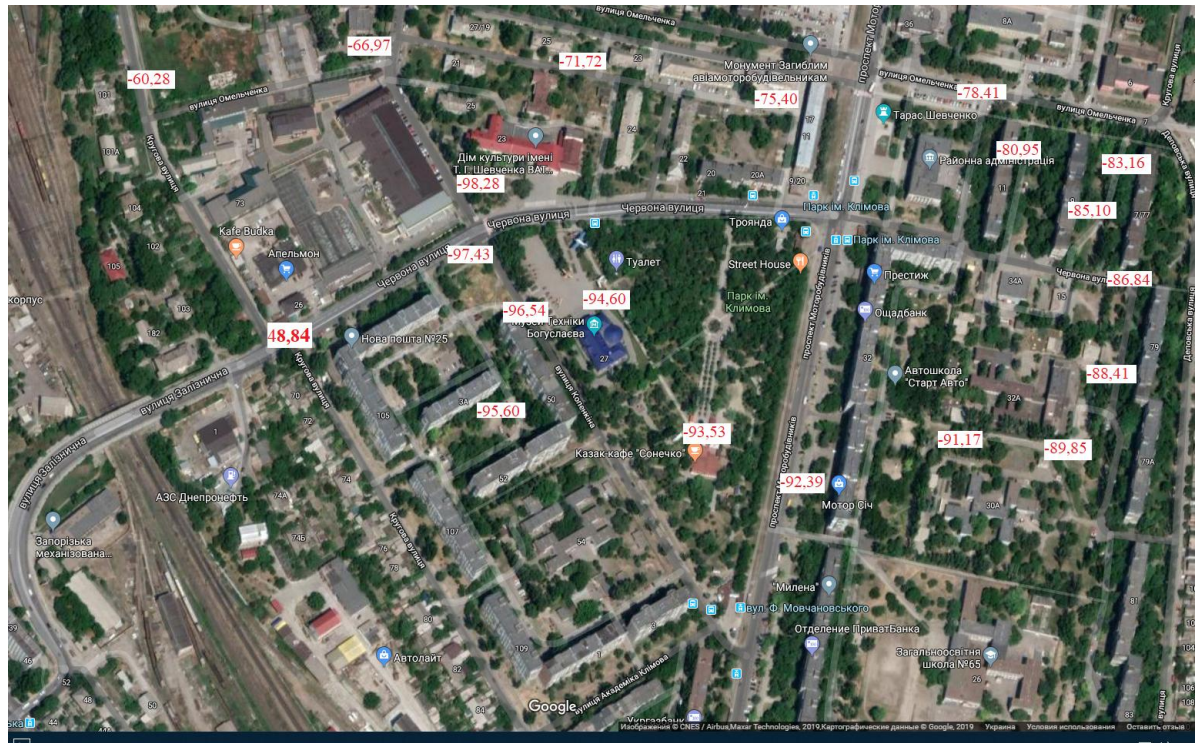


Рисунок 3.6 – Точки проведення дослідження

Експерименти проводилися в 25 точках 10 разів з інтервалом у 15 хв, у таблиці 3.4 представлені значення рівня сигналу в кожній з досліджуваних точок.

Таблиця 3.4 – Рівень сигналу телефону

Експеримент	№ вимір [ДБм]											d, м
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	Середнє	
1	79	83	81	85	83	79	85	83	83	85	83	4
2	61	57	51	57	53	53	61	53	53	61	56	60
3	59	63	71	59	63	59	63	65	59	65	63	20
4	51	57	61	55	55	53	59	53	53	59	55	20
5	51	51	59	57	51	-51	59	65	-73	57	57	10
6	51	55	51	57	-51	51	51	57	55	51	53	60
7	-51	-55	-51	-51	-53	-51	-51	-51	-55	-51	-52	10
8	-73	-73	-69	-73	-73	-69	-69	-73	-73	-73	-72	00
9	-51	-53	-51	-53	-53	-53	-51	-53	-51	-51	-52	40
10	-53	-51	-57	-51	-53	-51	-57	-53	-55	-51	-53	10
11	-53	-59	-59	-69	-63	-63	-69	-57	-63	-57	-61	60
12	-65	-59	-65	-65	-59	-59	-67	-61	-59	-57	-62	20
13	-57	-63	-55	-51	-55	-55	-61	-63	-57	-55	-57	20
14	-67	-69	-67	-59	-61	-69	-61	-67	-59	-67	-65	00
15	-57	-59	-67	-57	-57	-57	-51	-57	-67	-59	-59	30
16	-51	-55	-53	-51	-51	-53	-51	-57	-67	-59	-55	50
17	-57	-51	-57	-59	-51	-53	-55	-57	-53	-53	-54	45
18	-57	-57	-69	-53	-53	-63	-51	-57	-57	53	-57	37
19	-57	-63	-53	-61	-53	-59	-51	-57	-61	-53	-57	29
20	-75	-83	-81	-73	-59	-67	-73	-61	-59	-67	-70	45
21	-75	-61	-71	-79	-63	-73	-63	-69	-73	-69	-69	17
22	-75	-79	-81	-81	-79	-81	-79	-81	-79	-81	-80	97
23	-57	-57	-53	-61	-57	-57	-53	-57	-57	-63	-57	42
24	-53	-61	-61	-53	-59	-51	-57	-51	-53	-59	-55	66
25	-85	-83	-81	-83	-87	-85	-81	-87	-87	-85	-85	63

З результатів дослідження видно, що рівень сигналу на місцевості (точки №2, №3, №8, №11, №14, №16, №24) відповідають рівню сигналу, який був отриманий в результаті модельних розрахунків.

У точках №4, №5, №6, №7, №9, №10, №11, №12, №13, №15, №17, №18, №19, №21, №23) спостерігається невелике відхилення від розрахункових результатів.

Найбільшу невідповідність спостережуваних результатів і розрахункових даних виявлено в точках №1, №22, №25, що, можливо, пов'язано з тією обставиною, що в цих точках відбувається екранування сигналу високоповерховими будівлями, що не враховує розглянута модель.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Планування науково-дослідницької роботи

В роботі брали участь інженер-дослідник і консультант. Тривалий час розробки чотири місяці. Інженер-дослідник працював чотири місяці, консультант пів місяця. Заробітна плата інженера-дослідника 9000 грн. в місяці, консультанта 8000 грн. в місяць.

Планування розробки і калькуляція кошторисної вартості роботи по проведенню дослідження приведено нижче.

Тривалість роботи визначають за формулою 4.1:

$$T_{\text{ц}} = \frac{Q}{R} = \frac{105}{2} = 52,5 \quad (4.1)$$

де $T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, днів;

Q – трудомісткість, чоловіко-днів;

R – кількість виконавців, чол.

Отримана інформація занесена в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1– Тривалість дослідницьких робіт та її результати

Назва роботи	Трудомісткість		Виконавці	Тривалість, днів
	Чол.- дні	% підсумк у		
1	2	3	4	5
Аналіз предметної області	10	10	Інженер-дослідник, консультант	5
Підбір необхідної літератури	10	10	Інженер-дослідник	10
Підготовка установки для роботи	60	41	Інженер-дослідник	40



Консультант



Інженер-дослідник

4.2 Визначення витрат на проведення експерименту

Для визначення витрат на проведення експерименту складається калькуляція кошторисної вартості роботи, яка включає наступні статті:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- відрахування на єдиний соціальний внесок (ЕСВ);
- затрати на спеціальне обладнання;
- матеріали;
- накладні витрати.

4.2.1 Розрахунок основної заробітної плати

Витрати за цією статтею складаються з планового фонду зарплати всіх категорій працівників. Розрахунок заробітної плати за 1 місяць (ЗП) ведеться на підставі даних про трудомісткості, представлених в таблиці 3.3. приймаємо що тривалість місяця – 20р. днів.

Таблиця 4.3– Розрахунок основної заробітної плати

Посада виконавця	Кількість, Чол.	Місячний оклад, грн	Кількість місяців роботи	Сума ЗП, грн
Інженер-дослідник	1	9000	4,2	36000
Консультант	1	8000	0.5	4000
Разом	2			40000

4.2.2 Розрахунок додаткової заробітної плати

Додаткову заробітну плату приймають рівною 10% від основної заробітної плати і розраховуємо по формулі (4.2):

$$ЗП_{\text{доп.}} = ЗП_{\text{осн.}} \cdot 0.1 \quad (4.2)$$

Підставивши величину основної заробітної плати в формулу (4.2), отримаємо:

$$ЗП_{\text{дод}} = 40000 \cdot 0,1 = 4000 \text{ грн}$$

4.2.3 Відрахування на ЄСВ

Відрахування на соціальне страхування становлять 22% і беруться від основної та додаткової заробітної плати, і визначається за формулою 3.3.

$$ВІД = (ЗП_{\text{осн}} + ЗП_{\text{доп}}) \cdot 0,22 \quad (4.3)$$

$$ВІД = (40000 + 4000) \cdot 0,22 = 9680 \text{ грн}$$

4.2.4 Визначення витрат на матеріали

Використовується 3 найменування матеріалів: диск CD-R – 8 грн., картридж – 100 грн., папір – 156 грн.(1 упаковка).

Затрати на матеріали розраховуються за формулою 3.4.

$$M = \sum_{i=1}^n (C_i \cdot N_i \cdot (1 + K_{\text{м.з.}}) - C_{\text{іо}} \cdot N_{\text{іо}}), \quad (4.4)$$

де M – затрати на матеріали, комплектуючі вироби, грн.;
 $K_{т.з.}$ – коефіцієнт, який враховує транспортно-заготовлені витрати;
 Π_i – ціна i -го найменування матеріалу і комплектуючого, грн...;
 N_i – потреба в i -му матеріалі і комплектуючому;
 Π_{io} – ціна зворотних відходів i -го найменування матеріалу, грн...;
 N_{io} – кількість зворотних відходів i -го найменування;
 n – кількість найменувань матеріалів і комплектуючих.

$$\Pi_{io} = 0; N_{io} = 0, K_{т.з.} = 0.05$$

$$M = (1 + 1 + 0.05) * (8 + 100 + 156) = 390 \text{ грн}$$

Разом, затрати на матеріали складають 390 грн.

4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання

В цю статтю входять витрати на придбання, транспортування, монтаж і налагодження обладнання.

Практично, в даному випадку, в цій статті враховуються витрати на оплату машинного часу установки для проведення експерименту. Для чого необхідно скласти кошторис «витрат на утримання і експлуатацію устаткування» виходячи з якої визначиться вартість одного машинного часу роботи установки, після множення якої на машинний час пішло на розрахунки отримаємо витрати на оплату машинного часу.

Амортизаційні відрахування визначають за формулою 3.5:

$$A = \Phi_o \cdot \frac{H_a}{100}. \quad (4.5)$$

де $\Phi_{\bar{o}}$ – балансова вартість установки, грн.;

H_a – норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення установки, %.

Балансова вартість установки становить 20000 грн. Отримуємо:

$$A = 20000 \cdot 0.25 = 5000 \text{ грн.}$$

Статтю «експлуатація обладнання» розраховують підсумовуванням витрат на електроенергію і допоміжні матеріали і розраховується по формулі 3.6.

$$C_e = N_n \cdot \Phi_{ef} \cdot K_{зч} \cdot K_{зн} \cdot C_e, \quad (4.6)$$

де N_n – номінальна потужність установки, кВт;

Φ_{ef} – річний ефективний фонд часу роботи установки, машинного-часу;

$K_{зч}$ – середній коефіцієнт завантаження за часом;

$K_{зн}$ – коефіцієнт завантаження по потужності;

C_e – ціна одного кВт·ч електроенергії, грн./ (кВт·ч).

Номінальна потужність установки – 0.2 кВт. Річний ефективний фонд часу роботи установки становить 1800 годин. Середні коефіцієнти завантаження за часом і за потужністю рівні відповідно 0.9 і 0.6. Ціна однієї кіловат-години електроенергії становить 2.68 грн.

Отримаємо:

$$C_e = 0.2 \cdot 1800 \cdot 0.9 \cdot 0.6 \cdot 2.68 = 521 \text{ грн.}$$

Зарплата обслуговуючого персоналу розраховується за формулою 4.7

$$ЗП_{обсл} = \Phi ЗП_{\Gamma} \times (1 + K_{ВД}) \times \frac{t_{обсл}}{\Phi_{ef.обсл}} \quad (4.7)$$

де $\Phi ЗП_{г}$ – річний фонд заробітної плати (основної і додаткової)
обслуговуючих робітників, грн.;

$K_{від}$ – коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальне страхування
та в інші фонди;

$t_{обсл}$ – час протягом року , необхідний на технічне обслуговування
ЄВМ, г/рік;

$\Phi_{эф.обсл.}$ – річний ефективний фонд часу обслуговуючого персоналу,
г/рік.

Послуги сторонніх організацій згідно договору умовно складають
500грн. в місяць без ПДВ. За 4 місяці це становить 2000грн.

Отримаємо:

$$ЗП_{обсл} = 48000 \times (1 + 0.22) \times 12 / 1750 = 401,55 \text{ грн.}$$

Стаття «Поточний ремонт обладнання» приймається рівною 3% від
балансової вартості обладнання становить 600 грн. Сума всіх попередніх
статей дорівнює 6411.73 грн., 5% від суми, становить 320.6 грн.

Розраховані статті витрат на утримання і експлуатацію устаткування
внесені в таблицю 4.4.

Витрати на оплату машинного часу установки для проведення
експерименту визначаються за формулою 4.7:

$$C_{мо} = B_{екс} \cdot t_{мо} , \quad (4.8)$$

де $C_{мо}$ – витрати на оплату машинного часу, грн.;

$B_{екс}$ – експлуатаційні витрати на одну годину машинного часу цієї
установки, грн./машинного-часу.;

t_{mo} – машинний час установки для проведення експерименту, машинного-часу.

Таблиця 4.4 – Витрати на утримання і експлуатацію обладнання

Найменування статей витрат	Сума, грн.
Амортизация обладнання	5000
Експлуатація обладнання	521
Заробітна плата основних та додаткових обслуговуючих робітників з відрахуванням на соціальні заходи	2000
Поточний ремонт обладнання	600
Інші витрати	320.6
Разом	8441,6

Експлуатаційні витрати на одну машинного часу використовуваної установки розраховують діленням суми витрат за кошторисом «Витрати на утримання і експлуатацію устаткування» на річний ефективний фонд часу роботи установки. Річний ефективний фонд часу роботи установки дорівнює 1800 годин. В результаті експлуатаційні витрати на одну машинного часу дорівнюватимуть:

$$B_{екс} = 6732,33 / 1800 = 4,85 \text{ грн/машинно-год}$$

Установка експлуатується 98 днів в одну зміну, що становить в сумі 784 годин. Таким чином, витрати на оплату машинного часу складуть:

$$C_{mo} = 784 \cdot 4,85 = 3798,48 \text{ грн}$$

4.2.6 Розрахунок загальних виробничих витрат

До накладних витрат відносять затрати на загальне керування і загальногосподарські потреби, утримання та експлуатацію будівель. В даному випадку загально виробничі витрати складають 25% від основної заробітної плати, що складає 10000 грн.

Результати визначення витрат на виконання чисельних розрахунків у вигляді калькуляції кошторисної вартості робіт наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 4.5 – Калькуляція кошторисної вартості роботи

Найменування статей витрат	Сума, грн.	Питома вага до підсумку, %
Основна заробітна плата	40000,00	60,02
Додаткова заробітна плата	4000,00	6,00
ЕСВ	9680,00	14,52
Матеріали	390	0,42
Витрати на спеціальне обладнання	3798	4,04
Накладні витрати	10000,00	15,00
Разом	67868	100

4.3 Розрахунок економічної ефективності НДР

Для теоретичних досліджень у більшості випадків важко чи навіть неможливо розрахувати економічний ефект, тому доцільно визначити їхню техніко-економічну ефективність з урахуванням наступних показників:

- важливість дослідження;
- складності розробки;

- результативності й можливості використання.

Важливість теоретичного дослідження оцінюють по його призначенню:

- рішення проблемних питань;
- задоволення вимог спеціальної техніки; пошук принципово нових конструктивних і технологічних рішень і т.п.

Складність виконання роботи визначають порівнянням отриманих результатів даного дослідження з результатами відомих аналогічних досліджень з обліком грошових і трудових витрат на їхнє проведення.

Результативність НДР можна визначити по повноті рішень поставленого завдання: отриманий результат відповідає плановому, задовільний (часткове рішення) чи негативний.

Аналіз залежності між цими показниками й витратами на їхнє досягнення дає можливість кількісної оцінки техніко-економічної ефективності теоретичних НДР по формулі 4.9:

$$K_{\text{НДР}} = \frac{J^n \cdot R \cdot T}{B_{\text{НДР}} \cdot t_{\text{НДР}}}, \quad (4.9)$$

де $K_{\text{НДР}}$ – рівень ефективності дослідження (коефіцієнт техніко-економічної ефективності НДР);

$J = 2$ – важливість роботи. Таке значення обрали, тому що результати роботи являються базовим матеріалом для моделювання і рекомендуються для подальшого розвитку радіоелектроніки;

$R = 1,5$ – результативність роботи. Обрали таке значення, тому що всі поставлені дослідницькі задачі виконано;

$T = 3$ – технічна складність виконання НДР.

$B_{\text{НДР}} = 79,980$ тис. грн – витрати на проведення НДР;

$t_{\text{НДР}} = 0,144$ року – час проведення НДР;

$n = 3$ – показник використання результатів НДР

При значенні $KHDP \geq 1$ дослідницька робота вважається ефективною.

Отже, розрахуємо $KHDP$:

$$KHDP = (2 \cdot 1,5 \cdot 3) / (67868 \cdot 0,144) = 1,08$$

Після розрахунку (4.6) отримаємо рівень ефективності дослідження $KHDP = 1,08$. Це більше 1, тому робимо висновок, що дана дослідницька робота є ефективною.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В ПЕРІОД НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Магістерська робота на тему "Виявлення зон загасання телекомунікаційного сигналу у Шевченківському мікрорайоні м. Запоріжжя шляхом застосування сучасних моделей поширення радіохвиль в умовах щільної висотної забудови" носить науково-дослідний характер. Робоче місце являє собою невелику лабораторію, оснащену комп'ютерами і різного роду електричним обладнанням та вимірювальною технікою.

До комплексу загальних несприятливих факторів, обумовлених характером виробничого процесу та умовами праці можна віднести:

а) ураження електричним струмом внаслідок несправності електричного обладнання та порушення правил електробезпеки, відсутність або несправність заземлюючого контуру, що може привести до електричних травм;

б) електромагнітні випромінювання від комп'ютера, включають в себе різні види випромінювання від дисплея (рентгенівське, ультрафіолетове, інфрачервоне) і в результаті можливі захворювання очей, шкіри, зниження імунітету. Слід зазначити, що в сучасних моніторах на основі світлодіодів екранів рентгенівське випромінювання відсутнє;

в) підвищене навантаження на опорно-руховий апарат, внаслідок довгого сидіння за робочим місцем (як результат - захворювання кістково-м'язового опорно-рухового апарату);

г) механічні травми через неправильну установку меблів, неправильного обладнання та оснащення робочих місць;

д) незадовільні параметри мікроклімату (знижена або підвищена вологість повітря, висока або низька температура повітря і т.д.), що може призвести до порушення стану здоров'я, погіршення самопочуття;

е) недостатнє освітлення робочих приміщень через неправильне розрахунку кількості і потужності освітлювальних пристроїв або їх несправності;

ж) перенапруження зорових і слухових органів, а також емоційні навантаження перенапруження); (Як результат – розумове і фізичне перенапруження);

з) можливість загоряння електроприладів через порушення правил пожежної безпеки, що призводить до пошкодження обладнання та до опіків робітників;

і) неправильна поведінка персоналу в умовах надзвичайних ситуаціях, через непоінформованість персоналу, або його неправильних дій.

Так як тема дипломного проекту "Побутова телевізійна антена дециметрового діапазону" носить дослідницький характер (дослідження властивостей на математичних моделях) і передбачає проведення робіт в лабораторії, обладнаній персональними комп'ютерами з візуальними дисплейними терміналами, тому далі розглянемо заходи щодо забезпечення безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки для лабораторії з персональними комп'ютерами.

5.2 Заходи щодо забезпечення техніки безпеки

Для забезпечення електробезпеки повинні застосовуватися окремо або в поєднанні один з одним такі технічні засоби і засоби: безпечна конструкція електроустановок; захисне заземлення; електричне поділ мереж; ізоляція струмоведучих частин; попереджувальна сигналізація.

Ізоляція струмоведучих частин (робоча, додаткова, посилена, подвійна) повинна відповідати «Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки». Елементи для здійснення захисного заземлення металевих неструмоведучих частин вироби, які можуть опинитися під напругою (при

порушенні ізоляції, режиму роботи виробу і т.п.) повинні бути виконані відповідно до «Вироби електротехнічні. Загальні вимоги безпеки».

Захисне заземлення (занулення) повинно відповідати ПУЕ (Правила улаштування електроустановок). Опір заземлювального пристрою, до якого приєднані нейтралі генератора або трансформатора або висновки джерела однофазного струму, в будь-який час року має бути не більше 2, 4 і 8 Ом відповідно при лінійних напругах 660, 380 і 220 В джерела трифазного струму або 380, 220 і 127 В джерела однофазного струму.

Для заземлення електроустановок можуть бути використані штучні і природні заземлювачі. Якщо при використанні природних заземлювачів опір заземлюючих пристроїв або напруга дотику має допустиме значення, а також забезпечуються нормовані значення напруги на заземлювальному пристрої і допустимі щільності струмів в природних заземлителях, виконання штучних заземлювачів в електроустановках до 1 кВ не обов'язкові. Використання природних заземлювачів як елементів заземлюючих пристроїв не повинно призводити до їх пошкодження при протіканні по ним струмів короткого замикання або до порушення роботи пристроїв, з якими вони пов'язані.

Електричні мережі повинні мати захист від струмів короткого замикання, що забезпечує по можливості найкоротший термін відключення і вимоги селективності. Захист повинна забезпечувати відключення пошкодженої ділянки при КЗ в кінці захищається лінії.

Вид ізоляції обладнання лабораторії виберемо робочим (тобто електрична ізоляція струмоведучих частин електроустановки, що забезпечує її нормальну роботу і захист від ураження електричним струмом) відповідно до ГОСТ 12.1.009-76 "ССБТ. Електробезпека. Терміни та визначення".

Клас електротехнічних виробів за способом захисту людини від ураження електричним струмом відповідно до цього ж ГОСТом виберемо І – вироби, що мають принаймні робочу ізоляцію і елемент для заземлення. У разі якщо виріб класу І має провід для приєднання до джерела живлення, це провід повинен мати заземлювальну жилу і вилку з заземлюючим контактом.

Для забезпечення безпеки робіт в діючих електроустановках і запобігання травмонебезпечних ситуацій, виконуються наступні організаційні заходи відповідно до ГОСТ 12.1.019-79 «Електробезпека. Загальні вимоги і номенклатура видів захисту »:

- призначення осіб, відповідальних за організацію і проведення робіт;
- оформлення роботи нарядом або усним розпорядженням;
- допуск до роботи;
- нагляд під час роботи.

З метою виключення механічних травм, відповідно до ГОСТ 12.2.061-81 «Обладнання виробниче. Загальні вимоги безпеки до робочих місць »: робоче місце, його обладнання та оснащення, що застосовуються відповідно до характеру роботи, повинні забезпечувати безпеку, охорону здоров'я і працездатність персоналу.

Рівень електромагнітних випромінювань не повинен порушувати вимог ГОСТ 12.1.045-84 "Електростатичні поля. Допустимі рівні на робочих місцях і вимоги до проведення контролю": допустимі рівні напруженості електростатичних полів встановлюються залежно від часу перебування персоналу на робочих місцях. Гранично допустимий рівень напруженості електростатичних полів встановлюється рівним 60 кВ / м протягом 1 години. При напруженості електростатичних полів менш 20 кВ / м час перебування в електростатичних полях не регламентується.

5.3 Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці

Згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державних санітарних правил і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» встановлено санітарно-гігієнічні вимоги до параметрів виробничого середовища приміщень з комп'ютерною технікою (КТ).

У виробничих приміщеннях на робочих місцях з комп'ютерною технікою повинні забезпечуватися оптимальні значення параметрів мікроклімату: температури, відносної вологості та швидкості руху повітря відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГОСТ 12.1.005-88 * "ССБТ. Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони».

Для мінімізації негативного впливу специфічної роботи і збереження працездатності, протягом усього робочого дня слід передбачити: забезпечення правильної «робочої пози» при «сидячому» режимі роботи, регламентовані перерви, простір і умови для мінімальної розминки і відпочинку. (СНиП 2.2.2.542-96, а також додаток 15

«Час регламентованих перерв в залежності від тривалості робочої зміни»).

Конструкція робочого столу повинна забезпечувати оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання з урахуванням його кількості і конструктивних особливостей (розмір ВДТ і ПЕОМ, клавіатури, пюпітра та ін.), характеру виконуваної роботи. При цьому допускається використання робочих столів різних конструкцій, що відповідають сучасним вимогам ергономіки.

Конструкція робочого стільця (крісла) повинна забезпечувати підтримку раціональної робочої пози під час роботи на ВДТ і ПЕОМ, дозволяти змінювати позу з метою зниження статичного напруження м'язів шийно-плечової області і спини для попередження розвитку втоми.

Робочий стілець (крісло) повинен бути підйомно-поворотним і регульованим по висоті і кутам нахилу сидіння і спинки, а також відстані спинки від переднього краю сидіння, при цьому регулювання кожного параметра повинна бути незалежною, легко здійснюваною плюс надійну фіксацію.

Екран відеомонітора повинен знаходитися від очей користувача на оптимальній відстані 600-700 мм, але не ближче 500 мм з урахуванням розмірів алфавітно-цифрових знаків і символів.

Конструкція ВДТ повинна забезпечувати можливість фронтального спостереження екрана шляхом повороту корпусу в горизонтальній площині навколо вертикальної осі в межах $\pm 30^\circ$ і у вертикальній площині навколо горизонтальної осі в межах $\pm 30^\circ$ з фіксацією в заданому положенні. Дизайн ВДТ повинен передбачати фарбування корпусу в спокійні м'які тони з дифузним розсіюванням світла. Корпус ВДТ і ПЕОМ, клавіатура та інші блоки і пристрої ПЕОМ повинні мати матову поверхню одного кольору з коефіцієнтом відображення 0,4 ... 0,6 і не мати блискучих деталей, здатних створювати відблиски. На лицьовій стороні корпусу ВДТ не рекомендується розташовувати органи управління, маркування, будь-які допоміжні написи і позначення. При необхідності розташування органів управління на лицьовій панелі вони повинні закриватися кришкою або бути втоплені в корпусі. Рівень очей при вертикально розташованому екрані ВДТ повинен приходиться на центр або 2/3 висоти екрана. Лінія погляду повинна бути перпендикулярна центру екрана і оптимальне її відхилення від перпендикуляра, що проходить через центр екрану у вертикальній площині, не повинно перевищувати ± 5 градусів, допустимий ± 10 градусів.

Для забезпечення оптимальної працездатності і збереження здоров'я професійних користувачів, протягом робочої зміни повинні встановлюватися регламентовані перерви. Під час регламентованих перерв з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії і гіпокінезії, запобігання розвитку позіотоніческого втоми доцільно виконувати комплекси вправ.

Для робіт, які виконуються з великим навантаженням, рекомендований 10-15 хвилинну перерву після кожної години роботи, а при інтенсивній і монотонній роботі 10-15 хвилин через кожні 2 години. Кількість мікропауз (тривалістю до 1 хвилини) регулюється індивідуально.

Проведення фізичних вправ з дозованим навантаженням протягом робочого дня рекомендується індивідуально, залежно від відчуття втоми. Гімнастика спрямована на корекцію вимушеної пози, поліпшення венозного кровообігу, часткове заповнення дефіциту рухової активності. М'язові зусилля комплексу вправ – помірні, темп середній. Після закінчення гімнастики необхідний пасивний відпочинок, тривалістю в 2-3 хвилини перед роботою.

У всіх випадках, коли виробничі обставини не дозволяють застосувати регламентовані перерви, тривалість безперервної роботи з ВДТ не повинна перевищувати 4 години.

У приміщеннях з КТ повинен бути забезпечений 3-кратний обмін повітря в годину. Для забезпечення постійних параметрів мікроклімату (температури, вологості, швидкості руху і чистоти повітря) в приміщеннях можуть бути встановлені побутові кондиціонери типу БК-1500, БК-2000, БК-2500 та ін.

Приміщення з КТ повинні мати природне і штучне освітлення. При незадовільному освітленні знижується продуктивність праці користувачів КТ, можлива поява короткозорості, швидка стомлюваність.

Природне освітлення в приміщеннях з КТ має відповідати вимогам ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерного обладнання будівель і споруд. Природне і штучне освітлення ». Природне освітлення повинно здійснюватися через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ або північний схід і забезпечувати коефіцієнту природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, повинні бути передбачені сонцезахисні пристрої, на вікнах повинні бути жалюзі або штори. Задовільний природне освітлення легше створити в невеликих приміщеннях на 5-8 робочих місць.

Штучне освітлення в приміщеннях з робочими місцями, обладнаними комп'ютерними РС, має здійснюватися системою загального рівномірного

освітлення. У виробничих і адміністративно-громадських приміщеннях, у разі переважної роботи з документами, допускається застосування системи комбінованого освітлення.

Для загального освітлення слід застосовувати світильники серії ЛПО 36 з дзеркальними ґратами, укомплектовані високочастотними пускорегулюючими апаратами (ВЧ ПРА). Застосування світильників без розсіювачів та екрануючих ґрат не допускається.

Яскравість світильників загального освітлення в зоні кутів випромінювання від 50° до 90° з вертикаллю в подовжній і поперечній площинах повинна складати не більше 200 кд / м, захисний кут світильників – не менше 40° .

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях, обладнаних ПК, повинні відповідати вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державних санітарних правил і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і ДСН 3.3. 6-037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Під час виконання робіт з ПК у виробничих приміщеннях значення характеристик вібрації на робочих місцях не повинні перевищувати допустимі згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державних санітарних правил і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин »і ДСН 3.3.6-039-99« Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації ».

Системи опалення та системи кондиціонування слід встановити так, щоб ні теплий, ні холодне повітря не направлявся на людей. На виробництві рекомендується створювати динамічний клімат з певними перепадами показників. Температура повітря в поверхні підлоги і на рівні голови не повинна відрізнятися більш ніж на 5 градусів. У виробничих приміщеннях крім природної вентиляції передбачають припливно витяжну вентиляцію. Основним параметром, що визначає характеристики вентиляційної системи, є

кратність обміну, тобто скільки разів за годину зміниться повітря в приміщенні.

Нижче наведено розрахунок повітрообміну:

- V_1 – об'єм повітря необхідний для обміну;
- V_2 – об'єм робочого помещення.

Для розрахунку приймемо такі розміри робочого приміщення:

- довжина $B = 7,35\text{м}$;
- ширина $A = 4,9\text{м}$;
- висота $H = 4,2\text{м}$.

Відповідно обсяг приміщення дорівнює:

$$V_2 = A \cdot B \cdot H = 151,263 \text{ куб.м.}$$

Необхідний для обміну об'єм повітря V_1 вент визначимо виходячи з рівняння теплового балансу:

$$V_1 \cdot C \cdot (t_{yx} - t_{пр}) \cdot Y = 3600 \cdot Q_{изб},$$

де $Q_{изб}$ – надлишкова теплота (Вт);

$C = 1000$ – удельная теплопроводность воздуха (Дж/кгК);

$Y = 1,2$ – щільність повітря (мг / см);

t_{yx} – температура повітря, що йде, град

$t_{пр}$ – температура приходить повітря, град.

Температура повітря, що йде визначається за формулою:

$$t_{yx} = t_{pm} + (H - 2)t,$$

де $t = 1-5$ градусів – перевищення t на 1 м висоти приміщення;

$t_{pm} = 25$ градусів – температура на робочому місці;

$H = 4,2$ м – висота приміщення; $t_{пр} = 18$ градусів.

Тоді:

$$t_{yx} = 25 + (4,2 - 2) \cdot 2 = 29,4$$

Далі:

$$Q_{изб} = Q_{изб.1} + Q_{изб.2} + Q_{изб.3},$$

де $Q_{изб.1}$ – надлишок тепла від електрообладнання та освітлення.

$$Q_{изб.1} = E \cdot p,$$

де E – коефіцієнт потерь електроенергии на теплоотвод ($E = 0,55$ для освещения);

p – потужність, $p = 40 \text{ Вт} \cdot 15 = 600 \text{ Вт}$.

Тоді:

$$Q_{изб.1} = 0,55 \cdot 600 = 330 \text{ Вт}.$$

де $Q_{изб.2}$ – теплонадходження від сонячної радіації.

$$Q_{изб.2} = m \cdot S \cdot k \cdot Q_c,$$

де m – число вікон, прийmemo $m = 4$;

S – площа вікна, $S = 2,3 \cdot 2 = 4,6 \text{ кв.м}$;

k – коефіцієнт, що враховує скління. Для подвійного скління $k = 0,6$;

$Q_c = 127 \text{ Вт / м}$ – теплонадходження від вікон.

Тоді:

$$Q_{изб.2} = 4,6 \cdot 4 \cdot 0,6 \cdot 127 = 1402 \text{ Вт}.$$

де $Q_{изб.3}$ – тепловиділення людей.

$$Q_{изб.3} = n \cdot q,$$

де $q = 80 \text{ Вт / чел.}$, n – число людей, наприклад, $n = 15$.

$$Q_{\text{изб.3}} = 15 \cdot 80 = 1200 \text{ Вт}$$

В результаті отримуємо:

$$Q_{\text{изб}} = 330 + 1402 + 1200 = 2932 \text{ Вт}$$

Тоді з рівняння теплового балансу слід:

$$V_1 = 3600 \cdot 2932 / 1000 \cdot (29,4 - 18) = 926 \text{ куб. м.}$$

Розрахунок кратності:

$$\text{Кратність} = V_1 / V_2 = 6.12$$

5.4 Заходи з пожежної безпеки

Згідно СНиП 2.09.02-85 "Виробничі будівлі" виробничо лабораторне будівля повинна мати ступінь вогнестійкості не нижче III. Категорія вибухо-пожежобезпеки – Д.

У приміщеннях і коридорах слід передбачати димовидаляння на випадок пожежі відповідно до СНиП 2.04.05-86.

Для евакуації людей у разі виникнення пожежі СНиП 2.09.02-85 допускає організацію одного евакуаційного виходу з приміщення, розташованого на будь-якому поверсі (крім підвальних та цокольного), якщо цей вихід веде до двох евакуаційних виходів з поверху, відстань від найбільш віддаленого робочого місця до виходу з приміщення не перевищує 25 м і чисельність працюючих в найбільш численній зміні не перевищує 25 чел.

Відстань від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу з приміщення безпосередньо назовні або в сходову клітку для будівель категорії Д не регламентується.

Згідно ГОСТ 12.1.004-91, пожежна безпека об'єкта повинна забезпечуватися системами запобігання пожежі, протипожежного захисту та організаційно-технічними заходами.

Системи пожежної безпеки повинні характеризуватися рівнем забезпечення пожежної безпеки людей та матеріальних цінностей, а також виконувати одну з наступних завдань: виключати виникнення пожежі; забезпечувати пожежну безпеку людей і / або матеріальних цінностей.

Об'єкти повинні мати системи пожежної безпеки, спрямовані на запобігання впливу на людей небезпечних факторів пожежі, в тому числі їх вторинних проявів на необхідному рівні.

Під активною боротьбою з пожежею розуміють гасіння пожежі з застосуванням засобів пожежогасіння. До цих засобів відносять різні вогнегасники, їх ділять по типу наповнення на порошкові і вуглекислотні, пісок, негорючі матеріали, будь-які матеріали та засоби, які перешкоджають поширенню вогню і горіння матеріалів.

Небезпечними факторами пожежі, які впливають на людей і матеріальні цінності, є: полум'я та іскри; підвищена температура навколишнього середовища; дим; знижена концентрація кисню.

До вторинних проявів небезпечних факторів пожежі, яке впливає на людей і матеріальні цінності, відносяться: осколки, частини зруйнованих апаратів, агрегатів, установок, конструкцій; токсичні речовини і матеріали, що вийшли із зруйнованих апаратів і установок; електричний струм, що виник в результаті винесення високої напруги на струмопровідні частини конструкцій, апаратів, агрегатів; вогнегасники речовини.

Електрична проводка в будівлі повинна бути ізольована, так як це знижує ризик виникнення замикання і виникнення в результаті цього вогню. Кабель, провід повинен бути прокладений по негорючому основі. Для того,

щоб знизити ризик короткого замикання встановлюють прилади УЗО, автоматичні, плавкі запобіжники. Газові й електричні плити повинні бути ізолювані від дерев'яних меблів. Розетки на зовнішніх стінах будівлі і в санвузлах повинні бути ізолювані від попадання вологи.

Так як в ПК використовується електроніка, то виниклу пожежу не можна гасити водою, так як це може призвести до короткого замикання і виникнення нових вогнищ пожежі. Для гасіння електроустановок використовують вуглекислий газ, піну або порошкові склади. Первинним засобом пожежогасіння вуглекислим газом є ручні вогнегасники типу ОУ-2, ОУ-5. Для гасіння вогню необхідно застосовувати вогнегасники цих типів.

Для виявлення початкової стадії загоряння та оповіщення служби пожежної охорони використовуються системи автоматичної пожежної сигналізації (АПС). Крім того, вони можуть самостійно пускати в хід установки пожежогасіння, коли пожежа ще не досяг великих розмірів. Системи АПС складаються з пожежних сповіщувачів, ліній зв'язку та прийомних пультів (станцій).

Ефективність застосування систем АПС визначається правильним вибором типу сповіщувачів та місць їх установки. При виборі пожежних сповіщувачів враховувалися конкретні умови їх експлуатації: особливості приміщення і повітряного середовища, наявність пожежних матеріалів, характер можливого горіння, специфіка технологічного процесу і т.п.

Відповідно до "Типових правил пожежної безпеки для промислових підприємств" приміщення кімнати, як і суміжні приміщення, обладнуються димовими пожежними сигналізаціями, оскільки в приміщеннях на початку пожежі при горінні різних пластмасових, ізоляційних матеріалів і паперових виробів виділяється значна кількість диму і мало теплоти.

Об'єкти будівлі, в якому знаходиться кімната, крім АПС обладнані установками стаціонарного автоматичного пожежогасіння. Найбільш доцільно застосовувати установки газового гасіння пожежі, дія яких

заснована на швидкому заповненні приміщення вогнегасною газовим речовиною з різким зниженням вмісту в повітрі кисню.

5.5 Заходи щодо забезпечення безпеки при надзвичайних ситуаціях

Одним з найважливіших заходів щодо забезпечення безпеки при надзвичайних ситуаціях є заходи щодо оповіщення населення і виробничого персоналу про виникнення надзвичайної ситуації.

Сигнали оповіщення служать для своєчасного доведення до органів цивільної оборони розпоряджень та інформації про евакуацію, повітряний напад противника, радіаційної небезпеки, розробляється і затверджується (біологічному) зараження, загрозу затоплення, початку розосередження і ін.

Новітні технології дозволяють негайно визначити не тільки місце і напрям руху носія (літак, вертоліт, ракета і т.д.) зброї нападу, а також час його підльоту. Подібні технології забезпечує передачу сигналу по системі оповіщення до штабів цивільної оборони та об'єктів.

Сигнали оповіщення застосовуються головним чином в разі раптового нападу противника, коли реальне час для попередження населення буде вкрай обмеженим і обчислюватися хвилинами.

Відомо, що своєчасне оповіщення населення дає можливість укриття його за 10-15 хвилин безпосередньо після оповіщення. Внаслідок чого знижуються втрати людей з 85% до 4–7% при раптовому застосуванні зброї масового ураження. Тому захист населення, в першу чергу, залежить від добре організованої системи оповіщення, організація якої покладається на штаби цивільної оборони.

Сповіщення виробляються всіма видами зв'язку: телебаченням, радіомовленням, застосуванням спеціальної апаратури і засобів для подачі звукових і світлових сигналів. Негайно даються вказівки про порядок дій населення і їх формувань, обмовляється приблизний час початку випадання

радіоактивних опадів, час підходу зараженого повітря, а також вид отруйних речовин. Проголошені вищим штабом сигнали дублюються всіма підлеглими штабами.

Існує ряд сигналів, які служать для оповіщення населення міст і сільських населених пунктів про виникнення безпосередньої небезпеки застосування супротивником ядерного, хімічного, бактеріологічного (біологічного) або іншої зброї: "Повітряна тривога" "Відбій повітряної тривоги"; "Радіаційна небезпека"; "Хімічна тривога".

У містах встановлюються різноманітні сигнальні апарати і засоби зв'язку. Завдяки їм за допомогою пульта можна включати гучномовний зв'язок і квартирну радіотрансляційну мережу, а також виробляти виклик керівного складу міста і об'єктів народного господарства по циркулярній телефонній мережі. За допомогою подібних апаратури приймаються розпорядження вищих штабів.

Сигнал "Повітряна тривога". Подібний сигнал подається для всього населення. Даний сигнал сповіщає про небезпеку ураження противником даного міста. За радіотрансляційної мережі передається текст: "Увага! Увага! Громадяни! Повітряна тривога! Повітряна тривога! "Ця трансляція супроводжується звуком сирен, гудками заводів і транспортних засобів. Тривалість сигналу 2-3 хвилини. При подачі цього робочі припиняють роботу відповідно до встановленої інструкцією і вказівками адміністрації, що виключають виникнення аварій, але якщо по технологічним вимогам безпеки не можна зупинити виробництво, залишаються чергові, для яких будуються індивідуальні притулки. Зупиняється транспорт і все населення ховається в захисних спорудах. При повідомленні даними сигналом населенню необхідно дотримуватися спокою. Дотримання правил поведінки по цьому сигналу значно скорочують втрати людей.

Сигнал "Відбій повітряної тривоги", цей сигнал оповіщається органами цивільної оборони. Передається наступний текст по радіотрансляції: "Увага! Увага, громадяни! Відбій повітряної тривоги. Відбій

повітряної тривоги". При надходженні цього сигналу населенню дозволяється покинути притулку з дозволу комендантів, а робітники можуть приступати до продовження своєї залишеної роботи. У місцях, де противник завдав удари зброєю масового ураження, населенню передається інформація про обстановку, режимах поведінки населення, про вжиті заходи по ліквідації наслідків нападу.

Сигнал "Радіаційна небезпека". Завданням даного сигналу служить оповіщення населених пунктів і районів, до яких рухається радіоактивна хмара, що утворилася при вибуху ядерного боєприпасу. Почувши цей сигнал, необхідно терміново надіти респіратор, ватно марлеву пов'язку, при відсутності даних предметів надіти протигаз. Зібрати заготовлений заздалегідь запас продуктів, індивідуальні засоби медичного захисту, предмети першої необхідності і сховатися в Протирадіаційне притулок.

Сигнал "Хімічна тривога", оповіщення подібного сигналу свідчить про загрозу або виявленні хімічного або бактеріологічного нападу. Необхідно негайно надіти протигаз і сховатися в захисній споруді, за відсутності подібних споруд необхідно скористатися житловими, виробничими або підсобними приміщеннями. При використанні противником бактеріологічної зброї, по системам оповіщення населення негайно отримає додаткові відомості про подальші дії. Слід дотримуватися всіх вимог органів цивільної оборони, а також виконувати їх розпорядження і після того як небезпека минула.

Основний спосіб оповіщення населення про небезпеку головним чином проводиться за допомогою радіо і телебачення. Наведемо приклади оповіщення про різні небезпеки.

У разі повені інформація про небезпеку буде сповіщена наступним текстом: "Увага! Говорить штаб цивільної оборони району. Громадяни! У зв'язку з раптовим підвищенням рівня води в річці Серебрянка очікується підтоплення будинків в районі вулиць Некрасова, Річкова, Залізнична і селища Північний. Населенню цих вулиць і селища зібрати необхідні речі,

продукти харчування на 3 дні, воду, відключити газ і електроенергію і вийти в район школи № 7 для реєстрації на збірному евакопункті і відправки в безпечні райони ". У разі аварії на АЕС інформація про небезпеку буде сповіщена наступним текстом: "Увага! Говорить штаб цивільної оборони району. Громадяни! Сталася аварія на атомній електростанції. В районі міста Запоріжжя очікується випадання радіоактивних речовин. Населенню селища знаходиться в житлових будинках. Провести герметизацію приміщень і підготуватися до евакуації. Надалі діяти відповідно до вказівок штабу ГО ".

При аварії на хімічному об'єкті: "Увага! Говорить штаб цивільної оборони міста. Громадяни! Сталася аварія на комбінаті з викидом отруйного сильнодіючого речовини – аміаку. Хмара зараженого повітря поширюється в напрямку селища Зарічний. Населенню вулиць Нова, Зелена, Садова знаходиться в будівлях. Провести герметизацію своїх осель. Населенню вулиць Заводська, Ковальська негайно покинути житлові будинки, установи, навчальні заклади та вийти в район озера ім.Леніна. Надалі діяти відповідно до наших вказівок".

При виникненні загрози нападу противника місцевими органами влади і штабами ГО за допомогою засобів масової інформації передаються населенню постанови чи розпорядження про порядок дій. З цього часу радіоточки, телевізори повинні бути постійно включені для прийому нових повідомлень. У найкоротші терміни населення має вжити необхідних заходів захисту і включитися у виконання заходів, що проводяться ГО. Дуже важливо відразу уточнити місце найближчого притулку (укриттів) і шляхи підходу до нього. Якщо поблизу немає захисних споруд, потрібно негайно приступити до будівництва найпростішого укриття або пристосуванню заглиблених приміщень (навіть 1-го поверху кам'яного будинку) під укриття. У цій роботі активну участь повинні також прийняти учні старших класів. Необхідно привести в готовність засоби індивідуального захисту, пристосувати підручні засоби, дістати домашню аптечку. У житлових приміщеннях слід провести герметизацію вікон, дверей, провести

протипожежні заходи; вжити заходів до запобігання продуктів харчування, води від можливого зараження (забруднення). Необхідно підготувати все найнеобхідніше на випадок евакуації.

В подальшому при безпосередньої небезпеки ударів противника з повітря подається сигнал "Повітряна тривога!" Йому передуює сигнал "Увага всім!", А потім засобами радіо і телебачення буде передано: "Увага! Увага! Говорить штаб цивільної оборони. Громадяни! Повітряна тривога! Повітряна тривога! Вимкніть світло, газ, воду, погасіть вогонь в печах. Візьміть засоби індивідуального захисту, документи, запас продуктів і води. Попередьте сусідів і при необхідності допоможіть хворим і старим вийти на вулицю. Якнайшвидше дійдіть до захисної споруди або сховайтеся на місцевості. Дотримуйтеся спокій і порядок. Будьте уважні до повідомлень цивільної оборони"! Сигнал "Увага всім!" Може свідчити наприклад про швидку загрозу радіоактивного або бактеріологічного зараження. У даній ситуації піде коротке повідомлення про порядок дій і правила поведінки.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської роботи проведено аналіз існуючих моделей поширення УКХ в місті, таких, як модель Окамура, Хата, COST-231 Хата, Лі, Уолфіш-Ікегамі, для діапазонів частот 900 МГц і 1800 МГц. Показано, що всі відомі моделі будуються на основі експериментальних даних. Моделі використовуються для передбачення поширення хвиль на складних трасах, що необхідно для ефективного планування мереж і коректного розміщення базових станцій.

Проведено синтез і дослідження моделей поширення УКХ в шарі міської забудови за допомогою методів COST 231-Хата, Хата, Уолфіш-Ікегамі, які дозволяють отримувати характерне послаблення сигналу на радіолінії.

Проведено дослідження зон загасання в мікрорайоні Шевченківський міста Запоріжжя, який є шаром однорідної міської забудови, з середньою висотою будинків у 30 м.

З результатів експериментального дослідження видно, що рівень сигналу на місцевості (точки №2, №3, №8, №11, №14, №16, №24) відповідають рівню сигналу, який був отриманий в результаті модельних розрахунків у MathCad.

У точках №4, №5, №6, №7, №9, №10, №11, №12, №13, №15, №17, №18, №19, №21, №23) спостерігалось невелике відхилення від розрахункових результатів порядку 2...12%.

Найбільшою була невідповідність спостережуваних результатів і розрахункових даних в точках №1, №22, №25, що скоріше за все пов'язане з тим, що в цих точках відбувається екранування сигналу високоповерховими будівлями. Цю обставину не враховує розглянута модель.

У Додатках А-Г представлено детальний розрахунок послаблення УКХ в умовах міської забудови для моделей Хата, COST 231 – Хата, Уолфіш-Ікегамі.

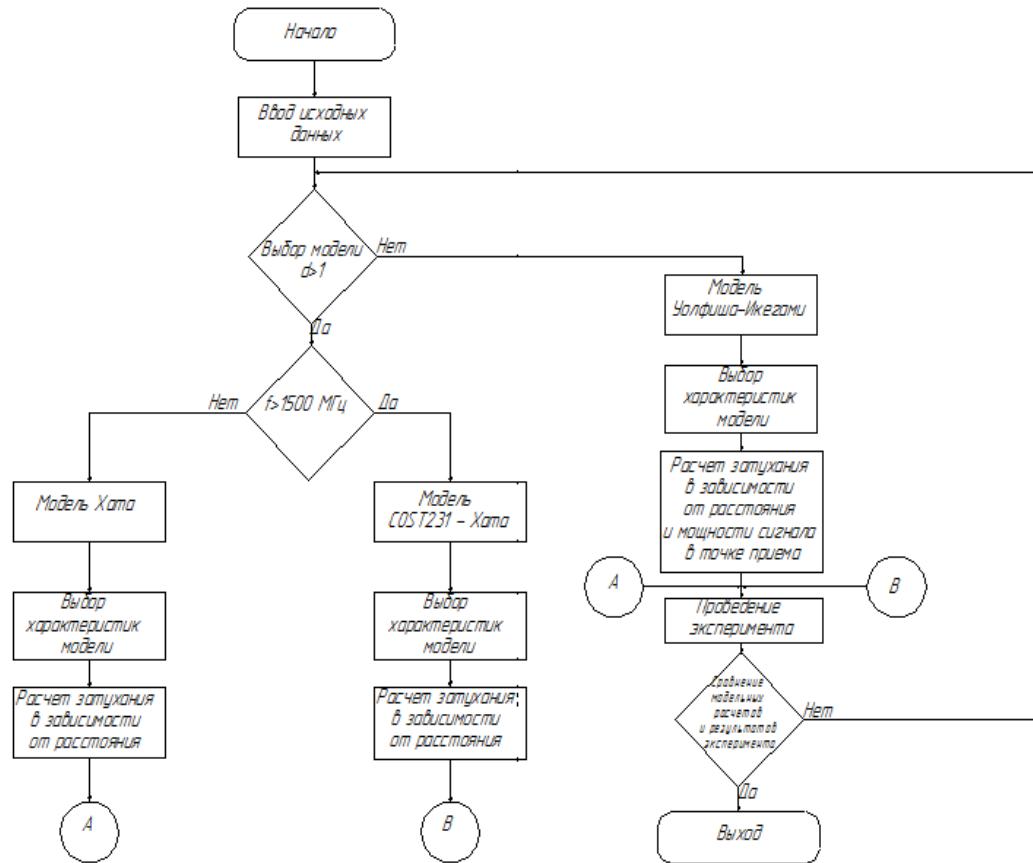
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Маковеева М.М. Системи зв'язку з рухомими об'єктами: навчальний посібник для вузів [Текст] / М.М. Маковеева, Ю.С. Шинаков. – К.: ВШ, 2002. – 440 с.
2. Ратинський М.В. Основи мережі [Текст] / М.В. Ратинський. – Лівів: ВШ, 1998. – 248 с.
3. Лі У.К. Техніка рухомого зв'язку [Текст] / У.К. Лі. – К.: ВШ, 1998.
4. Системи мобільного зв'язку: навчальний посібник для вузів [Текст] / В.П. Іпатов, В.К. Орлов, І.М. Самойлов, В.Н. Смирнов; під ред. В.П. Іпатова. – К.: Гаряча лінія-Телеком, 2003. – 272 с.
5. Пономарьов Г.А. Поширення УКВ в місті [Текст] / Г.А. Пономарьов, А.Н. Куликов, Е.Д. Тельпуховский. – Дніпропетровськ: «РАСКО», 1991. – 223 с.
6. COST – 231 – FinalReport. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.lx.it.pt/cost231>.
7. Введенский Б.А. Распространение ультракоротких радиоволн [Текст] / Б.А. Введенский. – М.: Наука, 1973. – 408 с.
8. Димов А.В. Аналіз методів моделювання поширення радіохвиль діапазону 900 МГц в умовах міста [Текст] / А.В. Димов, В.А. Тимофєєв // Фізичний вісник ЯрГТУ ім. П.Г. Демидова: зб. наук. праць. – Харків: ХНУРЕ, 2006. – Вип. 1. – С. 157-165.
9. Столлінгс В.В. Бездротові лінії зв'язку і мережі; пер. з англ. [Текст] / В.В. Столлінгс. – К.: Видавничий дім «Вільямс», 2003. – 640 с.
10. Димов А.В. Дослідження поширення радіохвиль в міських умовах в діапазоні 1800 МГц [Текст] / А.В. Димов, В.А. Тимофєєв // Праці XIII міжнародної науково-технічної конференції «Радіолокація, навігація та зв'язок». – Київ, КПІ, 2007. – Т.1. – С. 611-616.

11. Ніколаєв В.І. Системи і засоби сухопутного рухомого зв'язку: навч. посібник [Текст] / В.І. Ніколаєв; під ред. В.І. Борисова. – Харків: ХНУРЕ. 2001. – 209 с.

ДОДАТОК А

Блок-схема алгоритма



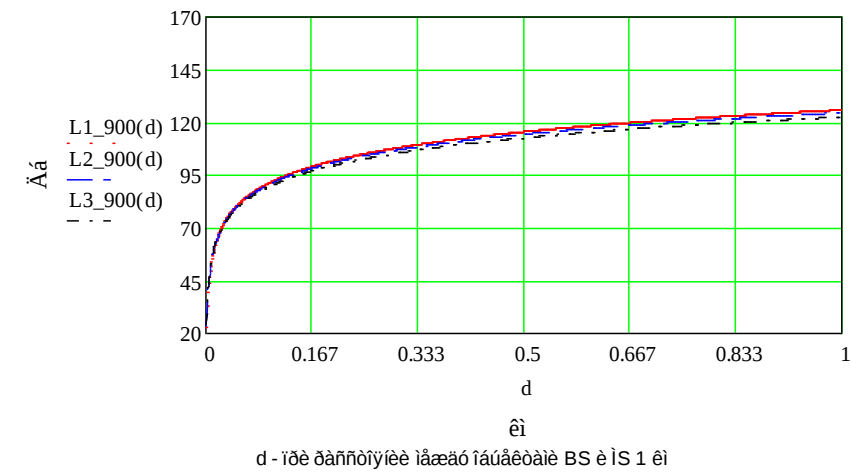
ДОДАТОК Б

Модель Хата

```

//Модель Хата
//f:= 900
//h:= 40
//h:= 50
//h:= 70
a(h):=(1.1*log(f)-0.7)*h-(1.56*log(f)-0.8)
L1_900(d):=69.55+26.16*log(f)-13.82*log(h)-a(h)+(44.9-6.55*log(h))*log(d)
L2_900(d):=69.55+26.16*log(f)-13.82*log(h)-a(h)+(44.9-6.55*log(h))*log(d)
L3_900(d):=69.55+26.16*log(f)-13.82*log(h)-a(h)+(44.9-6.55*log(h))*log(d)

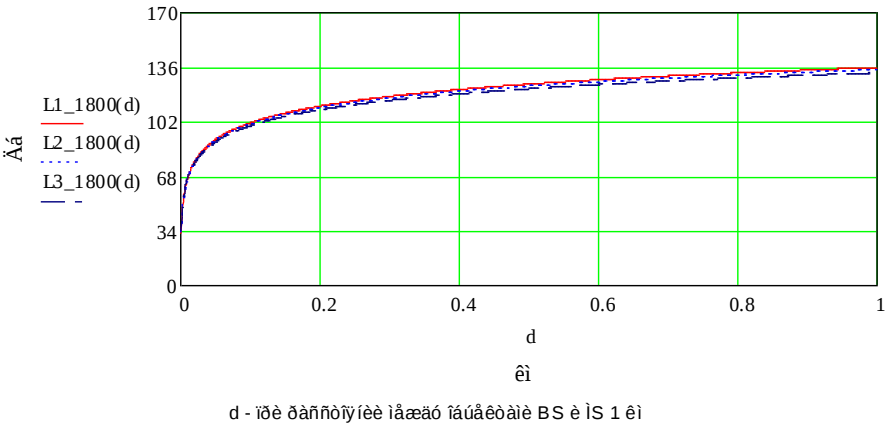
```



ДОДАТОК В

Модель COST - 231 Хата

```
lãääü COST 231 -Öàòà
f := 1800 hte:= 40 ì hre:= 1 ì Gm:= 0
a(hr) := (1.1 · logf) – 0.7) · hr – (1.56logf) – 0.8)
L1_1800(d) := 46.3+ 33.9 · logf) – 13.82 · loghte) – a(hr) + (44.9 – 6.55 · loghte) · logd) + Gm
L2_1800(d) := 46.3+ 33.9 · logf) – 13.82 · log50) – a(hr) + (44.9 – 6.55 · log50)) · logd) + Gm
L3_1800(d) := 46.3+ 33.9 · logf) – 13.82 · log70) – a(hr) + (44.9 – 6.55 · log70)) · logd) + Gm
```



ДОДАТОК Г

Модель Уолфиша-Икегами

äÿ 1800 iÄö

äÿ 900 iÄö

hb := 50 i

hr := 30 i

Δhb := 20 i

Δhm := 28 i

w := 15 i

b := 15 i

d :=

0.1

0.2

0.3

0.4

0.5

0.6

0.7

0.8

0.9

1.0

1.1

1.2

1.3

1.4

1.5

1.6

1.7

1.8

1.9

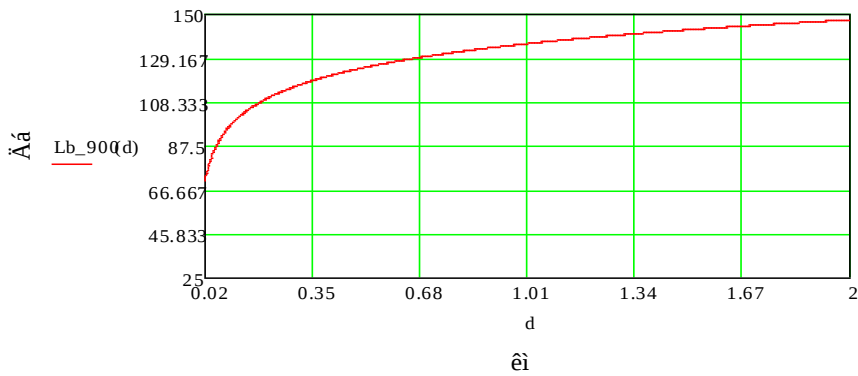
2.0

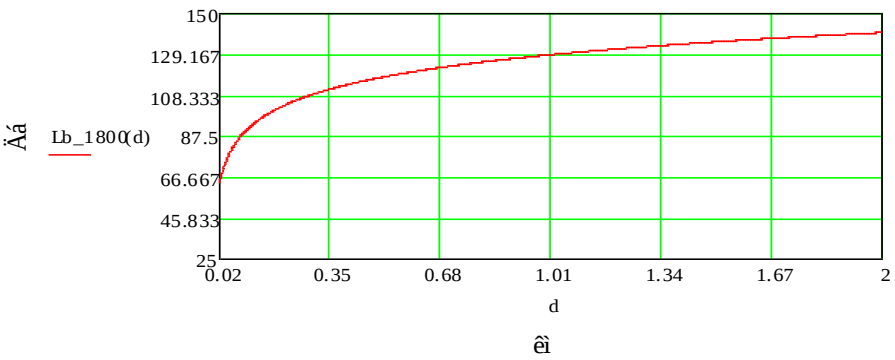
Lb_900:= 128.95+ 38·log(d)

Lb_1800:= 136.84+ 38·log(d)

Lb_900:= 128.95+ 38·log(d)

Lb_1800:= 136.84+ 38·log(d)





$$Pvxmin_{900}=40-(Lb_{900}+4)$$
$$Pvxmax_{900}=40-(Lb_{900}-10)$$

$$Pvxmin_{1800}=40-((Lb_{1800}+4))$$
$$Pvxmax_{1800}=40-(Lb_{1800}-10)$$

	0
0	-54.95
1	-66.389
2	-73.081
3	-77.828
4	-81.511
5	-84.52
6	-87.064
7	-89.267
8	-91.211
9	-92.95
10	-94.523
11	-95.959
12	-97.28
13	-98.503
14	-99.641
15	...

	0
4	-67.511
5	-70.52
6	-73.064
7	-75.267
8	-77.211
9	-78.95
10	-80.523
11	-81.959
12	-83.28
13	-84.503
14	-85.641
15	-86.707
16	-87.707
17	-88.65
18	-89.543
19	...

	0
0	-62.84
1	-74.279
2	-80.971
3	-85.718
4	-89.401
5	-92.41
6	-94.954
7	-97.157
8	-99.101
9	-100.84
10	-102.413
11	-103.849
12	-105.17
13	-106.393
14	-107.531
15	...

	0
0	-48.84
1	-60.279
2	-66.971
3	-71.718
4	-75.401
5	-78.41
6	-80.954
7	-83.157
8	-85.101
9	-86.84
10	-88.413
11	-89.849
12	-91.17
13	-92.393
14	-93.531
15	...

