

Форма № 24

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 Застосування УКХ моделей мовних радіотрас для
розрахунку загасання телекомунікаційного сигналу у
Південному мікрорайоні м. Запоріжжя

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

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

Освітньої програми Радіотехніка

Лазарев І.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник Бущова Т.І.
(прізвище та ініціали)

Рецензент Касьян М.М.
(прізвище та ініціали)

20 19

Форма № 25

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.

« 10 » 12 2019 року

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

Назарев Іван Володимирович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Застосування УКХ моделей міських радіотрас для розрахунку загасання телекомунікаційного сигналу у Львівському мікрорайоні м. Запоріжжя
 керівник роботи доцент каф. РТТ Бурнова Т.І.
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 08 » 11 2019 року № 365

2. Строк подання студентом роботи 12.12.2019 р.

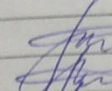
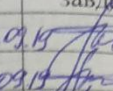
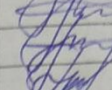
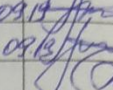
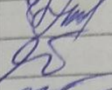
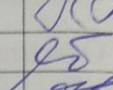
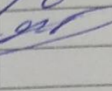
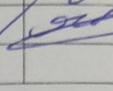
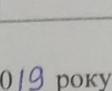
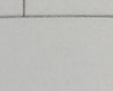
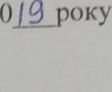
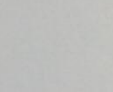
3. Вихідні дані до роботи дослідити закономірності поширення радіохвиль в цибках міської циліндричної забудови на прикладі Львівського мікрорайону м. Запоріжжя для телекомунікаційного сигналу стандарту GSM 900, GSM 1800.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) аналіз сучасного стану моделювання поширення радіохвиль в міських цибках, моделі поширення радіохвиль, моделювання поширення радіохвиль в місті за допомогою вищезгаданих моделей, організаційно-економічна частинка, оцінка праці на об'єкті в період надзвичайних ситуацій

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

17 презентація Power Point на тему: "Застосування УКХ моделей міських радіотрас для розрахунку загасання телекомунікаційного сигналу у Львівському мікрорайоні м. Запоріжжя"

6. Консультанти розділів роботи

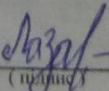
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1 Розділ	Буркова Т. І. доцент каф. РТТ		
2 Розділ	Буркова Т. І. доцент каф. РТТ		
3 Розділ	Буркова Т. І. доцент каф. РТТ		
4 Економічна частина	Лівашико Т. В. доцент РТБД		
5 Вихідна праця	Лівицьков Ю. В. к.т.н. доцент		
«Кодифікація»	Мороз Т. В. асистент каф. 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 поширення радіохвиль в міських умовах	15.10.19	
2	Моделі поширення радіохвиль	30.10.19	
3	Моделювання поширення радіохвиль в місті за допомогою аналітичних моделей	12.11.19	
4	Оптимізаційно-економічна частина	26.11.19	
5	Вихідна праця та безпека в період надзвичайних ситуацій	10.12.19	

Студент(ка)

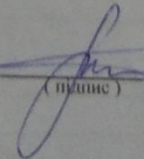


(прізвище)

Мажарев І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(прізвище)

Буркова Т. І.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 90 сторінок, 19 рисунків, 10 таблиць, 31 джерело

Об'єкт: поле телекомунікаційного сигналу в умовах щільної міської забудови.

Мета: розробити стратегію достовірної оцінки загасання поля телекомунікаційного сигналу в місті.

Методи дослідження та апаратура – комп'ютерне моделювання в програмі MathCad на основі емпіричних моделей поширення сигналів у містах та вимірювання поля за допомогою програмного додатку Netmonitor для смартфона Xiaomi Redmi Note 4, чисельні методи.

Отримані результати і їх новизна – проведено аналіз існуючих моделей поширення УКХ в місті на моделях 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. Як правило, 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 COST231–Хата, Хата, Уолфіш – Ікегамі які дозволяють отримувати характерне ослаблення сигналу на радіолінії.

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

Область застосування – телекомунікаційні системи зв'язку.

ДІАПАЗОН РОБОЧИХ ЧАСТОТ, АБОНЕНТСЬКА СТАНЦІЯ, БАЗОВА СТАНЦІЯ, ВІЛЬНА ТРАСА, ЕКРАН, ПЕРЕШКОДА, МОДЕЛЬ УОЛФІШ-ІКЕГАМІ, МОДЕЛЬ КСІА, МОДЕЛЬ COST, МОДЕЛЬ ЛІ, МОДЕЛЬ ХАТА

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ В МІСЬКИХ УМОВАХ	9
1.1 Основні проблеми поширення радіохвиль і методи їх вирішення.....	9
1.2 Загасання радіосигналів при поширенні	12
2 МОДЕЛІ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ.....	13
2.1 Модель поширення радіосигналу в вільному просторі	13
2.2 Двопроменева модель поширення радіосигналу.....	15
2.3 Стандартні моделі поширення на відкритому просторі	16
2.4 Модель Лі	16
2.5 Модель Окамури	19
2.6 Уточнені моделі в рамках проекту COST # 231 (Cooperation for Scientific and technical Research)	23
2.7 Модель COST 231 – Hata (Mogensen).....	23
2.8 Модель Kcia (Xia)	24
2.9 Модель Ikegami	26
2.10 Модель COST 231 – Walfish-Ikegami.....	28
2.11 Модель Hata/Davidson /Epstein – Peterson Diffraction	30
2.12 Модель Free space + RMD.....	31
2.13 Оцінка внеску відбиття при визначенні загасання на трасі	32
2.14 Визначення втрат через дифракцію на трасі (принцип Епштейна - Петерсона)	33
2.15 Втрати завдяки перешкодам на місцевості	36
2.16 Висновки та постановка задачі.....	37
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ В МІСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕМПІРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ	38
3.1 Моделювання загасання радіосигналу від відстані для мікрорайону Південний Запоріжжя.....	38
3.2 Експериментальне дослідження рівня сигналу базової станції розташованого в мікрорайоні Південний Запоріжжя	50
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	53
4.1 Планування науково – дослідницької роботи.....	53
4.2 Визначення витрат на проведення експерименту	55

4.2.1 Розрахунок основної заробітної плати	55
4.2.2 Розрахунок додаткової заробітної плати.....	55
4.2.3 Відрахування на ЄСВ	56
4.2.4 Визначення витрат на матеріали	56
4.2.5 Витрати на спеціальне обладнання.....	57
4.2.6 Розрахунок загальних виробничих витрат	60
4.3 Розрахунок економічної ефективності НДР	61
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В ПЕРІОД НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ	63
5.1 Аналіз потенційних небезпек	63
5.2 Заходи щодо забезпечення техніки безпеки	64
5.3 Заходи щодо забезпечення виробничої санітарії та гігієни праці	66
5.4 Заходи з пожежної безпеки.....	73
5.5 Заходи щодо забезпечення безпеки при надзвичайних ситуаціях	76
ВИСНОВОК.....	81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	82
ДОДАТОК А.....	85
ДОДАТОК Б	86
ДОДАТОК В.....	87
ДОДАТОК Г	88

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 роботи полягає в тому, що 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 з фізичних міркувань, роблять все більший вплив на процеси поширення випромінювання. Таким чином, існує актуальна проблема дослідження функціонування систем стільникового зв'язку, утворення зон затінення в м.Запоріжжя.

Наукова новизна полягає у нових даних, які отримано за допомогою використання сучасних статистичних моделей загасання телекомунікаційного сигналу в конкретному районі конкретного міста і у підтвердженні цих даних шляхом безпосереднього вимірювання поля в точках з відомими географічними координатами.

Практична користь полягає в тому, виміряно реальний розподіл поля, який створюють базові станції мобільного оператора.

З метою більш детального викладення матеріалу, робота була розбита на кілька послідовних глав.

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

У другому розділі детально розглянуто моделювання розповсюдження радіохвиль в місті за допомогою емпіричних моделей.

Також розглянуто затухання радіосигналу для мікрорайону Південний Запоріжжя і визначені були зони затінення сигналу. У висновку наведено результати. Всі матеріали, необхідні для більш докладного опису і розуміння інформації, представленої в роботі, приведені в додатках.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ В МІСЬКИХ УМОВАХ

У цьому розділі розглянуто основні особливості поширення УКХ 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 рішення задач електромагнітної сумісності, частотного планування, проблем електромагнітної екології неможливо без інформації про просторово-часовому розподілі поля. Коректний розрахунок радіотрасс, 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. Для мережевого планування, виконаного на високому рівні, потрібно оптимальне покриття території, визначення багатопроменевих ефектів, інтерференції. Високий рівень мережевого планування включає частотне призначення і визначення параметрів базових станцій. Подібні завдання будуть існувати і у всіх інших системах зв'язку. Умови, в яких ці системи можуть використовуватися, змінюються від невеликих просторів всередині будівель

до величезних сільських місцевостей. 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: відображення, дифракція, розсіювання, заломлення (переломлення) і ефект Доплера.

Відображення відбувається, коли електромагнітна хвиля натикається на об'єкт, який за розмірами більше, ніж довжина хвилі. Це може привести до ослаблення потужності сигналу при проходженні через перешкоду типу стіни, але може також змусити відбиту хвилю поширюватися по зовсім іншому шляху.

Дифракція відбувається, коли електромагнітна хвиля зустрічається з нерівною поверхнею з характерним радіусом кривизни істотно менше довжини хвилі. Це може привести до руху хвилі навколо кутів і інших виступів. Цей ефект дуже корисний в умовах будинку, оскільки це дозволяє сигналу проходити по іншому шляху, за винятком випадку прямої видимості.

Розсіювання відбувається, коли на шляху електромагнітної хвилі зустрічається об'єкт розміром меншим, ніж довжина хвилі. Результатом буде розсіювання сигналу, і буде мати місце ефект подібний ефекту віддзеркалення, коли розсіяний сигнал буде рухатися по різних шляхах. (Наприклад, листяні дерева);

Рефракція (заломлення) відбувається при поширенні електромагнітних хвиль в середовищі з плавно змінюється від точки до точки показником заломлення; причому терміном "переломлення" частіше називається різка зміна напрямку променів на межі поділу двох однорідних середовищ з різними показниками заломлення. Сигнал відчуває рефракцію, проходячи через повітряне і водне середовище, стіни будівель, різні перекриття та інші перешкоди.

Ефект Доплера, що має місце при переміщенні рухомого об'єкту. Ці ефекти призводять до множинного поширенню одного сигналу, і в результаті ми отримуємо многолучевой 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. 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, в нехтуванні переизлучения від дахів навколишніх будівель, утворюється за рахунок інтерференції прямого і відбитого променів.

Основні механізми поширення радіохвиль зображені 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.

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.

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.

2 МОДЕЛІ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ

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.

2.1 Модель поширення радіосигналу в 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).

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 в 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.

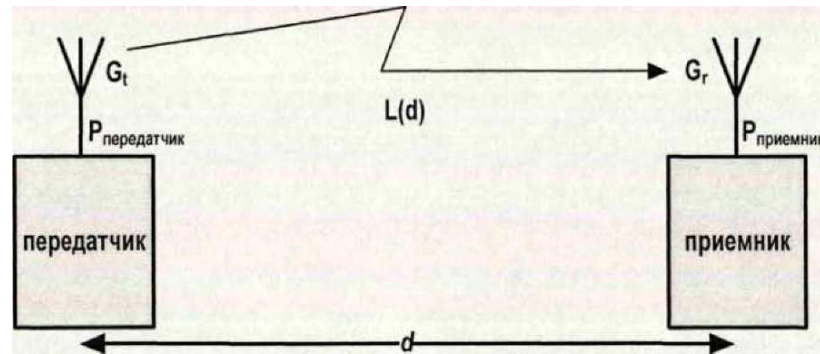


Рисунок 2.1 – Параметри розповсюдження радіосигналу

2.2 Двопроменева модель поширення радіосигналу

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

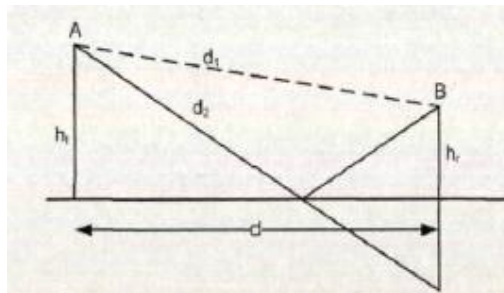


Рисунок 2.2 – Двопроменева модель розповсюдження сигналу

Якщо вважати, що поверхня землі є ідеальним відбивачем, і кут падіння променя дуже маленький, то для цих умов потужність сигналу на виході прийомної антени визначається з виразу (2.1), а h_t , h_r та d такі, що ця залежність використовується при плануванні мереж радіомовлення та дає

результат, добре збігається з даними МККР (Міжнародний консультативний комітет по радіо).

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

З формули (2.2) видно, що на великих відстанях прийнята потужність зменшується обернено пропорційно d^4 або 40 дБ на декаду. Це істотно швидше, ніж у вільному просторі.

Для двопробеневої моделі відповідно до (2.1) 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 великомасштабними моделями поширення. Великомасштабні моделі досить прості і не враховують дуже маленькі зміни, наприклад загасання, викликані багатопробеневою поширенням. Ці моделі корисні при прогнозі охоплення системи радіозв'язку.

2.4 Модель Лі

Лі (англ. W.C.Y.Lee.) запропонував дуже просту модель поширення сигналів, яка заснована на серії проведених в США вимірювань на частоті $f_c = 900$ МГц.

Згідно Лі, середнє значення потужності, вимірюваної на відстані r від передавальної станції, описується виразом

$$P(r) = P_0 \left(\frac{r}{r_0} \right)^{-\beta} \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-n} F_0, \quad (2.3)$$

або в логарифмічному уявленні

$$P(r)_{dB} = P_{0dB} - \beta \cdot \lg\left(\frac{r}{r_0}\right)_{dB} - n \cdot \lg\left(\frac{f}{f_0}\right)_{dB} + F_{0dB}, \quad (2.4)$$

де P_0 – еталонна медіанна потужність, що виміряно на відстані $r_0=1$ км;

β – нахил кривої втрат поширення, дБ/декаду, який чисельно дорівнює послабленню сигналу при подовженні траси в 10 разів;

F_0 – коефіцієнт корекції, що обчислюється на основі серії множників за формулою

$$F_0 = \prod_{i=1}^5 F_i, \quad (2.5)$$

в якій коефіцієнт F_i розраховується наступним чином:

$$F_1 = \left(\frac{h_{bs,eff}}{30,48}\right)^2, \quad (2.6)$$

$$F_2 = \left(\frac{h_{ms}}{3}\right)^v, \quad (2.7)$$

де $h_{bs,eff}$ – ефективна висота базової станції, (м);

h_{ms} – висота антени рухомої станції, (м);

v – показник ступеня.

При висоті антени рухомої станції (мобільного зв'язку) $h_{ms} < 3$ м приймається $v=1$, а при висоті h_{ms} більше 10 м – ($v=2$).

В свою чергу,

$$F_3 = P_1/10,$$

$$F_4 = G_1/4,$$

$$F_5 = G_2.$$

де P_1 – потужність сигналу, випромінюваного передавачем (Вт),

G_1, G_2 – коефіцієнти підсилення базової і рухомої станції відносно напівхвильового вібратора.

Параметри P_0 та β отримані експериментально на основі проведених замірів у різних типах навколишнього середовища (табл. 2.1).

Медіанні втрати потужності в залежності від частоти часто визначаються коефіцієнтом $\left(\frac{f}{f_0}\right)^{-n}$ і його показником ступеня n .

Для частот від 30 МГц до 2 ГГц і відстаней між рухомою і базовою станціями від 2 до 3 км, значення n лежить в межах від 2 до 3.

Таблиця 2.1 – Значення P_0 та β для різних типів навколишнього середовища

Типи середовищ	P_0 на $r_0 = 1$ км, відносний рівень потужності (в дБ)	β (дБ/ декаду)
Вільний простір	-41	20,0
Сільська місцевість	-41	43,5
Передмістя, невелике місто	-40	38,4
Філадельфія	-54	36,8
Нью-Йорк	-55	43,1
Токіо	-62	30,5

Величина n залежить від топографічних особливостей місцевості. Для передмість і сільських районів $n = 2$ при частотах нижче 450 МГц $n = 3$ на частотах вище 450 МГц.

На пересіченій місцевості ефективна висота антени може сильно відрізнятися від її фізичної висоти. На рисунку 2.3 показані способи її визначення.

Вимірювання, що лежать в основі емпіричних формул моделі Лі, були проведені в системі з наступними параметрами: $f_c = 900$ МГц, $h_{bs} = 30,48$ м, $G_1 = 6$ дБ; $P_1 = 10$ Вт, $h_{ms} = 3$ м, $G_2 = 0$ дБ.

2.5 Модель Окамури

В основі моделі лежить безліч вимірів. Численні виміри в частотному діапазоні від 150 до 1920 МГц проводилися в Токіо.

Для визначення середніх втрат L_{dB} від відстані r до передавальної антени базової станції була запропонована формула

$$L_{dB} = L_0 + A(f, r) + G(h_{bs, eff}) + G(h_{ms}), \quad (2.8)$$

де L_0 – втрати при поширенні у вільному просторі $L_0 = \left(\frac{\lambda}{2\pi r}\right)^2$, обчислювані в логарифмічному масштабі;

$A(f, r)$ – середнє значення втрат в міському середовищі з квазігладкою земною поверхнею по відношенню до загасання у вільному просторі в випадку, якщо $h_{bs} = 200$ м, а $h_{ms} = 3$ м;

$G(h_{bs, eff})$ – коефіцієнт корекції в дБ, що враховує відхилення ефективної висоти базової станції від 200 м;

$G(h_{ms})$ – коефіцієнт корекції в дБ, що враховує відхилення висоти підйому рухомої станції, якщо вона відрізняється від 3 м.

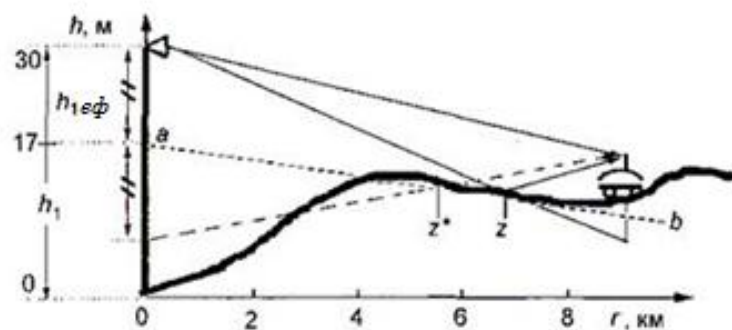


Рисунок 2.3 – Визначення ефективної висоти антени базової станції в горбистій місцевості

Формула для розрахунку $L_{\text{дБ}}$ разом з рис. 2.3 – 2.4 дозволяє оцінити загасання сигналу в умовах міської забудови на частотах від 150 до 2000 МГц, за умови, що відстань між передавальною і приймальною антенами складає від 1 км до 100 км, а ефективна висота базової станції лежить в діапазоні від 30 м до 1000 м.

Існує й інший варіант формули для розрахунку $L_{\text{дБ}}$:

$$L_{\text{дБ}} = L_0 + A(f, r) + G(h_{\text{bs}, \text{eff}}) + G(h_{\text{ms}}) - G_{\text{area}}, \quad (2.9)$$

де $A(f, r)$ береться, як і в попередньому випадку, з рисунок 2.4, а коригувальні члени $G(h_{\text{bs}, \text{eff}})$ і $G(h_{\text{ms}})$ задаються виразами:

$$G(h_{\text{bs}, \text{eff}}) = 10 \lg \left(\frac{h_{\text{ms}}}{3} \right), \text{ при } h_{\text{ms}} \leq 3 \text{ м}; \quad (2.10)$$

$$G(h_{\text{ms}}) = 20 \lg \left(\frac{h_{\text{ms}}}{3} \right), \text{ при } 3 \text{ м} < h_{\text{ms}} < 10 \text{ м}. \quad (2.11)$$

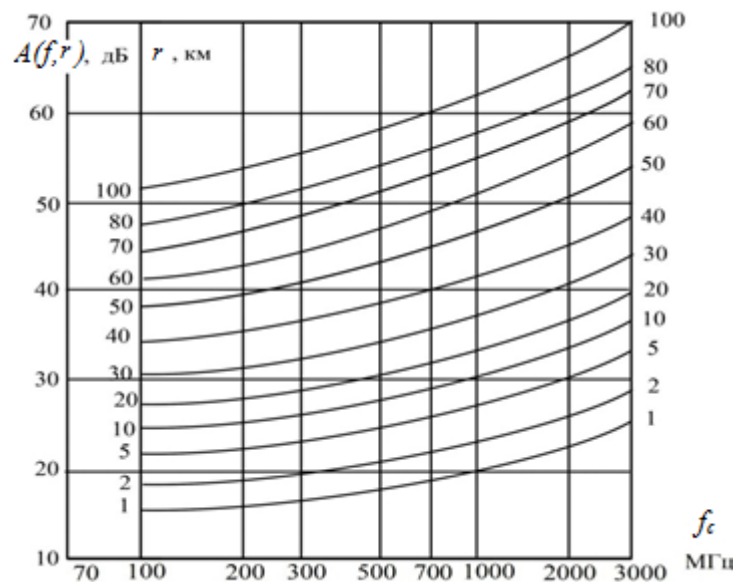


Рисунок 2.4 – Середнє значення втрат в міському середовищі в залежності від частоти (МГц) та відстані (км)

Коригувальний коефіцієнт G_{area} в дБ залежить від типу місцевості і несівної частоти і береться з графіків (рисунки 2.5-2.7).

Модель Окамури дуже проста. Вона заснована виключно на експериментальних даних, що зібрано в районі Токіо. Характеристики японської міської місцевості трохи відрізняються від характеристик місцевості Європи та США. Але, незважаючи на це, модель користується популярністю і вважається кращою для розробки стільникових та інших систем наземного рухомого зв'язку. Основний її недолік – повільна реакція на зміну типу місцевості. Вона найкраще підходить для міських і приміських районів і не дуже ефективна для сільської місцевості.

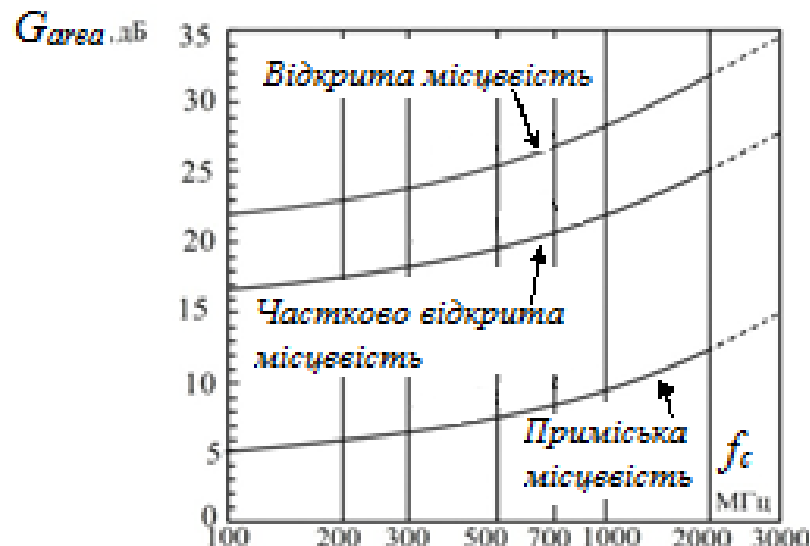


Рисунок 2.5 – До визначення коригувального коефіцієнта G_{area} залежно від типу місцевості і несівної частоти

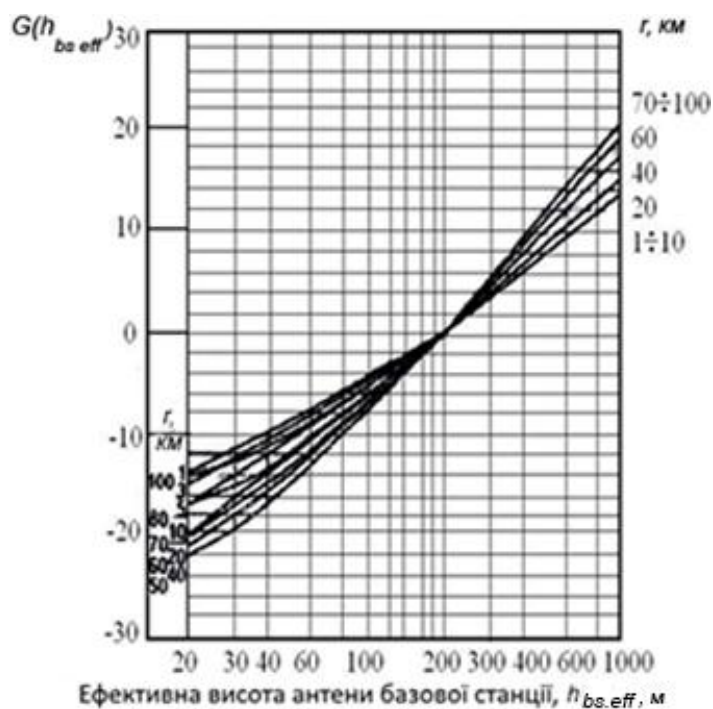


Рисунок 2.6 – Залежність коригувального коефіцієнта ефективної висоти антени базової станції в міській місцевості від висоти антени базової станції та відстані між антенами

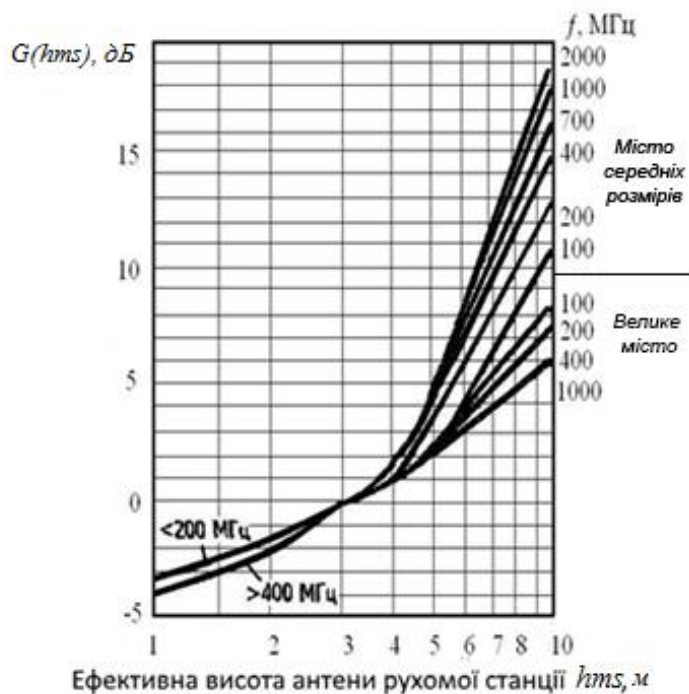


Рисунок 2.7 – Залежність коригувального коефіцієнта ефективної висоти антени рухомої станції від частоти і типу міської забудови

2.6 Уточнені моделі в рамках проекту COST # 231 (Cooperation for Scientific and technical Research)

Наведені раніше моделі дозволяють оцінити залежності втрат від частоти, висот h_{bs} і h_{ms} та типу місцевості. Вони непогано працюють на відстані, що перевищують 1 км і найкраще підходять для частот до 1,5 ГГц. Однак, системи персонального зв'язку (PCS - Personal Communication Systems) працює в діапазоні від 1,8 до 2 ГГц. Приклади таких систем - це DCS 1800 (Digital Communication System, Європа) і PCS 1900 (Personal Communication System, США) - дві версії в системі GSM (Global System Mobile).

Тому, для створення моделі в частотному діапазоні від 1,8 до 2 ГГц в умовах, характерних для систем PCS, було зроблено численні експерименти і проведено безліч вимірів.

Внаслідок значного загасання сигналу в діапазоні 1,8 ГГц в порівнянні з діапазоном 900 МГц, що традиційно застосовується в стільниковій телефонії, основна відмінність між PCS і традиційною системою полягає у зменшенні розміру стільника.

Дослідження проводилися в рамках проекту Європейського Союзу COST # 231 (Cooperation for Scientific and technical Research). Це уточнення стосувалося моделі COST 231-Hata і COST 231-Walfish-Ikegami (Уолфіша-Ікегамі).

2.7 Модель COST 231 – Hata (Mogensen)

Р.Е.Могensen зі співавторами спільно з європейською асоціацією EVRO-COST запропонували нову версію методу Hata, що справедлива для частот від 1,5 ГГц до 2 ГГц [10]. Стандартна формула для розрахунку середніх втрат потужності в умовах міста (дБ):

$$L_{\text{місто}}(\text{дБ}) = 46.3 + 33.9 \lg f - 13.82 \lg h_{bs,eff} - L(h_{ms}) + \\ + (44.9 - 6.55 \lg h_{ms}) \lg r + G_{ms}, \quad (2.12)$$

де $G_{ms} = 0$ дБ є постійною для міст середніх і великих розмірів з помірною рослинністю;

$G_{ms} = 3$ дБ для столичних центрів.

Допустимі межі параметрів цієї моделі f_c від 1500 до 2000 МГц; h_{bs} від 30 до 200 м; h_{ms} від 1 до 10 м; r від 1 до 20 км.

Ця формула дозволяє розрахувати широкий клас радіоканалів зв'язку з урахуванням конкретних умов поширення радіохвиль. Частота несівної, висота підвісу приймальної і передавальної антен, навколишнього простору і сильно залежить від практичного досвіду фахівця.

Моделі Hata і модель COST 231 – Hata можна використовувати при $h_{bs} > 30$ м, але можна і на більш низьких висотах за умови, що сусідні будови нижче антени. Ця модель не підходить для оцінки загасання сигналу, якщо $r < 1$ км. У цьому випадку загасання сильно залежить від топографії місцевості, в якій відбувається поширення. Цю модель не використовують на вулицях з високими будівлями (у так званих вуличних каньйонах).

2.8 Модель Kcia (Xia)

В даній моделі враховується явище дифракції поля від точкового джерела сферичної хвилі, яка поширюється до приймальної антени, що знаходиться на рівні вулиці, що затінена сусідніми будівлями. Множинна дифракція на рядах будівель формується послідовністю розсіювачів. Тому неможливо скористатися прямими методами геометричної теорії дифракції. Математична задача була вирішена Л.Бертоні. Згідно моделі Kcia втрати знаходяться з виразу:

$$L = L_0 + L_{rts} + L_{msd}, \text{ дБ}, \quad (2.13)$$

де L_0 – втрати у вільному просторі;

L_{rts} – втрати від дифракції та розсіювання верхівками будівель;

L_{msd} – втрати від множинної дифракції.

Дана модель використовується Міжнародним телекомунікаційним союзом (ITU) в якості стандартної моделі для універсальної системи рухомого зв'язку третього покоління IMT – 2000.

Введемо наступні параметри: $2b$ – відстань між будівлями; w – відстань від стіни сусідньої будівлі до приймальної антени (абонентської станції АС); h_1, h_2 – висота підвісу передавальної та приймальної антени; θ' – кут дифракції; H_3 – висота поглинаючого шару рівня міської забудови; φ – кут ковзання прямого променя (кут між напрямком вулиці й напрямком від приймальної антени до передавальної, рисунок 2.8).

Тоді L_{rts} буде дорівнювати:

$$L_{rts} = 10 \lg \left[\frac{\lambda}{2\pi^2 \sqrt{(H_3 - h_2)^2 + w^2}} \cdot \left| \frac{1}{\theta'} - \frac{1}{2\pi + \theta'} \right|^2 \right], \quad (2.14)$$

де

$$\theta' = \arctg \left(\frac{(H_3 - h_2)}{w} \right). \quad (2.15)$$

Втрати L_{msd} згідно записується у вигляді:

$$L_{msd} = -10 \lg |Q_N^2|, \quad (2.16)$$

де Q_N виражається через функцію Voersma

$$Q_N = \sqrt{N} \cdot \sum_{q=0}^{\infty} \frac{l}{q!} \cdot (2g\sqrt{2\pi})^q \cdot I_{N-1,q}, \quad (2.17)$$

де N – кількість дифракційних перешкод;

g – параметр, який в залежності від положення передавальної антени відносно рівня дахів має різний знак:

$$g = (h_1 - H_3) \cdot \sqrt{1/2b\lambda}. \quad (2.18)$$

Найбільш простий випадок буде, коли передавальна антена розташована на рівні дахів й $g = 0$, тоді фактор $Q_N = 1/N$ (рисунок 2.8).

2.9 Модель Ikegami

Недоліки моделі Уолфіша – Ікегамі полягають в наступному. Дана методика розрахунків втрат поширення дозволяє провести розрахунок втрат для систем зв'язку, в котрих відстань між антенами складає порядку кількох сотень метрів, а територія характеризується різновисотною забудовою з рівновіддаленими будівлями, що в більшості випадків не виконується. Не береться до уваги і те що вулиці можуть мати однобічну забудову.

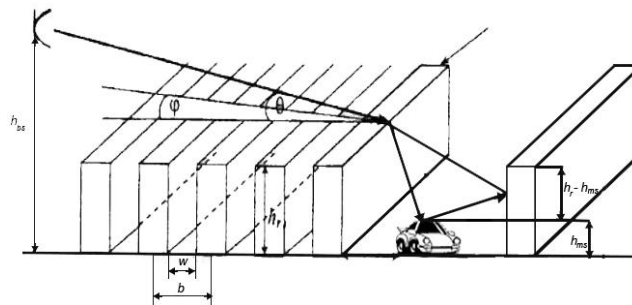


Рисунок 2.8 – Основний шлях поширення сигналу і параметри моделі Уолфіша – Ікегамі

В моделі Ікегамі напруженість поля визначається інтерференцією двох променів – дифрагованого (прямого) й відбитого від стін будівель (рис 2.9).

Явище дифракції враховувалося шляхом апроксимації найближчої до приймальної антени будівлі еквівалентним ребром (дифракція на клиновидній перешкоді).

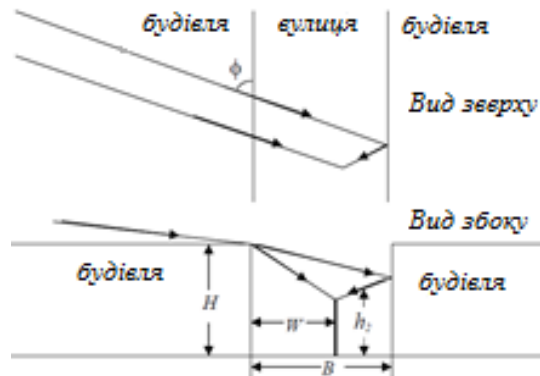


Рисунок 2.9 – До пояснювання моделі Ікегамі

Шлях променів, що приходять в точку прийому з урахуванням висоти підйому приймальної антени визначається з використанням детальної карти місцевості, розташування конкретних будівель і їх висот. Напруженість поля визначається за формулою:

$$E = \left(\frac{0,255}{\sqrt{2}}\right) \cdot E_0 \cdot \sqrt{\lambda \cdot \left(w + \frac{4b-w}{L_{\text{від}}^2}\right) / (H_3 - h_2)} \cdot \sqrt{\sin \varphi}, \quad (2.19)$$

де φ – кут ковзання прямого променя (кут між напрямком вулиці і напрямком від прийомної антени до передавальної);

$2b$ – ширина вулиці, м;

w – відстань від стіни будівлі до приймальної антени, м;

$L_{\text{від}}$ – втрати за рахунок відбиття (відношення амплітуд падаючої і відбитої хвиль) ($L_{\text{від}} = 0,5$ дБ);

Вираз (2.19) запишемо в дБ, якщо $w = b$:

$$E = E_0 + 5,8 + 10 \lg \left(l + \frac{3}{L_{\text{від}}^2} \right) + 10 \lg(w) - \\ - 20 \lg(H_3 - h_2) - 10 \lg(\sin \varphi) - 10 \lg(f). \quad (2.20)$$

Величина втрат при цьому визначається:

$$L = -5,8 - 10 \lg(2b) + 10 \lg(f) + 20 \lg(H_3 - h_2) + \\ + 10 \lg(\sin \varphi) - 10 \lg \left(1 + \frac{3}{L_{\text{від}}^2} \right), \text{дБ}. \quad (2.21)$$

Пробні розрахунки показали, що модель в цілому задовільно оцінює зміни поля уздовж вулиці. До недоліків моделі можна віднести неможливість розрахунку на реальній вулиці і відсутність залежності від висоти підвісу передавальної антени, що позначиться при розрахунку поля по мікро-, піко- та фемтосотах, і неврахування інтерференційної картини поля по вулиці.

2.10 Модель COST 231 – Walfish-Ikegami

Ця модель частково застосовує результати моделі Ксіа. Вона застосовується у випадках, коли антена базової станції розташована як вище, так і нижче лінії рівня дахів міської забудови.

Модель рекомендована ІТУ-Р для розрахунку макро – та мікростільникових систем з різними висотами підвіса передавальної антени базової станції для $f = 800 \dots 2000$ МГц, $r = 0,02 \dots 5$ км, $h_{bs} = 1 \dots 3$ м, $h_{ms} = 4 \dots 50$ м.

У випадку відсутності прямої видимості між передавальною (базовою) та приймальною (абонентською) антенами основні втрати поширення обчислюються з (2.21). Втрати за рахунок дифракції на даху

сусідньої будівлі L_{rst} знаходяться з (2.22), але поправка на орієнтацію вулиці варіюється:

$$L_{rts} = -16,9 - 10 \lg(w) + 10 \lg(f) + 20 \lg(H_3 - h_1) + L_{cri}, \quad (2.22)$$

де

$$\begin{aligned} L_{cri} &= -10 + 0,354\varphi, \text{ дБ} && \text{при } 0^\circ < \varphi < 35^\circ; \\ L_{cri} &= 2,5 + 0,075(\varphi - 35), \text{ дБ} && \text{при } 35^\circ < \varphi < 55^\circ; \\ L_{cri} &= 4,0 - 0,114(\varphi - 55), \text{ дБ} && \text{при } 55^\circ < \varphi < 90^\circ. \end{aligned} \quad (2.23)$$

Втрати при дифракції на будівлях (ребрах екранів) обчислюється наступним чином:

$$L_{msd} = l_1 + l_2 + l_3 \lg(r) + l_4 \lg(f) - 9 \lg(b), \text{ дБ}, \quad (2.24)$$

де

$$\begin{aligned} l_1 &= \begin{cases} -18 \lg(1 + h_1 - H_3), \text{ дБ} \\ 0 \text{ дБ} \end{cases} && \begin{aligned} &\text{при } h_1 > H_3, \\ &\text{при } h_1 < H_3; \end{aligned} \\ l_2 &= \begin{cases} 54, \text{ дБ} \\ 54 - 0,8(H_3 - h_1), \text{ дБ} \\ 54 - 1,6r(H_3 - h_1), \text{ дБ} \end{cases} && \begin{aligned} &\text{при } h_1 > H_3, \\ &\text{при } h_1 \leq H_3 \text{ і } r \\ &\geq 0,5 \text{ км}, \\ &\text{при } h_1 \leq H_3 \text{ і } r < \\ &0,5 \text{ км}; \end{aligned} \\ l_3 &= \begin{cases} 18, \text{ дБ} \\ 18 - 15(h_1 - H_3), \text{ дБ} \end{cases} && \begin{aligned} &\text{при } h_1 > H_3, \\ &\text{при } h_1 \leq H_3; \end{aligned} \\ l_4 &= \begin{cases} -4 + 0,7(f/925 - 1), \text{ дБ} \\ -1 + 1,5(f/925 - 1), \text{ дБ} \end{cases} && \begin{aligned} &\text{для передмістя,} \\ &\text{для великого міста.} \end{aligned} \end{aligned} \quad (2.25)$$

Обмеження використання даної моделі для розрахунку втрат у мікrostільникових системах зв'язку полягає в тому, що ця модель дає помилку при розташуванні антени базової станції (БС) нижче рівня дахів навколишніх будівель.

Крім того, модель не враховує дифракцію радіохвиль на бічних ребрах будівель, так як не приймається до уваги розрахунків дифракційних та віддзеркалених складових поля.

До того ж, на малих відстанях від передавальної антени спостерігаються відмінності в поведінці сигналів різної поляризації, що обумовлено складною структурою ближнього поля.

І на завершення можна сказати, що модель призначена для розрахунку втрат на трасі з великою кількістю екрануючих перешкод. При цьому кількість перешкод не враховується (L_{msd}). В процесі розрахунку передбачалося, що на шляху поширення є достатня кількість будівель. Подальше їх збільшення не приводило до істотного збільшення дифракційних втрат.

Найбільшим недоліком даної моделі є те, що в ній не враховується різновисотність забудови, а враховується тільки середня висота будівель.

2.11 Модель Hata/Davidson /Epstein – Peterson Diffraction

Це спеціалізована модель, яка заснована на моделі Hata. У даній моделі для розширення частотного діапазону, діапазону відстаней та діапазону висот базової станції Davidson (Motorola) використовував графічні методи для екстраполяції кривих до частот від 30 до 1500 МГц, діапазону відстаней до 300 км і антен базової станції від 30 до 1000 м.

Після визначення втрат на трасі по моделі Hata, використовуються наступні рівняння, для коригування втрат на трасі:

– якщо $r > 20$ км ,

$$\text{то } L_{H-D} = L_{Hata} + 10,5 + 0,15 \lg (400 h_{bs,eff})(r - 20), \text{ (дБ);} \quad (2.26)$$

– якщо $r > 64,36$ км,

$$\text{то } L_{H-D} = L_{Hata} - 0,28(r - 64,36), \text{ (дБ);} \quad (2.27)$$

– якщо $r > 300$ км,

$$\text{то } L_{H-D} = L_{Hata} - 4,7 |\lg (6,2/r)| ((h_{bs,eff} - 300)/600) \text{ (дБ).} \quad (2.28)$$

Після того, як ці виправлення зроблені, виконуються наступні заключні коригування

$$L_{H-D} = L_{Hata} - (f/250) \lg (1500/f). \quad (2.29)$$

Якщо $r > 40,2$ км,

$$\text{то } L_{H-D} = L_{Hata} - 0,18 \lg (1500/f)(r - 40,2), \text{ (дБ)} \quad (2.30)$$

де L_{Hata} – втрати, що розраховуються згідно моделі Hata;

L_{H-D} – втрати на трасі з розширенням Davidson до методу Hata;

$h_{bs,eff}$ – висота базової станції в м.

2.12 Модель Free space + RMD

Модель Epstein–Peterson Diffraction дозволяє виконувати розрахунок втрат на трасі з урахуванням множинних втрат внаслідок дифракції на перешкодах.

У даній моделі при обчисленні втрат на трасі можна врахувати природні перешкоди на місцевості, забудову та дерева. Ця модель найбільш підходить для аналізу проходження радіохвиль в мікрохвильовому діапазоні для систем типу MMDS, де використовуються стандартні приймальні станції зі спрямованими антенами. MMDS (Multichannel Multipoint Distribution System) – це розподільчі системи ефірного мовлення від 2,0 до 3,0 ГГц для багатоканальної передачі відео та цифрової інформації через центральну передавальну станцію до абонентських приймальних пристроїв в межах прямої видимості.

2.13 Оцінка внеску відбиття при визначенні загасання на трасі

Коефіцієнт відбиття визначається в цій моделі для випадку, коли приймач і передавач перебувають на лінії прямої видимості. Авторами моделі розроблено програму для знаходження точки відбиття на трасі, в якій кут падіння дорівнює куту відбиття (рисунк 2.10). Зазвичай таких точок немає на трасі, тому програма допускає деяку кутову похибку. Якщо точки відбиття на трасі немає, то не існує вкладу відбитого променя в потужність на вході приймача.

Якщо точку відбиття знайдено, то обчислюється коефіцієнт відбиття для горизонтальної $\dot{R}_r$ та вертикальної $\dot{R}_v$ поляризації за формулами (2.31, 2.32).

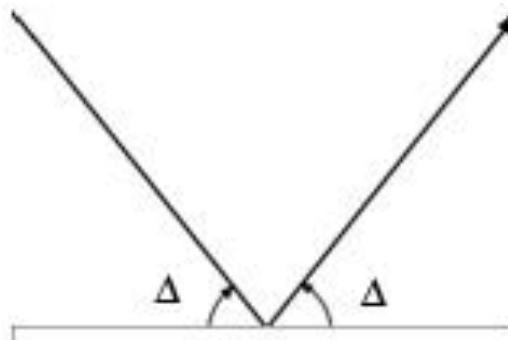


Рисунок 2.10 – До знаходження точки відбиття на трасі від передавача до приймача згідно першому закону Снеліуса

$$\dot{R}_\Gamma = \frac{\sin \Delta - \sqrt{\dot{\epsilon}_{r3M} - \cos^2 \Delta}}{\sin \Delta + \sqrt{\dot{\epsilon}_{r3M} - \cos^2 \Delta}}, \quad (2.31)$$

$$\dot{R}_B = \frac{\dot{\epsilon}_{r3M} \sin \Delta - \sqrt{\dot{\epsilon}_{r3M} - \cos^2 \Delta}}{\dot{\epsilon}_{r3M} \sin \Delta + \sqrt{\dot{\epsilon}_{r3M} - \cos^2 \Delta}}, \quad (2.32)$$

де $\dot{\epsilon}_{r3M} = \epsilon_{r3M} - j60\lambda\sigma_{3M}$ комплексна діелектрична проникність землі;

Комплексні коефіцієнти $\dot{R}_\Gamma$ і $\dot{R}_B$ розраховуються для гладкої поверхні. Вони обчислюються для знаходження амплітуди і фази відбитого променя, який потім складається векторно з прямим променем для визначення напруженості електричного поля E в точці прийому

$$E_m = E_{m0} \cdot |\dot{V}|, \quad (2.33)$$

де

$$|\dot{V}| = \sqrt{1 + |\dot{R}_{B,\Gamma}|^2 + |\dot{R}_{B,\Gamma}| \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta r + \Phi_{R_{B,\Gamma}}\right)} \quad (2.34)$$

– інтерференційний множник послаблення.

2.14 Визначення втрат через дифракцію на трасі (принцип Епштейна - Петерсона)

Дифракційні втрати обчислюються з урахуванням окремо розташованих перешкод на шляху, які можуть бути змодельовані як ізольовані округлені перешкоди. Втрати від кожної ізольованої перешкоди об'єднуються, використовуючи принцип Епштейна – Петерсона .

Загальні дифракційні втрати $A(\nu, \rho)$ в дБ – це сума трьох складових

$$A(v, \rho) = A(v, 0) + A(0, \rho) + U(v, \rho). \quad (2.35)$$

Рівняння для обчислення складових:

$$\begin{aligned} A(v, \rho) &= A(v, 0) + A(0, \rho) + U(v, \rho); \\ A(v, \rho) &= 6,02 + 9v + 1,65v^2, \text{ для } -0,8 \leq v \leq 0; \\ A(v, \rho) &= 6,2 + 9,11v + 1,27v^2, \text{ для } -0 \leq v \leq 2,4; \\ A(v, \rho) &= 12,597 + 20 \lg v, \text{ для } v > 2,4; \\ A(v, \rho) &= 6,02 + 5,55\rho + 3,418\rho^2 + 0,256\rho^3; \\ U(v, \rho) &= 11645v\rho + 2,19(v\rho)^2 - 0,206(v\rho)^3 \text{ для } v\rho \leq 3; \\ U(v, \rho) &= 13,47v\rho + 1,058(v\rho)^2 - 0,048(v\rho)^3 - 6,02 \text{ для } 3 < v\rho \leq 5; \\ U(v, \rho) &= 20v\rho - 18,2 \text{ для } v\rho > 5, \end{aligned} \quad (2.36)$$

де ρ – коефіцієнт кривизни перешкоди;

v – кут нахилу траси радіозв'язку до перешкоди.

Траєкторію променя від попередньої перешкоди до наступної показано на рис. 2.11. Коефіцієнт ρ визначається за формулою:

$$\rho = 0,676R^{0,333}f^{-0,1667}\sqrt{\frac{r}{r_1r_2}}, \quad (2.37)$$

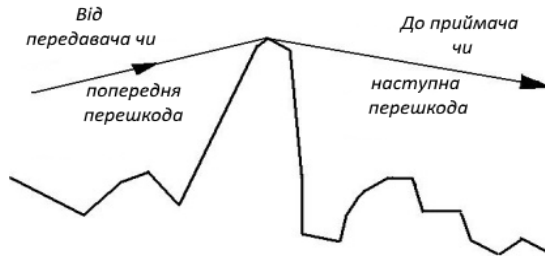


Рисунок 2.11 – До поняття траєкторії поширення променя від перешкоди попередньої до наступної

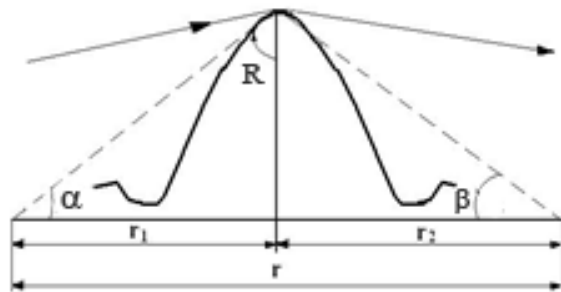


Рисунок 2.12 – Визначення параметрів v і ρ для загальних дифракційних втрат $A(v, \rho)$

де R – радіус округлення перешкоди в км,

f – частота в МГц,

r – довжина шляху від передавача (або попередньої перешкоди) до приймача (або наступної перешкоди),

r_1 – відстань від передавача (або попередньої перешкоди) до поточної перешкоди,

r_2 – це відстань від поточної перешкоди до приймача (або наступної перешкоди) – див. рис. 2.12.

Коли радіус R дорівнює нулю, перешкода – це різуча кромка і $A(v, \rho) = A(v, 0)$, на рис. 2.12 цей випадок позначено пунктирною лінією «- -» - дифракція на різучій кромці).

Параметр v (кут нахилу траси радіозв'язку до перешкоди) визначається за формулою:

$$v = \sqrt{\frac{2r \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \cdot \operatorname{tg}(\beta)}{\lambda}}, \quad (2.38)$$

де α – кут місця від передавача (або попередньої перешкоди) до приймача або до наступної перешкоди (рисунок 2.12);

β – кут місця від приймача або наступної перешкоди до передавача.

2.15 Втрати завдяки перешкодам на місцевості

При певному типі перешкод додається відповідний коефіцієнт послаблення при обчисленні напруженості поля та рівня прийнятої потужності. При обчисленні втрат цей коефіцієнт враховує послаблення сигналу через будови та лісонасадження навколо місця прийому.

Типи перешкод:

- якщо тип перешкоди «None» (перешкода відсутня, або «немає перешкоди»), то ніякі додаткові втрати через будови або лісонасадження не вносяться;

- якщо перешкода типу «Urban» (центр міста), то додаткове загасання розраховується за формулою

$$L_{\text{місто}} = 16.5 + 15 \lg\left(\frac{f}{100}\right) - 0.12r \text{ дБ}, \quad (2.39)$$

де f – частота в МГц, r – в км.

- якщо перешкода – передмістя (Suburban), то додаткове загасання зменшиться на 12 дБ

$$L_{\text{передміст.}} = 16.5 + 15 \cdot 0.12 \cdot r \cdot \lg\left(\frac{f}{100}\right) - 12.0, \text{ (дБ)}; \quad (2.40)$$

- якщо перешкода – щільний листовий покрив (Dense foliage), то додаткове загасання обчислюється за формулою

$$L_{\text{dense foliage}} = 65 \cdot [0,244 \cdot \lg(f) - 0,422], (\text{дБ}). \quad (2.41)$$

Ця формула була отримана для найбільш широкої систематизації даних, що було запозичено з різних опублікованих статей по темі ослаблення сигналу внаслідок існування на трасі поширення дерев, лісу або чагарників. Якщо перешкода – рідкий листовий покрив (*Sparse foliage*), то втрати зменшуватися на 6 дБ щодо щільного покриву.

$$L_{\text{sparse foliage}} = 65 \cdot [0,244 \cdot \lg(f) - 0,422] - 6, (\text{дБ}). \quad (2.42)$$

Ці втрати вираховуються приблизно, тому що результати отримуються статистичним методом і не гарантують точних цифр. Для моделей поширення сигналу, які базуються на методі Окамури – Хата («місто» і «передмістя») коефіцієнти обчислюються за оригінальною методикою Хата. При цьому коригувальні коефіцієнти, які наведено вище, не застосовуються.

2.16 Висновки та постановка задачі

Проведено аналіз існуючі моделі 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 Південний міста Запоріжжя який є шаром однорідної міської забудови.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ РАДІОХВИЛЬ В МІСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕМПІРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

3.1 Моделювання загасання радіосигналу від відстані для мікрорайону Південний Запоріжжя

Сучасні міста з точки зору поширення радіохвиль являють собою складну структуру, що її опис немислимо без спрощення, які визначаються для конкретного завдання.

Розглянемо ослаблення сигналу за допомогою емпіричних моделей Окамура – Хата, COST 231 – Хата для міста Запоріжжя, мікрорайону Південний. Вихідні дані:

Однотипний за характером забудови міської район без великих площ і парків, в якому на 1 км² в середньому припадає 60 будівель. Середня довжина будівель 130 - 180 м, ширина 15 - 20 м. Число 10 і 12 поверхових будівель практично однаково в порівнянні з малоповерховими будівлями. Система зв'язку – система стільникового зв'язку стандарту GSM900, GSM1800. Тип антени – панельна. Діаграма спрямованості антени - секторальна. Поляризація – вертикальна. Висота установки 40 - 70 м.

Для розглянутих частот 900 МГц і 1800 МГц втрати в районі з міською забудовою будуть визначатися моделлю Окамура-Хата і моделлю COST231 - Хата відповідно.

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

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

де f – несуча частота, МГц;

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

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

d – відстань між BTS і АС, км.

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

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

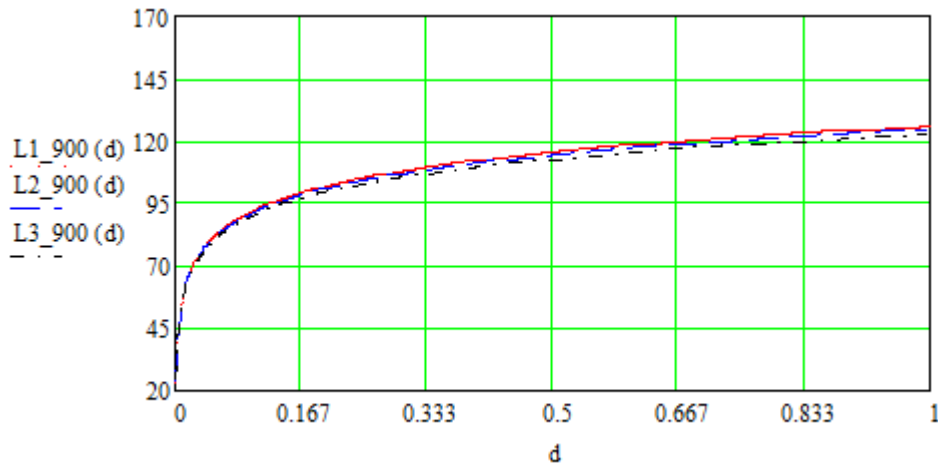


Рисунок 3.1 – Загасання на частоті 900 МГц при відстані між BTS і АС

1 км L1 - $h_t = 40$ м, L2 - $h_t = 50$ м, L3 - $h_t = 70$ 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 – висоти антен АС і BTS, м;

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

d – відстань між BTS і АС, км;

$C = 0$ дБ для малих і середніх міст.

Поправочний коефіцієнт $a(h_r)$ для даного району буде визначатися по тій же 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 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).

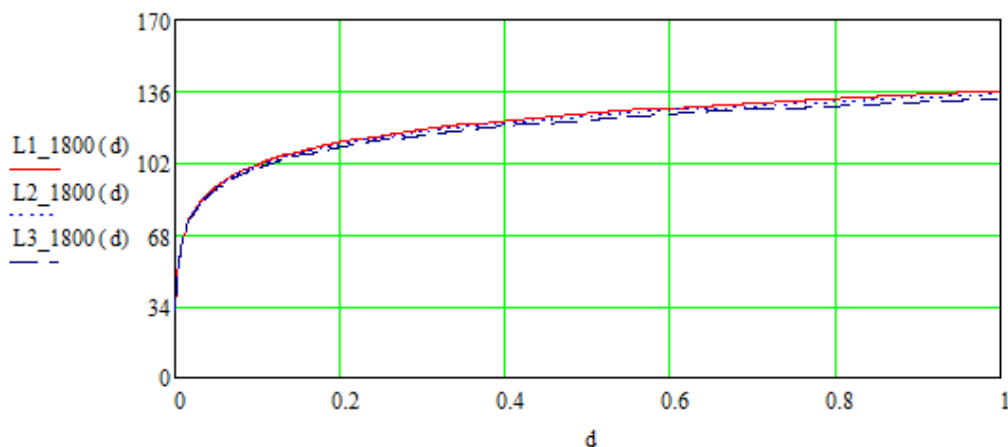


Рисунок 3.2 – Загасання на частоті 1800 МГц при відстані між BTS і АС 1 км L1 – $h_t = 40$ м, L2 – $h_t = 50$ м, L3 – $h_t = 70$ м

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 BTS - 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. Загальноприйнято для систем з цифровими сигналами замінювати поняття «розбірливість мови» на «достовірність прийому». «Методика» і «Рекомендація» не визначають ці поняття.

Всі розрахунки за «Методикою» і «Рекомендації» 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.

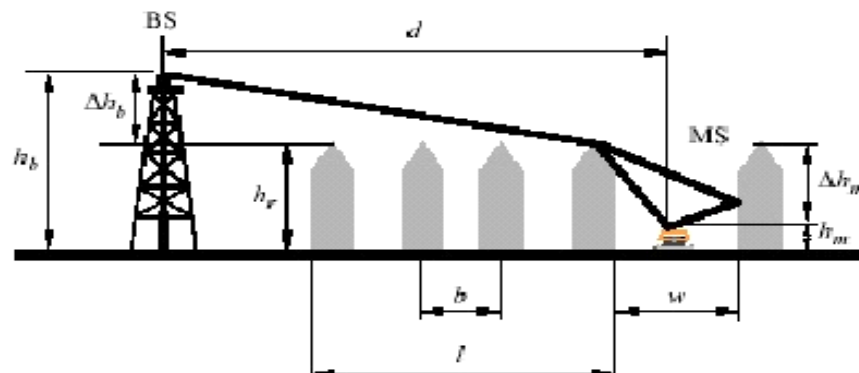


Рисунок 3.3 – Типовий випадок поширення сигналу в міських умовах і визначення параметрів, використовуваних в моделі Уолфіш –Ікегамі

При відсутності прямої видимості основне загасання передачі L_b складається з загасання вільного простору, L_0 з загасання багатоекранної дифракції L_{msd} , і загасання дифракції та відображення 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 (GSM900, GSM1800). Отримаємо наступні вирази:

Для $f = 900 \text{ МГц}$

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

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.

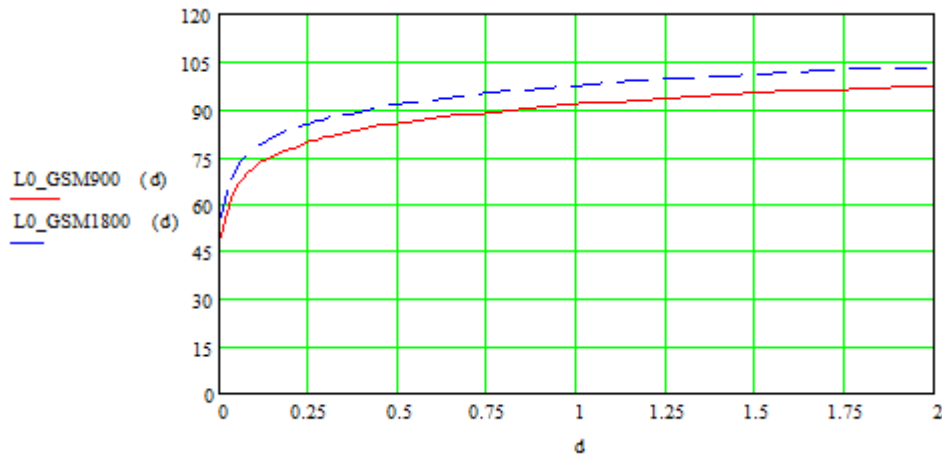


Рисунок 3.4 – Залежність загасання в атмосфері від відстані

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 багатоекранності, створеної 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, грунтуючись на моделі Уолфіш - Ікегамі за формулою 3.5

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

Параметр L_{Ori} у формулі (3.5) характеризує внесене згасання, 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 вугіллі 90° антени направлена перпендикулярно вулиці.) Відповідно до Уолфіш - Ікегамі L_{Ori} , розраховується за формулою 3.6.

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

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 вище сказане, вираз (3.5) приймає вид:

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

Підставивши в формулу (3.5) частоти GSM900, GSM1800, 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 значну загасання радіосигналу. Розрахуємо загасання багатоекранної дифракції за формулою (3.7)

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

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

де 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 GSM900 і GSM1800, а також значення коефіцієнтів k_a , k_d , k_f і 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 і. 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.

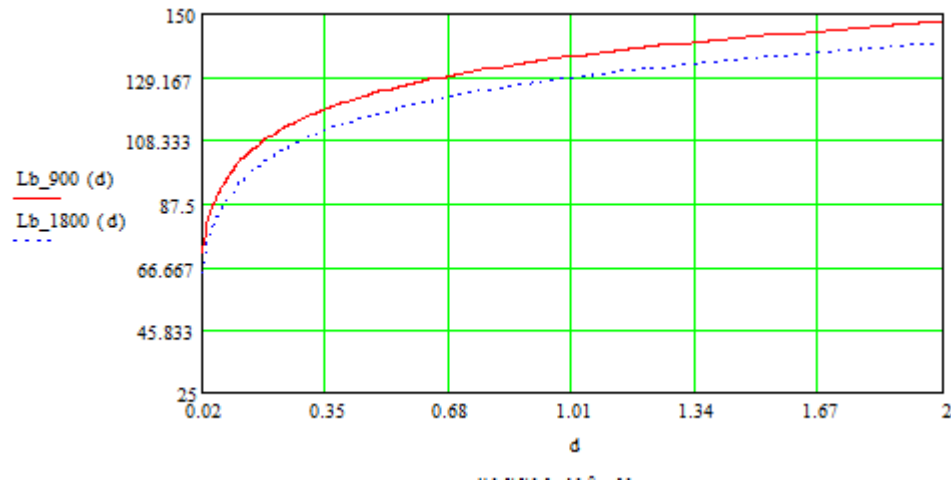


Рисунок 3.5 – Залежність загасання в атмосфері від відстані

Мінімальний і максимальний рівень сигналу на вході приймача базової станції

$$P_{вхпр.мин} = ЭИИМ_{BC} + G_{ант AC} - L_{b макс}, \quad (3.8)$$

$$P_{вхпр.макс} = ЭИИМ_{BC} + G_{ант AC} - L_{b мин}, \quad (3.9)$$

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:

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

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

$$ЭИИМ_{BC} = 40дБм.$$

$G_{ант AC} = 0$ дБ (антену абонентської станції можна наближено вважати всенаправленной).

З урахуванням наведених формул:

$$P_{вхпр.мин} = 36 - L_{б.макс.}$$

$$P_{вхпр.макс} = 50 - L_{б.мин.}$$

Вирази (3.8) і (3.9) показують рівень сигналу в точці прийому з урахуванням загасання сигналу в атмосфері, загасання через многоекранності і дифракції. В таблицях 3.1 та 3.2 наведені результати розрахунку для діапазонів GSM 900 і GSM1800 відповідно.

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку для діапазону GSM 900

№	d, км	L_b , дБм	$P_{вх пр мин}$, дБм	$P_{вх пр макс}$, 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_b , 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 розташованого в мікрорайоні Південний Запоріжжя

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 Xiaomi Redmi Note 4, проведемо експериментальне дослідження рівня сигналу в мікрорайоні Південний місто Запоріжжя, точки проведення дослідження показані на рисунку 3.6.

Короткі характеристики стільникового телефону наведені таблиці 3.3.

Таблица 3.3 – Характеристики Xiaomi Redmi Note 4

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

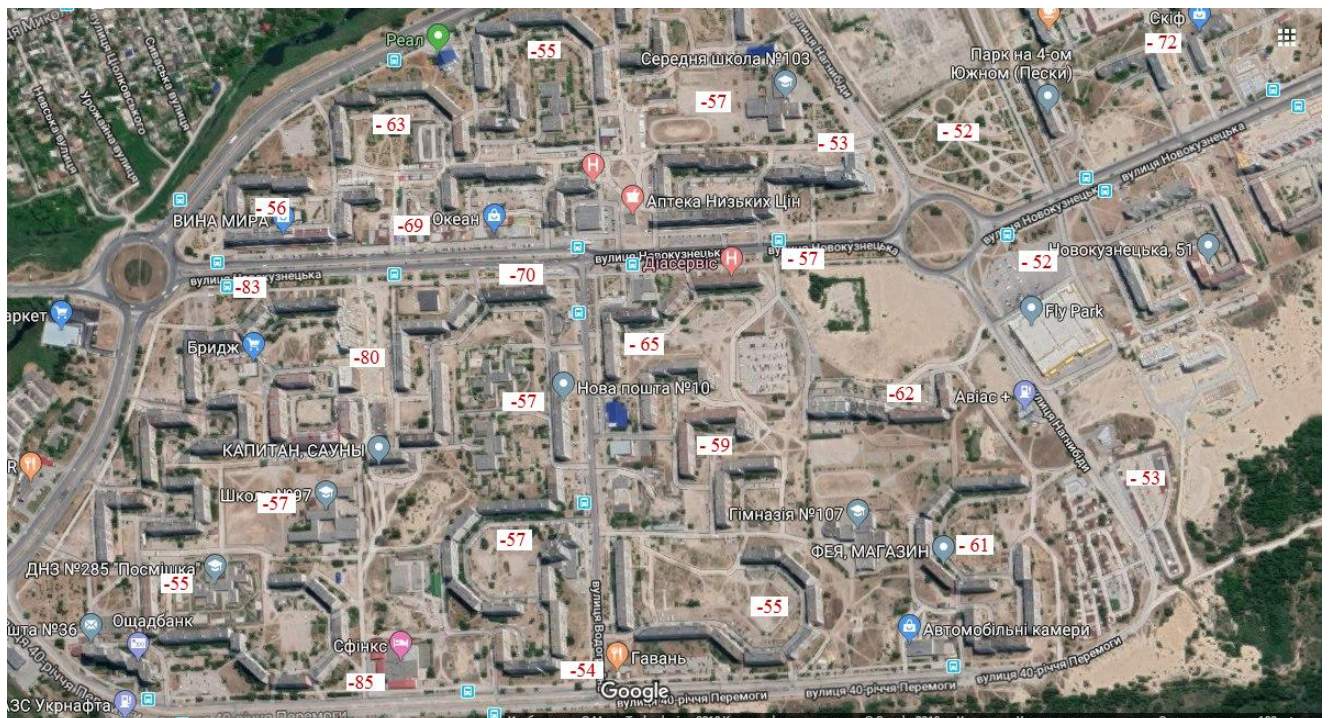


Рисунок 3.6 – Точки проведення дослідження

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

Таблиця 3.4 – Рівень сигналу телефону

Експеримент	№ виміру/[ДБм]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Середнє	d, м
1	-79	-83	-81	-85	-83	-79	-85	-83	-83	-85	-83	34
2	-61	-57	-51	-57	-53	-53	-61	-53	-53	-61	-56	160
3	-59	-63	-71	-59	-63	-59	-63	-65	-59	-65	-63	320
4	-51	-57	-61	-55	-55	-53	-59	-53	-53	-59	-55	520
5	-51	-51	-59	-57	-51	-51	-59	-65	-73	-57	-57	510
6	-51	-55	-51	-57	-51	-51	-51	-57	-55	-51	-53	560
7	-51	-55	-51	-51	-53	-51	-51	-51	-55	-51	-52	710
8	-73	-73	-69	-73	-73	-69	-69	-73	-73	-73	-72	600
9	-51	-53	-51	-53	-53	-53	-51	-53	-51	-51	-52	540
10	-53	-51	-57	-51	-53	-51	-57	-53	-55	-51	-53	510
11	-53	-59	-59	-69	-63	-63	-69	-57	-63	-57	-61	260
12	-65	-59	-65	-65	-59	-59	-67	-61	-59	-57	-62	120
13	-57	-63	-55	-51	-55	-55	-61	-63	-57	-55	-57	120
14	-67	-69	-67	-59	-61	-69	-61	-67	-59	-67	-65	300
15	-57	-59	-67	-57	-57	-57	-51	-57	-67	-59	-59	330
16	-51	-55	-53	-51	-51	-53	-51	-57	-67	-59	-55	150
17	-57	-51	-57	-59	-51	-53	-55	-57	-53	-53	-54	450
18	-57	-57	-69	-53	-53	-63	-51	-57	-57	-53	-57	370
19	-57	-63	-53	-61	-53	-59	-51	-57	-61	-53	-57	290
20	-75	-83	-81	-73	-59	-67	-73	-61	-59	-67	-70	450
21	-75	-61	-71	-79	-63	-73	-63	-69	-73	-69	-69	170
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) невелике відхилення від розрахункових результатів.

Найбільше невідповідність спостережуваних результатів і розрахункових даних в точках №1, №22, №25, що по видимому пов'язано з тим що в цих точках відбувається екранування сигналу високоповерхових будівлею, 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	45	40	Інженер-дослідник	40

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
4. Підготовка необхідних матеріалів та запуск установки	10	10	Інженер-дослідник, консультант	5
5. Обробка отриманих результатів	20	20	Інженер-дослідник	33
6. Висновки по виконаній роботі	10	10	Інженер-дослідник	5
Разом	105	100		98

За даними таблиці 4.1 складається підсумковий стрічковий графік. Даний графік приведений в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Зведений стрічковий графік планування науково-дослідницької роботи

Назва роботи	01.07-05.07	08.07-12.07	15.07-19.07	22.07-27.07	29.07-03.08	05.08-10.08	12.08-17.08	19.08-24.08	26.08-31.08	02.09-07.09	09.09-14.09	16.09-20.09	23.09-27.09	30.09-04.10	07.10-11.10	14.10-18.10	21.10-25.10	28.10-01.11
Аналіз предметної області																		
Підбір необхідної літератури																		
Підготовка установки для роботи																		
Підготовка необхідних матеріалів та запуск установки																		
Обробка отриманих результатів																		
Висновки по виконаній роботі																		



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;
- загальновиробничі 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 4.3 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	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):

$$ЗП_{доп.} = ЗП_{осн.} \cdot 0.1 \quad (3.2)$$

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 4.3.

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

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

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 4.4.

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

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

$$C_{io} = 0; N_{io} = 0, K_{m.з.} = 0.05$$

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

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 4.5:

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

де Φ_{ϕ} – балансова вартість установки, грн.;

H_a – норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення установки, 25 %.

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 4.6.

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

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.

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

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

K_{vid} – 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.

Місячна заробітна плата обслуговуючого персоналу становить 4000 грн., а річний фонд заробітної плати відповідно дорівнює 48000. Річний ефективний фонд робочого часу обслуговування ПК робітника дорівнює 1750 г/рік. На обслуговування одного ПК витрачається по 1 годині у місяць, що в рік становить 12 годин.

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 320.60 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	320.60
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:

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

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 загальновиробничі 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 4.5.

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
Загальновиробничі 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 КНДР – 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 $K_{\text{НДР}} \geq 1$ дослідницька робота вважається ефективною.

Отже, розрахуємо КНДР:

$$K_{\text{НДР}} = (2 \cdot 1,5 \cdot 3) / (79,980 \cdot 0,144) = 1,08$$

Після розрахунку (4.6) отримаємо рівень ефективності дослідження $K_{\text{НДР}} = 1,08$. 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 "Складова побутова спіральна антена цифрового телебачення" 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, невірної обладнання та оснащення робочих місць;

д) незадовільні параметри мікроклімату (знижена або підвищена вологість повітря, висока або низька температура повітря і т.і.), 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 загальні вимоги безпеки.

Елементи для здійснення захисного заземлення металевих неструмоведучих частин виробу, які можуть опинитися під напругою (при

порушенні ізоляції, режиму роботи вироби і т.п.) повинні бути виконані відповідно до загальних вимог 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 здійснюваної 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 відрізнятись 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 приміщення.

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:

$$t_{yx} = t_{рм} + (H - 2)t,$$

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

$t_{рм} = 25$ 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, $n = 15$.

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

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 ізольовані від дерев'яних меблів. Розетки на зовнішніх стінах будівлі і в санвузлах повинні бути ізольовані 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.

Сповіднення 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 знаходитися 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 отруйної сильнодіючої речовини – аміаку. Хмара зараженого повітря поширюється в напрямку селища Зарічний. Населенню вулиць Нова, Зелена, Садова знаходитися 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 сховайтесь 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.

ВИСНОВОК

В результаті виконання магістерської роботи 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. Як правило, 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 COST231–Хата, Хата, Уолфіш – Ікегамі які дозволяють отримувати характерне ослаблення сигналу на радіолінії.

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

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) є невелике відхилення від розрахункових результатів

Найбільшою є невідповідність спостережуваних результатів і розрахункових даних в точках №1, №22, №25, що скоріше за все, пов'язано з тим, що в цих точках відбувається екранування сигналу високоповерховою будівлею, що не враховує розглянута модель.

У додатку представлений детальний розрахунок ослаблення УКВ в умовах міської забудови, для моделей Хата, COST231 – 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. – М.: Радио и связь, 2002. – 440 с.
2. Ратинський М.В. Основи мережі [Текст] / М.В. Ратинський. – М.: Радио и связь, 1998. – 248 с.
3. Лі У.К. Техніка рухомого зв'язку [Текст] / У.К. Лі. – М.: Радио и связь, 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. – М.: Горяча лінія-Телеком, 2003. – 272 с.
5. Пономарьов Г.А. Поширення УКВ в місті [Текст] / Г.А. Пономарьов, А.Н. Куликов, Е.Д. Тельпуховский. – Томськ: «РАСКО», 1991. – 223 с.
6. COST – 231 – FinalReport. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://www.lx.it.pt/cost231>.
7. Введенський Б.А. Поширення ультракоротких радіохвиль [Текст] / Б.А. Введенський. – 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. Тр. – Ярославль: ЯрГТУ, 2006. – Вип. 1. – С. 157-165.
9. Столлінгс В.В. Бездротові лінії зв'язку і мережі; пер. з англ. [Текст] / В.В. Столлінгс. – М.: 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». – Воронеж, 2007. – Т.1. – С. 611-616.

11. Поширення земних радіохвиль та мобільний зв'язок [Текст] / Л.М. Логачова, Т.І. Бугрова / Навчальний посібник. – Запоріжжя: ЗНТУ, ISBN 978-617-529-208-2.–2019. – 236 с.
12. Черенкова, Е.Л. Распространение радиоволн / Е.Л. Черенкова, О.М. Чернышев. – М.: Радио и связь, 1984. – 272 с.
13. Дымов, А.В. Результаты моделирования распространения радиоволн в городских условиях с учётом рельефа местности / А.В. Дымов, Р.Ю. Козлов // Актуальные проблемы физики: Сборник научных трудов молодых ученых, аспирантов и студентов. – Ярославль, 2003. – Вып. 4.
14. Варакин, Л.Е. Статистическая модель многолучевого распространения УКВ в городе / Л.Е. Варакин // Радиотехника. – 1989. – №12. – С. 56-61.
15. Рекомендации ITU - R P. 370.
16. Долуханов, М.П. Распространение радиоволн. Учебник для вузов. / М.П. Долуханов М., «Связь», 1972.
17. Шиллер, Й. Мобильные коммуникации: пер с англ. / Й. Шиллер М.: Издательский дом «Вильяме», 2002. – 384 с.
18. Борисов, Б.Б. Особенности распространения миллиметровых волн в городе / Б.Б. Борисов, А.В. Соколов, В.В. Тарасов // XV Всесоюзн. конф. По распространению радиоволн: Тезисы докл. – М.: Наука, 1987.
19. Гуреев, А.В. Волноводная модель каналов в плотной городской застройке // Изв. вузов, Электроника. 2003 г. № 3, С. 50-53.
20. Рекомендации МСЭ - Р F/ 699 - 5
21. Ларин, Е.А. Расчет дифракционного ослабления радиоволн на приземных трассах над пересеченной местностью // Электросвязь 1997. – №1
22. Дымов, А.В. Метод оперативного расчета ослабления дециметровых радиоволн в городской среде / А.В. Дымов, В.А. Тимофеев // Труды девятой международной научно-практической конференции «Проблемы техники и технологии телекоммуникаций». Казань, 2008. – Т.1. – С. 145-146.

23. Дымов, А.В. Исследование распространения радиоволн в городских условиях в зоне тени, создаваемой рельефом подстилающей поверхности / А.В. Дымов, Р.Ю. Козлов, В.А. Тимофеев // Труды XI международной научно-технической конференции "Радиолокация, навигация, связь". – Воронеж, 2005. – Т. 3. – С. 184-185.

24. Пономарев, Л.И. Моделирование радиотрасс мобильных систем связи / Л.И. Пономарев, Т.Л. Манкевич // Успехи современной радиоэлектроники. – 1999.-№8. – С. 45 - 58.

25. Ikegami, F. Theoretical prediction of meanfield strength on ueban mobile radio / F Ikegami, T. Takeuchi, S. Yoshida // IEEE Transactions on Antennas Propagation. – 1991. - V. 39. – № 3. – P. 299-302.

26. Hata, M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services / M. Hata // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 1980. – V.29, № 3. – P. 317-325.

27. Козлов, Р.Ю. Моделирование распространения радиоволн в городе с учетом рельефа местности / Р.Ю. Козлов, В.А. Тимофеев // Труды X международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация, связь». – Воронеж, 2004. – Т. 3. – С.1845 - 1850.

28. Распространение ультракоротких волн в городах / А.Н. Куликов, Ю.В. Лаврентьев, Г.А. Пономарев и др. // Итоги науки и техники, Радиотехника – 1991. – Т.42, – С. 196.

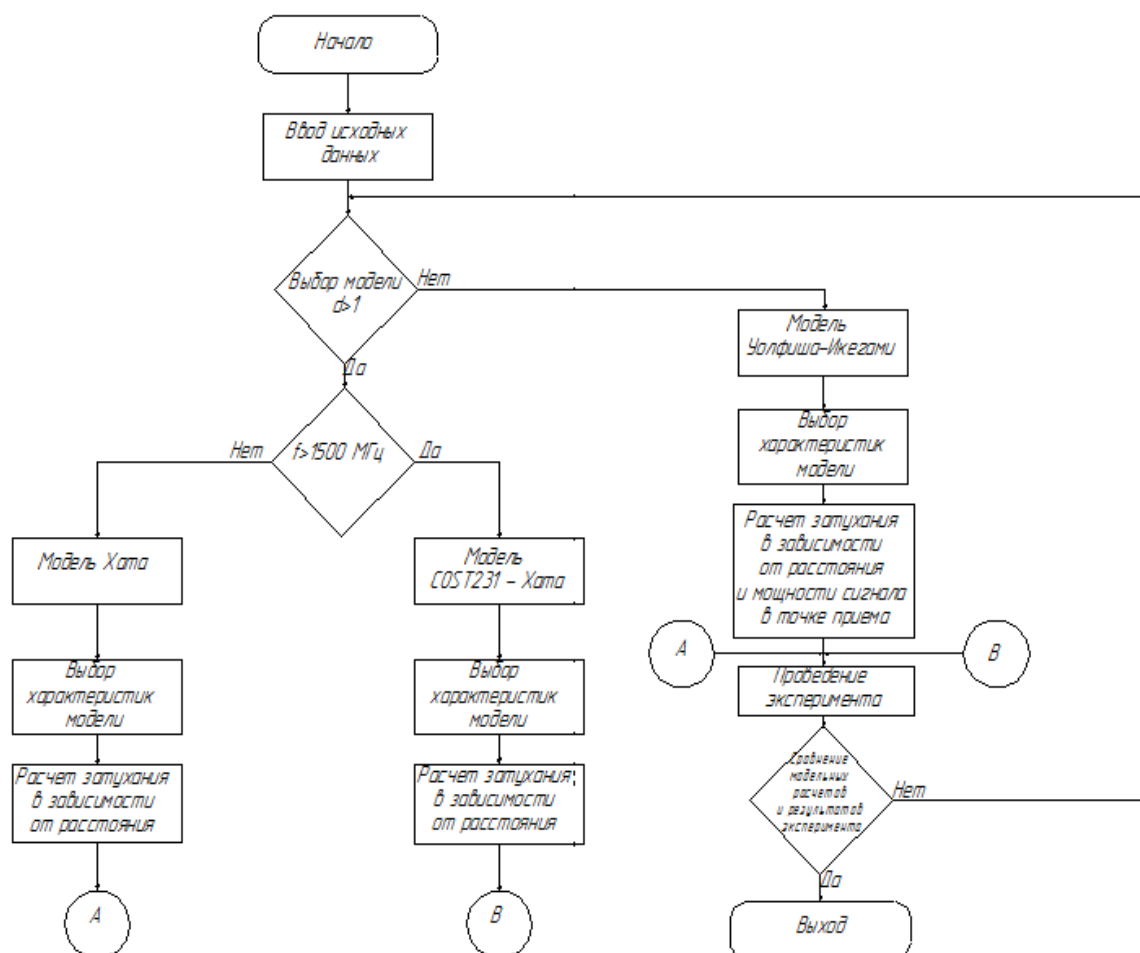
29. Электродинамика и распространение радиоволн / В.А. Неганов, О.В. Осипов, С.Б. Раевский, Г.П. Яровой. – М.: Радио и связь, 2005. – 648 с

30. Яковлев, О.И. Распространение радиоволн / О.И. Яковлев, В.П. Якубов, В.П. Урядов, А.Г. Павелъев. – СПб. Ленанд, 2009. – 496 с.

31. Трифонов, П.Н. Пространственная напряженность поля УКВ в большом городе. / П.Н. Трифонов // Всесоюзная научная сессия, посвященная дню радио. Тез. Докл. 4.2. – М.: Радио и связь. 1982.

ДОДАТОК А

Блок – схема алгоритма



ДОДАТОК Б

Модель Хата

l̄iāāēü Hata

hr := 1 i hte := 40 i f := 900 l̄iÄö

Äëý ãiðäiãä

$a(hr) := (1.1 \cdot \log f) - 0.7 \cdot hr - (1.56 \log f) - 0.8$

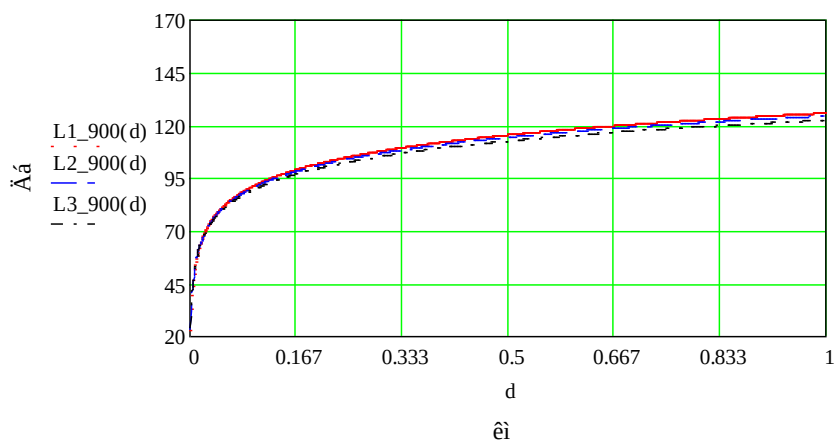
$L1_900(d) := 69.55 + 26.16 \cdot \log f - 13.82 \cdot \log(hte) - a(hr) + (44.9 - 6.55 \cdot \log(hte)) \cdot \log(d)$

hte := 50 i

$L2_900(d) := 69.55 + 26.16 \cdot \log f - 13.82 \cdot \log(hte) - a(hr) + (44.9 - 6.55 \cdot \log(hte)) \cdot \log(d)$

hte := 70 i

$L3_900(d) := 69.55 + 26.16 \cdot \log f - 13.82 \cdot \log(hte) - a(hr) + (44.9 - 6.55 \cdot \log(hte)) \cdot \log(d)$



d - iðè ðãññöiýièè l̄iäæáo iáúáëðàlè BS è iS 1 èi

ДОДАТОК Г

Модель Уолфіша – Ікегами

äÿ 1800 Ìö

äÿ 900 Ìö

hb := 50 Ì

hr := 30 Ì

Δhb := 20 Ì

Δhm := 28 Ì

w := 15 Ì

b := 15 Ì

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

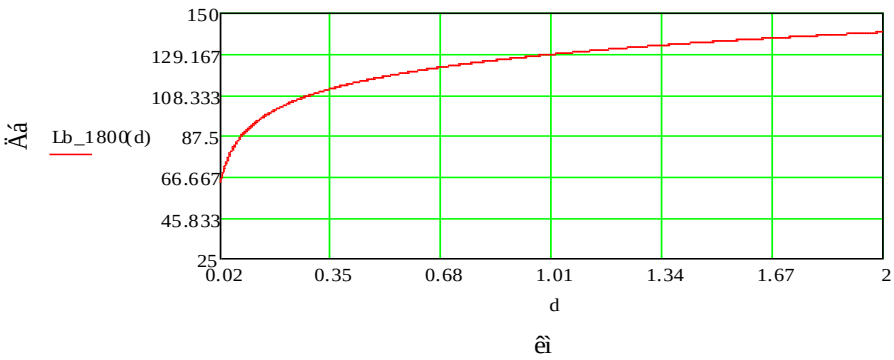
Lb_900:= 128.95+ 38log(d)

Lb_1800:= 136.84+ 38log(d)

Lb_900:= 128.95+ 38log(d)

Lb_1800:= 136.84+ 38log(d)

d	Lb_900(d)
0.02	45.833
0.35	87.5
0.68	108.333
1.01	129.167
1.34	136.84
1.67	144.51
2.0	150



$P_{vxmin_900} = 40 - (Lb_900 + 4)$
 $P_{vxmax_900} = 40 - (Lb_900 - 10)$

$P_{vxmin_1800} = 40 - ((Lb_1800 + 4))$
 $P_{vxmax_1800} = 40 - (Lb_1800 - 10)$

	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	...

