

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Сімонової Аліни Олександрівни

академічної групи 172м-17-1

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

спеціалізації \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Телекомунікації та радіотехніка

на тему Удосконалення моделей розповсюдження радіосигналів в умовах  
щільної міської забудови в системі мобільного зв'язку GSM

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	к.т.н., доцент Галушко О.М.			
розділів:				
спеціальний	к.т.н., доцент Галушко О.М.			
економічний	к.е.н., доцент Романюк Н.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ст.викладач Мешков В.І.			

Дніпро  
2018

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
безпеки інформації та телекомунікацій  
\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу ступеня магістра**

студенту Сімоновій Аліні Олександрівні академічної групи 172М-17-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка

спеціалізації<sup>1</sup> \_\_\_\_\_

за освітньо-професійною програмою Телекомунікації та радіотехніка

на тему Удосконалення моделей розповсюдження радіосигналів в умовах щільної міської забудови в системі мобільного зв'язку GSM

**1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ**

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 29 листопада 2018 № 2025-л  
**2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ**

Об'єкт досліджень мережі стільникового зв'язку стандарту GSM

Предмет досліджень параметри моделей розповсюдження радіохвиль

Мета удосконалення моделей розповсюдження радіосигналів в умовах щільної міської забудови шляхом аналізу результатів експериментальних вимірювань рівнів сигналу в точках прийому

Вихідні дані для проведення роботи Статистичні моделі розповсюдження радіохвиль в умовах щільної міської забудови вимірювань рівнів сигналу в точках прийому

**3 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ**

Наукова новизна полягає у визначенні коефіцієнтів моделей розповсюдження радіохвиль на підставі аналізу експериментальних вимірювань рівнів сигналу в точках прийому в районах з щільною міською забудовою

**Практична цінність** заключається в підвищенні точності розрахунку потужності радіосигналів в місті при відстані між абонентською і базовою станціями менше 1 км

#### **4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

Точність визначення потужності радіосигналу за отриманим уточненим виразом повинна бути достатньою для проведення інженерних розрахунків

#### **5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ**

<b>Найменування етапів робіт</b>	<b>Строки виконання робіт (початок-кінець)</b>
Стан питання. Постановка задачі	27.09.2018 – 6.10.2018
Спеціальна частина	7.10.2018 – 15.11.2018
Економічний розділ	16.11.2018 – 24.11.2018

#### **6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ**

**Економічний ефект** Очікується економія витрат на проведення досліджень за рахунок безкоштовних програм в порівнянні з застосуванням спеціальних засобів радіоконтролю

**Соціальний ефект** Підвищення якості мобільного зв'язку, що забезпечує ріст комунікабельності населення

#### **7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ**

Відповідність оформлення пояснювальної записки ДСТУ 3008-95. «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення»

**Завдання видано**

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

\_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

**Дата видачі:**

**Дата подання до екзаменаційної комісії:**

**Прийнято до виконання**

\_\_\_\_\_ (підпис студента)

\_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Пояснювальна записка:** 82 стр., 18 рис., 7 табл., 6 додатків, 20 джерел.

**Об'єкт досліджень:** мережі стільникового зв'язку стандарту GSM

**Предмет дослідження:** параметри моделей розповсюдження радіохвиль.

**Мета дипломної роботи:** удосконалення моделей розповсюдження радіосигналів в умовах щільної міської забудови шляхом аналізу результатів експериментальних вимірювань рівнів сигналу в точках прийому.

В першому розділі наведені загальні відомості про поширення радіохвиль в мережах стільникового зв'язку GSM, розглянуті основні статистичні моделі розповсюдження радіохвиль, наведені засоби радіоконтролю, а також варіанти програмного забезпечення під Андроїд, що дозволяє зробити моніторинг радіопокриття в стільникових мережах, сформульовані завдання магістерської роботи.

В спеціальній частині виконано вибір місцевостей для проведення експериментальних вимірювань – мікрорайони «12 квартал» та «Лівобережний 3». Виконані вимірювання потужності сигналу в точках прийому за допомогою додатку Net Monitor у смартфоні, завдяки яким отримано математичні вирази залежностей потужності сигналу в АС від відстані між АС і БС. Визначені та рекомендовані коефіцієнти для удосконалення моделей COST231-Хата та COST231-Уолфиш-Ікегамі при їх використанні для відстаней між АС та БС менш 1 км.

В економічному розділі були розраховані капітальні витрати на придбання обладнання, яке необхідно для проведення експериментальних досліджень, заробітну плату розробника, на основі чого було виконано порівняння з аналогом витрат на дослідження, економія в порівнянні з аналогом складає 69844,3 грн.

**Наукова новизна** полягає у визначенні коефіцієнтів моделей розповсюдження радіохвиль на підставі аналізу експериментальних вимірювань рівнів сигналу в точках прийому в міських районах щільної забудови.

СТІЛЬНИКОВИЙ ЗВ'ЯЗОК, СТАНДАРТ GSM, МОДЕЛІ, РОЗПОВСЮДЖЕННЯ РАДІОХВИЛЬ, РІВЕНЬ СИГНАЛУ, РЕГРЕСІЯ, ПАРАМЕТРИ.

## РЕФЕРАТ

**Пояснительная записка:** 82 стр., 18 рис., 7 табл., 6 прилож., 20 источников.

**Объект исследований:** сети сотовой связи стандарта GSM

**Предмет исследования:** параметры моделей распространения радиоволн.

**Цель дипломной работы:** определение параметров существующих моделей распространения радиоволн в условиях плотной городской застройки путем анализа результатов экспериментальных измерений уровней сигнала.

В первом разделе приведены общие сведения о распространении радиоволн в сетях сотовой связи GSM, рассмотрены основные статистические модели распространения радиоволн, приведенные средства радиоконтроля, а также варианты программного обеспечения под Андроид, что позволяет производить мониторинг радиопокрытия в сотовых сетях, сформулированы задачи магистерской работы.

В специальной части выполнен выбор местностей для проведения экспериментальных измерений - микрорайоны «12 квартал» и «Левобережный 3». Выполнены измерения мощности сигнала в точках приема с помощью приложения Net Monitor в смартфоне, благодаря которым получены математические выражения зависимостей мощности сигнала в АС от расстояния между АС и БС. Определены и рекомендованы коэффициенты для усовершенствования моделей COST231-Хата и COST231-Уолфиш-Икегами при их использовании для расстояний между АС и БС менее 1 км.

В экономическом разделе были рассчитаны капитальные затраты на приобретение оборудования, которое необходимо для проведения экспериментальных исследований, заработную плату разработчика, на основе чего было выполнено сравнение с аналогом затрат на исследования, экономия по сравнению с аналогом составляет 69844,3 грн.

**Научная новизна** заключается в определении коэффициентов моделей распространения радиоволн на основании анализа экспериментальных измерений уровней сигнала в точках приема в городских районах плотной застройки.

**МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА, GSM, МОБИЛЬНЫЙ 3'ВЯЗОК, МОЩНОСТЬ В ТОЧКЕ ПРИЕМА, РАДИОСИГНАЛ**

## ABSTRACT

**Explanatory note:** 82 pages. 18 fig. 7 tab. 6 applications. 20 sources.

**The object of research:** GSM cellular network.

**The subject of research:** determination of the parameters of existing models of propagation of radio waves in a dense urban development by analyzing the results of experimental measurements of signal levels.

**Purpose of the thesis** determination of the parameters of existing models of radio wave propagation in dense urban areas by analyzing the results of experimental measurements of signal levels.

The first section provides general information about the propagation of radio waves in GSM cellular networks, discusses the basic statistical models of radio wave propagation, given means of radio monitoring, as well as software options for Android, which allows monitoring of radio coverage in cellular networks, sets forth the master's work.

In the special part, the choice of locations for experimental measurements - neighborhoods "12 quarter" and "Left Bank 3". Measurements were made of the signal power at the receiving points using the Net Monitor application in the smartphone, thanks to which mathematical expressions were obtained for the dependence of the signal power in the speaker on the distance between the speaker and the base station. The coefficients for improving the COST231-Hata and COST231-Walvis-Ikegami models when using them for distances between speakers and BS less than 1 km are determined and recommended. In the economic section, capital costs were calculated for the purchase of equipment, which is necessary for conducting experimental research, the developer's salary, on the basis of which a comparison was made with an analogue of research costs, savings in comparison with analog is 69844,3 UAH.

**Scientific novelty** consists in determining the coefficients of radio propagation models based on the analysis of experimental measurements of signal levels at reception points in densely built urban areas.

MODELS OF SIGNAL DISTRIBUTION, GSM, MOBILE CIRCUIT,  
POWER AT A RECEPTION POINT, RADIO SIGNAL

## СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

BB - Border Bit  
BTS – Base Transceiver Station  
CDMA - Code Division Multiple Access  
EDGE – Enhanced Data Rates for GSM  
HSPA+ - Evolved High-Speed Packet Access  
HSPA – High Speed Packet Access  
GSM - Groupe Spécial Mobile  
LOS - лінії прямої видимості  
LTE – Long Term Evolution  
MAP – мережева інфраструктура  
NLOS – лінії не прямої видимості  
PB – Pointer Bit  
ST – Shield Time  
TDMA – тимчасове розподілення каналу  
WCDMA - Wideband Code Division Multiple Access  
АС- абонент станції  
БС – базова станція  
ВЧ – короткі хвилі  
МСЕ – міжнародний союз електрозв'язку  
МС – мобільна станція  
МТ – мобільний термінал  
НЧ – довгі хвилі  
ОКС -7 – система сигналізації  
СЧ – середні хвилі  
УКХ(VHF) – метрові хвилі  
УКХ(UHF) – дециметрові хвилі  
УКХ(SHF) – сантиметрові хвилі

## ЗМІСТ

	с
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	11
1.1 Модель системи мобільного зв'язку.....	11
1.2 Глобальна система мобільного зв'язку GSM.....	13
1.3 Розповсюдження радіохвиль.....	14
1.4 Основні особливості розповсюдження радіохвиль в системах мобільного зв'язку .....	15
1.5 Аналіз втрат радіосигналу стільникового зв'язку.....	16
1.6 Принципи радіопокриття зон обслуговування.....	18
1.6.1 Статистичний метод радіопокриття зони обслуговування.....	19
1.6.2 Детермінований метод радіопокриття зони обслуговування.....	21
1.7 Розрахунок рівня радіосигналу в точці прийому.....	23
1.8 Розповсюдження радіохвиль в умовах великого міста.....	23
1.9 Моделі втрат при розповсюдженні хвиль.....	24
1.10 Рекомендація МСЕ Р.370.....	26
1.11 Розповсюдження радіохвиль у вільному просторі.....	27
1.12 Статистичні моделі поширення радіохвиль.....	30
1.12.1 Модель Окамури.....	30
1.12.2 Модель Хата.....	31
1.12.2 Модель COST231-Хата.....	32
1.12.3 Модель Уолфиш-Ікегамі.....	33
1.13 Програми моніторингу мереж мобільного зв'язку.....	37
1.13.1 Network Cell Info.....	38
1.13.2. Open Signal Maps.....	39
1.13.3 Net Monitor.....	41
1.14 Постановка задач дослідження.....	44
1.15 Висновки .....	45



РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	46
2.1. Проведення експериментальних вимірювань .....	46
2.1.1 Вибір мікрорайонів міста, що відповідають умовам застосування розглянутих моделей поширення радіохвиль.....	46
2.1.2 Проведення вимірювань рівня потужності сигналу в обраних мікрорайонах.....	47
2.1.3 Статистична обробка експериментальних даних.....	48
2.1.4 Обробка результатів вимірювань.....	53
2.2 Висновки.....	63
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	64
3.1 Розрахунок капітальних витрат на проведення експериментальних досліджень .....	64
3.2 Висновки.....	69
ВИСНОВКИ .....	70
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	71
ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломної роботи.....	73
ДОДАТОК Б. Перелік матеріалів магістерської роботи на оптичному диску.....	74
ДОДАТОК В Дані про поширення радіохвиль і моделі поширення для розробки бездротових систем ближньої зв'язку та систем доступу і бездротових локальних обчислювальних мереж в діапазоні частот від 300 МГц до 100 ГГц.....	75
ДОДАТОК Г. Мобільна станція радіоконтролю "Атлас-6G" .....	78
ДОДАТОК Д. Відгук керівника дипломної роботи .....	81
ДОДАТОК Е. Відгук керівника економічного розділу.....	82

## ВСТУП

Якість і надійність зв'язку є основним критерієм роботи будь-якої комунікаційної системи. У системах зв'язку, що використовують радіохвилі в якості переносників інформації, правильне передбачення ослаблення рівня сигналу на шляху від передавача до приймача дозволяє раціонально і економічно вирішити проблему забезпечення надійності радіоканалу. У зв'язку з цим аналіз особливостей поширення радіохвиль в системах зв'язку являє собою актуальну задачу.

Шлях радіохвилі від передавача до приймача в системах мобільного зв'язку вкрай різноманітний: від їх прямої видимості до сильно закритого перешкодами, будинками, деревами. Навідміну від дротового зв'язку, де параметри лінії постійні, в бездротовому зв'язку радіоканали мають істотно випадкові характеристики, часто складно прогнозовані.

Незважаючи на різноманіття механізмів поширення радіохвиль в системах зв'язку, вони можуть бути представлені наступними ефектами: відображенням, дифракцією і розсіюванням. Більшість стільникових систем зв'язку працюють в містах, де немає прямої видимості антен передавача і приймача, а наявність високих будівель викликає великі дифракційні втрати. Через багаторазові перевідбитки від різноманітних об'єктів, радіохвилі проходять різний шлях. Інтерференція цих хвиль викликає значну залежність рівня сигналу від положення абонента та швидкості його пересування.

Для розрахунку зон радіопокриття мережі мобільного стільникового зв'язку використовуються різні моделі поширення радіохвиль. З їх допомогою можна враховувати різні чинники, що впливають на втрати при поширенні радіохвиль.

Метою цієї роботи є удосконалення існуючих моделей розповсюдження радіохвиль в умовах щільної міської забудови шляхом аналізу результатів експериментальних вимірювань рівнів сигналу.

## РОЗДІЛ 1

## СТАН ПИТАННЯ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

## 1.1 Модель системи мобільного зв'язку

Типова модель системи мобільного зв'язку включає в себе одну або кілька піднятих антен базової станції, відносно коротку ділянку радіотрасс прямої видимості (LOS), кілька радіотрас з перевідбиваннями, тобто трас непрямої видимості (NLOS), а також кілька антен мобільних станцій [4].

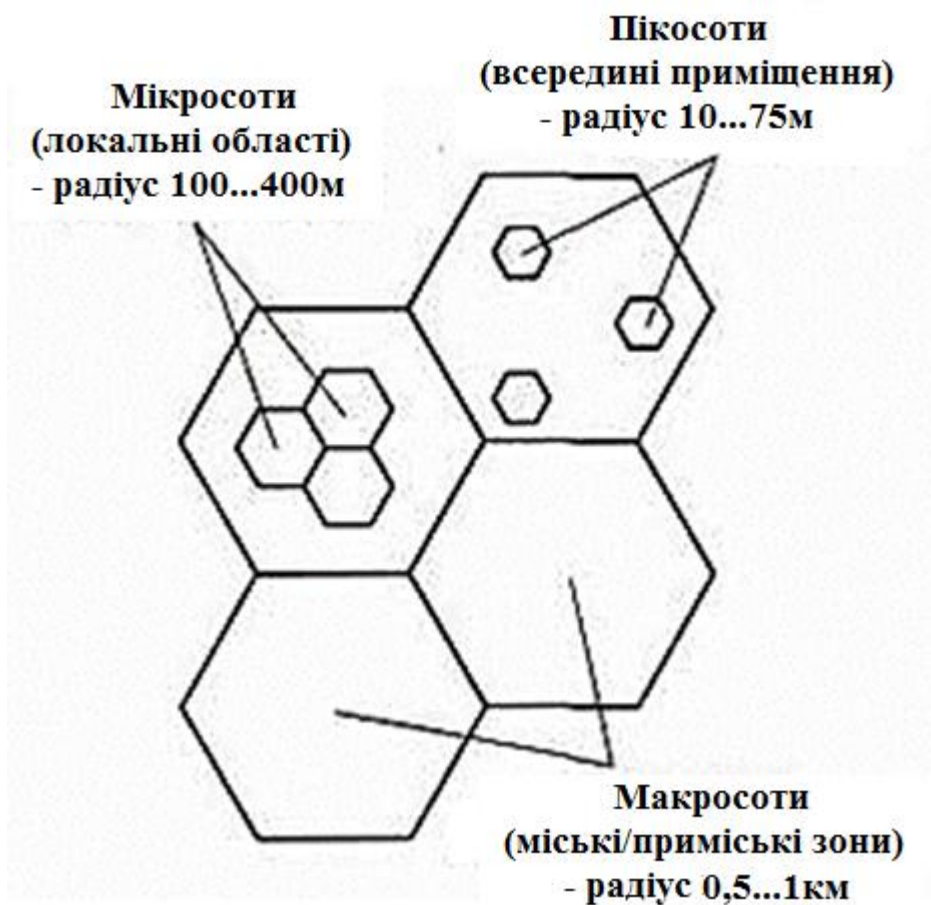


Рисунок 1.1 - Ієрархія рівнів сот

1. Пікосоти - призначені, в основному для забезпечення покриття всередині приміщень і в тих будинках (або поверхах будівель), де спостерігається підвищений попит на послуги високошвидкісної передачі даних (відеоконференції, мультимедіа). Принципи розгортання рівня пікосоти

будуть багато в чому залежати від максимально необхідного радіуса дії в тих чи інших навколишніх умовах (усередині або поза приміщеннями). Радіус дії пікосоти може становити від 10 до 75 м. Пікосоти (офіси, магазини, залізничні станції, аеропорти) мають розміри 10-200 м [10]. Антена базової станції розташовується або поза будівлею, або всередині нього. В останньому випадку часто використовуються розподілені антенні системи. Коефіцієнти посилення антен близько 2 дБ. Для пікосоти характерно дуже малі часи затримки сигналу.

2. Мікросоти - призначені для обслуговування абонентів поза приміщеннями шляхом покриття окремих вулиць і забезпечення додаткової ємності для задоволення трафіку, що не підтримуваний рівнем макросоти. За структурою покриття мікросоти будуть або обслуговувати локальні майданні області (групи територіально об'єднаних будівель - бізнес і виставкові центри, університети, аеропорти), або максимально наближатися до форми вулиць і повторювати їх топографію. При цьому їх довжина може становити від 100 до 400 м. Мікросоти мають розміри 0,1-1 км. Типова потужність передавача базової станції більш 1 Вт. Використовують передавальні антени з коефіцієнтом посилення 5-10 дБ. Мікросоти добре ізольовані одна від одної. Для сигналів, що поширюються всередині мікросоти характерні невеликі тимчасові затримки. Присутні як відкриті, так і закриті траси. При зв'язку з рухомим об'єктом спостерігаються значні завмирання сигналу (до 20-30 дБ), пов'язані зі зміною умов поширення радіохвиль.

3. Макросоти - призначені для забезпечення суцільного покриття великих районів міських і приміських зон, де абоненти матимуть високу рухливість (швидкість пересування на автомобілі) і користуватися послугами з передачі мови і даних (до 144 кбіт / с). Розміри макросоти, як правило, до, або більше кілометра. Потужність передавальної станції перевищує 10 Вт. Коефіцієнт посилення передавальної антени - 10-20 дБ. Макросоти погано ізольовані одна від одної. Поширення сигналу всередині макросотами характеризується великим тимчасовим розсіюванням. В межах макросот

знаходиться велика кількість розсіювачів, поширення має багатопроміневий характер.

## 1.2 Глобальна система мобільного зв'язку GSM

Безумовний лідер за поширеністю на світовому ринку - стандарт GSM, який діє в діапазонах 900 і 1800 МГц. Весь діапазон поділено на частотні канали по 200 кГц - в GSM-900 всього 124 канали. (124 висхідних і 124 низхідних), смуга між висхідним і спадним каналом - 45 МГц. Базова станція підтримує від 1 до 16 частотних каналів.

У GSM використаний принцип тимчасового розділення каналу - TDMA. Частотні канали розбиті на кадри по 8 тимчасових інтервалів (канальні інтервали) тривалістю по 577 мкс. Кожному фізичному каналу відповідає один певний часовий інтервал на певній частоті. Таким чином, мобільний термінал (МТ) передає базовій станції (БС) інформацію протягом 577 мкс кожні 4615 мкс. БС зв'язується з МТ точно тако ж, але на три тимчасові інтервали раніше МТ (і на частоті на 45 МГц вище), щоб рознести в часі прийом і передачу. Це істотно спрощує апаратуру МТ. Часові інтервали в GSM бувають п'яти типів - нормальний, підстроювання частоти, синхронізації, інсталяційний і доступу.

Корисна інформація передається двома блоками по 57 біт. Між ними розташована 26-бітова тренувальна послідовність, обмежена однорозрядними покажчиками РВ (Pointer Bit). Інтервали ВВ (Border Bit) довжиною 3 біта обмежують всю передану послідовність. Після трансляції всіх 148 біт канального інтервалу передавач "мовчить" протягом захисного інтервалу ST (Shield Time) тривалістю 30,44 мкс, що за часом еквівалентно передачі 8,25 біт. Кожні 26 кадрів об'єднані в мультикадр тривалістю 120 мс. У мультикадра кожен 13й кадр зарезервований для каналу управління, а протягом кожного 26го кадру вся система "мовчить".

У GSM використаний принцип повільних частотних стрибків – прийом/передача нового кадру може відбуватися на новій частоті. При цьому зберігається двобічний рознос в 45 МГц. Початкове значення несучої і

послідовність зміни призначаються мобільному терміналу при встановленні зв'язку. тимчасової затримкою розповсюдження сигналу, до якої чутлива технологія TDMA. Мережева інфраструктура - GSM/MAP заснована на системі сигналізації OKC7 (SS7).

### 1.3 Розповсюдження радіохвиль

Розповсюдження радіохвиль, це явище переносу енергії електромагнітних коливань в діапазоні радіочастот. Відстань, на якій можливе здійснення радіозв'язку, залежить від ряду факторів: обраної частоти, потужності передавача, чутливості приймача, параметрів антен, умов розповсюдження радіохвиль. Радіохвилі різних діапазонів мають неоднакові властивості, що впливають на дальність їх розповсюдження. Хвилі однієї довжини долають великі відстані, хвилі, іншої довжини "губляться" за межами горизонту.

1) НЧ (LF) - довгі хвилі, використовуються для прийому радіомовних передач, а також передач станцій спеціальних служб (точного часу, метеозведень і т.д.). Дальність дії складає 2000-3000 км, за рахунок доброго огибання поверхневими хвилями земної поверхні (дифракції). Просторові хвилі не використовуються, через сильне поглинання і погане відображення в іоносфері. Зв'язок є стабільним і не залежить від пори року і часу доби [3].

2) СЧ (MF) - середні хвилі сильно поглинаються землею і іоносферою (шаром D), особливо вдень. Увечері після заходу сонця шар D зникає і просторовий промінь відбивається від шару F і повертається на землю. Вночі та взимку зв'язок далі, ніж влітку і вдень через зменшення поглинання радіохвиль в іоносфері (вночі), і зменшення впливу атмосферних перешкод (взимку). Дальність стійкого надійного зв'язку до 200 км.

3) ВЧ (HF) - короткі хвилі сильно поглинаються землею при поширенні уздовж земної поверхні, однак добре відбиваються від землі і іоносфери. Дальнє поширення коротких хвиль іноді відбувається шляхом послідовних відображень від землі і іоносфери. Посеред дня більш низькі частоти

короткохвильового діапазону сильно поглинаються шарами D і E, а вночі, коли іонізація слабкіше, більш високі частоти слабо відбиваються від шару F, проходячи крізь нього. Як правило днем посеред дня краще використовувати більш короткі хвилі (8-25 МГц), вночі довші хвилі (4-8 МГц). Дальність сягає до декількох тисяч кілометрів.

4) УКХ (VHF) - метрові хвилі мають максимальну дальність 20-30 км. Поверхневі хвилі не огинають земну поверхню, а просторові не відбиваються від іоносфери, проходять крізь неї і йдуть в космос. Використовуються у телебаченні.

5) УКХ (UHF) - дециметрові хвилі використовуються для супутникового зв'язку

6) УКХ (SHF) - сантиметрові хвилі використовуються в радіолокації.

#### 1.4 Основні особливості розповсюдження радіохвиль в системах мобільного зв'язку

Системи GSM працюють в дециметровому діапазоні радіохвиль, слабо огинають перешкоди, тобто поширюються в основному по прямій, але відчують численні відображення від навколишніх об'єктів і підстильної поверхні. Одним із наслідків такого багатопроменевого розповсюдження є більш швидке, ніж у вільному просторі, спадання інтенсивності сигналу з відстанню. Інший наслідок - завмирання і спотворення результуючого сигналу [16].

При складанні двох сигналів, що пройшли різними шляхами і мають в точці прийому в загальному випадку різні фази, результуючий сигнал може бути як трохи вище середнього рівня, так і помітно нижче.

Траса поширення змінюється при переміщеннях рухомого об'єкту, базового обладнання або руху навколишніх предметів і середовища. Навіть найменше, саме повільне переміщення призводить до зміни в часі умов багатопроменевого поширення і, як наслідок, до зміни параметрів сигналу.

Поверхня землі ніколи не буває ідеально гладкою, навіть рівнинна місцевість вкрита великою кількістю хаотично розташованих нерівностей. Залежно від їх розмірів, електричних властивостей, кількості, а також від довжини хвилі, що розповсюджується, елементи рельєфу роблять різний вплив на поле в точці прийому.

### 1.5 Аналіз втрат радіосигналу стільникового зв'язку

Радіосигнал стільникового зв'язку, який передається від передавальної антени базової станції (БС) до приймальної мобільної станції (МС), на своєму шляху зустрічає різні перешкоди, які зменшують його рівень. Втрати в великій мірі залежать від частоти сигналу [15]. До теперішнього часу зарубіжними вченими розроблено велику кількість моделей поширення радіохвиль і оцінки втрат, які є функцією відстані, несучої частоти та інших параметрів. Величина втрат на трасі між парою антен визначається відношенням переданої потужності до прийнятої і зазвичай виражається в децибелах [19].

Якість зв'язку залежить від багатьох параметрів, таких як посилення передавальної і приймаючої антен, потужності передавача, і коефіцієнта шуму приймача. Всі ці параметри знаходяться під контролем проектувальника системи і можуть бути змінені, щоб оптимізувати систему. Один параметр, однак, не перебуває під контролем проектувальника системи. Цей параметр - втрати поширення, що призводять до ослаблення сигналу при його проходженні від передавача до приймача.

Сучасні міські райони характеризуються щільною забудовою місцевості будівлями і спорудами, що є причиною швидких (релеєвських) завмирань радіосигналу в каналі зв'язку. Для багатьох міст характерна також неоднорідність рівня землі (наявність височин і западин), що є наслідком повільних завмирань сигналу. Тому для знаходження величини загасання радіосигналу в заданій точці необхідно мати докладну інформацію про структуру даної місцевості. Навіть при наявності такої інформації, що не



завжди можливо, потрібно створити дуже складний аналіз характеру поширення радіохвиль, що враховує всі фактори [9].

В умовах міської забудови місцевості загасання радіосигналу є випадковою величиною і залежить від комплексу факторів, що визначають характер поширення радіохвиль – рис. 1.2. Причинами втрат рівня сигналу стільникового зв'язку є наступні фактори:

- відображення сигналу від об'єктів, які мають розміри, що значно перевершують довжину радіохвилі;
- дифракція радіохвиль, для якої характерно переломлення радіосигналу на шляху розповсюдження;
- розсіювання радіосигналу, яке відбувається при наявності на місцевості великої кількості об'єктів, розміром менше довжини радіохвилі (наприклад, листяні дерева);
- ефект Доплера, що має місце при переміщенні рухомого об'єкту.

Моделі прогнозування втрат сигналу на трасі умовно поділяються на два типи: емпіричні та теоретичні. Емпіричні моделі зазвичай представляють собою набір рівнянь, отриманих в результаті великих польових вимірювань.

Емпіричні моделі є простими і ефективними у використанні, проте вони точні для середовищ з характеристиками, ідентичними характеристиками середовищ, де проводилися виміри. Вхідні параметри для емпіричних моделей, як правило, якісні і не дуже конкретні, наприклад, щільність міської площини, сільська місцевість, і так далі.

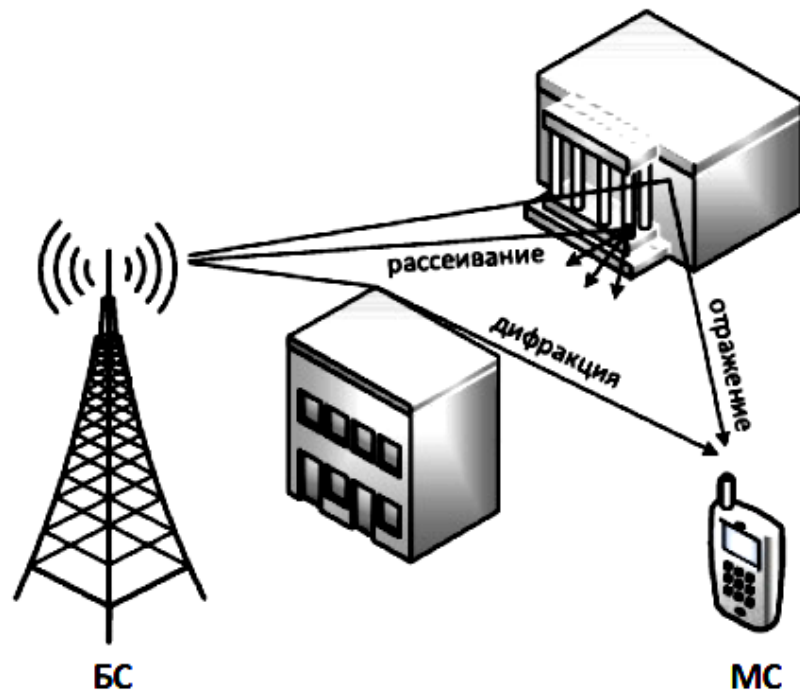


Рисунок 1.2 - Вплив перешкод на поширення сигналу на шляху від базової до мобільної станції

Одним з головних недоліків емпіричних моделей є те, що вони не можуть бути використані для різних середовищ без змін, а іноді вони просто не приносять користі. Теоретичні моделі будуються на основі припущення деяких ідеальних умов. Теоретичні моделі більш ефективні, ніж емпіричні моделі.

### 1.6 Принципи радіопокриття зон обслуговування

Загальна кількість каналів, виділених для стільникової системи радіозв'язку з мобільними об'єктами, в ряді випадків може бути недостатньою для задовільного обслуговування в межах міського району при роботі в режимі великої зони обслуговування (при досить великих розмірах сот). Число допустимих каналів, віднесених до одиниці площі ( $N / S$ ), може бути збільшено при одночасному використанні одних і тих же каналів в межах невеликих сот, розташованих в заданій зоні обслуговування, і за умови їх

достатнього просторового рознесення щоб уникнути значних міжканальних перешкод.

Тому радіопокриття зони обслуговування може бути виконано на основі використання: або статистичних параметрів поширення радіосигналів в стільникових системах зв'язку; або детермінованим шляхом, на основі знання параметрів поширення радіосигналів для конкретного району, визначеного безпосередньо вимірюванням або розрахунковим шляхом. Крім того, в даний час використовуються розроблені комп'ютерні програми [17], які дозволяють визначити межі макро- і мікросот розрахунковими методами, використовуючи для цього різні моделі поширення радіохвиль і цифрові географічні карти, на яких враховані рельєф і характер місцевості.

При моделюванні впливу міських споруд на поширення радіохвиль в місті розрізняють два типи методів:

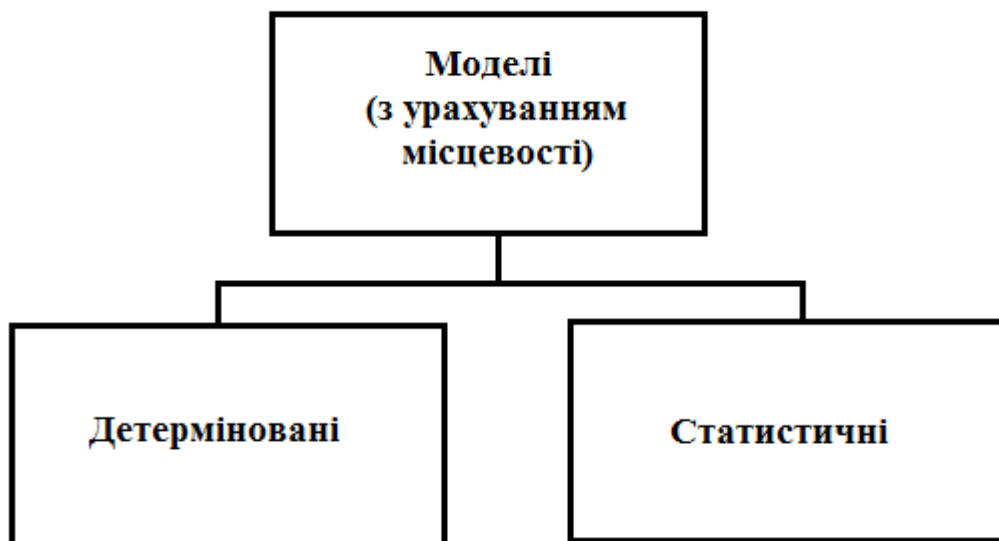


Рисунок 1.3 - Класифікація моделей опису траси

#### 1.6.1 Статистичний метод радіопокриття зони обслуговування

Так як радіопокриття зони обслуговування досягається повторним використанням радіочастот (а в міських умовах в невеликих за розміром сотах – рис. 1.4), то для випадку апроксимації кільцевої соти у вигляді шестикутника, число сот на кластер визначається з виразу (1.1).

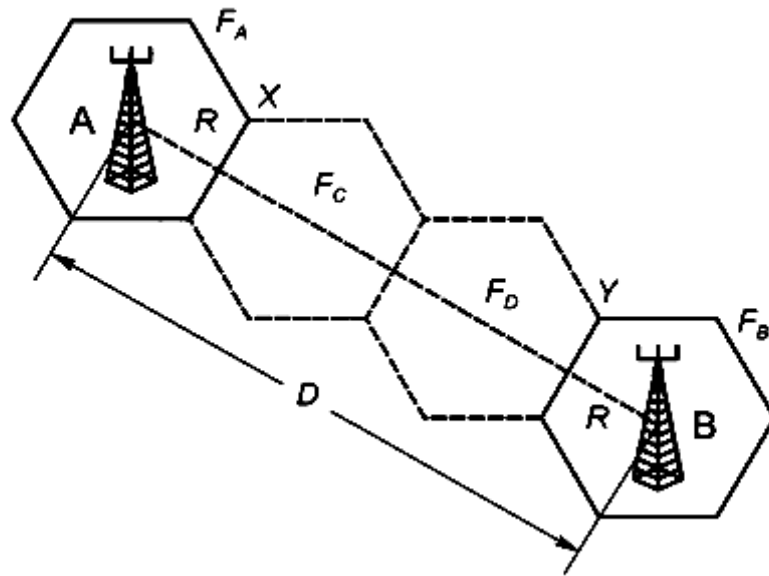


Рисунок 1.4 - Приклад радіопокриття зони обслуговування в міських умовах

Кількість сот на кластер:

$$N_{c-ic} = (1/3) (D/R)^2 \quad (1.1)$$

а величина коефіцієнта повторного використання частот має вигляд:

$$C = 1/N_{c\_k} \quad (1.2)$$

При цьому  $N_{c\_k}$  можуть приймати тільки дискретні значення: 3, 4, 7, 9, 12, 13, які визначаються з виразу:

$$N_{c-k} = (k + I)^2 - kl, \quad (1.3)$$

де  $I$  - цілі числа (наприклад: при  $k = 1, I = 1, C = 3$ , при  $k = 2, I = 1, C = 7$ ).

Величину відносності  $D / R = q$  зазвичай визначають з допустимої відносності сигнал / перешкода -  $S / I$  та характеристик системи зв'язку. Дійсні розміри зон обслуговування, а саме значення  $D, R, q$  (а значить і величина  $C$ ), визначаються на основі наступних чинників:

- 1) інтенсивності пропонованого навантаження (трафіка);
- 2) загального числа радіоканалів, виділених для мережі;
- 3) допустимої інтенсивності відмов;
- 4) стратегії розподілу каналів, прийнятої для управління системою.

Якщо інтенсивність навантаження по всій робочій зоні покриття системи з мобільними станціями рівномірна, то проектування мережі з невеликими за розміром сотами (в межах міста) здійснюється відносно просто. Якщо ж інтенсивність навантаження зменшується в міру наближення до межі міста, то з огляду на високу вартість обладнання BTS для мінімізації вартості системи зв'язку на околицях міста збільшують розміри сот (а значить і радіуси обслуговування), тобто величина  $q = D / R$  вже стає змінною величиною. Тому виникає проблема узгодження обраних розмірів сот і зміни трафіку.

Таким чином, при статистичному способі радіопокриття зоною покриття системи зв'язку повинна бути виконана умова:

$$((D - R)/R)n = (q - I_f * (S/I)) \quad (1.4)$$

### 1.6.2 Детермінований метод радіопокриття зони обслуговування

При детермінованому методі радіопокриття зони обслуговування базових станцій можна розташувати так, щоб мінімізувати середню величину інтервалу використання радіоканалу, тобто число сот на один кластер  $(N_c / k) = (1/3) (D / R) 2mn$ , і одночасно досягти задовільного обслуговування в межах всієї зони покриття системи зв'язку.

Для оптимального розташування базових станцій необхідно знати середній рівень радіосигналу, випромінюваного з місць можливого розташування базових станцій в будь-якій точці розташування мобільного об'єкта, аж до відстаней, далі яких зазначені радіосигнали вже не призводять до взаємних перешкод. Інформація про рівні сигналу може бути отримана в результаті розрахунків, вимірювань і/або прогнозування. Області обслуговування, пов'язані з різними BTS, мають різні форми і розміри.

Оптимізація розташування сот і BTS в них призводить до мінімізації числа BTS, необхідного для обслуговування певного числа каналів в межах заданої зони обслуговування. У місці розташування BTS може бути задано кілька зон обслуговування за рахунок використання спрямованих антен. Ця обставина дає додаткову свободу вибору форм і розмірів зон обслуговування і в деяких випадках може призводити до зменшення інтервалу повторного використання частот. Перш ніж реалізувати ефективне радіопокриття території детермінованим способом, слід провести детальний облік необхідних визначальних чинників.

Особлива увага повинна бути приділена:

- вибору місця розташування BTS;
- необхідному розносу частот між BTS;
- уточненню даних про виміряні або розраховані рівні радіосигналу.

У зонах обслуговування з високою щільністю розміщення BTS, де рознос частот між BTS визначається міжканального перешкодами, а не обмеженнями, пов'язаними з шумом, можливо обслуговування пікового навантаження в межах звичайного стільнику однією BTS за допомогою радіоапаратури, розташованої на суміжній BTS. Таким чином, детермінований метод, в першому наближенні, може дати оцінку радіопокриття певним числом сот заданої території з урахуванням умов поширення радіохвиль і повторного використання частот.

Статистичні методи можуть передбачити лише деякі середні характеристики сигналів, але при цьому вони не беруть до уваги особливості конкретних радіотрас і розраховуються на основі попередніх експериментальних даних, від числа яких залежить точність розрахунків.

На відміну від них, детерміновані методи враховують конкретну міську забудову, особливо стіни будівель і, тому в цілому дають більш точні прогнози. Здатність давати подібні оцінки робить ці методи особливо цінними, оскільки крім прогнозу напруженості поля в точці прийому, потрібно знати ще й прогноз інших параметрів, наприклад, час затримки радіосигналу.

### 1.7 Розрахунок рівня радіосигналу в точці прийому

На трасах, для яких виконується умова  $h_{\text{БС}} \gg \lambda$  і  $h_{\text{МС}} \gg \lambda$  ( $h_{\text{БС}}, h_{\text{МС}}$  - висоти антен базової і мобільної станцій,  $\lambda$  – довжина робочої хвилі), рівень потужності на вході приймача:

$$p_{\text{вх}} = p_0(f, r) + V(t) \quad (1.5)$$

де

$$p_0(f, r) = p_{\text{П}} + g_1 + g_2 - (a_{\text{св}} + a_1 + a_2), \quad (1.6)$$

$p_0$  - рівень потужності сигналу в точці прийому при поширенні у вільному просторі;

$p_{\text{П}}$  - рівень потужності передавача, дБм (візьмемо стандартний рівень потужності - 40 дБ);

$g_1, g_2$  - коефіцієнти посилення передавальної і приймальної антени, дБ (по ТЗ 5 і 5 дБ відповідно);

$a_1, a_2$  - втрати в фідері передавальної і приймальної антени;

На приймальній стороні антена знаходиться на близькій відстані від приймального пристрою, тому втратами в фідері приймальної станції можна знехтувати ( $a_2 = 0$ ).

Втрати в фідері передавальної станції складають  $a_1 = 0 \dots 10$  дБ. Візьмемо значення  $a_1 = 3,5$  дБ.

$a_{\text{св}} = (4\pi k / \lambda)^2$  - ослаблення вільного простору;

$V(t)$  - множник ослаблення поля вільного простору.

### 1.8 Розповсюдження радіохвиль в умовах великого міста

Будь-яку радіотрасу можна представити у вигляді набору декількох основних шляхів, за якими сигнал від базової станції доходить до приймальної антени і навпаки. На кожному з цих шляхів знаходяться різні об'єкти, що впливають на поширення радіохвиль [12].

У міських умовах це:

1. Напрямні структури - проспекти, вулиці, ділянки річок, контактні лінії міського електротранспорту;
2. Окремий будинок або групи будинків;
3. Поверхня Землі і перешкоди на ній (автомобілі, стовпи, паркани та інші);
4. Ділянки рослинності (парки, сквери, дворові насадження та ін.);

Поширення хвиль в містах мають дві основні особливості:

1. Підвищене ослаблення поля в порівнянні з відкритою місцевістю;
2. Велику неоднорідність напруженості поля в різних точках спостереження, особливо всередині будинків.

Перша особливість:

Підвищене ослаблення обумовлено великою кількістю перешкод типу кам'яних і залізобетонних будівель, великої кількості проводів, дахів будівель.

Втрати оцінюють статистично, розділяючи райони міста на два типи:

- густо забудовані висотними будівлями;
- райони, забудовані в основному двох і триповерховими будівлями.

Друга особливість:

Велика неоднорідність поля в різних точках спостереження обумовлена інтерференцією великого числа хвиль, відбитих від різних перешкод в межах міста.

Вимірювання показали, що рівень відбитих сигналів становить 50 - 60% від прямого сигналу. Це сильно спотворює передачу зображення (багатоконтурне). До того ж відображення змінюють первинну поляризацію поля.

### 1.9 Моделі втрат при розповсюдженні хвиль

Моделі втрат при розповсюдженні радіохвиль грають важливу роль в розробці стільникових систем для визначення ключових параметрів системи, таких як: потужність передачі, частота, висота антени, і так далі [20]. Деякі



моделі були запропоновані для стільникових систем, що працюють в різному навколишньому середовищу (внутрішньому, зовнішньому, міському, приміському, сільському). Деякі з цих моделей були отримані статистичним методом на основі дослідних випробувань, а інші були розроблені аналітичним шляхом на основі ефектів заломлення. У кожній моделі використовуються свої специфічні параметри для отримання точності прогнозів. У моделях передбачення на великих відстанях, призначених для макросотових систем, використовується висота антени базової станції, мобільної станції і частота. З іншого боку, в моделях передбачення на коротких відстанях для оцінки втрат при поширенні використовується висота будівель, ширина вулиць, напрямок вулиць і так далі. Ці моделі використовуються в мікросотових системах. Коли розмір соти досить маленький (в діапазоні від 10 до 100 м), використовуються детерміністичні моделі, засновані на методах трасування променів. Таким чином, важливо вибрати правильну модель втрат для розробки мобільної системи в заданій навколишньому середовищу.

Моделі поширення використовуються для визначення числа сот, необхідних для забезпечення зони покриття мережі. Первісна конструкція мережі найчастіше ґрунтується на зоні покриття. Подальші розробки виробляються для збільшення продуктивності. У деяких системах може на початку знадобитися велика зона покриття та висока пропускну здатність, звідки потім починається подальше зростання.

Вимоги до зони покриття поряд з вимогами до трафіку покладаються на моделі поширення для визначення розподілу трафіку, частина навантаження з них знімається зі старих сот і переноситься на нові соти в ході програми розподілу пропускну здатності. Модель поширення допомагає визначити, де слід розмістити соти для оптимальної роботи мережі. Якщо модель поширення не допомагає ефективному розташуванню сот в мережі, висока ймовірність неправильного розміщення сот.

На ефективність роботи мережі впливає обрана модель поширення, так як вона використовується для передбачення перешкод. Наприклад, якщо модель поширення не точна при 6 дБ (передбачаючи, що  $S / I = 17$ дБ в відповідності з вимогами інструкції), то відношення сигнал / взаємні перешкоди,  $S / I$ , може бути 23 дБ. На основі умов трафіку, розробка для високого співвідношення  $S / I$  може негативно вплинути на рентабельність системи. З іншого боку, розробка системи з низьким співвідношення  $S / I$  не забезпечить достатньої якості обслуговування.

Модель поширення також використовується в інших аспектах характеристики системи, включаючи оптимізацію переадресації виклику, регулювання рівня потужності і розташування антени. І хоча ніяка модель поширення не здатна врахувати всі чинники в реальному житті, важливо використовувати кілька моделей для визначення втрат при поширенні в мережі. У кожній використовуваній в промисловості моделі поширення радіохвиль є свої переваги і недоліки. Завдяки розумінню обмежень кожної моделі можна отримати хорошу і ефективну радіочастотну конструкцію.

#### 1.10 Рекомендація МСЕ Р.370

Більш універсальна методика розрахунку напруженості електромагнітного поля запропонована в рекомендації Міжнародного союзу електрозв'язку Р.370 (Додаток В).

Розрахунок напруженості електромагнітного поля заснований на кривих поширення радіохвиль. Криві являють собою отримані експериментальним шляхом значення напруженості поля, перевищує в 50% міськ для різних значень відсотка часу. Криві охоплюють смуги частот 30 - 250 МГц (діапазон НВЧ), і 450 - 1000 МГц (діапазон УВЧ) і відстані від 10 до 1000 км. Ефективна висота передавальної антени може бути дорівнює 37.5, 75, 150, 300, 600, 1200 м., Висота приймальної антени - 10 м. Значення ефективної випромінюваної потужності передавача приймається 1 кВт [18].

В Рекомендації враховуються три типи шляхів поширення радіохвиль:

- суша;
- море;
- холодне море.

Для значень параметрів, відмінних від стандартних, значення напруженості коригується.

Значення висоти передавальної антени, що використовується для розрахунку напруженості поля, приймається рівною ефективній висоті, яка визначається як висота над поверхнею землі, усереднена на ділянці від 3 до 15 км від місця установки передавача в напрямку приймача. Це означає, що ефективна висота антени може бути негативною. Така ситуація можлива, коли середня висота рельєфу, що оточує місце установки передавача, перевищує висоту підвісу передавальної антени над рівнем землі. У цьому випадку розрахунок напруженості поля ґрунтується на використанні корекції, яка залежить від величини кута просвіту місцевості. Кут просвіту (для передавача) розраховується як кут між горизонталлю, що проходить на висоті підвісу передавальної антени і лінією, що усуває всі перешкоди в напрямку прийомної антени.

Отримані залежності дозволяють розраховувати значення напруженості поля для трас, що проходять над сушею або над поверхнею моря. Якщо шлях поширення радіохвиль проходить над ділянками з різними характеристиками поширення рекомендація пропонує метод розрахунку напруженості поля, що враховує цей фактор.

### 1.11 Розповсюдження радіохвиль у вільному просторі

Модель розповсюдження хвиль у вільному просторі використовується для розрахунку прийнятого сигналу в умовах, коли передавальна і приймальна антени знаходяться на відкритій не закритій перешкодами радіолінії [2]. Ця модель застосовується для аналізу радіоканалів зв'язку через супутники і наземні радіолінії, що працюють в діапазоні надвисоких частот. Потужність,

прийнята приймальною антеною з коефіцієнтом посилення  $G_{\text{пр}}$ , яка випромінюється антеною передавача потужністю  $P_{\text{пер}}$  з коефіцієнтом посилення  $G_{\text{пер}}$  на довжині хвилі  $\lambda$  на відстані  $d$  у відкритому необмеженому просторі, розраховується за формулою, яку називають першим рівнянням передачі:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{пер}} G_{\text{пер}} G_{\text{пр}} (\lambda/4\pi d)^2 \quad (1.7)$$

У разі використання апертурної антени, її коефіцієнт посилення може бути визначений таким чином:

$$G = 4\pi S_{\text{еф}} \lambda^2, \quad (1.8)$$

де  $S_{\text{еф}}$  - ефективна площа поверхні антени,  $\text{м}^2$ .

Ефективна площа трохи менш площі апертури антени, в наслідок нерівномірності амплітудного розподілу струмів в апертурі. Ставлення ефективності площі до площі апертури називається коефіцієнтом використання поверхні антени, типове значення якого для однодзеркальних антен становить 0,5 ... 0,7.

Довжина хвилі  $\lambda$  пов'язана з частотою  $f$  співвідношенням:

$$\lambda = c/f, \quad (1.9)$$

де  $c$  - швидкість світла.

Прийнята антеною потужність в відповідності з (1.7) зменшується із зростанням відстані зі швидкістю 20 дБ на декаду, тобто пропорційно множнику  $1/d^2$

Втрати передачі в радіоканалі (відношення прийнятої і випромінюваної потужностей):

$$L = 10 \lg(P_{\text{пер}}/P_{\text{пр}}) = L_{\text{св}} - G_{\text{пер}} - G_{\text{пр}}, \text{ дБ} \quad (1.10)$$

де  $L_{\text{св}} = 20\lg(\lambda/4\pi d)$ - втрати при розповсюдженні у вільному просторі;

$G_{\text{пер}}G_{\text{пр}}$ -коефіцієнти посилення приймальної і передавальної антен, виражені в дБ

Наведені вирази справедливі тільки для дальньої зони. Кордон дальньої зони визначається умовою:

$$d = 2D^2/\lambda \quad (1.11)$$

де  $D$  - найбільший розмір антени

Додатковою умовою далекої зони є виконання співвідношень:

$$\begin{aligned} d_f &\gg D \\ d_f &\gg \lambda \end{aligned} \quad (1.12)$$

На великих відстанях при розрахунку потужності сигналу іноді використовується значення прийнятої потужності  $P_{\text{пр}}(d_0)$  на деякій фіксованій відстані  $d_0$ . Тоді на іншій відстані  $d$ :

$$P_{\text{пр}}(d) = P_{\text{пр}}(d_0) * (d_0/d), d \geq d_0 \geq d_f \quad (1.13)$$

Так як зміна потужності на вході приймача при зміні відстані дуже велика, використовують поняття рівня потужності, що вимірюється в дБм (децибелах по відношенню до одного мілівата) або дБВт (децибелах по відношенню до одного вату).

Перехід до рівнів потужності і назад здійснюється за формулами:

$$P, \text{дБ} = 10\lg P; \quad P = 10 * P, \text{дБ}/10 \quad (1.14)$$

У логарифмічному вигляді перше рівняння передачі може бути записано у вигляді такої інженерної формули:

$$P_{\text{пр}} = P_{\text{пер}} + G_{\text{пер}} + G_{\text{пр}} - 20\lg d - 20\lg f - 32 \quad (1.15)$$

Де потужність передавача підставляється в дБВт або дБм, коефіцієнти посилення антен – в дБ, відстань  $d$  - в кілометрах, робоча частота  $f$  - в МГц.

## 1.12 Статистичні моделі поширення радіохвиль

### 1.12.1 Модель Окамури

Модель, запропонована Окамура, заснована на результатах експериментальних досліджень і в порівнянні з двопрменевою моделлю дозволяє більш точно прогнозувати середнє значення загасання радіосигналу на відносно великій відстані між передавальною і приймальною антенами (більше 1 км) [1]. У цієї моделі для обчислення медіанного значення потужності сигналу, що приймається антеною рухомого об'єкту в міських умовах, пропонується використовувати наступне рівняння, в якому всі величини прііведени в децибеллах:

$$P_P = P_0 - A_m(f, d) + H_b(h_b, d) + H_m(h_m, f), \quad (1.16)$$

де  $P_P$  – обчислювальне значення шуканої потужності сигналу;

$P_0$  – його потужність при передачі у вільному просторі;

$A_m(f, d)$  - фактор зміни медіанного значення потужності в місті щодо загасання у вільному просторі при ефективній висоті антени центральної станції  $h = 200$  м і висоті антени на рухомому об'єкті  $h_{m mb} = 3$  м.;

$H(h, d)$  - фактор «висота - посилення» в децибелах для центральної станції з  $h_{b bb} = 200$  м, розташованої в місті;

$H(h, f)$  - фактор «висота - посилення» в децибелах для станції на рухомому об'єкті з  $h_{m mm} = 3$  м, розташованої в місті.

Ці значення залежать від відстані, частоти і можуть бути отримані з кривих, представлених на рис. 1.5.

### 1.12.2 Модель Хата

Модель Хата заснована на великому обсязі емпіричних вимірів в міських умовах, проведених Окамурою в Токіо.

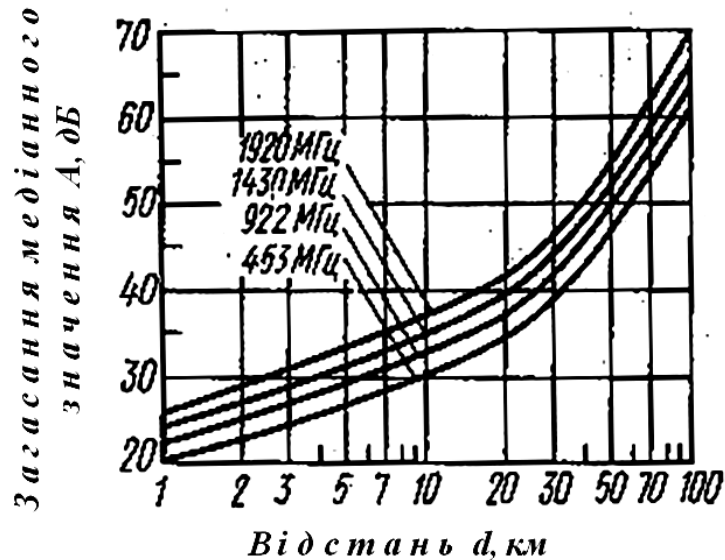


Рисунок 1.5 - Залежності медіанного значення загасання від відстані по відношенню до вільного простору

В логарифмічній формі, узагальнена модель Хата може бути записана як [14]:

$$L_p = -K_1 - K_2 \lg(f) + 13,82 \lg(h_b) + a(h_m) - [44,9 + 6,55 \lg(h_b)] \lg(d) - K_0, \quad (1.17)$$

де  $f$  - несуча частота (в МГц);

$h_b$  - висота антени (в метрах) передавача;

$h_m$  - висота антени приймача (в метрах);

$d$  - відстань (в кілометрах) між базовою станцією і рухомим користувачем.

Для цих параметрів, є деякі межі, в яких модель справедлива:

$h_b$  повинна бути між 30 м і 200 м,  $h_m$  повинна бути між 1 м і 10 м,

$d$  має бути між 1 км і 20 км. Коефіцієнти  $a(h_m)$  і  $K_0$  використовуються при розповсюдженні радіохвиль в «міському» або «щільному міському» оточенні.

Зокрема:

$$a(h_m) = [1,1 \lg(f) - 0,7]h_m - [1,56 \lg(f) - 0,8] - \text{для міста};$$

$$a(h_m) = 3,2[\lg(11,75h_m)]^2 - 4,97 - \text{для міста з щільною забудовою};$$

$$K_0 = 0 - \text{для міста}; K_0 = 3 \text{ dB} - \text{для міста з щільною забудовою};$$

Коефіцієнти  $K_1$  і  $K_2$  використовуються, щоб врахувати частотні діапазони.

$$K_1 = 69,55 \text{ для частотного діапазону } 150 \text{ МГц} \leq f \leq 1000 \text{ МГц},$$

$$K_1 = 46,3 \text{ для частотного діапазону } 1500 \text{ МГц} \leq f \leq 2000 \text{ МГц},$$

$$K_2 = 26,16 \text{ д для частотного діапазону } 150 \text{ МГц} \leq f \leq 1000 \text{ МГц},$$

$$K_2 = 33,9 \text{ д для частотного діапазону } 1500 \text{ МГц} \leq f \leq 2000 \text{ МГц}.$$

### 1.12.2 Модель COST231-Хата

Дана модель - варіація Ната моделі. Ця версія була розроблена для того, щоб отримати модель, яка працювала б в діапазоні частот 1,5-2 ГГц.

Модель COST231-Хата справедлива для несучих частот в діапазоні від 1,5 до 2 ГГц, висоті антени базової станції від 30 до 200 м, висоті антени мобільної станції від 1 до 10 м і відстані між ними від 1 до 20 км [14].

Формула для основних втрат на трасі в місті:

$$L_u = 46,3 + 33,9 \lg f - 13,82 \lg h_b - ah_m + (44,9 - 6,55 \lg h_b) \lg d + c_m, d \quad (1.18)$$

де  $ah_m = (1,1 \lg f - 0,7)h_m - (1,56 \lg f - 0,8)$ ,  $c_m$  - постійна величина: для середніх міст та приміських районів з помірною рослинністю  $c_m = 0$  і для центрів міст  $c_m = 3$  дБ.

При подстановці  $ah_m$  та  $c_m = 3$  дБ в формулу (1.18) маємо:



$$L_u = 48,5 + 35,46lgf - 13,82lgh_b - (1,1lgf - 0,7)h_m + \\ + (44,9 - 6,55lgh_b)lgd \quad (1.19)$$

Модель COST231-Хата не підходить для оцінки загасання сигналу при відстанях між рухомою і базовою станціями менше 1 км. В цьому випадку затухання сильно залежить від топографії місцевості, в якій відбувається поширення сигналу. Цю модель також не можна використовувати для оцінки поширення сигналу по вулицях з високими будівлями.

### 1.12.3 Модель Уолфиш-Ікегамі

Модель Уолфиш-Ікегамі визнана найкращою для передбачення рівня сигналу в малих сотах. Ця модель заснована на фізичному поданні поля в точці прийому у вигляді двох складових: когерентної і розсіяної. Когерентна складова визначається хвилею, дифрагує навколо будівель вздовж дороги з боку БС. Розсіяний компонент створюють хвилі, які утворюються в результаті переивипромінювання будівлями падаючої на них хвилі від БС [1]. Розсіяний компонент приходить з напрямків, які не збігаються з напрямком на БС і навіть протилежних цим напрямком. Модель стверджує (рис. 1.6), що в умовах міста з відносно невисотної, але щільною забудовою основним шляхом поширення радіосигналу є шлях, що проходить через дахи будівель, супроводжуваний багаторазовим розсіюванням.

Основні параметри, що використовуються в моделі:

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

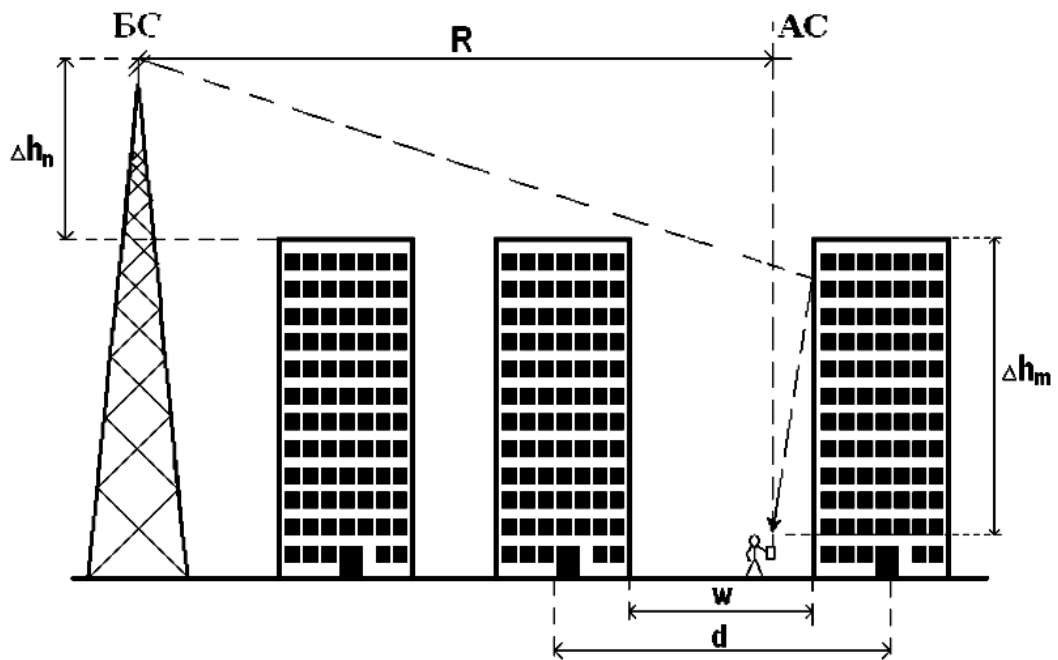


Рисунок 1.6 - Основний шлях поширення радіосигналу і параметри моделі Уолфиш-Ікегамі

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

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

Особливостями моделі COST231-Уолфиш-Ікегамі в порівнянні з моделлю COST 231-Хата є:

- 1) Антена базової станції може перебувати як вище, так і нижче лінії рівня дахів міської забудови;
- 2) Враховується ширина вулиць, відстані між будівлями, висота будівель і орієнтація вулиць щодо напрямку поширення сигналу;
- 3) Розрахунок ослаблення проводиться в діапазоні (0,02 - 5) км, а в моделі Хата - (1 - 20) км.

Значення основних параметрів моделі Уолфиш-Ікегамі:

- 1) Діапазон частот ( $f_{\text{МГц}}$ ): (800 - 2000) МГц;
- 2) Висота антен БС ( $h_b$ ): (4 - 50) м;
- 3) Висота антен абонентських станцій ( $h_a$ ): (1 - 3) м;
- 4) Відстань між БС і АС ( $d_{\text{км}}$ ): (0,02 - 5) км;
- 5) Висота будівель ( $h_r$ ): ( $3n + h_c$ ),  $h_c$  - висота схилу даху,  $n$  - число поверхів;
- 6) Ширина вулиць ( $b$ ): (10 - 25) м;
- 7) Кут на БС щодо поздовжнього напрямку вулиць ( $\psi$ ): 0 - 90 °.

Практично при нерегулярній забудові в якості параметрів  $h_r$  і  $b$  приймають середні значення.

Дана модель дозволяє розраховувати середні втрати потужності сигналу  $L$  дБ для двох випадків: при наявності прямої видимості між антенами БС і АС ( $L_1$ ) і при відсутності прямої видимості ( $L_2$ ). Модель розрахована на плоску земну поверхню.

Поширення при відсутності прямої видимості.

Можливі два варіанти:

- 1) Антена БС розташована не вище дахів будівель, що стоять на шляху променя до АС;
- 2) Антена БС розташована вище дахів будівель.

За першим варіантом

Втрати потужності сигналу  $L_2$  в першому варіанті визначається загальною формулою:

$$L_2 = L_0 + L_3 + L_4, \quad (1.20)$$

де  $L_0$  – втрати у вільному просторі:

$$L_0 = 32,45 + 20(\lg d_{\text{км}} + \lg f_{\text{МГц}}), \quad (1.21)$$

де  $L_3$  – втрати при поширенні над дахами будинків за рахунок дифракції;  
 $L_4$  - втрати за рахунок проходження крізь будівлі і численні відображення.

$$L_3 = -16,9 - 10lg + 10lgf_{\text{МГц}} + 20lg(h_r - h_a) + L_\psi \quad (1.22)$$

$$L_4 = L_h + k_a + k_d l g d_{\text{км}} + k_f l g f_{\text{МГц}} - 9l g b \quad (1.23)$$

В рівнянні (1.22)  $L_\psi$  - є втрати через взаємної орієнтації напрямку поширення і вулиць ( $\psi = 0$ , якщо напрям поширення збігається з напрямком вулиці). У загальному випадку ці втрати визначаються формулами:

$$\begin{aligned} & -10 + 0,35 \psi; (0 \leq \psi \leq 35^\circ); \\ L_\psi & = 2,5 + 0,075(\psi - 35^\circ); (35^\circ \leq \psi \leq 55^\circ); \\ & 4,0 - 0,114(\psi - 55^\circ); (55^\circ \leq \psi \leq 90^\circ). \end{aligned} \quad (1.24)$$

У рівнянні (1.23) складова  $L_h$  враховує зменшення втрат, якщо антена БС розташована вище даху будівель. Ця складова визначається за формулою:

$$L_h = -18 lg(1 + h_b - h_r) \text{ при } h_b > h_r \quad (1.25)$$

$$L_h = 0 \text{ при } h_b > h_r$$

У рівнянні (1.23) складова  $k_a$  враховує вплив радіуса стільники  $a$  на втрати потужності:

$$\begin{aligned} k_a & = 54 \text{ дБ при } h_b > h_r \\ & 54 - 0,8(h_b - h_r) \text{ при } h_b < h_r, a > 500\text{м} \\ & 54 - 1,6 a_{\text{км}}(h_b - h_r) \text{ при } h_b < h_r, a < 500\text{м} \end{aligned} \quad (1.26)$$

У рівнянні (1.23) складова  $k_d$  враховує висоту антени БС над дахами:

$$\begin{aligned} k_d & = 18 \text{ дБ при } h_b > h_r \\ & 18 - 15(h_b - h_r) / h_r \text{ при } h_b \leq h_r \end{aligned} \quad (1.27)$$

У рівнянні (1.23) складова  $k_f$  враховує вплив частоти сигналу і характеру забудови.

При багатоповерховій забудови великого міста:

$$k_f = -4 + 1,5(f_{\text{МГц}}/925 - 1) \quad (1.28)$$

Для середнього міста і передмість:

$$k_f = -4 + 0,7(f_{\text{МГц}}/925 - 1) \quad (1.29)$$

Зауважимо, що дана модель використовується Міжнародним телекомунікаційним союзом (ITU) в якості стандартної моделі для систем рухомого зв'язку 3G і 4G, що працюють в діапазоні частот  $800 < f < 2000$  МГц ( $0,8 < f < 2,0$  ГГц).

Перетворення за першим варіантом:

$$L_4 = L_h + k_a + k_d \lg d_{\text{км}} + k_f \lg f_{\text{МГц}} - 9 \lg b \quad (1.30)$$

$$L_2 = 32,45 + 20(\lg d_{\text{км}} + \lg f_{\text{МГц}}) + (-16,9) - 10 \lg b + 10 \lg f_{\text{МГц}} + 20 \lg(h_r - h_a) + 2,5 + 0,075(\psi - 35^\circ) + 54 - 1,6 a_{\text{км}}(h_b - h_r) + [18 - 15(h_b - h_r)/h_r] * \times \lg d_{\text{км}} + [-4 + 1,5(f_{\text{МГц}}/925 - 1)] \lg f_{\text{МГц}} - 9 \lg b$$

$$L_h = 0 \text{ при } h_b < h_r$$

Модель Уолфіша-Ікегамі розрахована на плоску поснову міста, тому вона не може бути застосована для міст з сильною нерівномірністю рельєфу.

### 1.13 Програми моніторингу мереж мобільного зв'язку

Існує досить програм як професіональних, так і в якості додатків для мобільних пристроїв. Перші використовуються як правило для планування та оптимізації мереж мобільного зв'язку і вони коштують досить багато. Другі можуть використовуватися для дослідження параметрів покриття із значно меншою їх кількістю, але дозволяють виконувати аналіз стану існуючих мереж для покращення експлуатаційних показників. В магістерській роботі використані додатки до мобільних пристроїв.

### 1.13.1 Network Cell Info

Network Cell Info показує місцезнаходження сот на карті і вимірює рівень сигналу обслуговуючої соти і сусідніх сот. Додаток підтримує всі стандарти стільникових мереж, включаючи LTE, HSPA +, HSPA, WCDMA, EDGE, GSM, CDMA [8].

У програмі відображається інформація:

- 2 показника потужності сигналу (дБм) з тимчасовим графіком для обслуговуючої і сусідніх сот (виключаючи режим LTE);
- зберігає отримане вимірювання про соте в окремий файл (у вкладці Карта);
- налаштування відстаней (0м, 5м, 10м, ...) між послідовними вимірами у вкладці КАРТА (якщо мережа залишається постійною);
- установка обмежень на точність розташування для проведення вимірювань;
- датчик руху з вибором варіантів чутливості;
- тест-драйв мережі: кольорове забарвлення маршруту (у вкладці карти) в залежності від сили сигналу і розстановка маркерів з місцем розташування сигналу і інформацією про нього;
- статистика підключень: % (столбчаста діаграма) 2G / 3G / 4G з сотовими даними вмикання / вимикання;
- повідомлення про доступ до типам мереж 2G / 2.5G / 3G / 3.5G / 4G в зоні повідомлень.
- одночасний перегляд карти і даних про рівень сигналу.
- варіанти відображення карти: нормальний, супутник, місцевість;
- перегляд докладних необроблених даних про сигнал мережі і самої мережі, включаючи потужність сигналу, інформацію про обслуговуючу соту і всіх сусідніх сотах.

Скріншоти цієї програми представлено на малюнку 1.7.

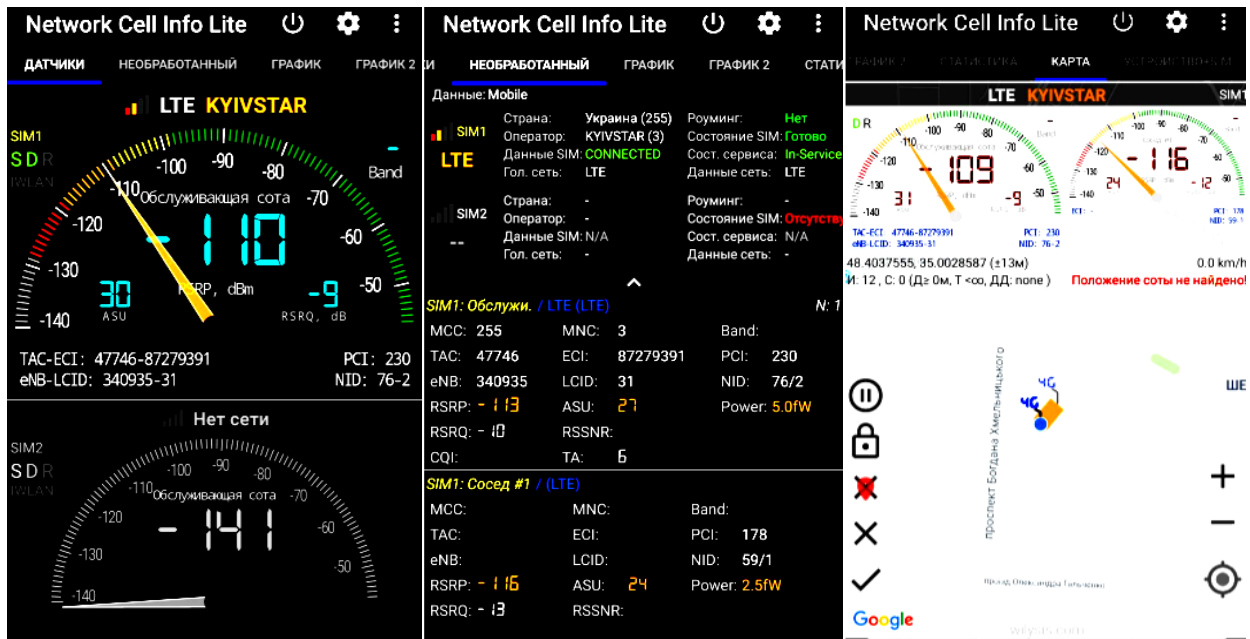


Рисунок 1.7 Скріншоти програми Network Cell Info

### 1.13.2. Open Signal Maps

Додаток для поліпшення якості прийому мобільного сигналу. Програма дозволяє здійснити перегляд по карті і радару мобільних вишок та маршрутизаторів. А також отримати детальні дані про рівень сигналу [7].

Ця програма надає повний список даних про якість сигналу в кожній з приймаючих зон, показує на карті найближчі точки зв'язку і сповіщує про зміну якості прийому сигналу. У програмі також надається інформація про дані, на які можна спиратися в пошуках найкращого місця прийому.

На рис 1.8 відображене головне вікно програми і карта, на якій можна побачити місцезнаходження базової станції, з'єднання з якою відбувається в даний момент.

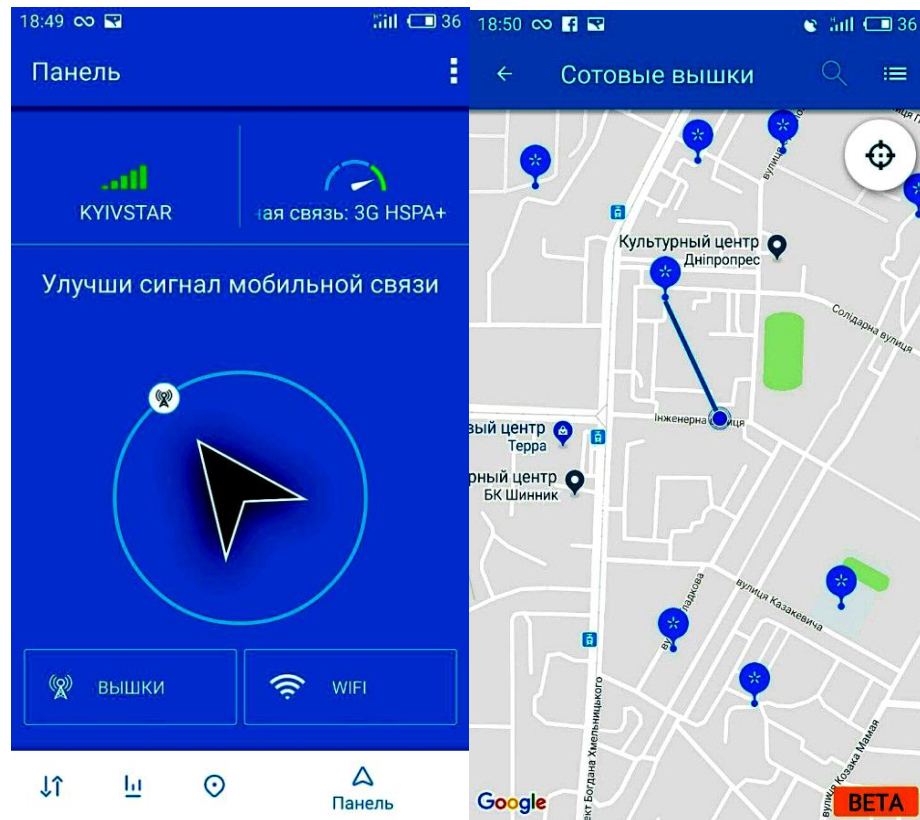


Рисунок 1.8 – Головне вікно і карта програми Open Signal Maps

Додаток включає:

- компас, який показує, звідки йде ваш зв'язок;
- карту стільникових веж і точок Wifi;
- тест швидкості скачування, завантаження, і пінгу;
- карти покриття уточнюють кращі - і гірші місця 2G, 3G, і 4G зв'язку;
- незалежне порівняння швидкості кожного оператора;

Недоліки програми:

- не всі БС є на картах;
- якщо зв'язок проходить по мережі CDMA, додаток покаже, що зв'язок тільки з однією вежею;
- наближення до БС не завжди покращує зв'язок (це залежить від рельєфу місцевості).
- неточне відображення місця розташування базової станції;
- відсутність даних про робочі частоти БС і АС.



Список вышек		
Вышка текущей связи	Номер	LAC
KYIVSTAR	74873125	30002
Другие вышки		
	Номер	LAC
KYIVSTAR	19935189	47146
KYIVSTAR	19955540	47146
KYIVSTAR	19937009	47146
KYIVSTAR	953	30002
KYIVSTAR	8021	47146
KYIVSTAR	9311	47146
KYIVSTAR	19935191	47146

Рисунок 1.9 – Перелік станцій у Open Signal Maps

### 1.13.3 Net Monitor

Net Monitor - це програма призначена для пошуку базових станцій операторів стільникового зв'язку і реєстрації їх технічних параметрів.

Метою програми є створення і підтримка в актуальному стані баз даних інформації про БС стільникових операторів [6].

Головне вікно програми відображає мережу оператора, SIM-провайдер, тип телефону, тип мережі, рівень потужності сигналу мережі в дБм.

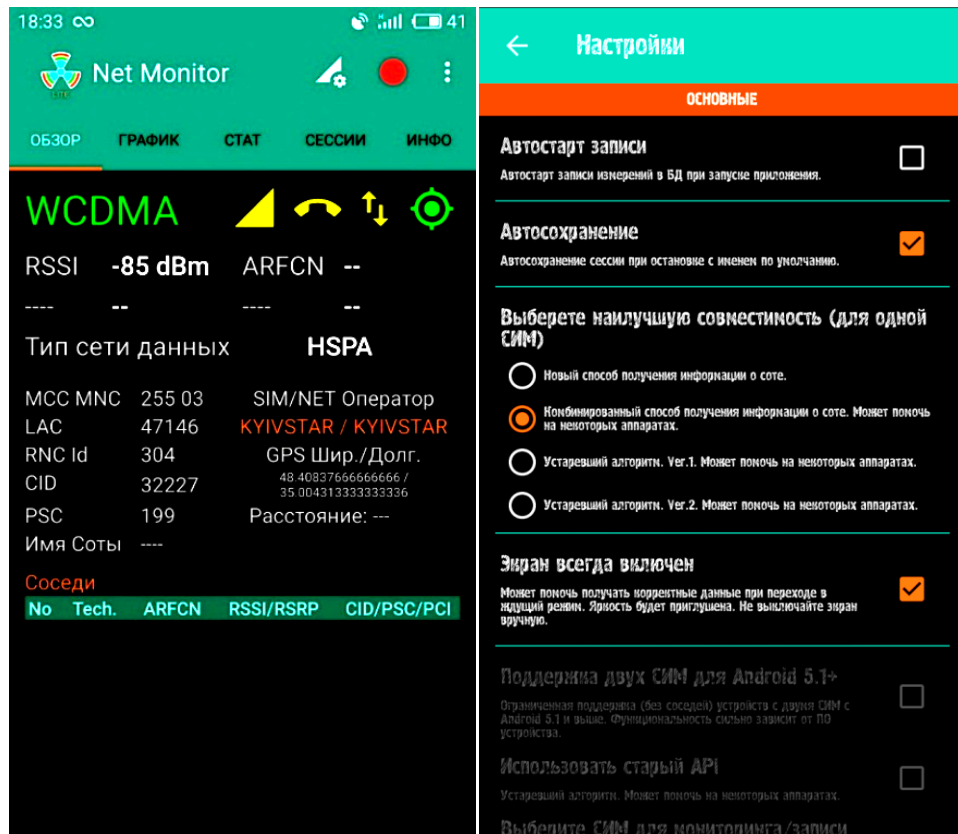


Рисунок 1.10 - Головне вікно програми і налаштування в Net Monitor

Основні можливості програми для моніторингу:

- моніторинг рівнів сигналу і сервісів мережі 2-го, 3-го і 4-го поколінь;
- можливість вести журнал отриманих в програмі даних;
- відображення технологій мережі і рівнів сигналу на картах Google;
- експорт даних карти в KML;
- перегляд статистики по виміряним даними;
- завантаження і використання зовнішнього BTS файлу з додатковими даними сот;
- наявність віджетів 2x1 і 4x2;
- керівництво користувача;

Надає детальну інформацію про використовувані в даний час мережі. Проводиться візуалізація рівня сигналу бездротового і мобільної мережі.



Рисунок 1.11- Графіки рівнів сигналу

Програма дозволяє спостерігати на карті розташування найближчих вишок стільникового зв'язку, а також відстань до підключеної БС.



Рисунок 1.12 - Місцезнаходження осередки на карті

Також можна отримати інформацію про пристрій, на якому встановлена програма.

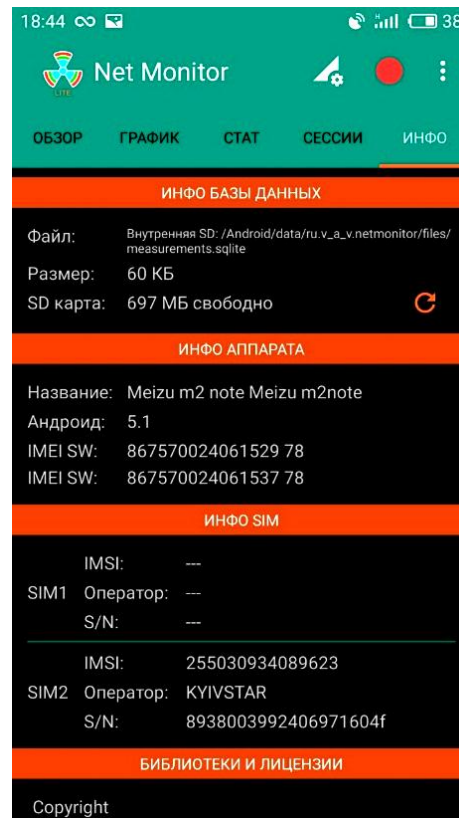


Рисунок 1.13 – Інформація про систему

#### 1.14 Постановка задач дослідження

Для досягнення мети магістерської роботи поставлені наступні завдання:

1. Проаналізувати відомі статистичні моделі поширення радіохвиль в міських умовах.
2. Обрати найбільш відповідні щодо мети дослідження.
3. Вибрати мікрорайони міста, що відповідають умовам застосування обраної моделі.
4. Вибрати місцевості з типовою забудовою для проведення експериментальних досліджень та виконати вимірювання потужності сигналу в точках прийому.
5. Провести аналіз результатів вимірювань та отримати математичні вирази (регресії) залежності потужності сигналу в АС від відстані між АС і БС.

6. Визначити нові значення коефіцієнтів у рівняннях моделей COST231–Хата і COST231 Уолфіш-Ікегамі на базі отриманих регресій.
7. Вибрати технічні засоби і програмне забезпечення для вимірювань рівня сигналу на місцевості і визначення положення БС і АС.
8. Провести необхідну кількість вимірювань для конкретних умов застосування моделей.
9. Виконати обробку результатів вимірювань.
10. Проаналізувати отримані результати і визначити значення експериментальних параметрів моделей розповсюдження.
11. Порівняти параметри, отримані на основі досліджень з параметрами обраних статистичних моделей розповсюдження та встановити причини розбіжностей.
12. Запропонувати рекомендації щодо уточнення параметрів моделі для розрахунку рівня потужності в точці прийому.

### 1.15 Висновки

У першому розділі наведені загальні відомості про поширення радіохвиль в мережах стільникового зв'язку GSM, розглянуті основні статистичні моделі поширення радіохвиль, наведені засоби радіоконтролю, а також варіанти програмного забезпечення під Андроїд, що дозволяє робити моніторинг радіопокриття в стільникових мережах, сформульовані завдання магістерської роботи.

## РОЗДІЛ 2

### СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

#### 2.1. Проведення експериментальних вимірювань

##### 2.1.1 Вибір мікрорайонів міста, що відповідають умовам застосування розглянутих моделей поширення радіохвиль

Для сучасних міських районів характерна висока щільність розташування не тільки будівель і споруд, а також наявність досить високих дерев, що є причиною швидких завмирань радіосигналу в каналі зв'язку. Радіотраси з точки зору поширення радіохвиль являють собою складну структуру, тому опис їх є практично неможливим без спрощень, які визначаються для конкретних умов розповсюдження радіохвиль.

Згідно поставлених задач для дослідження у місті Дніпро обрані мікрорайони «12 квартал» та «Лівобережний 3». Ці мікрорайони мають щільну забудову при досить рівномірному розташуванні будівель. При цьому мікрорайон «12 квартал» має виключно будівлі на 5 поверхів, а «Лівобережний 3» забудовано 9-10 ти поверхівками, Кількість будівель іншої поверховості є незначною серед основних, або вони розташовуються окремою лінією.

Незважаючи на велику кількість базових станцій в цих мікрорайонах, число яких в даний час в основному визначається величиною трафіка, проведення вимірювань є технічно можливим і відповідає умовам застосування розглянутих моделей поширення радіосигналу в місті.

Аналіз статистичних моделей, представлених в першому розділі, забезпечує найбільш близькі до реальних значення втрат при поширенні радіохвиль в міських умовах, а саме: моделі COST 231 Хата та COST 231 Уолфиш-Ікегамі.

## 2.1.2 Проведення вимірювань рівня потужності сигналу в обраних мікрорайонах

Вимірювання рівня потужності сигналів у точках доступу проводилося в різних місцях обраних кварталів так, що встановлення зв'язку мало місце з різними БС згідно характерних умов дії стільникового зв'язку.

Для здійснення вимірів було використано додаток Net Monitor встановлений на смартфоні моделі Meizu m2 note. У кожному місці для обох мікрорайонів проводилося два-три вимірювання. Для аналізу отриманих результатів використано їх середнє значення. Серед значної чисельності вимірювань відібрані тільки дані з відстанню між АС та БС менш 1 км відповідно до умов дослідження.

Результати вимірювань представлені в таблицях 2.1 та 2.2.

Карти мікрорайонів з розташуванням мобільних станцій наведено на рисунках 2.1 та 2.2. На рисунку 2.3 наведено приклад одного з виконаних вимірювань.

Таблиця 2.1 – Рівні сигналу для мікрорайону «12квартал» (з 5-ти поверховими будинками)

№ п/п	Відстань від АС до БС, м	Рівень сигналу на АС, дБм
1	66	-61
2	110	-73
3	204	-79
4	248	-83
5	370	-85
6	442	-87
7	520	-87
8	633	-88
9	812	-91

Таблиця 2.2 Рівні сигналу для мікрорайону «Лівобережний 3» (з 9-10 ти поверховими будинками)

№ п/п	Відстань, м	Потужність сигналу, дБм
1	58	-59
2	183	-68
3	200	-71
4	245	-69
5	315	-72
6	392	-73
7	424	-75
8	641	-76
9	776	-82
10	1072	-85

### 2.1.3 Статистична обробка експериментальних даних

Після отримання результатів вимірювань для подальшого аналізу було проведено їх упорядкування і розрахунок основних числових характеристик методами математичної статистики.

Статистична гіпотеза – це припущення про вид або окремих параметрів розподілу ймовірностей, яке підлягає перевірці на наявних даних. Перевірка статистичних гіпотез – це процес формування рішення про можливість прийняти або відкинути твердження (гіпотезу), заснованого на інформації, отриманої з аналізу вибірки. Методи перевірки гіпотез називаються критеріями.

Рівень значущості – максимальне значення ймовірності появи події, при якому подія вважається практично неможливим. У статистиці найбільшого поширення набув рівень значимості, рівний  $\alpha = 0,05$ . Тому, якщо ймовірність, з якою цікавить подія може відбутися випадково  $p < 0,05$ , то прийнято вважати цю подію малою ймовірною, і якщо вона все ж сталося, то це не було випадковим. Величину  $P$ , яка дорівнюється  $1 - \alpha$ , називають довірчою ймовірністю (рівнем надійності), тобто ймовірністю, визнаної достатньою для того, щоб впевнено судити про прийняте статистичне вирішення.



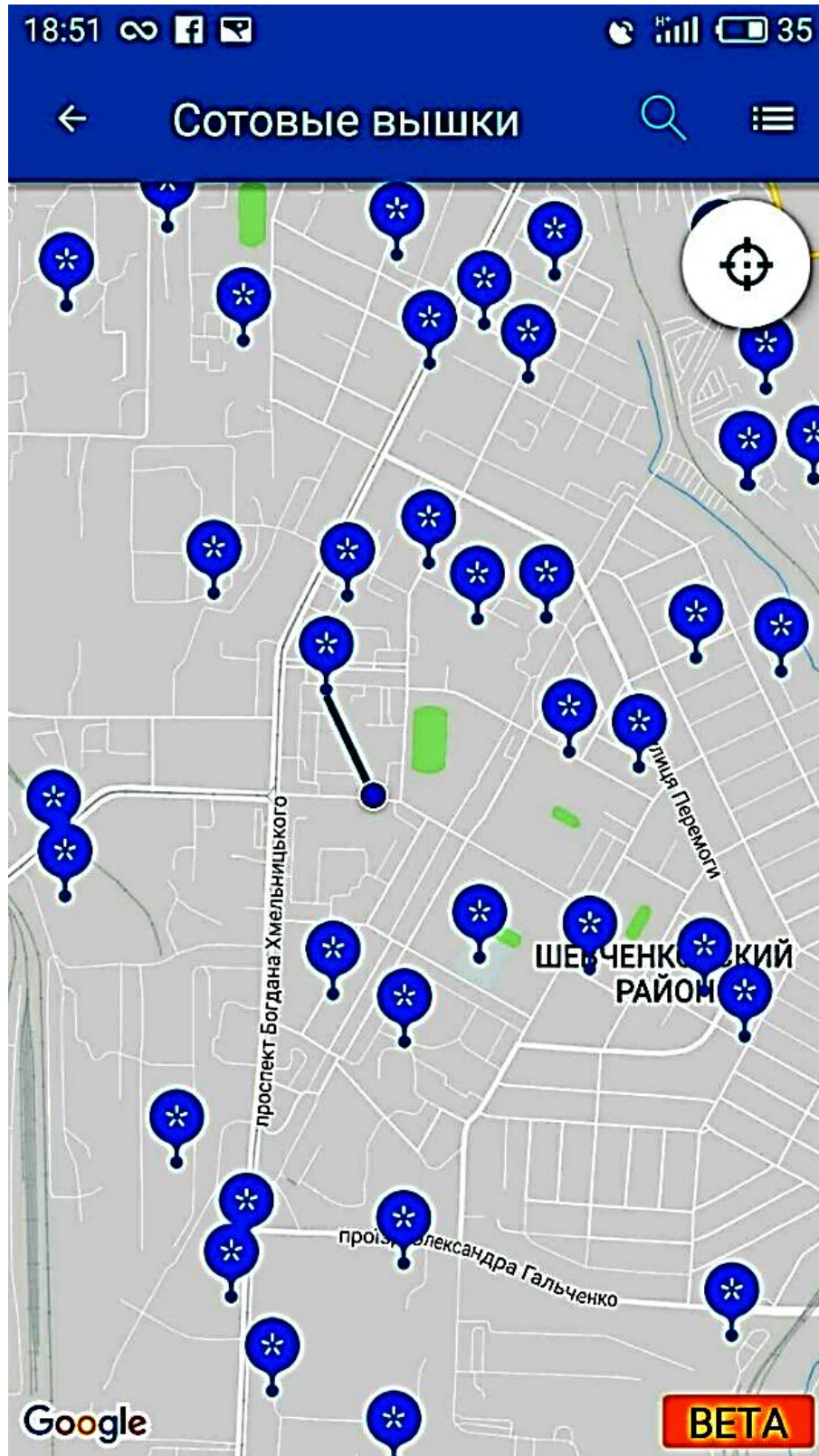


Рисунок 2.1 – Карта мікрорайону «12 квартал» з відображенням значної кількості базових станцій мобільного зв'язку.

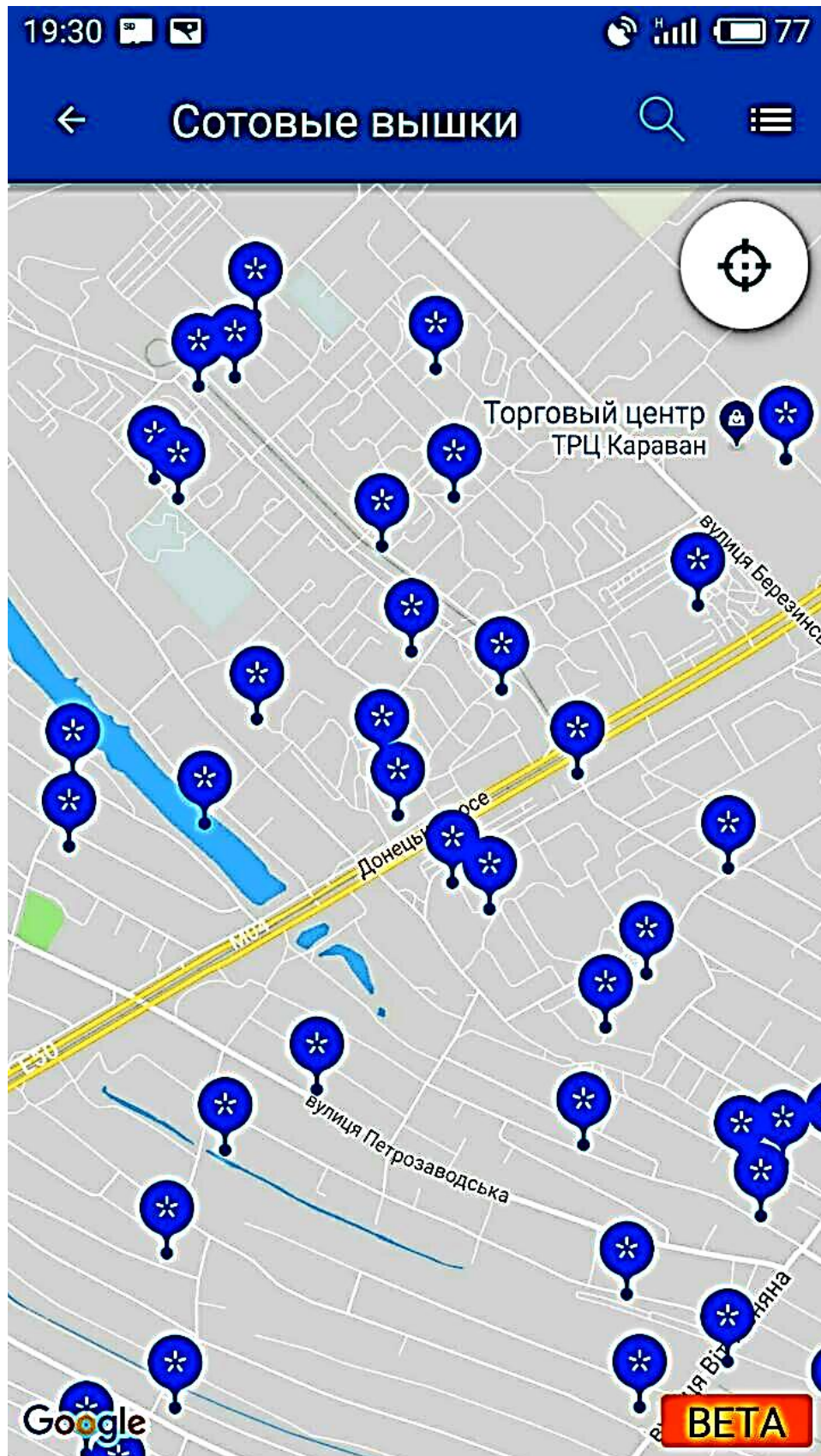


Рисунок 2.2 – Карта мікрорайону «Лівобережний 3» з відображенням значної кількості базових станцій мобільного зв'язку.



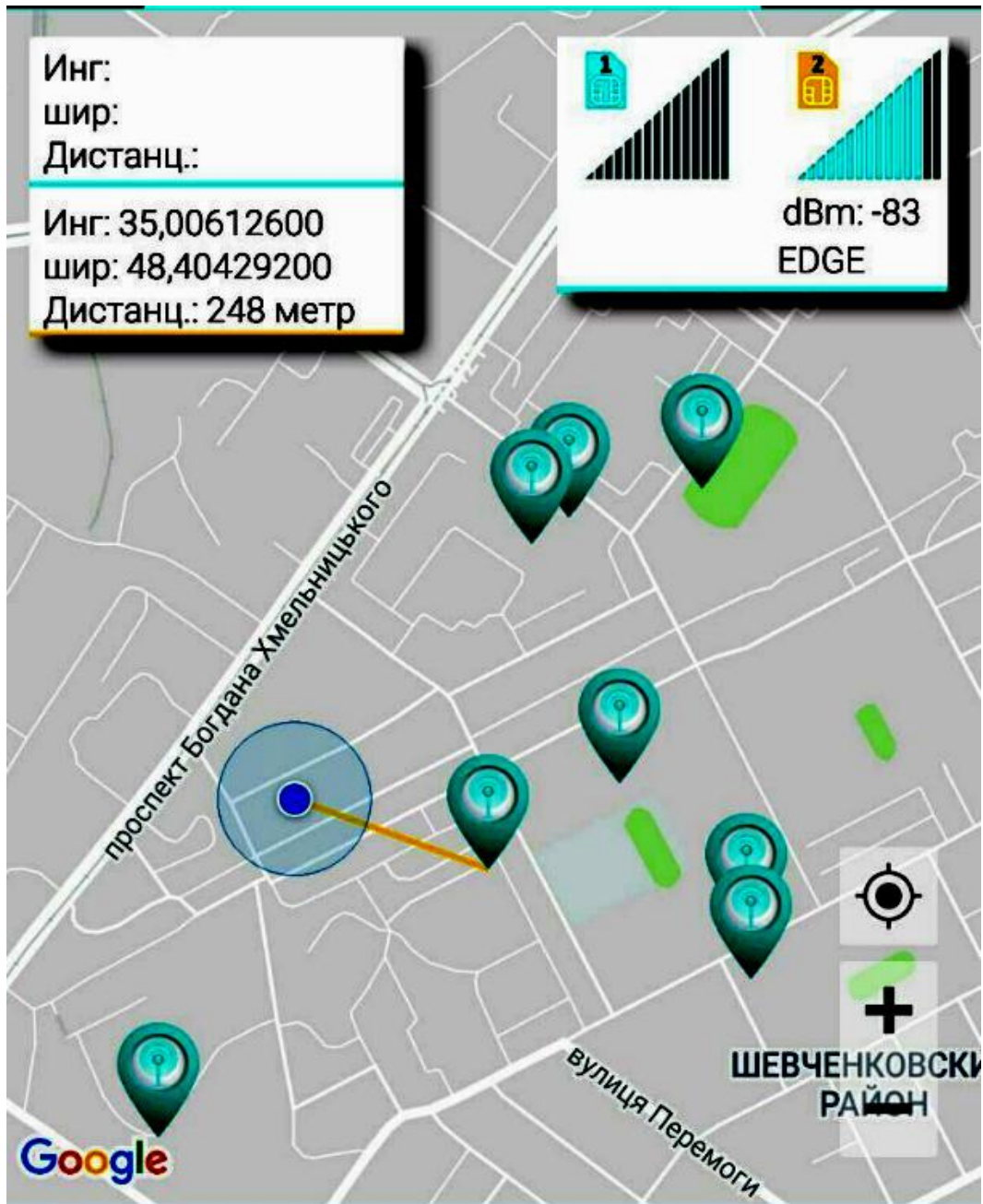


Рисунок 2.3 – Карта мікрорайону «12 квартал» з відображенням моменту встановлення зв'язку з базовою станцією, яка орташована серед будинків.

Відповідно, в якості довірчих ймовірностей вибирають значення 0,95, 0,99 або 0,999. Інтервал, в якому із заданною довірчою ймовірністю  $P = 1 - \alpha$  знаходиться оцінюваний параметр, називається довірчим інтервалом.

Важливим розділом статистичного аналізу є кореляційний аналіз, необхідний для виявлення взаємозв'язків між вибірками.

Кореляційний аналіз полягає у визначенні ступеня зв'язку між двома випадковими величинами  $X$  і  $Y$ . В якості міри такого зв'язку використовується коефіцієнт кореляції. Він оцінюється за вибіркою обсягу  $n$  пов'язаних пар спостережень  $(x_i, y_i)$  з спільної генеральної сукупності  $X$  і  $Y$ . Існує кілька типів коефіцієнтів кореляції, які підпадають під припущення про спільний розподіл величин  $X$  і  $Y$ . Для оцінки ступеня взаємозв'язку найбільшого поширення набув коефіцієнт лінійної кореляції (Пірсона), що передбачає нормальний закон розподілу спостережень. Коефіцієнт кореляції  $(R, r)$  - параметр, що характеризує ступінь лінійного взаємозв'язку між двома вибірками. Коефіцієнт кореляції змінюється від  $-1$  (сувора зворотна лінійна залежність) до  $1$  (сувора пряма пропорційна залежність). При значенні коефіцієнта рівному  $0$  лінійної залежності між двома вибірками немає.

Регресійний аналіз встановлює форми залежності між випадковою величиною  $Y$  і значеннями однієї або декількох змінних величин. Регресія використовується для аналізу впливу на окрему залежну змінну значень однієї або більше незалежних змінних. Регресійний аналіз встановлює форми залежності між випадковою величиною  $Y$  (залежної) і значеннями однієї або декількох змінних величин (незалежних), причому значення останніх вважаються точно заданими. Така залежність зазвичай визначається деякою математичною моделлю (рівнянням регресії), що містить кілька невідомих параметрів. В ході регресійного аналізу на підставі вибірових даних знаходяться оцінки цих параметрів, визначаються статистичні помилки оцінок або кордону довірчих інтервалів і перевіряється відповідність (адекватність) прийнятої математичної моделі експериментальним даним

У разі необхідності оцінити вірогідність різниці між декількома групами спостережень (вибірками) використовують методи дисперсійного аналізу. Дисперсійний аналіз призначений для дослідження завдання про дію на

вимірювану випадкову величину (відгук) одного або декількох незалежних факторів, що мають кілька градацій.

#### 2.1.4 Обробка результатів вимірювань

Регресійний аналіз можна виконати завдяки різних засобів. Досить просто отримати регресійні моделі у пакеті Microsoft Office Excel.

За даними таблиць 2.1 та 2.2 отримані тренди і їх рівняння, що визначають залежності потужності сигналів на входах АС від відстаней між АС і БС для експериментальних даних в умовах обраних мікрорайонів міста «12 квартал» та «Лівобережний 3», які представлені на рисунку 2.4.

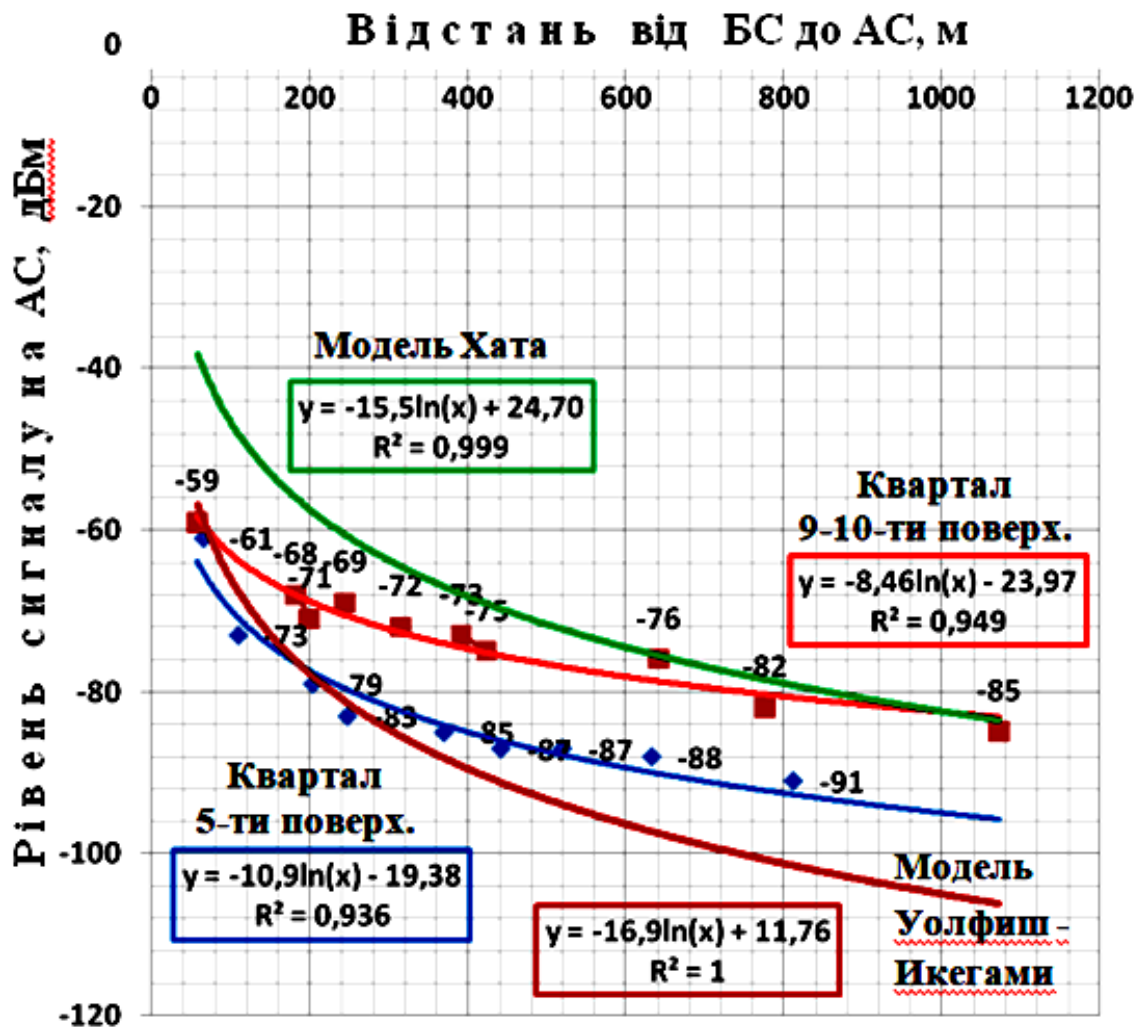


Рисунок 2.4 - Регресії потужності сигналу в точках прийому на відстань між АС та БС для експериментів та моделей COST231-Хата та COST231-

Уолфіш-Ікегами

На цьому ж рисунку зображені функціональні залежності, розраховані по рівняннях статистичних моделей COST231-Хата та COST231-Уолфіш-Ікегамі з урахуванням характеристик мікрорайонів.

Аналіз представлених на рисунку 2.4 залежностей, отриманих для інтервалу відстані між АС та БС менш 1 км, свідчить, що:

- досить великі значення коефіцієнтів достовірності дозволяють зробити висновок про адекватність отриманих результатів характеру існуючих статистичних моделей розповсюдження радіохвиль в умовах місцевих забудов;
- значення експериментально визначених потужностей сигналу в точках прийому значно відрізняються від значень потужностей, розрахованих на основі статистичних моделей;
- для моделі COST231-Хата розраховані значення потужності практично співпадають з експериментальними при відстані між АС та БС близько 1 км тільки для мікрорайону з будинками на 9-10 поверхів;
- для моделі COST231-Уолфіш-Ікегамі розраховані значення потужності практично співпадають з експериментальними при відстані між АС та БС, менш 400 метрів, тільки для мікрорайону з будинками на 5 поверхів;
- рівняння регресії в пакеті Microsoft Office Excel отримані в форматі  $Y = A + B \ln X$ , що не дозволяє безпосередньо провести порівняння їх з рівняннями моделей.

Останній пункт аналізу поставив задачу пошуку формату рівнянь регресії у вигляді формату, відповідному обраним моделям розповсюдження радіосигналу. Цей формат має загальний вигляд  $Y = A + B \lg X$ , тому, що втрати потужності сигналу по трасі розповсюдження вимірюються у логарифмічних одиницях - дБ. З цього приводу було зроблено перехід від рівнянь регресії (трендів) в Excel до рівнянь в форматі моделей, тобто від натуральних логарифмів, а також при цьому відстань від БС до АС було перераховано в км.

Перехід до десяткового логарифму виконується за виразом:

$$\lg(X) = \lg(e) * \ln(X) = M * \ln(X) \quad (2.1)$$

Тобто десятковий логарифм числа, дорівнює натуральному логарифму цього числа, помноженому на число:

$$M = \lg(e) = 0,43425 \quad (2.2)$$

Відповідно:

$$\ln(X) = \lg(X) / M \quad (2.3)$$

Рівень прийнятої потужності визначається відповідно до балансу при передачі в напрямку від БС до АС [11].

$$P_{inAC} = P_{outBC} - L_{fBC} + G_{aBC} - L_c - L_{\Gamma} + G_{aAC} - L_{fAC} \quad (2.4)$$

В більшості випадків:  $P_{outBC} = 28 \text{ Вт} = 44,5 \text{ дБм}$ ; втрати у комбайнері передавача  $L_{fBC} = 2 \text{ дБ}$ , коефіцієнт посилення передавача  $G_{aBC} = 16 \text{ дБ}$ , відповідно для приймача -  $L_{fAC} = 0$ ,  $G_{aAC} = 0$ .  $L_c = 0$ , якщо в соті 3-4частоти.

Тоді втрати потужності з рівнем сигналу в точці прийому співвідносяться за виразом:

$$L_{\Gamma} = 58,5 - P_{inAC} \quad (2.5)$$

Рівняння регресії для кожного мікрорайону були перетворені наступним чином.

Для мікрорайону «12 квартал» з будинками на 5 поверхів:

$$\text{Рівняння регресії} - Y = - 10,9 \ln(x) - 19,38$$

Після перетворення має вигляд :

$$Y = -94,677 - 25,1 \lg(x)$$

$$P_{inAC} = -94,677 - 25,1 \lg(R), \quad (2.6)$$

де  $R$  – в км – відстань від АС до БС.

Наприклад,  $R = 0,442$  км;  $P_{inAC} = -94,677 + 8,9 = -85,77$  дБм – вірно.

Для мікрорайону «Лівобережний 3» з будинками на 9-10 поверхів:

Рівняння регресії -  $Y = -8,469 \ln(x) - 23,97$ .

Після перетворення має вигляд :

$$Y = -82,47 - 19,5 \lg(x)$$

$$P_{inAC} = -82,47 - 19,5 \lg(R), \quad (2.7)$$

Наприклад,  $R = 0,424$  км;  $P_{inAC} = -82,47 + 8,9 = -75,2$  дБм – вірно.

Модель COST231 Хата.

В діапазоні 1800 МГц і вище розрахунки втрат по трасі поширення радіосигналу найчастіше в даний час проводять за допомогою моделі COST231 Хата.

Умови застосовності моделі:

$$f = 1500 - 2000 \text{ МГц}; H_{BC} = 30 - 200 \text{ м}; H_{AC} = 1 - 10 \text{ м}$$

Не дивлячись на те, що ця модель не призначена для відстаней між АС та БС менш 1 км, вона серед інших моделей є найбільш універсальною, що відкриває можливість її удосконалення для використання в умовах кварталів з однотипною забудовою.

В середньому місті і приміському центрі з помірною щільністю посадки дерев втрати по трасі за цією моделлю визначаються з виразу (1.19):

$$L_{\Gamma} = 48,5 + 35,46 \lg f - 13,82 \lg H_{BC} - (1,1 \lg f - 0,7) H_{AC} +$$

$$+(44,9 - 6,55 \lg H_{BC}) \lg R, \quad (2.8)$$

де  $H_{BC}$  - ефективна висота підйому антени базової станції, м;



$H_{AC}$  - висота антени мобільної станції над землею, м;

$R$  - відстань між передавачем і приймачем, км;

$F$  - частота сигналу, МГц;

Втрати по трасі поширення відповідно до цієї моделі для вище наведених даних. можуть бути розраховані за наступною формулою:

$$L_{\Gamma} = 140,83 + 35,23 \lg R, \text{ дБ} \quad (2.9)$$

Для мікрорайону « 12 квартал» з 5-ти поверховими будинками:

$$P_{inAC} = - 94,677 - 25,1 \lg(R) \quad (2.10)$$

Втрати по трасі розповсюдження радіосигналу в місті згідно з отриманою експериментальною (для 5 ти поверхівок) моделлю складають:

$$\begin{aligned} L_{\Gamma} &= - P_{inAC} + 44,5 + 14 = 58,5 + 94,68 + 25,1 \lg(R) = \\ &= 153,18 + 25,1 \lg(R) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Перетворимо вираз моделі COST231 Хата, підставивши параметри (частота передачі в напрямку від БС до АС -  $f = 1842$  МГц; ефективна висота БС -  $H_{BC} = 30$  м, висота АС -  $H_{AC} = 1,0$  м), маємо;

$$\begin{aligned} L_{\Gamma} &= 48,55 + 115,59 \lg f - 20,41 - 2,89 + (44,9 - 9,67) \lg R = \\ &= 48,55 + 92,29 + (44,9 - 9,67) \lg R = K_1 + 92,29 + (K_2 - 9,67) \lg R \end{aligned} \quad (2.12)$$

З урахуванням коефіцієнтів отриманої регресії (для 5 ти поверхівок), вважаючи параметри станцій ідентичними, отримаємо:

$$K_1 + 92,29 + (K_2 - 9,67) \lg R = 153,18 + 25,1 \lg(R) \quad (2.13)$$

Звідси нові значення коефіцієнтів (на підставі експериментальної моделі) складають:

$$\begin{aligned} K_1 &= 153,18 - 92,29 = 60,89 \\ K_2 &= 25,1 + 9,67 = 34,77 \end{aligned} \quad (2.14)$$

В такому випадку «скорегований» вираз для втрат рівня сигналу при розповсюдженні радіохвиль в кварталі 5 ти поверхівок буде виглядати наступним чином:

$$L_{\Gamma} = 60,89 + 35,4 \lg f - 13,82 \lg H_{\text{BC}} - (1,1 \lg f - 0,7) H_{\text{AC}} + (43,77 - 6,55 \lg H_{\text{BC}}) \lg R \quad (2.15)$$

Отриманий експериментально коефіцієнт  $K_1$  досить близький аналогічного параметру моделі Хата ( $K_1 = 69,55$ ) для частотного діапазону  $150 \text{ МГц} \leq f \leq 1000 \text{ МГц}$ .

Для мікрорайону «Лівобережній 3», що має 9-10 ти поверхові будинки

$$P_{\text{inAC}} = -82,47 - 19,5 \lg(R)$$

Втрати по трасі поширення радіосигналу в місті згідно з цією моделлю складають:

$$L_{\Gamma} = -P_{\text{inAC}} + 44,5 + 14 = 58,5 + 82,47 + 19,5 \lg(R)$$

$$L_{\Gamma} = 140,97 + 19,5 \lg(R) \quad (2.16)$$

Перетворимо вираз моделі Хата, підставивши відомі параметри ( $f = 1842 \text{ МГц}$ ;  $H_{\text{BC}} = 30 \text{ м}$ ,  $H_{\text{AC}} = 1,0 \text{ м}$ );

$$L_{\Gamma} = 48,5 + 35,46 \lg f - 13,82 \lg H_{\text{BC}} - (1,1 \lg f - 0,7) H_{\text{AC}} + (44,9 - 6,55 \lg H_{\text{BC}}) \lg R, \quad (2.17)$$

$$L_{\Gamma} = 48,55 + 115,59 \lg f - 20,41 - 2,89 + (44,9 - 9,67) \lg R = 48,55 + 92,29 + (44,9 - 9,67) \lg R = K_1 + 92,29 + (K_2 - 9,67) \lg R \quad (2.18)$$

З урахуванням коефіцієнтів отриманої регресії (для 5 ти поверхівок), вважаючи параметри станцій ідентичними, отримаємо:

$$K_1 + 92,29 + (K_2 - 9,67) \lg R = 140,97 + 19,5 \lg(R) \quad (2.19)$$

Звідси нові значення коефіцієнтів складають:

$$\begin{aligned} K_1 &= 140,97 - 92,29 = 48,68 \\ K_2 &= 19,5 + 9,67 = 29,17 \end{aligned} \quad (2.20)$$

В такому випадку «скорегований» вираз для втрат рівня сигналу при розповсюдженні радіохвиль в кварталі з 9-10 ти поверховими будинками виглядає наступним чином:

$$\begin{aligned} L_{\Gamma} &= 48,68 + 35,4 \lg f - 13,82 \lg H_{\text{BC}} - (1,1 \lg f - 0,7) H_{\text{AC}} + \\ &+ (29,17 - 6,55 \lg H_{\text{BC}}) \lg R \end{aligned} \quad (2.21)$$

Отриманий експериментально коефіцієнт  $K_1 = 48,68$  досить близький до аналогічного параметру моделі Хата ( $K_1 = 46,3$ ) для частотного діапазону  $1500 \text{ МГц} \leq f \leq 2000 \text{ МГц}$ .

Модель COST231 Уолфиш-Ікегамі.

Підставляючи в вираз для цієї моделі параметри, прийняті для COST231 Хата: частота передачі в напрямку від БС до АС -  $f = 1842 \text{ МГц}$ ; ефективна висота БС -  $h_b = 30 \text{ м}$ ; висота АС -  $h_a = 1,0 \text{ м}$ ; а також відстань між будинками -  $b = 40 \text{ м}$ . та середню висоту будинків -  $h_r = 32 \text{ м}$ , маємо:

$$\begin{aligned} L_{\Gamma} &= 32,45 + 20 + 65,3 - 16,9 - 16 + 32,65 + 29,83 + 2,5 + 0,75 + 54 + \\ &+ 1,6 + 18,94 \lg d_{\text{км}} - 8,2 + 14,41 = 163,57 + 38,94 \lg d_{\text{км}} \end{aligned} \quad (2.22)$$

Втрати по трасі поширення радіосигналу в місті згідно з цією моделлю складають:

$$L_{\Gamma} = 163,57 + 38,94 \lg R \quad (2.23)$$

Рівень прийнятої АС потужності для моделі COST231-Уолфиш-Ікегамі визначається виразом:

$$P_{inAC} = -105,07 - 38,94 \lg(R) \quad (2.24)$$

Статистична обробка експериментальних результатів в пакеті MathCad  
версія 15.

$$x := \begin{pmatrix} 58 \\ 183 \\ 200 \\ 245 \\ 315 \\ 392 \\ 424 \\ 641 \\ 776 \\ 1072 \end{pmatrix} \quad y := \begin{pmatrix} -59 \\ -68 \\ -71 \\ -69 \\ -72 \\ -73 \\ -75 \\ -76 \\ -82 \\ -85 \end{pmatrix}$$

$$n := 10 \quad i := 0..n \quad x_0 := 58$$

$$C := \text{lnfit}(x, y) \quad C = \begin{pmatrix} -8.462 \\ -23.974 \end{pmatrix} \quad f(x) := C_0 \cdot \ln(x) + C_1$$

$$\text{stderr}(x, y) = 2.741 \quad \text{corr}(x, y) = -0.935$$

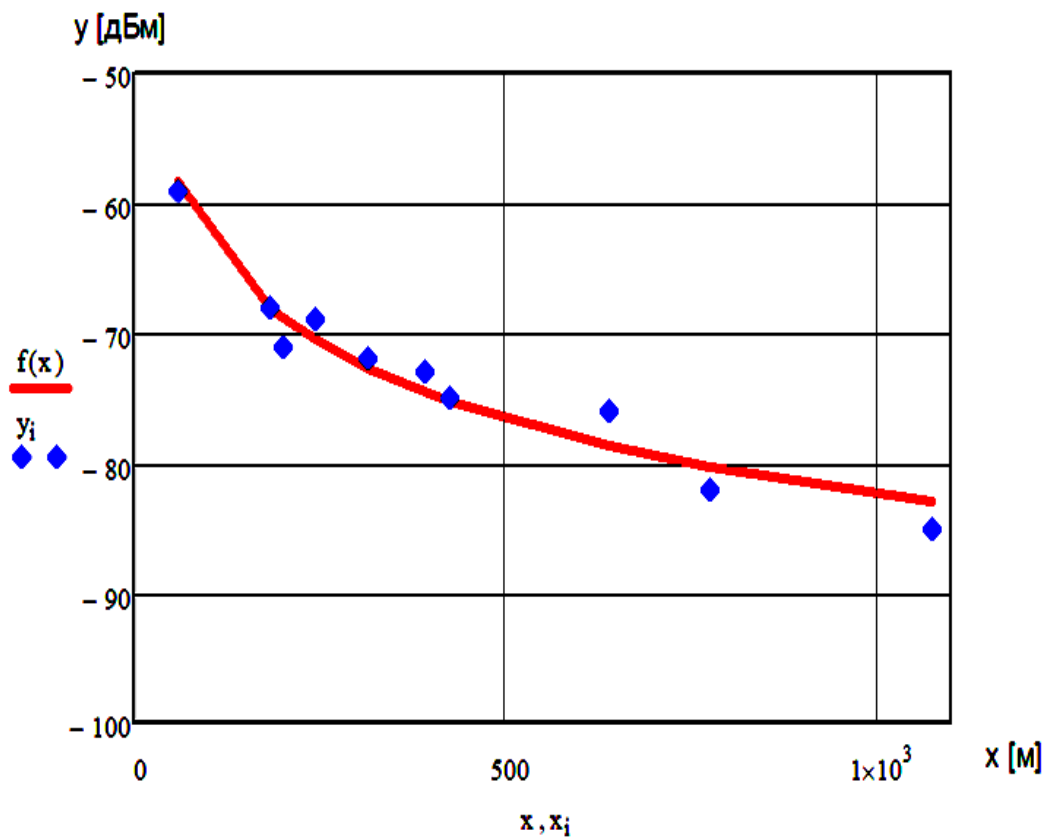


Рисунок 2.5 Мікрорайон «Лівобережний 3» (9-10 ти поверові будинки)

$$x := \begin{pmatrix} 66 \\ 110 \\ 204 \\ 248 \\ 370 \\ 442 \\ 520 \\ 633 \\ 812 \end{pmatrix} \quad y := \begin{pmatrix} -61 \\ -73 \\ -79 \\ -83 \\ -85 \\ -87 \\ -87 \\ -88 \\ -91 \end{pmatrix}$$

$$n := 9$$

$$i := 0..9$$

$$\phi_0 := 66$$

$$C := \text{lnfit}(x, y)$$

$$C = \begin{pmatrix} -10.943 \\ -19.389 \end{pmatrix}$$

$$f(x) := C_0 \cdot \ln(x) + C_1$$

$$\text{corr}(x, y) = -0.846$$

$$\text{stderr}(x, y) = 5.358$$

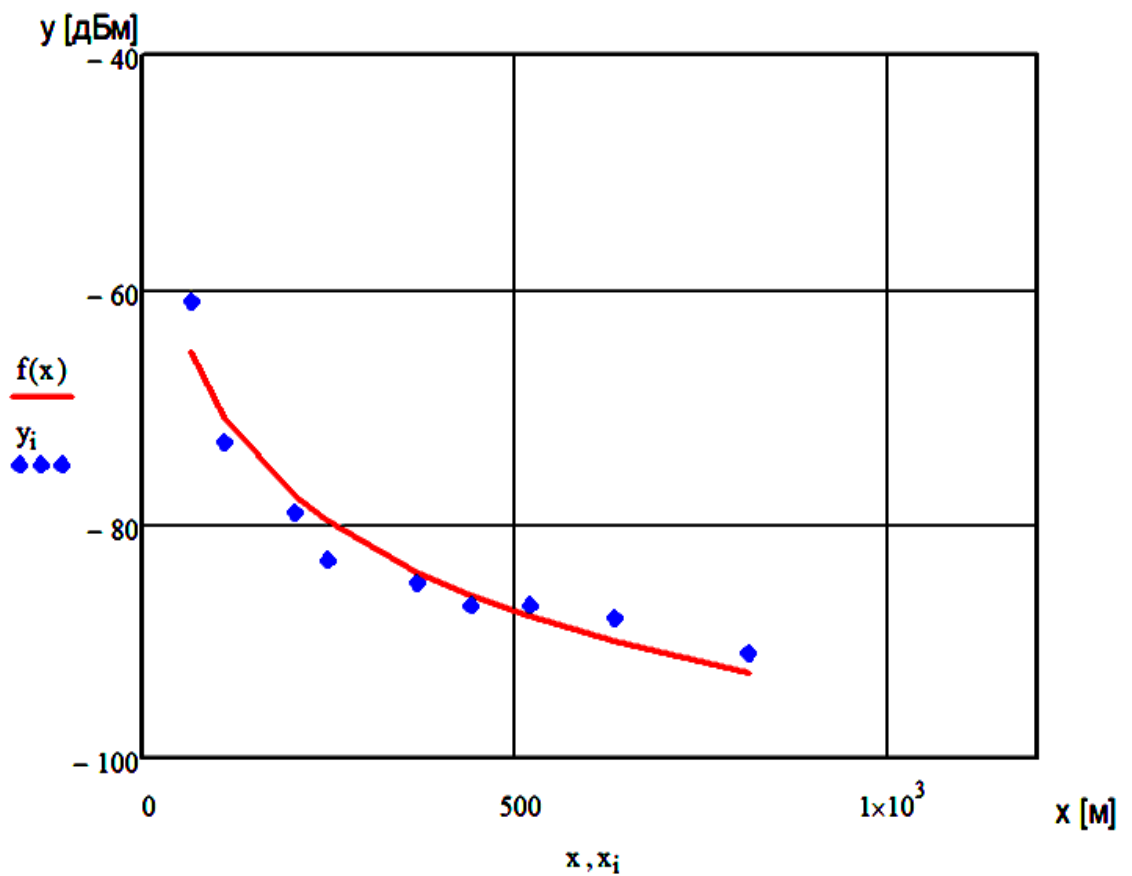


Рисунок 2.5 Мікрорайон «12 квартал» (5 ти поверхові будинки)

При досить влучній обробці експериментальних даних в пакеті Microsoft Office Excel деякі необхідні статистичні параметри не визначаються. Так, параметр, який характеризує достовірність лінії регресії серед поля кореляції, а саме середнє квадратична помилка, пов'язана з лінійною регресією для точок, описаних векторами  $v_x$  і  $v_y$ . Вона вимірює розкид даних щодо лінії регресії.

Також пакет MathCad дозволяє отримати коефіцієнт кореляції.

Таким чином, результати вимірювань потужності сигналу в точках прийому були оброблені для кожного з мікрорайонів в пакеті MathCad й представлені на рисунках 2.5 та 2.6.

Аналіз отриманих результатів.

1. Високі значення коефіцієнтів достовірності для отриманих експериментальних залежностей  $P_{ACin}(R)$ , а також досить невеликі значення стандартних відхилень (4 ... 7%) для отриманих ліній регресії є свідомством адекватності отриманих даних характеру статистичних моделей розповсюдження радіохвиль.
2. Регресії рівню сигналу при відстані від АС до БС, менш 1 км, для кварталів з 5 ти поверховими будинками і 9-10 ти поверховими будинками суттєво відрізняються. Однією з причин цього явища є менша відстань між будинками в кварталі з 5 ти поверхівиками, а також наявність в цьому кварталі багатьох високих дерев поблизу будинків.
3. Характер експериментальних залежностей  $P_{ACin}(R)$  для мікрорайону з 5 ти поверховими будинками при  $R \leq 400$  м більш співпадає з моделлю COST231 Уолфіш-Ікегамі, а при значеннях  $R \approx 1000$  м значно ближче до моделі COST231 Хата. Особисто це спостерігається для кварталів з 9-10 ти поверховими будинками.
4. Значення стандартного відхилення для отриманих ліній регресії знаходиться в межах 4 ... 7%.

З урахуванням аналізу отриманих результатів можна зробити висновок про доцільність уточнення коефіцієнтів моделі COST231 Хата на підставі

рівняння регресії для кварталів з 9-10 ти поверховими будинками. Що до уточнення цієї моделі на підставі кварталів з 5 ти поверховими будинками, то доцільно провести додаткові вимірювання з ретельним урахуванням особистостей цих досить старих забудов з високими деревами та напрямом трас розповсюдження радіохвиль відповідно моделі Уолфіша-Ікегамі.

## 2.2 Висновки

У другому розділі виконано вибір місцевості для проведення експериментальних вимірювань – мікрорайони «12 квартал» та «Лівобережний 3», які відрізняються характером забудови. Виконані вимірювання потужності сигналу в точках прийому за допомогою додатку Net Monitor, встановленому на смартфоні Meizu m2 note. Відповідно до результатів експериментів отримано математичні вирази залежності потужності сигналу в АС від відстані між АС і БС та виконано їх статистичний аналіз. Встановлено частковий збіг отриманих результатів вимірювань із значеннями для статистичних моделей розповсюдження радіохвиль COST231-Хата та COST231-Уолфіш-Ікегамі. Рекомендовано змінити коефіцієнти в виразах вказаних моделей для їх використання при відстанях між АС та БС, менш 1 км.

## РОЗДІЛ 3

## ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Даний розділ, присвячений розрахунку витрат на проведення досліджень з визначенням параметрів моделей розповсюдження радіохвиль в умовах щільної міської забудови.

Для визначення економічного ефекту необхідно:

- розрахувати вартість засобів і програмного забезпечення, за допомогою якого відбувається вимірювання рівнів потужності сигналу в точках прийому при щільній міській забудові;
- виконати порівняння витрат на застосування існуючих засобів і програмного забезпечення із запропонованим в даній роботі.

3.1 Розрахунок капітальних витрат на проведення експериментальних досліджень.

При аналізі якості стільникового зв'язку дослідження проводяться за допомогою мобільних станції радіоконтролю, зокрема, мобільної станції радіоконтролю мереж стільникового зв'язку АТЛАС - 6G (Додаток В).

Таблиця 3.1 – Вартість обладнання.

Назва	Вартість, грн	Аренда, грн (48 години)
Автомобіль Volkswagen T5(аренда)	2464	2464
Ноутбук- аналізатор	14000	300
Обладнання мобільної лабораторії	84000	9500
Всього	100464	12264



Ця апаратура розташована в пересувній лабораторії. Для отримання необхідних даних про параметри поширення радіохвиль таку станцію необхідно орендувати на 48 години. При дослідженні, виконаному в дипломній роботі, потрібні були такі засоби апаратного і програмного забезпечення:

- смартфон моделі Meizu m2 з наступними характеристиками:
  - діагональ дисплея: 5,5 дюймів;
  - дозвіл дисплея: 1920x1080 пікс;
  - камера: 13 МП;
  - процесор: 8 ядер (а), 1.3 ГГц;
  - відеозйомка: Full HD;
  - вбудована пам'ять: 16 ГБ;
  - ємність батареї 3100 мАг;
  - вартість: 2999 грн.
- ПК (ноутбук HP 255 G6 Dark Ash) з наступними характеристиками:
  - процесор двоядерний AMD Dual-Core з тактовою швидкістю 2.5 - 2.9 ГГц);
  - об'єм оперативної пам'яті 4 Гб;
  - HDD 500 Гб;
  - об'єм накопичувача 500 Гб;
  - вартість: 7599 грн.

Розрахуємо витрати на придбання нового обладнання (Meizu m2), його доставку та налагодження за формулою:

$$O_6 = \sum_1^n Ц * N * K = 2999 * 1 * 1,1 = 3298,9 \text{ грн} \quad (3.1)$$

де Ц - ціна придбання нового обладнання даного типу, (грн.)

N - кількість однотипного виду обладнання, (шт.);

K - коефіцієнт, враховує доставку, встановлення обладнання –

$$K = 1.1 \dots 1.4$$

Таблиця 3.2 - Вартість обладнання

Назва	Вартість, грн
Смартфон моделі Meizu m2	3298,9
Ноутбук HP 255 G6 Dark Ash ( аренда на 12 годин)	150
Всього	3448,9

Завдяки методу зменшення залишкової вартості амортизації розрахуємо норму амортизації (НА) і амортизаційні відрахування ( $A_v$ ) для апаратних засобів за формулами (3.2) і (3.3):

$$НА = 2/T * 100\% = 2/4 * 100\% = 50\%, \quad (3.2)$$

$$A_v = \Phi n * НА = 3448,9 * 0,5 = 1724,45 \text{ грн} \quad (3.3)$$

де Т - термін експлуатації ЕОМ і програмного забезпечення (ПЗ);

Фп- початкова вартість.

Результати розрахунку амортизації апаратних засобів представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Розрахунок амортизації апаратних засобів

Назва	Вартість, грн	Амортизація	
		НА, %	грн
Загальна вартість апаратних засобів	3448,9	50	1724,45

Програмне забезпечення: Net Monitor для Android, Microsoft Office (Microsoft Office включає в себе Microsoft Office Word, Microsoft Office Excel, Microsoft Power Point).

Придбання ліцензії для використання Net Monitor не потрібно - установка безкоштовна. Програма використовується тільки на операційній системі Android.

Придбання ліцензії для використання Microsoft Office та MathCad: 16210 грн.

Завдяки методу зменшення залишкової вартості розраховуємо норму амортизації (НА) і амортизаційні відрахування ( $A_v$ ) для ПЗ за формулами (3.4) і (3.5):

$$НА = 2/T * 100\% = 2/4 * 100\% = 50\%, \quad (3.4)$$

$$A_v = \Phi_n * НА = 16210 * 0,5 = 8105 \text{ грн} \quad (3.5)$$

Розрахунок заробітної плати

Заробітна плата розробника  $Z_n$  розраховуємо за формулою:

$$Z_n = (M/T_p) * t = (7200/21) * 3 = 1028,5 \text{ грн} \quad (3.6)$$

де М- місячний посадовий оклад конкретного розробника 7200.;

$T_p$  - число робочих днів у місяці (21 днів);

t - число днів роботи розробника (3 дні).

Додаткова заробітна плата розробника  $Z_d$  розраховується як 10% від основної заробітної плати за формулою (3.7):

$$Z_d = Z_n * 10\% = 1028,5 * 0,10 = 102,85 \text{ грн} \quad (3.7)$$

Результати загальних витрат представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Загальні витрати

Показник	Вартість, грн
Придбання нового обладнання	3448,9
Амортизація на нове обладнання	1724,45
Витрати на програмне забезпечення	16210
Амортизація на програмне забезпечення	8105
Основна заробітна плата	1028,5
Додаткова заробітна плата	102,85
Всього	30619,7

Зіставлення витрат на виконання досліджень за обома варіантами представлено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Зіставлення витрат на виконання досліджень за варіантами

Експериментальні методи	Витрати, грн
Існуючий метод з використанням мобільної станції АТЛАС - 6G	100464
Запропонований метод з використанням мобільного телефону Meizu m2	30619,7
Різниця між існуючим і використаним методами	69844,3

### 3.2 Висновки

В економічному розділі були розраховані капітальні витрати на придбання обладнання, яке необхідно для проведення експериментальних досліджень, заробітну плату розробника, на основі чого було виконано порівняння з аналогом витрат на дослідження і встановлено, що витрати на проведення досліджень по запропонованому варіанту складають 30619,7 грн. , а економія в порівнянні з аналогом складає 69844,3 грн.

## ВИСНОВКИ

У першому розділі:

- наведені загальні відомості про характер поширення радіохвиль в мережах стільникового зв'язку GSM, розглянуті найбільш відомі статистичні моделі розповсюдження радіохвиль,
- приведені типи засобів радіоконтролю - варіанти програмного забезпечення під Андроїд, які дозволяють виконувати моніторинг радіопокриття в стільникових мережах;
- сформульовані завдання магістерської роботи.

У спеціальній частині:

- виконано вибір місцевості для проведення експериментальних вимірювань: це мікрорайон «12 квартал», забудований 5 ти поверховими будинками та масив «Лівобережний 3», який має переважно будинки з 9 тьма або 10 тьма поверхами;
- виконані вимірювання потужності сигналу в точках доступу за допомогою додатку Net Monitor, встановленому на смартфоні Meizu m2 note.
- отримано для кожного мікрорайону математичні вирази залежності (рівняння регресії) потужності сигналу в АС від відстані між АС і БС;
- виконано порівняння значень параметрів поширення для статистичних моделей COST231-Хата та COST231-Уолфіш-Ікегамі з параметрами на базі отриманих регресій;
- запропоновано внести зміни у значення коефіцієнтів виразів за цими моделями.

В економічному розділі були розраховані капітальні витрати на придбання обладнання, яке необхідно для проведення експериментальних досліджень, заробітну плату розробника, на основі чого було виконано порівняння з аналогом витрат на дослідження, економія в порівнянні з аналогом складає 69844,3 грн.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Абилов А.В. Распространение радиоволн в сетях подвижной связи: Теоретический материал и задачи для практических занятий. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2001. 24 с.
2. Бурнев В.Б. Электронный учебник по системе сотовой связи с временным разделением каналов стандарта GSM. 45 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа по адресу:  
[http://study.ustu.ru/view/aid\\_view.aspx?AidId=50](http://study.ustu.ru/view/aid_view.aspx?AidId=50)
3. Википедия [Электронный ресурс] – Режим доступа по адресу:  
<https://ru.wikipedia.org>
4. Гавриленко В.Г., Яшнов В.А., Распространение радиоволн в современных системах мобильной. 2003. — 148 с.
5. Гольдштейн Б.С. Сигнализация в сетях связи.Т. 1. – М.: Радио и связь, 1998. 448 с.
6. Додаток для смартфона - Net Monitor [Электронный ресурс] – Режим доступа по адресу:  
[https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.v\\_a\\_v.netmonitor](https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.v_a_v.netmonitor)
7. Додаток для смартфона- Open Signal Maps [Электронный ресурс] – Режим доступа по адресу:  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.staircase3.opensignal&hl=ru>
8. Додаток для смартфона - Network Cell Info [Электронный ресурс] – Режим доступа по адресу: <https://android.biblprog.org.ua/ru/network-cell-info-lite/>
9. Жилин В.В. Учебный материал по дисциплине "Информационные технологии" Воронеж 2013. 20с.
10. Закиров З.Г., Надев А.Ф., Файзуллин Р.Р. Сотовая связь стандарта GSM. Современное состояние, переход к сетям третьего поколения. – М.: Эко–Трендз, 2004. 36с.

11. Колодезная Г.В. Основы теории связи с подвижными объектами. Методическое пособие по курсовому проектированию. Хабаровск, Издательство. ДВГУПС, 2012, 26 с.
12. Конспект лекцій з курсу «Поширення земних радіохвиль та мобільний зв'язок» для студентів спеціальності 6.090701 “Радіотехніка” та 6.092403 «Інформаційні мережі зв'язку» /Укл. Логачова Л.М.– Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. - 138 с.
13. Мобильная станция радиочастотного контроля АТЛАС- 6G [Электронный ресурс] – Режим доступа по адресу:  
<http://radiosoft.net.ua/production>
14. Модели распространения радиоволн [Электронный ресурс] – Режим доступа по адресу: <http://telecomproject.tripod.com>
15. Mishra A.R. Fundamentals of Cellular Network Planning and Optimisation: 2G/2.5G/3G. Evolution to 4G / Wiley-Interscience, 2004. 304 p.
16. Пермяков, В.А. Распространение радиоволн / В.А. Пермяков, В.В. Солодухов, В.В. Бодров, М.В. Исаков. Учебное пособие. Изд-во: МЭИ. – 2006. – 185 с.
17. Попов В.И., Скуднов В.А. Основы проектирования сотовых сетей мобильной связи, 2017г. 400с.
18. Справочник по радиоконтролю. Рекомендация МСЭ Р.370
19. Saunders S. R. Antennas and propagation for wireless communication systems.- Wiley, New York, 1999. 409 p.
20. Шабунин С.Н., Лесная Л.Л., Распространение радиоволн в мобильной связи. Методические указания по курсу “Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства в системах мобильной связи”. Екатеринбург: УГТУ, 2000, 38 с.



ДОДАТОК А  
Відомість матеріалів дипломної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітки
<i>Документація</i>				
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	1	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	1	
5	A4	Стан питання. Постановка задачі	35	
6	A4	Спеціальна частина	18	
7	A4	Економічний розділ	6	
8	A4	Висновки	1	
9	A4	Перелік посилань	2	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	3	
13	A4	Додаток Г	3	
14	A4	Додаток Д	1	
15	A4	Додаток Е	1	

## ДОДАТОК Б

Перелік матеріалів магістерської роботи на оптичному диску

1. Пояснювальна записка.doc
2. Презентація.ppt

ДОДАТОК В  
ПИТАННЯ МСЕ-R 211-4/3

Дані про поширення радіохвиль і моделі поширення для розробки  
бездротових систем ближньої зв'язку та систем доступу і бездротових  
локальних обчислювальних мереж (бездротових ЛВС)  
в діапазоні частот від 300 МГц до 100 ГГц  
(1993-2000-2002-2005-2007)

Асамблея радіозв'язку МСЕ,  
враховуючи,

- a) що в даний час розробляється безліч нових персональних систем ближньої зв'язку для роботи всередині і поза приміщеннями;
- b) що майбутні рухливі системи (наприклад, після ІМТ-2000) забезпечуватимуть персональну зв'язок як всередині приміщень (офісних або житлових), так і поза приміщеннями;
- c) що, як показали практика використання існуючих пристроїв і результати інтенсивних досліджень, існує значний попит на бездротові локальні обчислювальні мережі (бездротові ЛВС) і бездротові установчі та офісні АТС (WPBX);
- d) що бажано розробити стандарти для бездротових ЛВС, які були б сумісні з системами як бездротової, так і проводового електрозв'язку;
- e) що системи ближньої зв'язку з малим енергоспоживанням володіють багатьма перевагами для надання послуг у складі рухомих і персональних систем зв'язку;
- f) що надширокосмугові технологія (Сніп) розвивається швидкими темпами і може вплинути на служби радіозв'язку;
- g) що знання параметрів поширення радіохвиль усередині будівель і характеристик перешкод від численних користувачів, розташованих в межах однієї зони обслуговування, є визначальним фактором для ефективного проектування систем;

b) що хоча багатопроменеве поширення радіохвиль може викликати погіршення якості зв'язку, воно може бути з успіхом застосована в системах рухомого зв'язку або зв'язку всередині приміщень;

г) що частоти, запропоновані для систем, описаних в пп. а), б) і с), знаходяться в діапазоні від приблизно 300 МГц до 100 ГГц;

в) що є лише обмежені дані вимірювань поширення радіохвиль в деяких смугах частот, що розглядаються для використання системами ближнього зв'язку;

г) що інформація щодо поширення радіохвиль усередині приміщень, а також поширення з приміщень назовні може становити інтерес для інших служб, вирішує, що необхідно вивчити наступний Питання:

1 Які моделі поширення радіохвиль слід використовувати для розробки систем ближньої зв'язку, які здійснюють передачу всередині приміщень, поза приміщеннями, а також з приміщень назовні (дальність роботи менше 1 км), включаючи системи бездротового зв'язку і системи доступу і бездротові ЛВС?

2 Які моделі поширення слід використовувати для оцінки впливу пристроїв Сніп на інші визнані служби радіозв'язку?

3 Які характеристики каналу, що стосуються поширення радіохвиль, найбільше підходять для опису його властивостей при застосуванні різними службами, такими як:

- мовний зв'язок;
- служби факсимільного зв'язку;
- служби передачі даних (високошвидкісний і малої);
- служби пошукової зв'язку і передачі повідомлень;
- служби відеозв'язку?

4 Які характеристики імпульсного відгуку каналу?

5 Як впливає вибір поляризації на характеристики поширення радіохвиль?

- 6 Як впливають характеристики базової станції і кінцевих антен (наприклад, спрямованість, управління променем) на характеристики поширення радіохвиль?
- 7 Який вплив робить застосування різних схем рознесення?
- 8 Який вплив робить розміщення передавача і приймача?
- 9 Який вплив при передачі всередині приміщень можуть надавати різні будівельні та оздоблювальні матеріали на затінення, дифракцію і відображення?
- 10 Який вплив при передачі поза приміщеннями можуть надавати будівельні конструкції і рослинність на затінення, дифракцію і відображення?
- 11 Який вплив на характеристики поширення радіохвиль надає переміщення людей або предметів всередині приміщень, в тому числі переміщення одного або обох кінців радіолінії?
- 12 Які змінні необхідно використовувати в моделі для обліку різних типів будівель (наприклад, будівель з відкритим плануванням, одноповерхових, багатоповерхових), в яких розташовані один або обидва кінцеві пристрої?
- 13 Як можна охарактеризувати втрати на вході в будівлю при розробці систем і який їхній вплив на передачу з приміщень назовні?
- 14 Які фактори можуть бути використані для частотного масштабування і для яких діапазонів їх використання доцільно?
- 15 Які найкращі способи подання необхідних даних?
- 16 Як можна охарактеризувати канали поширення радіохвиль, що використовують багатоканальні передавачі та приймачі при розробці систем?

## ДОДАТОК Г

### Мобільна станція радіоконтролю "Атлас-6G"



[http://radiosoft.net.ua/production\\_3.html](http://radiosoft.net.ua/production_3.html)

#### ПРИЗНАЧЕННЯ

Мобільна багатофункціональна станція радіоконтролю "Атлас-6G" призначена для проведення робіт з виявлення джерел радіовипромінювання і визначення місця розташування (локалізації) цих джерел на місцевості в польових умовах і в умовах міської забудови.

#### МОЖЛИВОСТІ

МСРК "Атлас-6G" встановлюється на автотранспортну базу (мікроавтобус) і забезпечує під час руху і на стоянці:

- виявлення джерел радіовипромінювання (ДРВ) в діапазоні робочих частот 30-6000 МГц;

- визначення напрямку на джерела радіовипромінювання (пеленгування) за допомогою комплекту спрямованих антен по максимуму сигналу в діапазоні частот від 30 МГц до 6 ГГц при роботі на стоянці транспортного засобу;
- інструментальну оцінку параметрів випромінювання РЕЗ аналогового і цифрового теле і радіомовлення (тільки на стоянці);
- інструментальну оцінку параметрів випромінювання РЕЗ цифрового стільникового зв'язку всіх радіотехнологій;
- ідентифікацію джерел;
- ведення архіву даних виявлених радіочастот,
- ведення журналу.

#### ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- Визначення напрямку на джерела радіовипромінювання (пеленгування) за допомогою комплекту спрямованих антен по максимуму сигналу в діапазоні частот від 30 МГц до 6 ГГц при роботі на стоянці транспортного засобу.
- У режимі виявлення та інструментальної оцінки параметрів випромінювання РЕЗ всіх радіотехнологій МСРК "Атлас-6G" забезпечує роботу в діапазоні радіочастот від 30 МГц до 6000 МГц.
- У режимі ТРК РЕЗ цифрового стільникового зв'язку МСРК "Атлас-6G" забезпечує: одночасне виявлення радіовипромінювань БС мереж стільникового зв'язку стандартів E-GSM, R-GSM, GSM-900, DCS-1800, WCDMA (діапазон 2100 МГц), CDMA-800 (CDMA IS95, CDMA2000 1xRTT CDMA), CDMA-450 (CDMA2000 EVDO rev . A.), LTE в автоматичному режимі; інструментальну оцінку параметрів радіовипромінювань БС стільникового зв'язку стандартів E-GSM, R-GSM, GSM900, DCS 1800, WCDMA (діапазон 2100 МГц), CDMA-800 (CDMA IS95, CDMA2000 1xRTT CDMA), CDMA450 (CDMA2000 EVDO rev. A) LTE в автоматичному режимі.

- У режимі ТРК РЕЗ мереж широкопугового радіодоступу МСРК "Атлас-6G" забезпечує: виявлення радіовипромінювань базових станцій мереж широкопугового радіодоступу стандартів IEEE 802.11a / b / g / n в напівавтоматичному режимі і стандарту IEEE 802.16e в напівавтоматичному режимі; інструментальну оцінку параметрів радіовипромінювань базових станцій мереж широкопугового радіодоступу IEEE 802.11a / b / g / n. МСРК "Атлас-6G" забезпечує інструментальну оцінку параметрів радіовипромінювань РЕЗ аналогового і цифрового телебачення і радіомовлення, РЕМ інших радіотехнологій в напівавтоматичному режимі. "Атлас-6G" забезпечує відображення на електронній карті географічних координат БС, зареєстрованих в БД мобільного СРК, занесення адреси розміщення виявлених БС в базу даних результатів радіоконтролю.





