

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
дипломної роботи

магістра

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань	<u>17 Електроніка та телекомунікації</u> (шифр і назва галузі знань)
напрямок підготовки (Спеціальність)	<u>172 Телекомунікації та радіотехніка</u> (код і назва спеціальності)
Спеціалізація (Освітня програма)	<u>Телекомунікаційні системи та мережі</u> (код і назва освітньої програми)
освітній рівень	<u>Магістр</u> (назва освітнього рівня)
Кваліфікація	<u>2144.2 Інженер в галузі електроніки та телекомунікацій</u> (код і назва кваліфікації)

на тему: «Визначення параметрів моделей розповсюдження
радіосигналу в системі мобільного зв'язку GSM»

Виконавець: студентка 2 курсу, групи 172М-16-1

Кионга Гауденсія Шарлоте Нханги
(підпис) (прізвище ім'я по-батькові)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	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	д.т.н., проф. Мещеряков Л.И.		
Нормоконтроль	к.т.н., доцент Гусєв А.Ю.		

Дніпро 2018

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
_____ Корнієнко В.І.

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на виконання кваліфікаційної роботи магістра
спеціальності _____ *Телекомунікаційні системи та мережі*
(код і назва спеціальності)

студентка _____ **Кионга Г.Ш.Н**
172-16м-1 _____
(група) (прізвище ім'я по-батькові)

Тема дипломної роботи «Визначення параметрів моделей
розповсюдження радіосигналу в системі мобільного зв'язку GSM»

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора Державного ВНЗ «НГУ» від 27 грудня 2017 №2127-л

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень Сети сотовой связи стандарта GSM

Предмет досліджень Параметры моделей распространения радиоволн

Мета НДР определение и учет параметров существующих
моделей распространения радиоволн в условиях городской застройки путём
анализа результатов экспериментальных измерений уровней сигнала.

Вихідні дані для проведення роботи Статистические модели
распространения радиоволн в городских условиях

3 ОЧІКУВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ

Наукова новизна *Новизна полученных результатов состоит в получении. го выражения для расчета мощности радиосигнала в точке приема*

Практична цінність *Практическая ценность работы заключается в повышении точности расчета мощности радиосигнала в городе при расстояниях между абонентской и базовой станциями, меньших 1 км.*

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Точность определения мощности радиосигнала по полученному уточненному выражению должна быть достаточной для проведения инженерных Расчетов

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Предварительные этапы	01.11.2017 - 24.11.2017
Проектированные и разработка	27.11.2017 - 16.12.2017
Оформление технической документации	18.12.2017 - 30.12.2017
Реализация результатов и эффективности	02.01.2018 - 16.01.2018

6 РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Економічний ефект *Ожидается экономия затрат на проведение исследований за счет использования бесплатных программ по сравнению с применением специальных средств радиоконтроля.*

Соціальний ефект *Повышение качества мобильной связи, обеспечивающее. рост коммуникабельности населения.*

7 ДОДАТКОВІ ВИМОГИ

Соответствие оформления пояснительной записки ДСТУ 3008-95. «Документация. Отчеты в сфере науки и техники. Структура и правила оформления»

Завдання видав _____ (підпис) _____ (прізвище, ініціали)
Завдання прийняв до виконання _____ (підпис) _____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 01.11.2017

Термін подання дипломної роботи до ДЕК: 22.01.2018

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: 74 стр. 19 рис. 10 табл. 5 прилож. 16 источников.

Объект исследований: сети сотовой связи стандарт GSM

Предмет исследования: параметры моделей распространения радиоволн.

Цель проекта: определение и уточнение параметров существующих моделей распространения радиоволн в условиях городской застройки путем анализа результатов экспериментальных измерений уровней сигнала.

В первом разделе приведены общие сведения о распространении радиоволн в сетях сотовой связи GSM, рассмотрены статистические модели распространения радиоволн, приведены типы средств и ПО для радиоконтроля, позволяющие производить мониторинг радиопокрытия в сотовых сетях, сформулированы задачи исследования.

Во втором разделе произведен выбор местности для проведения экспериментальных исследований – микрорайон «Левобережный» города Днепр - Украина, приведены измеренные значения мощности сигналов в точках приема с помощью приложения Network Signal Info, получено выражение зависимости мощности сигнала в абонентской станции от расстояния между АС и БС, предложено уточненное математическое выражение для определения мощности в точке приема радиосигнала в условиях города .

В экономическом разделе рассчитаны капитальные затраты на приобретение оборудования, необходимого для проведения исследований, заработная плата разработчика и определена экономия по сравнению с применением специальных средств радиоконтроля.

Практическое значение работы заключается в повышении точности расчета мощности радиосигнала в точке приема в условиях города.

МОБИЛЬНАЯ СВЯЗЬ, МОДЕЛИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ, МОЩНОСТЬ В ТОЧКЕ ПРИЕМА, ГОРОД, ЭКСПЕРИМЕНТ, ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 74 стор. 19 рис. 10 табл. 5 додатків. 16 джерел.

Об'єкт досліджень: мережі стільникового зв'язку стандарт GSM

Предмет дослідження: параметри моделей розповсюдження радіохвиль.

Мета проекту: визначення та уточнення параметрів існуючих моделей розповсюдження радіохвиль в умовах міської забудови шляхом аналізу результатів експериментальних вимірювань рівнів сигналу.

У першому розділі наведені загальні відомості про поширення радіохвиль в мережах стільникового зв'язку GSM, розглянуті статистичні моделі поширення радіохвиль, наведені типи засобів і ПО для радіоконтролю, що дозволяють здійснювати моніторинг радіопокриття в стільникових мережах, сформульовані завдання дослідження.

У другому розділі зроблено вибір місцевості для проведення експериментальних досліджень - мікрорайон «Лівобережний» міста Дніпро - Україна, наведені виміряні значення потужності сигналів в точках прийому за допомогою програми Network Signal Info, отримано вираз залежності потужності сигналу в абонентській станції від відстані між АС і БС, запропоновано уточнений математичний вираз для визначення потужності в точці прийому радіосигналу в умовах міста.

В економічному розділі розраховані капітальні витрати на придбання обладнання, необхідного для проведення досліджень, заробітна плата розробника і визначена економія в порівнянні з застосування спеціальних засобів радіоконтроля

Практичне значення роботи полягає в підвищенні точності розрахунку потужності радіосигналу в точці прийому в умовах міста.

МОБІЛЬНИЙ ЗВ'ЯЗОК, МОДЕЛІ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ, ПОТУЖНІСТЬ У ТОЧЦІ ПРИЙОМУ, МІСТО, ЕКСПЕРИМЕНТ, ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ.

THE ABSTRACT

Explanatory note: 74 pages 19 fig. 10 tab. 5 applications , 16 sources

The object of research: GSM cellular network.

The subject of research: parameters of radio wave propagation models.

The aim of the project is to define and refine the parameters of existing models of propagation of radio waves in urban conditions by analyzing the results of experimental measurements of signal levels.

The first section provides general information on the propagation of radio waves in GSM cellular networks, examines statistical models for the propagation of radio waves, shows the types of tools and software for radio monitoring that allow monitoring of radio coverage in cellular networks, and sets research objectives.

In the second section we selected the terrain for experimental research - the microdistrict "Levoberezhny" of the city of Dnepr - Ukraine, the measured values of signal power at the reception points with the help of the Network Signal Info application, the expression of dependence of the signal power in the subscriber station on the distance between the AS and BS, A refined mathematical expression is proposed to determine the power at the reception point of a radio signal in a city.

In the economic section, the capital costs for the acquisition of equipment necessary for research, the developer's salary and the savings in comparison with the use of special means of radio control are calculated.

The practical significance of the work is to increase the accuracy of calculating the radio signal power at the receiving point in the city.

MOBILE COMMUNICATION, MODELS OF DISTRIBUTION, POWER AT THE RECEPTION POINT, CITY, EXPERIMENT, ACCURACY OF DEFINITION.

СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

BISS- basic service set identifier

CDMA- Code Division Multiple Access

DCS- Digital Cellular System

DNS- Domain Name System

DHCP- Dynamic Host Configuration Protocol

GSM- - Groupe Spécial Mobile

UMTS- Universal Mobile Telecommunications System

NLOS- . непрямой видимости

LOS- линии прямой видимости

SSID - Service Set Identifier

SD - Сохранение данных

АС- абонент станций

БС – базовый станций

СЗ – системы усиления

КЗ – каналом связи

КПА - коэффициент усиления антенны

КСВ - коэффициент стоячей волны

ПО - Open Signal Maps

ИРИ- источников радиоиолучений

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	9
РАЗДЕЛ 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	13
1.1 Общие сведения.....	13
1.2 Анализ особенностей распространения радиоволн в сотовых сетях связи.....	14
1.3 Статистические модели распространения радиоволн, основанные на непосредственном обобщении опытных данных.....	18
1.3.1 Модель свободного пространства.....	18
1.3.2 Модель Ли.....	19
1.3.4 Модель Окамуры.....	21
1.3.5 Модель Хата.....	23
1.2.5 Модель Олсбрука – Парсонса.....	24
1.3.6 Модель Ксиа- Бертони.....	26
1.4 Средства мониторинга сетей мобильной связи.....	27
1.4.1 Мобильные станции радиоконтроля.....	27
1.4.2 Программные средства для индивидуальных терминалов.....	28
1.4.2.1 CellTrack.....	28
1.4.2.2 Open Signal Maps.....	29
1.4.2. 3 Network Signal Info.....	32
1.5. Постановка задач исследования.....	35
Выводы по первому разделу.....	36

РАЗДЕЛ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН.....	37
2.1. Проведение экспериментальных исследований.....	37
2.1.1 Выбор микрорайона города, соответствующего условиям применения рассмотренных моделей распространения радиоволн.....	37
2.1.2 Выбор технического средства и программы для измерений уровня сигнала на местности и определения положений БС и АС.....	39
2.1.3 Проведение измерений уровня мощности сигнала в выбранном районе.....	39
2.1.4 Обработка результатов измерений.....	43
2.2 Расчет параметров статистических моделей распространения для условий проведения экспериментальных исследований.....	44
2.2.1 Модель Ли.....	44
2.2.2 Модель Хата.....	45
2.2.3 Модель Ксиа-Бертони.....	45
2.2.4 Сравнение параметров экспериментальной модели с параметрами известных статистических моделей.....	46
2.3 Рекомендации по корректировке параметров модели распространения на основании результатов экспериментальных исследований.....	49
Выводы по второму разделу.....	51
РАЗДЕЛ 3. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	52
3.1 Расчет капитальных затрат на проведение экспериментальных исследований.....	52
Выводы по третьему разделу.....	56
Выводы.....	57
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛИТЕРАТУРЫ.....	59

ПРИЛОЖЕНИЕ А Перечень материалов дипломной работы на оптическом носителе.....	
ПРИЛОЖЕНИЕ Б РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.1411-3 Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования наружных систем ближней радиосвязи и локальных радиосетей в диапазоне частот от 300 МГц до 100 ГГц.....	61
ПРИЛОЖЕНИЕ В Типы мобильных станций радиоконтроля и их основные характеристики.....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Отзыв руководителя дипломной работы магистра.....	73
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Отзывы руководителей разделов.....	74

ВВЕДЕНИЕ

Постоянный рост потребности в услугах мобильной связи, которые являются одной из важнейшей составляющих всей совокупности общедоступных коммуникационных сетей, предъявляет повышенные требования к изучению процесса передачи радиосигнала.

Большинство современных сотовых систем работают в городах, где нет прямой видимости антенн передатчика и приемника, а наличие высоких зданий вызывает большие дифракционные потери.

Путь радиоволны от передатчика к приемнику в этих системах весьма разнообразен: от их прямой видимости до существенно закрытого препятствиями, как правило, многоэтажными домами. Моделирование радиолинии является наиболее сложной задачей при проектировании систем сотовой связи. Оно в основном выполняется статистически с использованием данных экспериментов, выполненных для аналогичных условий передачи.

Механизм распространения радиоволн в системах связи различен, но в основном он может быть представлен отражением, дифракцией и рассеянием. В городах нет прямой видимости антенн передатчика и приемника, а наличие высоких зданий вызывает большие дифракционные потери. Это вызывает многократные переотражения от различных объектов в результате чего радиоволны проходят различный путь. Интерференция этих волн вызывает значительное изменение уровня сигнала в терминале абонента.

Целью создания моделей распространения радиоволн является определение среднего уровня принимаемого сигнала на заданном расстоянии от передатчика базовой станции мобильной связи, а также отклонений его значений в зависимости от конкретных условий распространения по трассе.

В конечном счете, расчет радиолинии позволяет определить зону обслуживания передатчика. Моделирование среднего уровня сигнала в зависимости от расстояния между передатчиком и приемником является крупномасштабным моделированием, поскольку позволяет определить уровень сигнала на значительном удалении (сотни и тысячи метров).

Целью настоящей работы является определение и уточнение параметров существующих моделей распространения радиоволн в условиях городской застройки путем анализа результатов экспериментальных измерений уровней сигнала.

РАЗДЕЛ 1

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ,

1.1 Общие сведения

Одна из фундаментальных проблем в изучении распространения радиоволн состоит в описании процесса ослабления мощности сигнала при удалении приемной станции от передатчика.

Практически наиболее важным является случай, когда антенна базовой станции поднята достаточно высоко над городом, а подвижный объект, с которым осуществляется связь, расположен вблизи поверхности земли. К настоящему времени накоплен обширный экспериментальный материал для этого случая. Пространственное распределение напряженности поля в городских условиях у поверхности земли отличается крайней нерегулярностью. Сигналы, передаваемые между центральной станцией и подвижным пунктом, подвержены глубоким замираниям, причем соседние максимумы расположены на расстояниях порядка длины несущей волны. Обширные затенения, создаваемые строениями, практически исключают возможность прямого прохождения сигнала, поэтому его затухание значительно больше, чем в свободном пространстве [3].

В настоящее время существует целый ряд математических моделей, дающих возможность рассчитать в городских условиях усредненное значение ослабления радиосигнала в зависимости от различных параметров, характеризующих конкретные условия.

Созданные на сегодняшний день модели расчета зоны покрытия в радиосетях отличаются по сложности (по количеству факторов, которые они учитывают) и условно делятся на три группы:

- статистические,
- детерминированные,
- комбинированные.

Детерминированные и комбинированные модели не получили широкого применения так как не могут учесть абсолютно все факторы, воздействующие на сигнал, а расчеты оказываются слишком сложными. Хотя статистические модели не лишены недостатков (однородность структуры модели, низкая точность, необходимость использовать модели не по-отдельности, а несколько моделей в комплексе при большом разбросе значений переменных), они наиболее активно используются для проведения расчетов в силу простоты расчетов.

На распространение радиоволн на трассах длиной меньше 1 км главным образом влияют здания и деревья, а не изменения отметок высоты. При этом преобладает влияние зданий, поскольку большинство радиолиний ближней связи находятся в городских и пригородных зонах [2].

Данный диапазон распространения радиоволн особенно актуален в настоящее время, ввиду высокой плотности размещения БС из-за значительного трафика.

1.2 Анализ особенностей распространения радиоволн в сотовых сетях связи

Используемые в радиосвязи дециметровые радиоволны слабо огибают препятствия, т.е. распространяются в основном по прямой, но испытывают многочисленные отражения от окружающих объектов и подстилающей поверхности. Одним из следствий такого многолучевого распространения является более быстрое, чем в свободном пространстве, убывание интенсивности принимаемого сигнала с расстоянием. Другое следствие – замирания и искажения результирующего сигнала.

Область существенных отражений ограничивается обычно сравнительно небольшим участком в окрестности подвижной станции – порядка нескольких сотен длин волн, т.е. порядка нескольких десятков или сотен метров. При

движении подвижной станции эта область перемещается вместе с ней таким образом, что подвижная станция все время остается вблизи центра области.

Трасса распространения изменяется как при перемещениях подвижной станции, так и при движении окружающих предметов или окружающей среды. Даже малейшее, самое медленное перемещение приводит к изменению во времени условий многолучевого распространения и, как следствие, к изменению параметров принимаемого сигнала.

Распространение радиоволн в подобных условиях характеризуется тремя, частично самостоятельными эффектами:

- замирания из-за многолучевого характера распространения,
- затенение (или экранирование),
- потери при распространении.

При сложении двух сигналов, прошедших по разным путям и имеющих в точке приема в общем случае различные фазы, результирующий сигнал может быть как несколько выше среднего уровня, так и заметно ниже.

Типовая модель сухопутной системы подвижной радиосвязи или линии передачи сотовой системы, включают в себя высокоподнятую антенну (или несколько антенн) базовой станции и относительно короткий участок распространения по линии прямой видимости (LOS). Присутствуют также множество трасс с переотражением (т.е. не прямой видимости – NLOS) и одна или несколько подвижных антенн, установленных в приемопередатчике подвижной или носимой радиостанции. В большинстве случаев имеет место неполный участок распространения радиоволн в пределах прямой видимости между антенной базовой станции, или точкой доступа, и антеннами подвижных радиостанций из-за естественных и искусственных препятствий. При таких условиях трасса радиопередачи, или радиолиния, может моделироваться как случайным образом изменяющаяся трасса распространения.

В диапазоне 1880–1900 МГц высоко поднятая антенна на передачу и прием обычно больше длины волны λ , поэтому весь путь распространения земной волны делят на три зоны: освещенную, полутени и тени.

В освещенной зоне поле имеет интерференционную структуру за счет сложения прямой и отраженной от земли волн. Для практических расчетов необходимо учесть электрическую неоднородность тропосферы. Электрическая неоднородность тропосферы, проявляющаяся в рефракции радиоволн, влияет на все параметры, от которых зависит поле в освещенной зоне.

В пределах существенной области для отражения поверхность земли достаточно ровная и плоская, модуль коэффициента отражения ≈ 1 и коэффициент расходимости ≈ 1 . Если рассматривать большие расстояния интерференционная структура поля перестает существовать и величина поля уменьшается пропорционально квадрату расстояния. Заметим, что чем больше расстояние, тем полнее взаимная компенсация прямой и отраженной волны в точке приема, что и вызывает сравнительно быстрое убывание поля.

Поверхность земли никогда не бывает идеально гладкой, даже равнинная местность покрыта большим числом хаотически расположенных неровностей. В зависимости от их размеров, электрических свойств, количества, а также от длины распространяющейся волны, элементы рельефа оказывают различное влияние на поле в точке приема.

Влияние мелких неровностей придают земной поверхности свойство так называемых шероховатой поверхности. Поверхность считается шероховатой, если выполняется известный из курса физики критерий Рэлея $\Delta h > \lambda(8\sin\Delta)$, где Δh – средняя высота неровностей в пределах существенной области для отражения; Δ – угол возвышения траектории отраженной волны.

Крупные элементы рельефа местности в виде, например, гор или долин, холмов и оврагов, строений разнообразных по размерам, форме и местоположению на трассе, неровности земной поверхности, существенно влияют на условия распространения волны. Чем меньше длина волны, тем это влияние выражается более резко.

Когда на пути распространения земной волны имеется одиночное препятствие, то даже при небольшом расстоянии между пунктом передачи и приема препятствие закрывает прямую видимость и точка приема оказывается в зоне тени. Затенение точки приема препятствием приводит, как правило, к значительному ослаблению сигнала. Однако, в некоторых случаях, как показывают эксперименты, напряженность в точке приема может в несколько раз превышать значения напряженности поля в отсутствие препятствия. Этот эффект называют эффектом усиления за счет препятствия. При удачном стечении обстоятельств, напряженность поля за препятствием может превышать значения поля в свободном пространстве. Если учесть, что в реальности напряженность поля в точке приема обычно меньше напряженности поля в свободном пространстве, то выигрыш в усилении за счет препятствия по сравнению с полем в его отсутствие получается еще больше и может достигать десятков дБ.

Условия приема сигналов в диапазоне 1880–1900 МГц существенно зависят от расположения приемной антенны относительно окружающих ее предметов. В городских условиях такими предметами являются здания, деревья, заводские трубы и т.п. Близко расположенные здания могут, в зависимости от их расположения, оказаться затеняющими препятствиями или источниками местных отраженных волн.

Затеняющее действие отдельного препятствия приводит к тому, что поле за препятствием появляется в результате двух процессов: дифракции и проникновения через препятствия (дифракция в рассматриваемом диапазоне волн протекает с очень большими потерями). Проникновение через препятствие типа стен зданий также сопровождается большими потерями за счет поглощения. Измерения показывают, что напряженность поля за отдельно стоящим кирпичным зданием на 20–30 дБ ниже, чем перед ним, а за железобетонным строением уровень сигнала падает на 30–40 дБ. В целом внутри городской застройки имеются многочисленные теневые зоны, где сигнал значительно ослаблен.

На поле в точке приема влияют не только рассмотренные факторы, но и многие другие. В частности, установлено, что уровень сигнала существенно зависит от расположения улиц в городе, который оказывает канализирующее действие на распространяющиеся волны. Вдоль радиально расположенных улиц относительно базовой станции, уровень сигнала на 10–20 дБ выше, чем в перпендикулярных направлениях [4].

1.3 Статистические модели распространения радиоволн, основанные на непосредственном обобщении опытных данных

1.3.1 Модель свободного пространства

Самой простой моделью для вычисления потерь мощности радиосигнала является модель свободного пространства. Уравнение для определения потерь может быть записано в двух формах:

– линейной (L_p раз):

$$L_p = \lambda^2 / 4\pi d,^2 \quad (1.1)$$

где λ – длина волны сигнала, d – расстояние между передатчиком и приемником;

– логарифмической (L_p , дБ):

$$L_p = -32.4 - 20 \lg(d) - 20 \lg(f), \quad (1.2)$$

где f – частота сигнала в мегагерцах, d – расстояние в километрах.

При заданной несущей в формуле (1.1) применена длина волны, а во второй формуле первые два слагаемых – константы, и получается, что потери при распространении сигнала в обоих случаях зависят только от расстояния между базовой и мобильной станциями [5].

Модель распространения волн в свободном пространстве используется для расчета принятого сигнала в условиях, когда передающая и приемная антенны находятся на открытой незатененной радиолинии. Эта модель применяется для анализа радиоканалов связи через спутники и для наземных радиолиний, работающих в диапазоне сверхвысоких частот.

Возможность применения этой модели проверяется отсутствием препятствий электромагнитным волнам, распространяющимся в области пространства вблизи прямой линии, соединяющей передающую и приемную антенну (линия визирования).

Мощность, принятая приемной антенной в открытом неограниченном пространстве при условии, что обе антенны ориентированы максимумами диаграмм направленности друг на друга, рассчитывается по формуле [6], Вт,

$$P_{\text{ПР}} = (P_{\Sigma} G_{\Sigma} G_{\text{ПР}} \lambda^2) / (4\pi)^2 d^2 \quad (1.3)$$

Модель распространения радиоволн в свободном пространстве используется при расчете радиоканалов, работающих на достаточно высоких частотах (2 – 5 ГГц и выше), а также при малых расстояниях между передающей и приемной антеннами. Критерием возможности применения рассмотренной модели распространения радиоволн может служить формула [6]:

$$d \ll 4h_{\text{У}} h_{\text{ПР}} / \lambda \quad (1.4)$$

где $h_{\text{У}}$ – высота подвеса передающей антенны; $h_{\text{ПР}}$ – высота подвеса приемной антенны; λ – длина волны.

В этом случае отражением от земной поверхности пренебрегают. Кроме того, необходимо убедиться в отсутствии на трассе больших отражающих объектов. Эта же модель используется при расчете спутниковых каналов связи.

1.3.2 Модель Ли

Одна из наиболее простых моделей распространения крупного масштаба была предложена Вильямом Ли [9]. Указанная модель позволяет с минимальным количеством вычислений определить среднее значение мощности, измеренной на расстоянии d от передающей станции согласно следующей формуле

$$P_{rec}(d) = P_0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-\gamma} \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-n} F_0, \quad (1.5)$$

или в логарифмическом представлении:

$$P_{rec}(d)_{dB} = P_{0,dB} - \gamma \cdot \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) - n \cdot \lg \left(\frac{f}{f_0} \right) + F_{0,dB}; F_0 = \prod_{i=1}^5 F_i, \quad (1.6)$$

где P_0 - эталонная медианная мощность, измеренная на погонном расстоянии, $d_0 = 1$ км; F_0 - поправочный коэффициент, вычисляемый на основе компонентных множителей. Рассмотрим структуру вычисления данных множителей:

$$F_1 = \frac{hBS,eff^2}{30,48}; \quad F_2 = \frac{h_{MS}^\mu}{3}; \quad F_3 = \frac{P_T}{10}; \quad F_4 = \frac{G_T}{4}; \quad F_5 = \frac{G_R}{4}; \quad (1.7)$$

где hBS,eff - эффективная высота антенны базовой станции, м.; μ - показатель степени: при высоте антенны абонентской станции менее 3 м принимается равным $\mu = 1$, при высоте более 10 м - $\mu = 2$; P_T - мощность сигнала, излучаемого передатчиком базовой станции, Вт; G_T , G_R - коэффициенты усиления антенн соответственно базовой и подвижной станции относительно так называемого полуволнового вибратора. Параметры P_0 и γ , полученные для различных типов окружающей среды, приведены в таблице 1.1.

Медианные потери мощности в зависимости от частоты определяются коэффициентом f/f_0 и его показателем степени n . Для частот от 30 МГц до 2 ГГц и расстояний между подвижной и базовой станциями от 2 до 30 км значение n лежит в диапазоне от 2 до 3. Величина n также зависит от топографических особенностей местности. Для пригородных и сельских районов рекомендуется выбирать $n = 2$ при частотах ниже 450 МГц и $n = 3$ при частотах выше 450 МГц. При этом на пересеченной местности эффективная высота антенны может сильно отличаться от ее физической высоты.

Таблица 1.1 - Параметры P_0 и γ , полученные для различных типов окружающей среды

Тип среды	P_0	γ , Дб на декаду
Свободное пространство	-41	20
Сельская местность редкая застройка	-40	43,5
Пригород, небольшой город	-54	38,4
Филадельфия	-62,5	36,8
Нью-Йорк	-55	43,1
Токио	-78	30,5

Остальные параметры формул 1.5 – 1.7 представлены таблице 1.2

Таблица 1.2 - Значения некоторых параметров, принятых в модели Ли

Наименование параметра и единица измерения	Значение
Несущая частота f_c , МГц	900
Высота антенны базовой станции $h_{BS,eff}$, м	30
Мощность передаваемого сигнала P_T , Вт	10
Коэффициент усиления антенны базовой станции относительно полуволнового вибратора G_T , дБ	6
Высота антенны подвижной станции h_{MS} , м.	3
Коэффициент усиления антенны подвижной станции относительно полуволнового вибратора G_R , дБ	0

1.3.4 Модель Окамуры

Исторически одними из первых явились эмпирические графики, полученные Окамурой и позволяющие определить медианное значение сигнала в условиях статистически однородного города, а также в какой-то степени учесть те или иные особенности данного города или отдельных городских районов. В этой модели для вычисления медианного значения мощности сигнала, принимаемого антенной подвижного объекта в городских условиях, предлагается использовать следующее уравнение, в котором все величины приведены в децибелах [3]:.

$$P_P = P_0 - A_m(f,d) + H_b(h_b,d) + H_m(h_m,f) \quad (1.8)$$

где P_P - вычисленное значение искомой мощности принимаемого сигнала;

P_0 - его мощность при передаче в свободном пространстве;

$A_m(f,d)$ - фактор изменения медианного значения мощности в городе относительно затухания в свободном пространстве при эффективной высоте антенны центральной станции $h_b = 200$ м и высоте антенны на подвижном объекте $h_m = 3$ м.;

$H_b(h_b,d)$ - фактор «высота – усиление» в децибелах для центральной станции с $h_b = 200$ м, расположенной в городе;

$H_m(h_m,f)$ - фактор «высота – усиление» в децибелах для станции на подвижном объекте с $h_m = 3$ м, расположенном в городе.

Медианные значения мощности зависят от расстояния, частоты и могут быть получены из кривых, представленных на рисунке 1.1

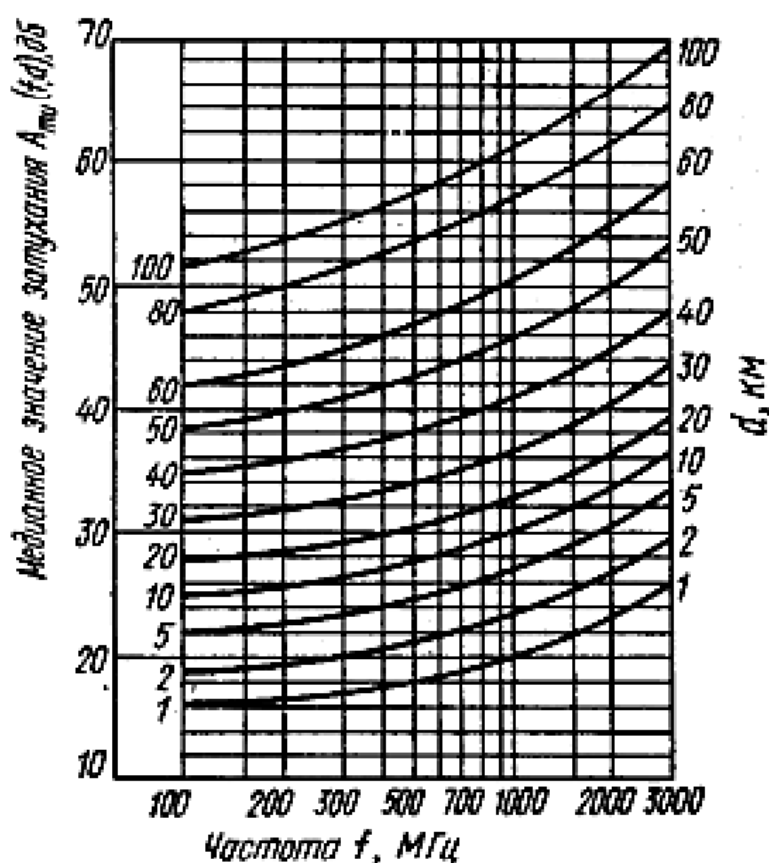


Рисунок 1.1 - Зависимости медианного значения затухания от расстояния и частоты сигнала

Если какой-либо путь распространения радиоволн проходит в различных средах или над территорией, которая не является «квазигладкой», то исходную

формулу (1.8) может быть изменена для учета указанных факторов путем аддитивного добавления одного или нескольких поправочных коэффициентов, получаемых из дополнительных графиков.

1.3.5 Модель Хата

Модель Хата основана на обширных эмпирических измерениях в городских условиях, проведенных Окамурай в Токио. В логарифмической форме, обобщенная модель может быть записана как

$$L_p = -K_1 - K_2 \lg(f) + 13.82 \lg(h_b) + a(h_m) - [44.9 - 6.55 \lg(h_b)] \lg(d) - K_0, \quad (1.9)$$

где: f - несущая частота (в МГц),

h_b - высота антенны (в метрах) передатчика,

h_m - высота антенны приемника (в метрах),

d - расстояние (в километрах) между базовой станцией и подвижным пользователем.

Для этих параметров, имеются некоторые пределы, в которых модель справедлива; h_b должна быть между 30 м и 200 м, h_m должна быть между 1 м и 10 м, и d должно быть между 1 км и 20 км. Коэффициенты $a(h_m)$ и K_0 используются при распространении радиоволн в «городском» или «плотном городском» окружении. В частности

$$a(h_m) = [1.1 \lg(f) - 0.7] h_m - [1.56 \lg(f) - 0.8] - \text{для города};$$

$$a(h_m) = 3.2 [\lg(11.75 h_m)]^2 - 4.97 - \text{для города с плотной застройкой};$$

$$K_0 = 0 - \text{для города}$$

$$K_0 = 3 \text{ dB} - \text{для города с плотной застройкой}$$

Коэффициенты K_1 и K_2 используются, чтобы учесть частотные диапазоны.

$$K_1 = 69.55 \text{ для частотного диапазона } 150 \text{ МГц} \leq f \leq 1000 \text{ МГц},$$

$$K_1 = 46.3 \text{ для частотного диапазона } 1500 \text{ МГц} \leq f \leq 2000 \text{ МГц}$$

$K_2 = 26.16$ для частотного диапазона $150 \text{ МГц} \leq f \leq 1000 \text{ МГц}$,

$K_2 = 33.9$ для частотного диапазона $1500 \text{ МГц} \leq f \leq 2000 \text{ МГц}$.

В диапазоне 1800 МГц и выше расчеты потерь по трассе распространения радиосигнала чаще всего в настоящее время производят с помощью модели COST 231 Хата. Условия применимости модели: $f = 1500\text{--}2000 \text{ МГц}$; $H_{BC} = 30\text{--}200 \text{ м}$; $H_{AC} = 1\text{--}10 \text{ м}$. [7].

В среднем городе и пригородном центре с умеренной плотностью посадки деревьев потери по трассе определяются из выражения

$$L_{\Gamma} = 48,55 + 35,4 \lg f - 13,82 \lg H_{BC} - (1,1 \lg f - 0,7) H_{AC} + (44,9 - 6,55 \lg H_{BC}) \lg R, \quad (1.9)$$

где: H_{BC} – эффективная высота подъема антенны базовой станции, м; H_{AC} – высота антенны подвижной станции над землей, м; R – расстояние между передатчиком и приемником, км; f – частота сигнала, МГц;

1.2.5 Модель Олсбрука – Парсонса

По полученным Окамураой графикам различными авторами были выведены аналитические выражения для расчета поля. Модель, разработанная К. Олсбруком и Дж. Парсонсом, позволяет предсказать основные потери передачи L [3]:

$$L = L_F + ((L_P - L_F)^2 + L_D^2)^{1/2} + L_B + \gamma, \quad (1.10)$$

где: L_F – потери передатчика в свободном пространстве (дБ), рассчитываемые по формуле:

$$L_F = 32,45 + 20 \lg(f) + 20 \lg(R), \quad (1.11)$$

где: f – рабочая частота, МГц ;

R – расстояние между передающей и приемной антеннами, км;

L_p - потери распространения над плоской землей (дБ), которые могут быть рассчитаны следующим образом:

$$L_p = 120 - 20\lg(h_m) - 20\lg(h_b) + 40\lg(R), \quad (1.12)$$

где; h_m, h_b – высота приемной и передающей антенн соответственно, м;

L_D - дифракционные потери (дБ), обусловленные характером рельефа местности под городской застройкой (сферичностью земли, наличием холмистости, подстилающей поверхностью и др.), причем эти потери рассчитываются в предположении отсутствия застройки;

L_B – потери (дБ), вызванные наличием городской застройки, рассчитываемые по формуле:

$$(L_B + \gamma) = 20\lg\left(\frac{h_0 - h_m}{\sqrt{b\lambda}}\right) + 16 + \gamma \quad (1.13)$$

где λ – длина волны, м;

b – эффективная ширина улицы, на которой расположена приемная антенна, м;

h_0 – средняя высота зданий вблизи приемной антенны, м;

h_m – высота приемной антенны, м;

γ – поправочный коэффициент, зависящий от частоты, причем $\gamma = 0$ при $f < 200$ МГц, а для $f > 200$ МГц его значение определяется по специальному графику.

Для квазиплоского города, когда дифракционные потери равны нулю, формула (1.10) упрощается и принимает вид:

$$L = L_p + L_B + \gamma, \quad (1.14)$$

Усредненные эмпирические формулы для расчета потерь распространения в условиях города позволяют определить затухание с точностью до 7...17 дБ.

Расчеты по приведенным формулам дают достаточно хорошее совпадение с результатами Окамуры.

1.3.6 Модель Ксиа-Бертони

Модель Ксиа-Бертони [8] была построена на основе уравнений волновой оптики и рассматривает механизмы распространения радиоволн в условиях городских застроек:

- распространение в свободном пространстве,
- отражение от стен зданий,
- дифракцию на кромках крыш.

Если антенна базовой станции расположена выше среднего уровня крыш зданий, на входе мобильной станции оказываются сигналы, распространяющиеся по двум лучам: в результате дифракции на кромке крыши здания и после отражения от противоположной стены здания.

Эта модель является более точной в сравнении с моделью Окамура-Хата, так как позволяет учесть некоторые дополнительные параметры.

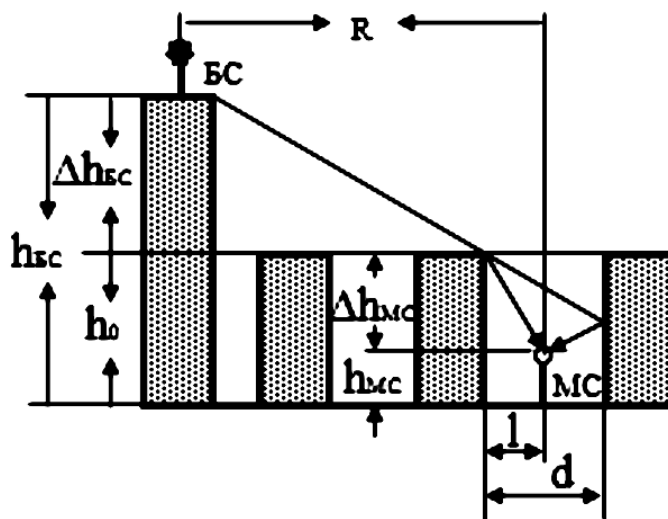


Рисунок 1.2 - Схема распространения радиоволны от базовой до мобильной станции для модели Ксиа-Бертони

В данном случае величина средних потерь рассчитывается по формуле:

$$L = -10 \lg \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 - 10 \cdot \lg \left[\frac{\lambda}{2\pi^2 \cdot r} \left(\frac{1}{\theta} - \frac{1}{2\pi + \theta} \right)^2 - 10 \cdot \lg \left[2,35^2 \left(\frac{\Delta h_b}{R} \sqrt{\frac{d}{\lambda}} \right)^{1,8} \right] \right] \quad (1.15)$$

где: λ – длина волны (м);

R – расстояние между приемником и передатчиком ($R = 0,1 \dots 1,5$ км с шагом 0,05 км);

$\Delta h_b = h_{BC} - h_{0(m)}$ (разность высоты антенны и среднего уровня крыш);

$\theta = \text{tg}^{-1}(\Delta h_m / x)$, где $\Delta h_m = h_0 - h_{AC}$ (м) – разность высот среднего уровня крыш и антенны мобильной станции;

x – расстояние между антенной мобильной станции и кромкой крыш (на которой дифрагирует волна) по горизонтали. В большинстве случаев $x = \omega/2$;

ω – средняя ширина улиц (15 м);

d – среднее расстояние между кварталами (40 м);

$$r = \sqrt{\Delta h^2 + x^2}$$

Недостатком модели являются ограничения по дальности (несколько сотен метров) и по условиям применения.

1.4 Средства мониторинга сетей мобильной связи

1.4.1 Мобильные станции радиоконтроля

Промышленностью Украины производятся разнообразные по возможностям и характеристикам мобильные станции радиоконтроля, основным назначением которых является:

- радиочастотный мониторинг базовых станций сотовой связи стандартов GSM, DCS, CDMA, UMTS;
- обнаружение радиоизлучений и пеленгование их источников в движении и на стоянке (корреляционно-фазовый метод);
- местоопределение стационарных источников радиоизлучений (ИРИ);

- отображение на электронной карте маршрута движения, данных расчета координат источников радиоизлучений, измерение параметров радиоизлучений и прочее.

Функциональные возможности и технические характеристики станций приведены в Приложении В [13,14,15].

1.4.2 Программные средства для индивидуальных терминалов

1.4.2.1 CellTrack

CellTrack - это программа для сбора данных о сети, к которой подключен мобильный телефон. Главное окно этой программы представлено на рисунке 1.3 [10].

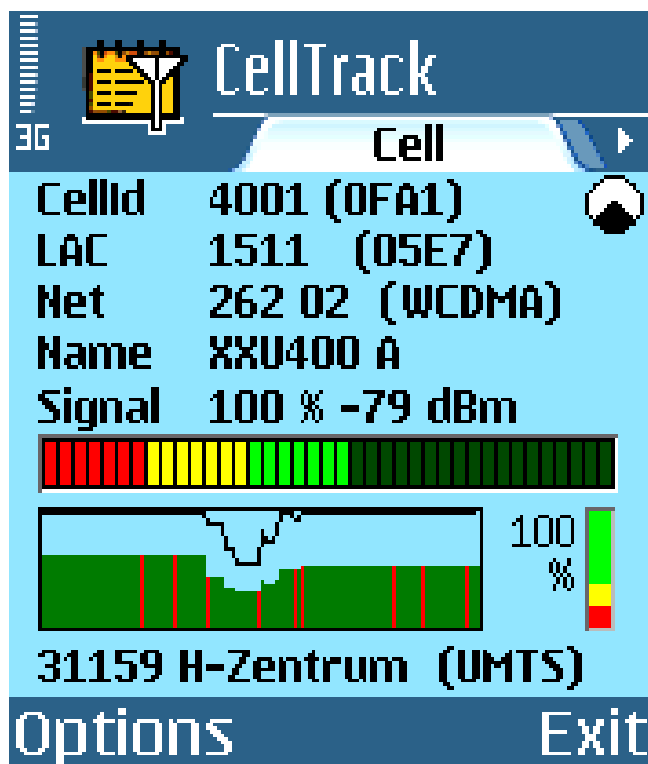


Рисунок 1.3 - Главное окно программы CellTrack

На главном экране отображается информация о сети GSM:

- CellID - идентификатор фактической ячейки базовой станции;
- LAC - код зоны местоположения ячейки в границах района;

- Net - номер сети, в которой находится терминал, например, 262 для Германии, после тире - номер оператора, например 02 для Vodafone. Если здесь присутствует ячейка W-CDMA / UMTS, то номер имеет еще 4 цифры.
 - Name - имя ячейки базовой станции, заданное оператором.
 - Signal - показывает качество принимаемого сигнала. Значения уровня мощности сигнала дается в dBm. Максимальный уровень сигнала, который отображается программой равен «-51 dBm», минимальный - «-105 dBm»
 - BAT - аккумулятор - емкость батареи отображается в процентах.
 - внизу расположен график уровня сигнала с отметками о смене соты.
- Настоящая программа имеет два существенных недостатка:
- не отображает на карте района ни положения абонента, ни положения базовой станции;
 - не указывает расстояния от АС до БС.

1.4.2.2 Open Signal Maps

Open Signal Maps - это диагностическая программа для Андроид устройств, которая позволит улучшить сигнал сотовой связи и Wi-Fi соединения. Программа производит поиск источников связи - передающих вышек сотовой связи, а так же точек Wi-Fi. [11]

Эта программа предоставляет полный список данных о качестве сигнала в каждой из принимающих зон, показывает на карте ближайшие точки связи и оповещает об изменении качества приема сигнала. В программе так же предоставляется информация, на данные которой можно опираться в поисках самого лучшего места приема

Эта программа - инструмент для изучения карты радиопокрытия и улучшения качества приема сигнала.



Рисунок 1. 4 - Окна: «обзор» и «карта»

На рисунке 1.4 в окне «обзор» отображается уровень сигнала, принимаемого АС. Измеряемый сигнал приводится в "dBm". Под 100% имеется в виду уровень сигнала, при котором связь будет лучшей. Этот уровень задает сам телефон. Внизу находится серый круг со стрелкой. Он показывает покрытие местности данной соты. Для мониторинга базовых станций этот кружок не нужен. Во-первых, в большинстве случаев трудно определить направление частей света. Во-вторых, операторы сотовой связи не придерживаются этих правил (особенно в городе), когда не приходится выбирать место установки базовой станции, а необходимо обеспечить покрытие нужной местности.

Под сектором (самый низ окна) выводится информация (i) о текущей соте: какая сеть используется, технология соединения, в какой широте и долготе расположена базовая станция (если в базе отсутствует описание, то отображается «No info») – рисунок 1.5.

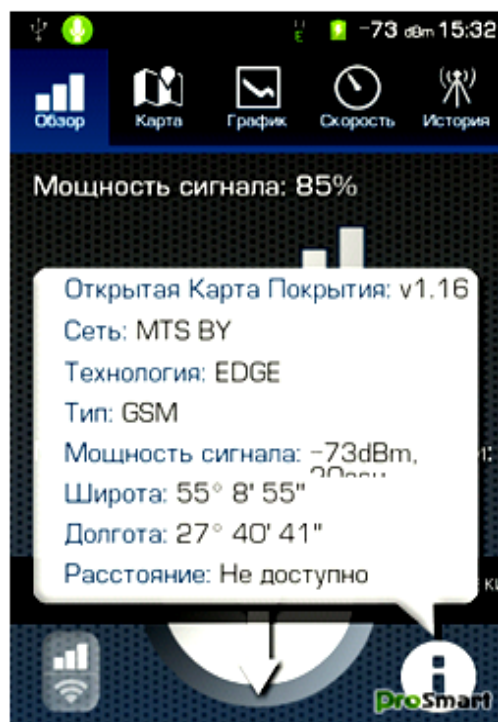


Рисунок 1.5. Окно «описание текущей соты»

На рисунке 1.4 - «карта» отражены соты, которые хотя бы один раз фигурировали в мониторинге. Он показывает местоположение абонента и к какой станции он подключен. Порядок отражения соответствует порядку появления новых сот. В самом нижнем углу есть функция изменения слоев - там можно выбрать соответствующий вид: карта, спутник, радар.

На рисунке 1.6 отображены окна «график», «скорость» и «история».

Окно «график» - отражает изменение уровня сигнала в мобильном телефоне. Приводится исследование в реальном времени.

Окно «скорость» - здесь собрана информация по передаче и приему данных. Имеется возможность протестировать систему, то есть определить скорость, на которой происходит обмен данными.

Окно «история» отражает историю подключения мобильного телефона к базовым станциям (то есть число, месяц и время соединения).



Рисунок 1.6 – Окна: «график», «скорость», «история»

Недостатками программы Open Signal Maps являются:

- неточное отображение местоположения базовой станции;
- отсутствие данных о рабочих частотах БС и АС.

1.4.2.3 Network Signal Info

Приложение для Андроид устройств Network Signal Info [12] предоставляет подробную информацию об используемых в настоящее время сетях, будь то Wi-Fi или сотовая связь – рисунок 1.7.

В новых версиях доступны виджеты (необходима установка их в память телефона).

В программе уделено особое внимание визуализации уровня сигнала беспроводной и мобильной сетей.

Еще более подробная информация отображается текстуально.

Раздел "Mobile Signal":

Сеть оператора, SIM-провайдер, тип телефона, тип сети, уровень мощности сигнала сети в дБм и АСУ, данные о состоянии, данные о

деятельности, идентификаторы вышки, код страны, идентификатор устройства, IP адрес (внутренний и внешний), статус роуминга.

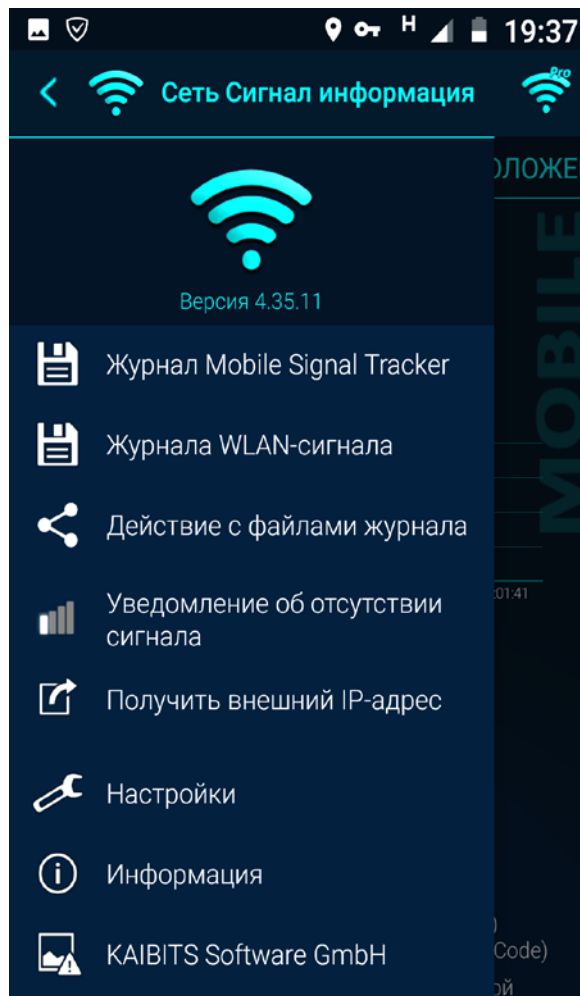


Рисунок 1.7 - Меню программы по версии 4.35.11

Раздел "Wi-Fi Signal":

WiFi-имя вышки (SSID), BSSID, частоты сети и каналов, шифрование данных в сети, MAC-адрес, максимальная скорость Wi-Fi, IP-адрес, внешний IP-адрес, маска подсети, адрес шлюза IP, DHCP адрес сервера, DNS1 и DNS2-адрес.



Рисунок 1.8 – Окна "Mobile Signal":

Программа предоставляет возможность наблюдать на карте расположение ближайших вышек сотовой связи, а также расстояние до подключённой БС – рисунок 1.9. Имеется подробная информация о БС, от координат расположения, до типа сети.

Можно одновременно осуществлять мониторинг GSM и Wi-Fi.

Из дополнительных функций можно получить информацию об устройстве, на котором установлена программа – рисунок 1.9..

Настоящая программа с практической точки зрения лишена недостатков, а ее версия «Pro» раскрывает еще большие возможности ее использования.

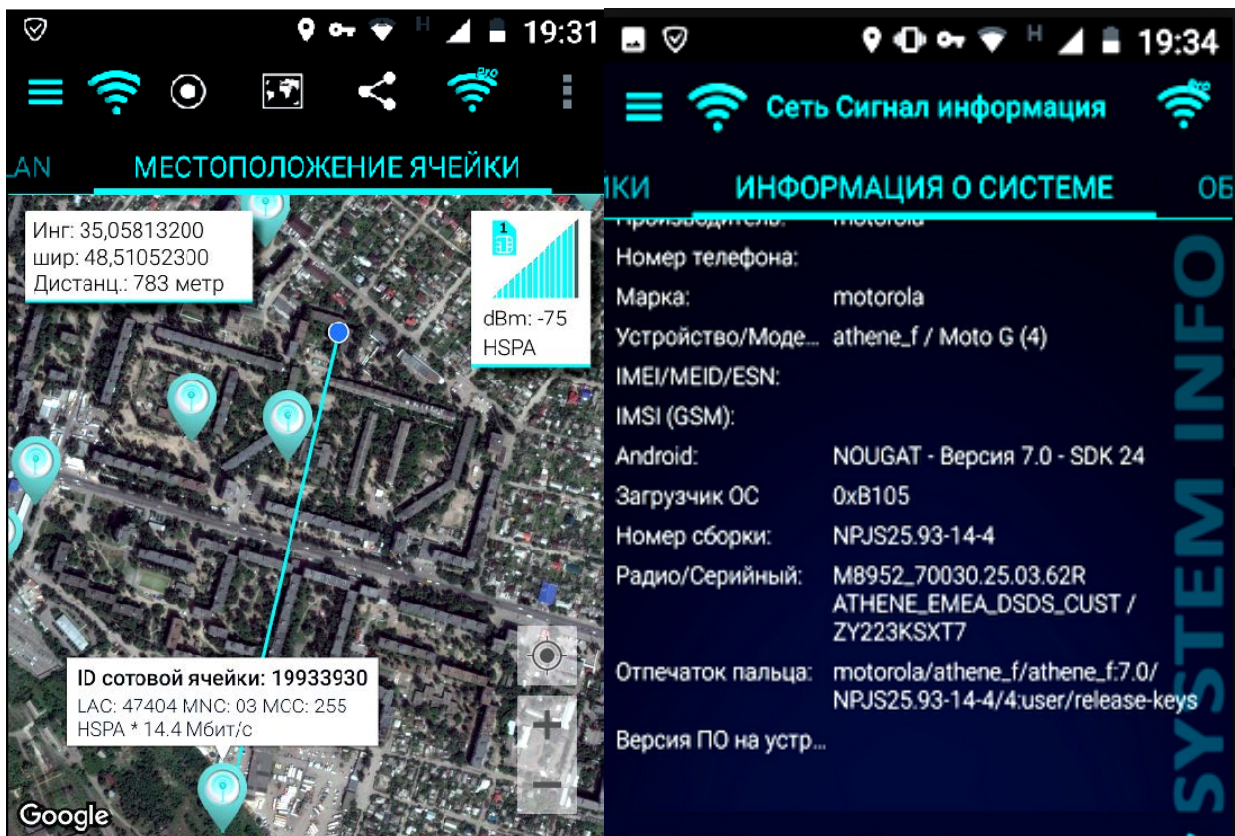


Рисунок 1.9 – Окна «Местоположение ячейки» и «Информация о системе»

1.5. Постановка задач исследования

Для достижения цели магистерской работы поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать известные статистические модели распространения радиоволн в городских условиях.
2. Выбрать микрорайон города, соответствующий условиям применения моделей распространения.
3. Выбрать технические средства и программное обеспечение для измерений уровня сигнала на местности и определения положения БС и АС.
4. Провести необходимое число измерений для конкретных условий применения моделей.
5. Выполнить обработку результатов измерений.

6. Проанализировать полученные результаты и определить значения экспериментальных параметров.
7. Сравнить параметры, полученные на основе исследований с параметрами выбранных статистических моделей распространения и установить причины расхождений.

Предложить рекомендации по уточнению параметров модели для расчета уровня мощности в точке приема.

Выводы по первому разделу.

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

РАЗДЕЛ 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН

2.1. Проведение экспериментальных исследований

2.1.1 Выбор микрорайона города, соответствующего условиям применения рассмотренных моделей распространения радиоволн.

Современные города с точки зрения распространения радиоволн представляют собой сложную структуру, поэтому ее описание немислимо без некоторых упрощений, определяемых для конкретной задачи.

Практически все статистические модели распространения радиоволн создавались для так называемого «квазиплоского города», что по сути приближается к пониманию расположения жилых зданий в равнинной местности.

В городе Днепр, Украина к последнему типу по характеру местности можно отнести микрорайон «Левобережный», а именно «Левобережный 2» и «Левобережный 3», а также примыкающий к ним микрорайон «Березинский» - рисунок 2.1.

Эти микрорайоны характеризуются однотипной плотной застройкой – 9-ти... 10-ти этажными жилыми зданиями. Число зданий большей высотности весьма незначительно среди прочих, либо они располагаются отдельной линией.

Несмотря на большое число базовых станций в этих микрорайонах, число которых в настоящее время в основном определяется величиной трафика,

проведение измерений представляется технически возможным и соответствующим условиям применения рассмотренных моделей распространения радиосигнала в городе..

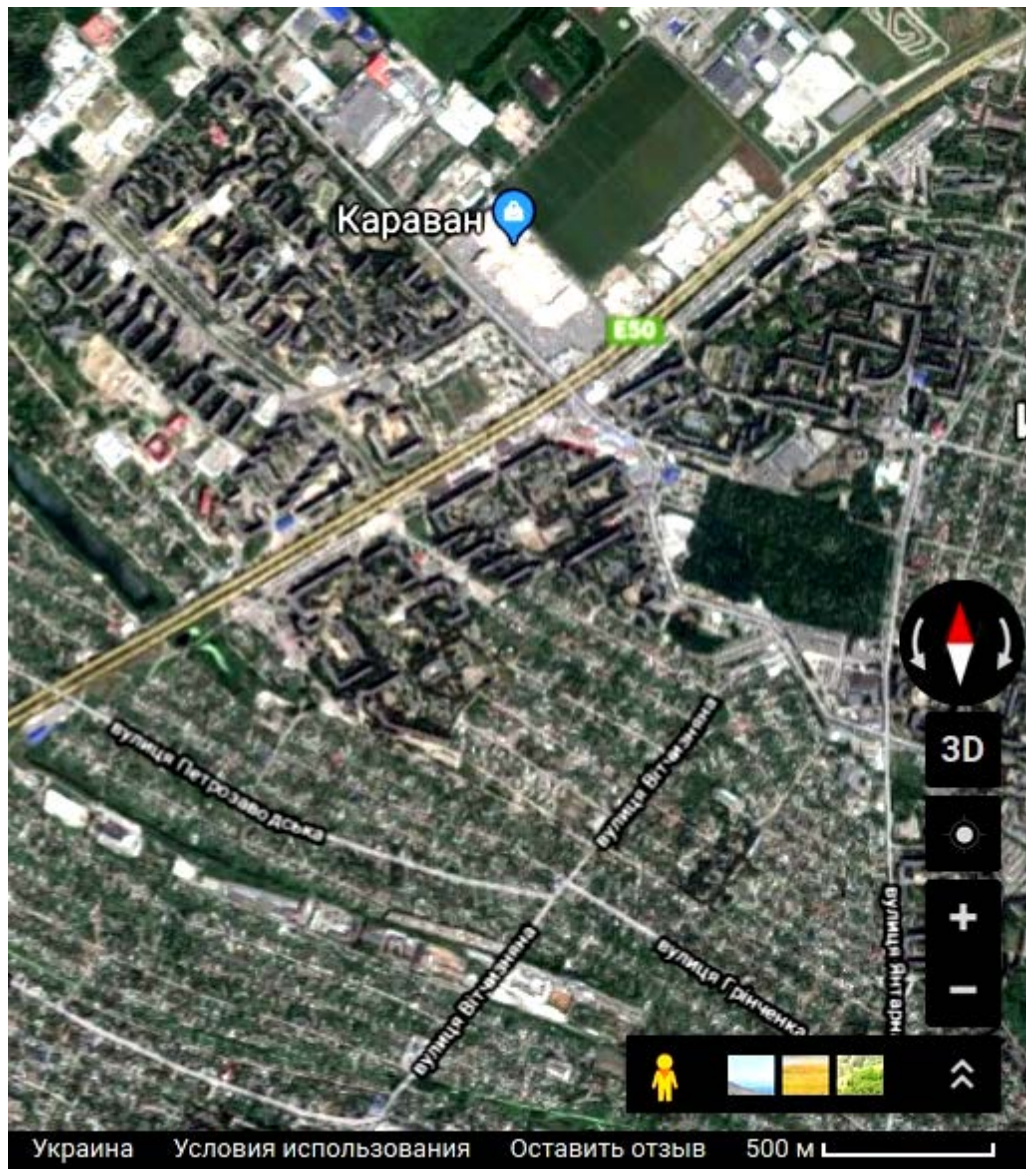


Рисунок 2.1 Карта мікрорайонів «Левобережний 2», «Левобережний 3» і «Березинський»

Аналіз статистических моделей, представлених в першому розділі, дозволяє вибрати з них дві, забезпечуючі найбільш близькі до реальних значення втрати при розповсюдженні радіоволн в міських умовах, а саме: емпірическі моделі COST 231- Хата і модель Ксія-Бертоні.

Іменно в цих моделях в найбільшій степені улічуються особливості міської застройки наряду з висотами БС і АС, частотой сигналу і прочее.

Втрати по трасі при розповсюдженні сигналу можуть бути визначені по дійствительним значенням потужності в точках розташування АС.

2.1.2 Выбор технического средства и программы для измерений уровня сигнала на местности и определения положений БС и АС.

При проектировании и оптимизации сетей мобильной связи для определения уровней сигнала на местности применяются соответствующие технические средства, выпускаемые промышленностью. Основные функции и технические характеристики наиболее распространенных из них, которые производятся в Украине, приведены в Приложении Б.

Здесь необходимо отметить, что стоимость этих средств и их затраты на эксплуатацию являются весьма значительными. В связи с этим, для целей, поставленных в настоящей работе, целесообразно использовать более доступные средства - гаджеты и программные продукты к ним.

Среди рассмотренных в первом разделе программных продуктов под Андроид наилучшим набором возможностей безусловно обладает программа [Network Signal Info](#).

Именно она позволяет достаточно точно определять местоположение как АС, так и БС, расстояние между ними, уровень сигнала в месте АС и номер ячейки БС. Этот набор возможностей позволяет решить поставленные в работе задачи.

2.1.3 Проведение измерений уровня мощности сигнала в выбранном районе

При проведении измерений уровня мощности сигнала в местах расположения абонентской станции – посредством смартфона с установленным в нем приложением [Network Signal Info](#), - было получено около 40 значений, из которых отобраны 15, соответствующих условиям применимости статистических моделей распространения.

Карта микрорайона с нанесенными точками – местами измерений (расположения АС) представлена на рисунке 2.2.

Результаты измерений представлены в таблице 2.1.

На рисунке 2.3 представлена карта, на которой отображена большая часть станций мобильной связи, расположенных в этом микрорайоне.

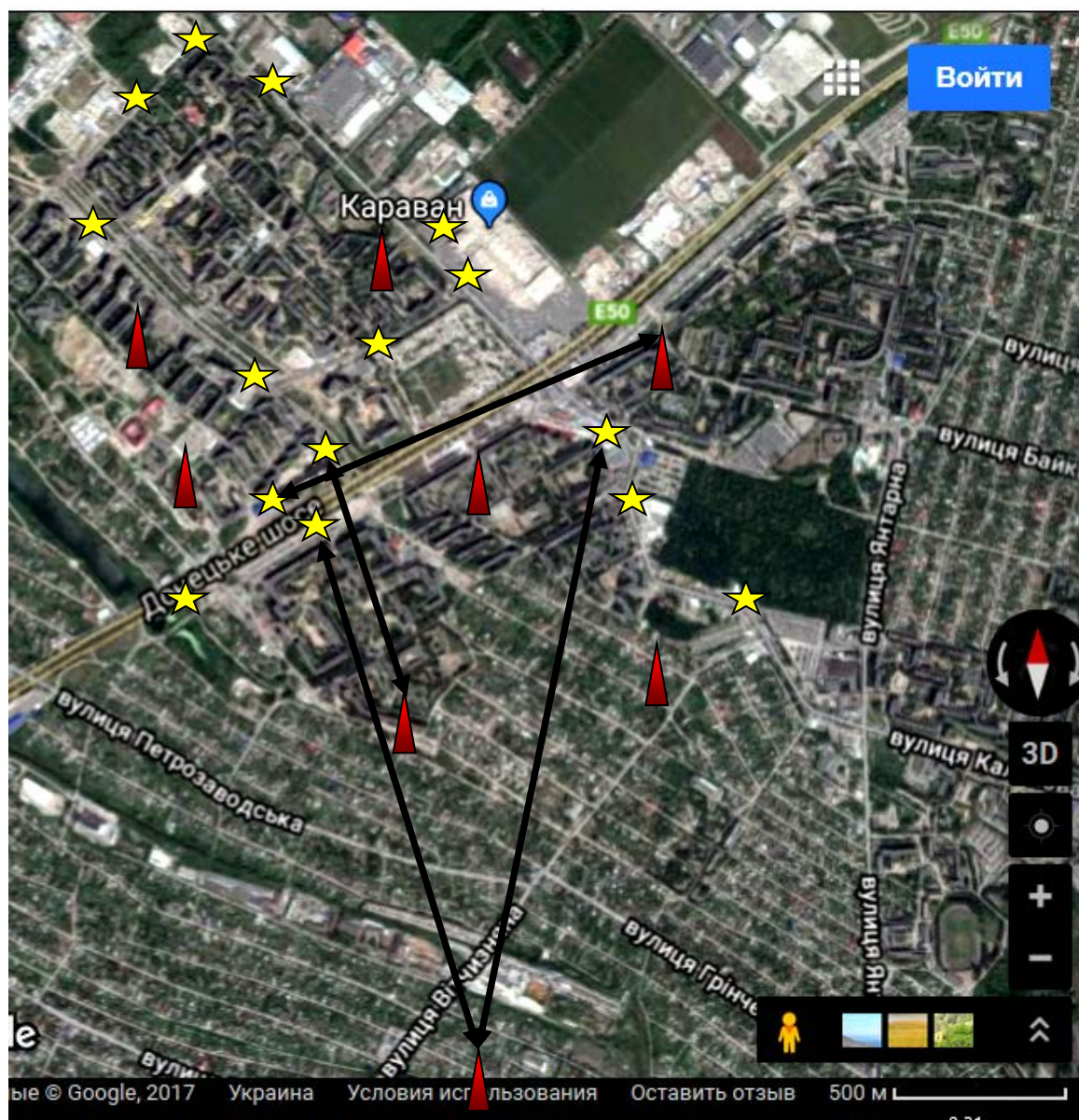


Рисунок 2.2 - Карта микрорайона «Левобережный» города Днепр с расположением базовых станций мобильной связи и точек замера уровня сигнала

На рисунке 2.2 стрелками показаны наибольшие расстояния между АС и БС, среди общего числа измерений.

Таблица 2.1 –Значения мощности сигнала в месте расположения АС

№ п/п	Расстояние от АС до БС, м.,	Значения мощности сигнала в месте расположения АС, дБм	Характер застройки по ходу распространения сигнала
1	245	-55	Через высотные здания
2	312	-61	Через высотные здания
3	330	-59	Через высотные здания
4	424	-75	Через высотные здания
5	504	-71	Через Донец. шоссе и высотные здания
6	570	-73	От Каравана на Левобережный 2
7	644	-69	Через высотные здания
8	749	-75	От Каравана на Левобережный 2
9	776	-85	Через высотные здания
10	1058	-87	Вдоль Донецкого шоссе
11	1072	-85	Через высотные здания и частный сектор
12	1206	-83	Через высотные здания и частный сектор
13	1234	-87	Через высотные здания и частный сектор
14	1594	-97	Через высотные здания и частный сектор
15	1859	-91	Через высотные здания и частный сектор

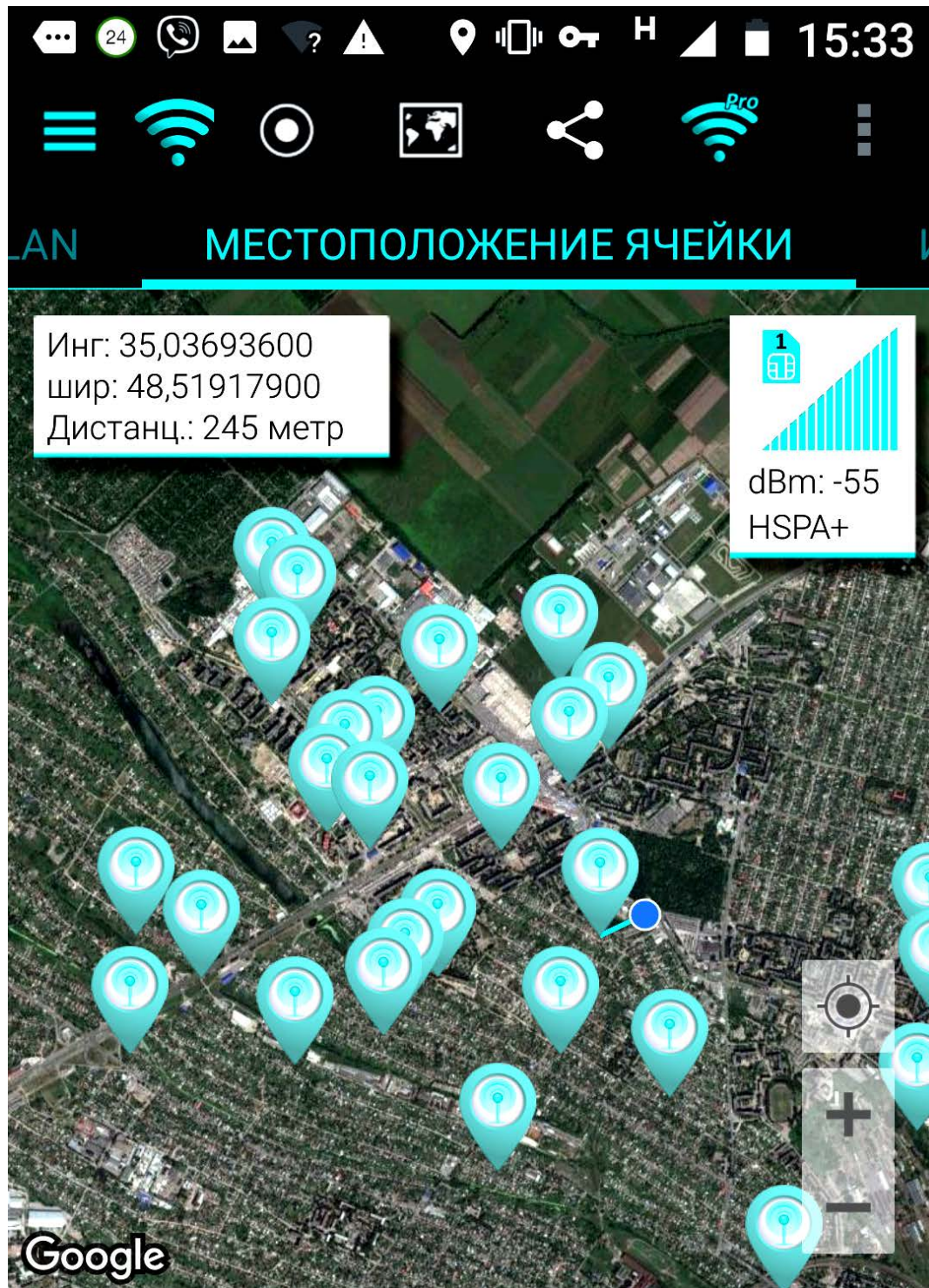


Рисунок 2.3 – Карта проведения исследований, на которой отображена большая часть станций мобильной связи, расположенных в этом микрорайоне.

Число станций мобильной связи в выбранном для исследований микрорайоне площадью 8 - 10 кв.км достигает 25,

Такая высокая плотность размещения БС и определила то, что среди представленных в таблице результатов большая часть приходится на расстояния между АС и БС меньше 1 км.

2.1.4 Обработка результатов измерений

Как следует из таблицы 2.1, характер трасс распространения для выбранных значений имеет отличия, которые определяют некоторый их разброс.

Полученное поле корреляции – рисунок 2.4 – удовлетворительно - с коэффициентом достоверности $R^2 = 0,884$ описывается логарифмическим трендом, что соответствует характеру зависимости мощности в точке приема от расстояния между АС и БС для статистических моделей распространения.

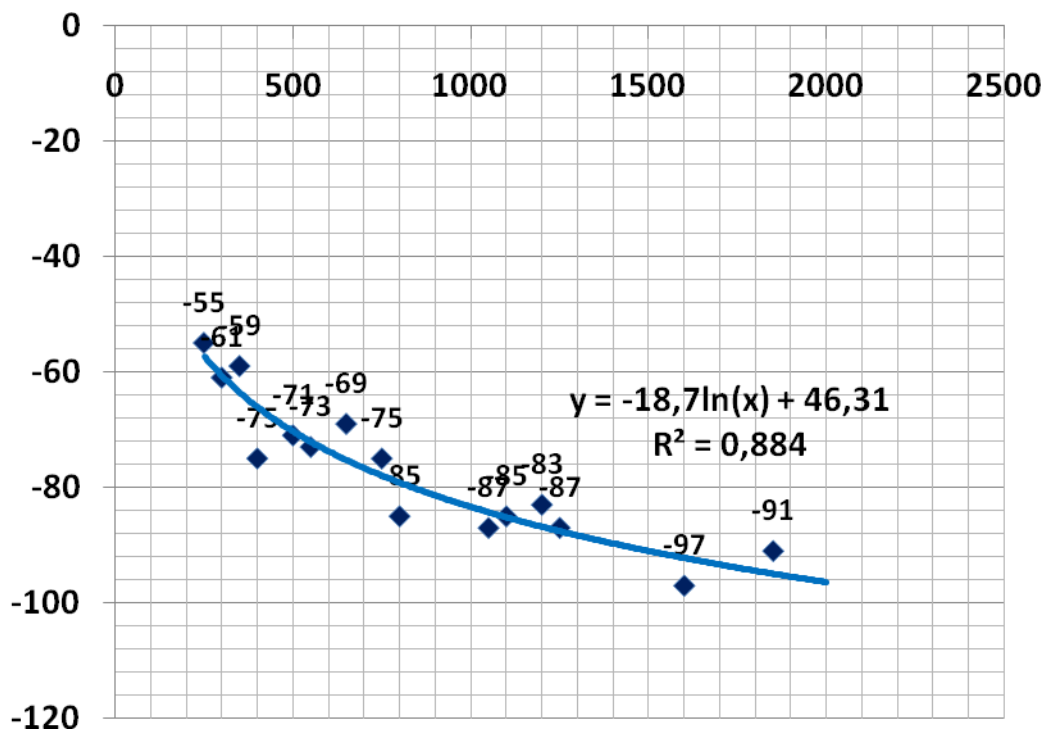


Рисунок 2.4 – Зависимость уровня сигнала в точке приема (на входе АС) от расстояния между АС и БС

Полученное уравнение может быть сопоставлено с уравнениями для статистических моделей распространения при переводе натурального логарифма в десятичный в соответствии с известным соотношением:

$$\ln(X) = \lg(X) / \lg(e) = 2,95 \lg(X)$$

и пересчете расстояния X [м] в R [км].

В результате проведенных расчетов получаем зависимость мощности сигнала в точке приема по результатам проведенных исследований:

$$P_{inAC} = -82,87 - 55,16 \lg(R) \quad (2.1)$$

2.2 Расчет параметров статистических моделей распространения для условий проведения экспериментальных исследований

2.2.1 Модель Ли

Уровень принимаемой мощности согласно этой модели может быть рассчитан по следующей формуле:

$$P_{inAC} = -62,6 - 36,8 \lg R - n \lg(f/900) + \sigma_0 \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} \sigma_0 = & 15 + 20 \lg(h_Y/100) + 10 \lg(P_Y/10) + \\ & + (G_Y - 6) + G_{ПР} + 10 \lg(h_{ПР}/10) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Данные для расчета.

Частота передачи в направлении от БС к АС - $f = 1842$ МГц; эффективная высота БС - $h_{Y,} = 30$ м; высота АС - $h_{ПР} = 1,0$ м; мощность передатчика БС - $P_{Y,} = 28$ Вт; коэффициент усиления антенны передатчика - $G_{Y,} = 16$; коэффициент усиления антенны приемника $G_{ПР} = 0$, частотный множитель $n = 3$ при $f > 450$ МГц.

$$\begin{aligned} \sigma_0 = & 15 + 20 \lg(30/100) + 10 \lg 2,8 + (16 - 6) + 0 + 10 \lg(1,0/10) = \\ = & 15 - 10,46 + 4,47 + 10 - 10 = 9,01 \end{aligned}$$

$$P_{inAC} = -62,6 - 36,8 \lg R - n \lg(f/900) + \sigma_0 = -62,6 - 36,8 \lg R - 0,933 + 9,01$$

Таким образом, для модели Ли

$$P_{inAC} = -54,52 - 36,8 \lg R \quad (2.4)$$

2.2.2 Модель Хата

Потери по трассе распространения согласно этой модели для данных, приведенных в п. 2.2.1 могут быть рассчитаны по следующей формуле:

$$L_{\Gamma} = 140,83 + 35,23 \lg R, \text{ дБ} \quad (2.5)$$

Уровень принимаемой мощности определяется в соответствии с балансом при передаче в направлении от БС к АС [7]:

$$P_{inAC} = P_{outBC} - L_{fBC} + G_{aBC} - L_c - (L_{\Gamma} + P_{\sigma}) + G_{aAC} - L_{fAC}, \quad (2.6)$$

где: $P_{outBC} = 28 \text{ Вт} = 44,5 \text{ лБм}$; потери в комбайнере передатчика составляют $L_{fBC} = 2 \text{ дБ}$, коэффициент усиления передатчика $G_{aBC} = 16 \text{ дБ}$, соответственно для приемника - $L_{fAC} = 0$, $G_{aAC} = 0$. $L_c = 0$, если в соте 3–4 частоты.

Имеем

$$P_{inAC} = 44,5 - 2 + 16 - 0 - L_{\Gamma} + 0 - 0 = 44,5 + 14 - 146,43 - 35,23 \lg R$$

Уровень принимаемой АС мощности для модели Хата определяется выражением:

$$P_{inAC} = - 82,33 - 35,23 \lg R \quad (2.7)$$

2.2.3 Модель Ксиа-Бертони

Для данной модели, воспользовавшись данными принятыми ранее, имеем следующее выражение потер по трассе в городе:

$$L_{\Gamma} = 81,5 + 21 \lg f_0, - 18 \lg(\Delta h_{BC}) + 38 \lg R, \text{ дБ} \quad (2.8)$$

При этом мощность на входе абонентской станции определяется соотношением:

$$P_{inAC} = - 82,76 - 38 \lg R \quad (2.9)$$

2.2.4 Сравнение параметров экспериментальной модели с параметрами известных статистических моделей.

На основании выражений для модели Ли – (2.4), Хата – (2.7), Ксиа-Бертони – (2.9) и экспериментальной модели – (2.1) выполнены расчеты мощности на входе АС, которые приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Сопоставление измеренных и вычисленных значений мощности сигнала в месте расположения АС

№ п/п	Расстояние до БС, м., фактич. / округлен.	Экспериментальные значения мощности сигнала в месте расположения АС, дБм	Значения мощности сигнала, рассчитанные по модели Ли, дБм $P_{inAC} = -54,52 - 36,8 \lg R$	Значения мощности сигнала, рассчитанные по модели Ксиа-Бертони, дБм $P_{inAC} = -82,76 - 38 \lg R$	Значения мощности сигнала, рассчитанные по модели Хата, дБм $P_{inAC} = -82,33 - 35,23 \lg R$
1	245/250	-55	-32,04	-59,55	-60,81
2	312/300	-61	-35,9	-63,54	-64,5
3	330/350	-59	-36,8	-64,46	-64,87
4	424/400	-75	-40,8	-68,61	-68,88
5	504/500	-71	-43,57	-71,45	-71,85
6	570/600	-73	-45,5	-73,48	-73,73
7	644/650	-69	-47,49	-75,51	-75,6
8	749/750	-75	-49,9	-78,01	-77,9
9	776/800	-85	-50,47	-78,57	-78,45
10	1058/1050	-87	-55,42	-83,69	-83,14
11	1072/1100	-85	-55,63	-83,91	-83,39
12	1206/1200	-83	-57,42	-85,85	-85,19
13	1234/1250	-87	-57,88	-86,23	-85,55
14	1594/1600	-97	-62,0	-90,45	-90,46
15	1859/1850	-91	-64,43	-93,01	-91,82

По данным таблицы 2.2 получены тренды и их уравнения, определяющие зависимости мощности на входе АС от расстояний между АС и БС для рассмотренных статистических и экспериментальной моделей распространения радиосигнала в условиях города, которые представлены на рисунке 2.5.

Анализ зависимостей, представленных на рисунке 2.5, позволяет сделать следующие выводы;

1. Имеет место разброс экспериментальных значений мощности сигнала в точке приема относительно значений, определяемых трендом.
2. Разброс значений мощности в основном зависит от различий в конфигурациях трасс распространения сигнала для каждого из измерений.
3. Значения мощности сигнала на входе АС, рассчитанные по модели Ли, существенно отличаются от экспериментальных (в большую сторону), что свидетельствует о невозможности использования этой модели для плотной городской застройки.
4. Значения мощности сигнала на входе АС, рассчитанные по моделям Хата и Ксиа-Бертони весьма близки к экспериментальным.
5. Модель Ксиа-Бертони дает более близкие к экспериментальным значения мощности при малых (< 1 км) расстояниях между АС и БС, что определяет возможность ее преимущественного использования в условиях аналогичных проведенным исследованиям.
6. Полученные результаты могут быть использованы для корректировки параметров моделей Хата и Ксиа-Бертони,

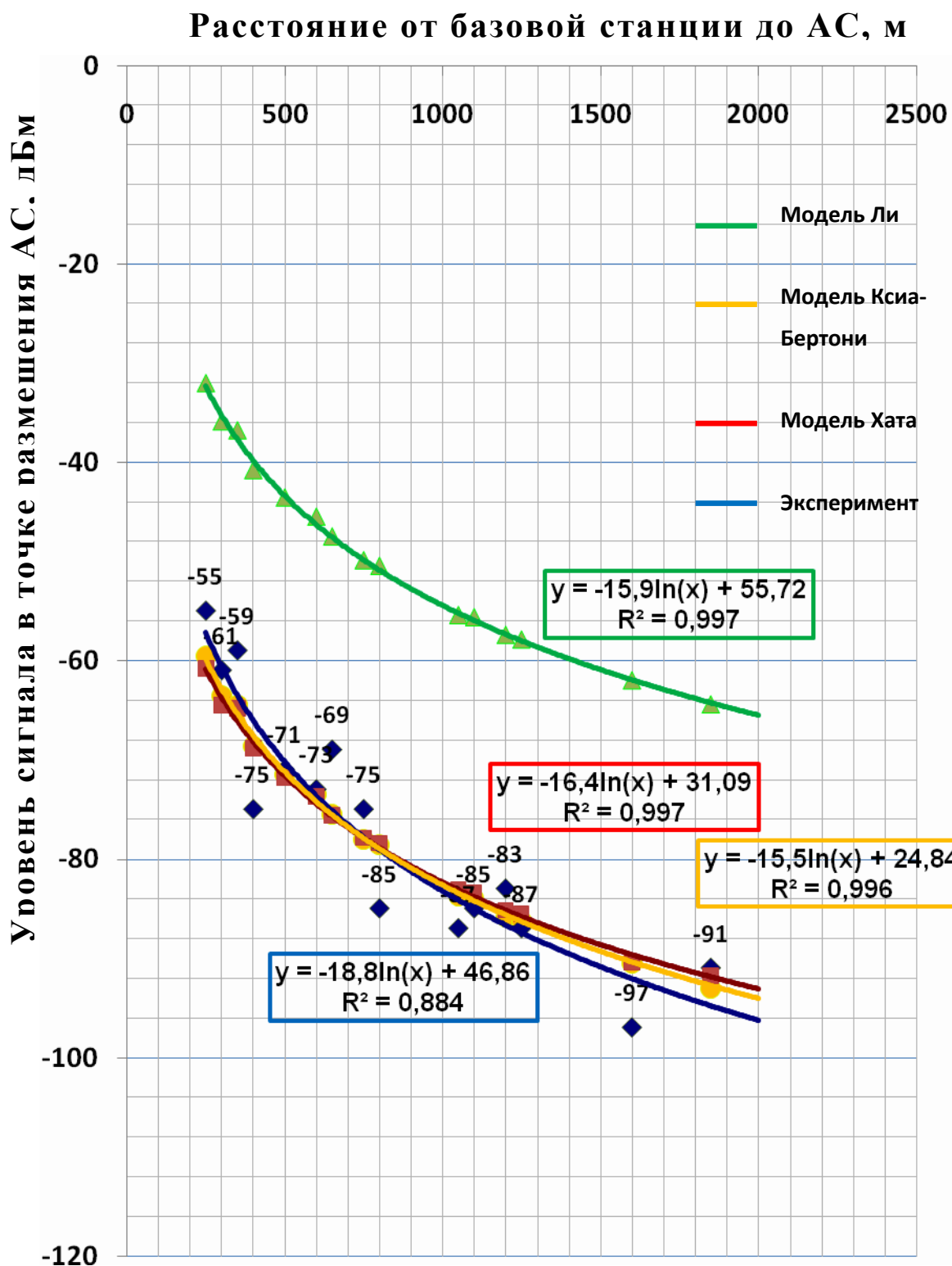


Рисунок 2.5 – Зависимости мощности на входе АС от расстояния между АС и БС для известных статистических моделей и экспериментальной

2.3 Рекомендации по уточнению параметров модели распространения на основании результатов экспериментальных исследований.

Принимая во внимание близость моделей Хата и Ксиа-Бертони к экспериментальной можно считать целесообразным предложение о вычислении среднего значения коэффициентов при lgR в выражениях для определения мощности в точке приема.

Таким образом, получаем:

$$P_{inAC} = - 82,6 + 42,8lgR \quad (2.10)$$

Сопоставление значений, рассчитанных по выражению (2.10) с экспериментальными значениями представлено в таблице 2.3 и на рисунке 2.6

Таблица 2.3 –Значения мощности сигнала в месте расположения АС

№ п/п	Расстояние от АС до БС, м.,	Измеренные значения мощности сигнала в месте расположения АС, дБм	Вычисленные значения мощности сигнала в месте расположения АС по формуле (2.9), дБм
1	245	-55	-56,46
2	312	-61	-60,95
3	330	-59	-62,0
4	424	-75	-66,65
5	504	-71	-69,86
6	570	-73	-72,15
7	644	-69	-74,4
8	749	-75	-77,23
9	776	-85	-77,9
10	1058	-87	-83,65
11	1072	-85	-83,9
12	1206	-83	-86,1
13	1234	-87	-86,5
14	1594	-97	-91,27
15	1859	-91	-94,13

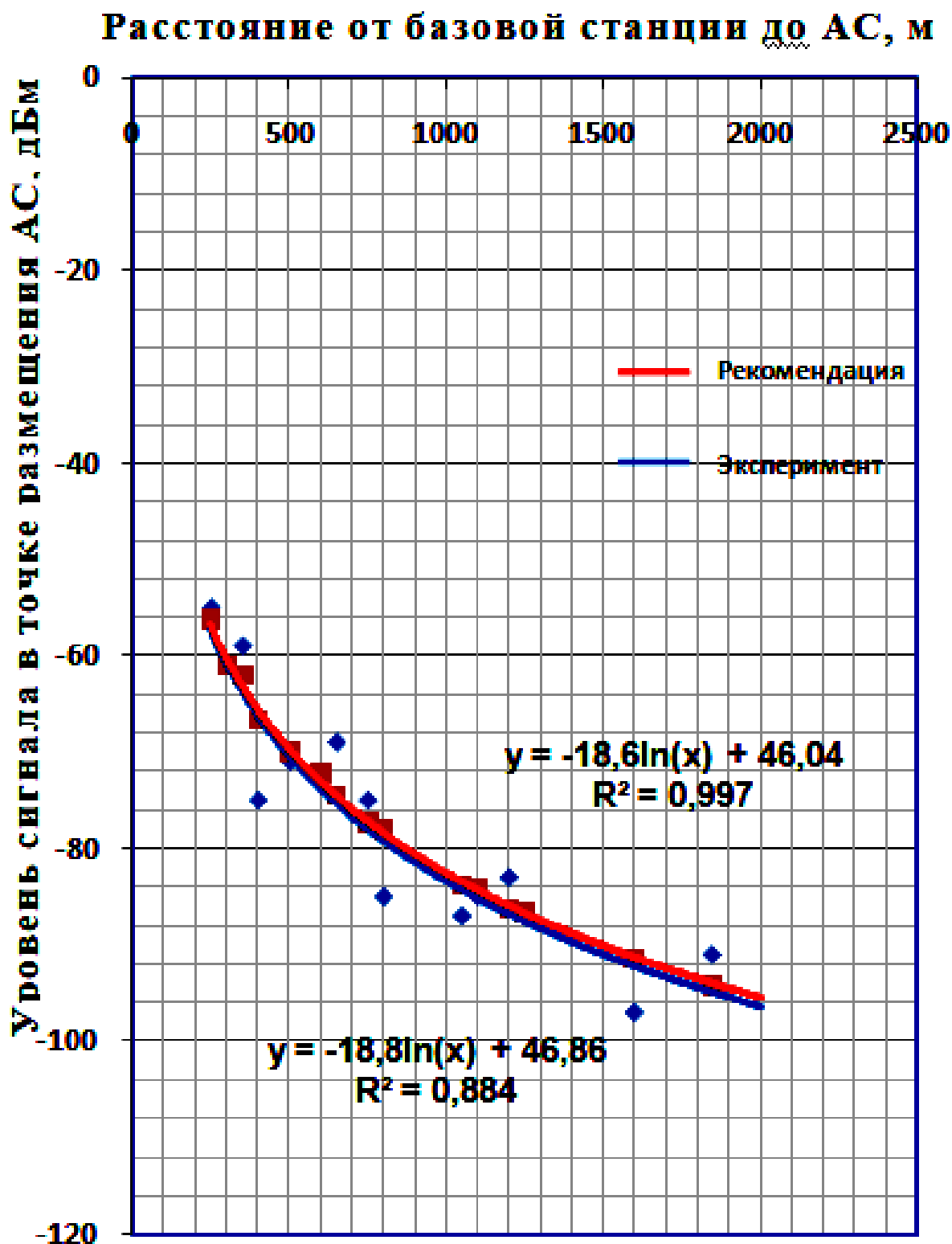


Рисунок 2.6 – Зависимости мощности на входе АС от расстояния между АС и БС для известных статистических моделей и экспериментальной

Выводы по второму разделу

Во втором разделе произведен выбор местности для проведения экспериментальных исследований – микрорайон «Левобережный» города Днепр - Украина, измерены мощности сигналов в точках приема с помощью смартфона Moto G4 с приложением Network Signal Info, на основании результатов экспериментов получено математическое выражение зависимости мощности сигнала в АС от расстояния между АС и БС, посредством сопоставления значений параметров распространения для статистических моделей Хата и Ксиа-Бертони с экспериментальными предложено уточненное математическое выражение для определения мощности в точке приема радиосигнала в условиях города.

РАЗДЕЛ 3

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Данный раздел посвящен определению затрат на проведение исследований по определению параметров моделей распространения радиоволн в условиях городской застройки.

Для определения экономического эффекта необходимо:

- рассчитать стоимость средств и программного обеспечения, с помощью которого производилось измерение уровней мощности сигнала в точках приема при городской застройке;
- выполнить сравнение расходов на применение суствующих средств и ПО с предложенным в данной работе.

3.1 Расчет капитальных затрат на проведение экспериментальных исследований.

При анализе качества сотовой связи исследования проводятся с помощью мобильных станции радиоконтроля, в частности, мобильной станции радиоконтроля сетей сотовой связи РМ1300-Р3/5А (Приложение В). Эта аппаратура расположена в передвижной лаборатории. Для получения необходимых данных о параметрах распространения радиоволн такую станцию необходимо арендовать на время, равное $t = 12$ часов. Стоимость 1 часа исследования составляет - $\text{Ц} = 1640$ грн.

Таким образом, полная стоимость исследований $P_{\text{в}}$ рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{в}} = t \times \text{Ц} = 12 \times 1640 = 19680 \text{ грн.} \quad (3.1)$$

При исследовании, выполненном в дипломной работе, потребовались следующие средства аппаратного и программного обеспечения:

- смартфон модели Moto G4;

- ПК (ноутбук) со следующими характеристиками:

Ноутбук конфигурации: процессор Celeron с тактовой частотой 2.0 ГГц, 4000 Мб оперативной памяти, HDD 500 Гб. Срок эксплуатации ноутбука и ПО составляет - 4 года.

Рассчитаем затраты на приобретение нового оборудования (смартфон Moto G4), его доставку и настройку по формуле:

$$O_{\text{б}} = \sum_{i=1}^n C_i \times N_i \times K_i = 4949 \times 1 \times 1,1 = 5444 \text{ грн} \quad (3.2)$$

где: Ц - цена приобретения нового оборудования данного типа, (грн.)

N - количество однотипного вида оборудования, (шт.);

K - коэффициент, учитываю доставку, наладку оборудования -

$$K = 1.1 \dots 1.4$$

Таблица 3.1 - Стоимость оборудования

Наименование аппаратных средств	Стоимость аппаратных средств грн.
Смартфон Samsung Galaxy Gio	5444,0
Персональный компьютер (аренда на 12 часов)	480,0
Суммарная стоимость	5924,0

Благодаря кумулятивному методу амортизации рассчитаем норму амортизации (НА) и амортизационные отчисления (АО) для аппаратных средств по формулам (3.3) и (3.4):

$$NA = \frac{2}{T} \times 100\% = \frac{2}{4} \times 100\% = 50\% \quad , \quad (3.3)$$

$$AO = \Phi n \times NA = 5924 \times 0,5 = 2962 \text{ грн.} \quad , \quad (3.4)$$

где: T – срок эксплуатации ЭВМ и программного обеспечения (ПО);

$\Phi_{п}$ - начальная стоимость.

Результаты расчета амортизации аппаратных средств представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Расчет амортизации аппаратных средств

Наименование	Стоимость, грн.	Амортизация	
		На %	грн.
Суммарная стоимость аппаратных средств	5924,0	50	2962,0

Программное обеспечение: Network Signal Info для Android, Microsoft Office (Microsoft Office включает в себе Microsoft Office Word, Microsoft Office Excel, Microsoft Power Point).

Приобретение лицензии для использования Network Signal Info не требуется – установка бесплатная. Программа используется только на операционной системе Android.

Стоимость приобретения лицензии для использования Microsoft Office Home and Student: 876,0 грн.

Благодаря кумулятивному методу рассчитываем норму амортизации (НА) и амортизационные отчисления (АО) для ПО по формулам (3.6) и (3.7):

$$НА = \frac{2}{T} \times 100\% = \frac{2}{4} \times 100\% = 50\% \quad . \quad . \quad (3.5)$$

$$АВ = \Phi_{п} * НА = 876 \times 0,5 = 438,0 \text{ грн.} \quad . \quad (3.6)$$

Заработная плата разработчика Z_0 рассчитываем по формуле:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \times t = \frac{6500}{21} * 3 = 928,5 \text{ грн.} \quad , \quad (3.7)$$

где М месячный должностной оклад конкретного разработчика 6500 грн.;

T_p – число рабочих дней в месяце (21 дней);

t – число дней работы разработчика (3 дня).

Дополнительная заработная плата разработчика Z_d рассчитывается как 10% от основной заработной платы по формуле (3.8):

$$Z_d = Z_o * 10\% = 928,5 * 0,10 = 92,85 \text{ грн.} \quad . \quad (3.8)$$

Результаты общих расходов представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.4 – Общие затраты

Показатель	Сумма, грн.
Затраты на приобретение нового оборудования	5924,0
Амортизация аппаратных средств	2962,0
Затраты на программное обеспечение	876,0
Амортизация на программное обеспечение	438,0
Основная заработная плата разработчика	928,5
Дополнительная заработная плата	92,85
Вместе	11221,35

Сопоставление затрат на выполнение исследований по обоим вариантам представлено в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Сопоставление затрат на выполнение исследований по вариантам

Экспериментальные методы	Затраты, грн
Существующий метод с использованием мобильной станции РМ1300-Р3/5А	19680,0
Предложенный метод с использованием мобильного телефона Moto G4	11221,35
Разница между существующим и предложенным методом	8458,65

Выводы

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 расходов на исследования и установлено, что затраты на проведение исследований по предложенному варианту составляют 11221,35 грн., а экономия по сравнению с аналогом составляет 8458,65 грн.

ВЫВОДЫ

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

Для достижения цели магистерской работы поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать известные статистические модели распространения радиоволн в городских условиях.
2. Выбрать микрорайон города, соответствующий условиям применения моделей распространения.
3. Выбрать технические средства и программное обеспечение для измерений уровня сигнала на местности и определения положения БС и АС.
4. Провести необходимое число измерений для конкретных условий применения моделей.
5. Выполнить обработку результатов измерений.
6. Проанализировать полученные результаты и определить значения экспериментальных параметров.
7. Сравнить параметры, полученные на основе исследований с параметрами выбранных статистических моделей распространения и установить причины расхождений.
8. Предложить рекомендации по уточнению параметров модели для расчета уровня мощности в точке приема.

Во втором разделе произведен выбор местности для проведения экспериментальных исследований – микрорайон «Левобережный» города

Днепр - Украина, измерены мощности сигналов в точках приема с помощью смартфона Moto G4 с приложением Network Signal Info, на основании результатов экспериментов получено математическое выражение зависимости мощности сигнала в АС от расстояния между АС и БС, посредством сопоставления значений параметров распространения для статистических моделей Хата и Ксиа-Бертони с экспериментальными предложено уточненное математическое выражение для определения мощности в точке приема радиосигнала в условиях города.

В экономическом разделе рассчитаны капитальные затраты на приобретение оборудования, которое необходимо для проведения экспериментальных исследований, заработную плату разработчика, на основе чего выполнено сравнение с аналогом расходов на исследования и установлено, что затраты на проведение исследований по предложенному варианту составляют 11221,35 грн., а экономия по сравнению с применением специальных средств радиоконтроля составляет 8458,65 грн.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

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. РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.1411-3 Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования наружных систем ближней радиосвязи и локальных радиосетей в диапазоне частот от 300 МГц до 100 ГГц (Вопрос МСЭ -R 211/3) (1999-2001-2003-2005).
3. Гавриленко В.Г., Яшнов В.А. Распространение радиоволн в современных системах мобильной связи. Нижний Новгород 2003, 148 с.
4. Медведев П. А. Анализа особенностей распространения радиоволн в минисотовых сетях ФГОУВПО «Российский государственный университет туризма и сервиса», г. Москва - Научная электронная библиотека «КиберЛенинка».
5. Михайлова, А.Ю., Борисов А.П. Исследование распространения дециметровых волн в зонах со сложным рельефом на основе статических моделей. Ползуновский альманах No1, Г. Барнаул.
6. Распространение радиоволн в мобильной связи : учебное пособие / С.Н. Шабунин, Л.Л. Лесная. Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2009. 103 с.
7. Колодезная Г.В. Основы теории связи с подвижными объектами. Методическое пособие по курсовому проектированию. Хабаровск, Издательство. ДВГУПС, 2012, 26 с.
8. Утц В. А. Исследование потерь при распространении радиосигнала сотовой связи на основе статистических моделей. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. 2011. Вып. 5. С.44-49.
9. Модели распространения радиоволн
<http://www.techstages.ru/setons-616-1.html>
10. Приложение для смартфона - Cell Track
http://belnetmon.bn.by/ru/symbian_ct.html

11. Приложение для смартфона - Open Signal Maps

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.staircase3.opensignal&hl=ru>

12. Приложение для смартфона - Network Signal Info -

<https://trashbox.ru/link/network-signal-info-android>

13. Мобильная станция радиоконтроля VHF-UHF диапазона частот

"БАРВИНОК-М" - <https://www.slideshare.net/NTCRTS/253000>

14. Мобильная станция радиоконтроля сетей сотовой связи РМ1300-Р3/5А

http://radiosoft.net.ua/production_6.html

15. Мобильная многофункциональная станция радиоконтроля

РМ1300-2Р3F- http://radiosoft.net.ua/production_5.html

16. Методичні рекомендації до підготовки та захисту дипломної роботи

(проекту) для студентів галузі знань 1701 «Інформаційна безпека» та

спеціальності 125 «Кібербезпека» / Т.В. Бабенко, М.В. Корнєєв, О.В.

Кручинін, Д.С. Тимофєєв ; Нац. гірн. ун-т. – Д. : НГУ, 2016. – 44 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Перечень материалов магистерской работы на оптическом диске

1. Титульный лист пояснительной записки
2. Задание на выполнение работы магистра
3. Реферат
4. Список условных сокращений
5. Содержание
6. Введение
7. РАЗДЕЛ 1. Состояние вопроса. Постановка задачи
8. РАЗДЕЛ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛЕЙ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН
9. РАЗДЕЛ 3. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ
10. Выводы
11. ПРИЛОЖЕНИЯ.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R P.1411-3

Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования наружных систем ближней радиосвязи и локальных радиосетей в диапазоне частот от 300 МГц до 100 ГГц

(Вопрос МСЭ-R 211/3)

(1999-2001-2003-2005)

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

принимая во внимание,

- а) что разрабатывается большое количество новых приложений подвижной и персональной ближней связи (с рабочим диапазоном до 1 км);
- б) высокий спрос на локальные радиосети (RLAN) и системы беспроводного абонентского доступа;
- с) что системы ближней связи, использующие очень низкую мощность, имеют много преимуществ при предоставлении услуг в среде подвижной связи и беспроводного абонентского доступа;
- д) что знание характеристик распространения радиоволн и помех, возникающих при работе нескольких пользователей в одной зоне, является критически важным для эффективного проектирования систем;
- е) наличие потребности как в общих (то есть независимых от местоположения) моделях и рекомендациях для первоначального планирования систем и оценки помех, так и в детерминистических (то есть зависящих от местоположения) моделях для некоторых детальных оценок,

отмечая,

а) что в Рекомендации МСЭ-R P.1238 содержится руководство по распространению радиоволн в диапазоне частот от 900 МГц до 100 ГГц внутри зданий и что ее следует использовать для тех ситуаций, в которых требуется учитывать условия внутри и вне зданий;

б) что в Рекомендации МСЭ-R P.1546 содержится руководство по распространению радиоволн для систем, работающих на расстоянии 1 км и более в диапазоне частот от 30 МГц до 3 ГГц,

рекомендует

1 принять информацию и методы, приведенные в Приложении 1, для оценки характеристик распространения наружных систем ближней радиосвязи в диапазоне частот от 300 МГц до 100 ГГц, где они применимы.

2 Физические рабочие среды и определение типов сот

Описываемые в настоящей Рекомендации среды классифицируются только с точки зрения распространения радиоволн. Среда, то есть конструкция и высота зданий, использование подвижных терминалов (для пешеходов/автомобильных) и положение антенн, оказывает влияние на распространение радиоволн. Выделяют четыре различные среды, которые считаются наиболее типичными. Например, не рассматриваются холмистые районы, поскольку они менее типичны в крупных городах. Этих четыре среды перечислены в таблице 1. Признавая широкое разнообразие сред внутри каждого класса, не ставится целью смоделировать все возможные случаи; предполагается дать только модели распространения, характерные для наиболее часто встречающихся сред.

ТАБЛИЦА 1

Физические рабочие среды – ухудшение распространения радиоволн

Среда	Описание и рассматриваемые ухудшения распространения радиоволн
Городская зона многоэтажной застройки	<ul style="list-style-type: none"> – Городской каньон, характеризующийся улицами, вдоль которых стоят высокие многоэтажные здания – Большая высота зданий делает маловероятными существенные вклады от распространения волн над крышами – Ряды высоких зданий обеспечивают возможность больших задержек на трассе – Большое число движущихся транспортных средств в такой зоне играет роль отражателей, которые вносят доплеровский сдвиг в отраженные волны
Городская/пригородная малоэтажной застройки	<ul style="list-style-type: none"> – Типичны широкие улицы – Высота зданий в целом меньше трех этажей, что обуславливает вероятность дифракции над крышами – Иногда возможны отражение и затенение, вызываемые движущимся транспортом – Основными эффектами являются длительные задержки и малые доплеровские сдвиги
Жилая зона	<ul style="list-style-type: none"> – Одноэтажные и двухэтажные жилые дома – Дороги обычно двухрядные с припаркованными по обочинам автомобилями – Возможна густая или редкая листва – Движение автотранспорта обычно неинтенсивное
Сельская зона	<ul style="list-style-type: none"> – Небольшие здания, окруженные большими садами – Влияние высоты рельефа местности (топография) – Возможна густая или редкая листва – Движение автотранспорта иногда интенсивное

Для каждой из четырех различных сред в отношении подвижных терминалов рассматриваются два возможных сценария. Поэтому их пользователи подразделяются на пользователей-пешеходов и пользователей, едущих в автомобилях. Для этих двух приложений различается скорость перемещения подвижных терминалов, что приводит к весьма различным доплеровским сдвигам.

3 Классы трасс

3.1 Определение ситуаций распространения радиоволн

На рисунке 1 показаны четыре варианта геометрии базовой станции (BS) и подвижной станции (MS).

Базовая станция BS1 установлена выше уровня крыш. Соответствующая сота представляет собой малую макросоту. Распространение радиоволн от этой базовой станции происходит главным образом поверх крыш.

Базовая станция BS2 установлена ниже уровня крыш; она определяет микросотовую или пикосотовую среду. В сотах этого типа радиоволны распространяются главным образом по уличным каньонам. Для линий связи между подвижными терминалами можно предположить, что оба конца линии находятся ниже уровня крыш, и можно использовать модели, относящиеся к BS2.

РИСУНОК 1

Типичная ситуация распространения в городских зонах

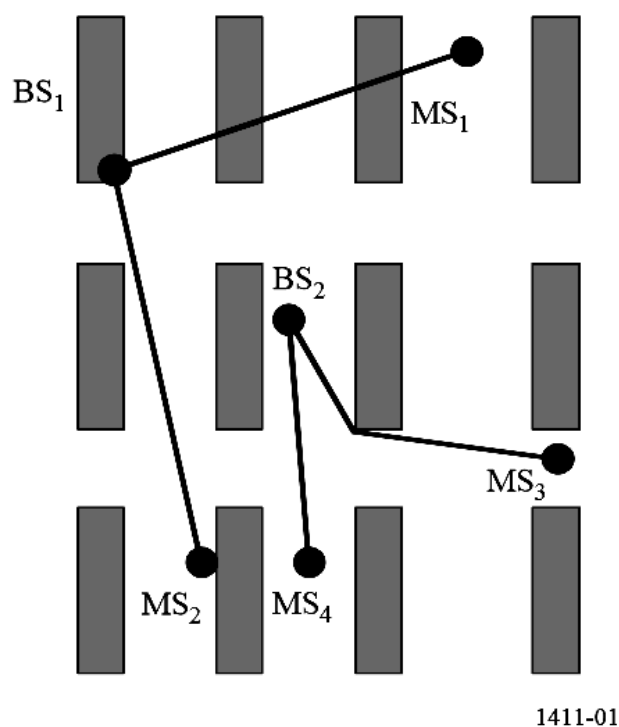


Рисунок ПБ.1 - Варианты геометрии базовой станции (BS) и подвижной станции (MS).

3.1.2 Распространение радиоволн по уличным каньонам, NLoS

На рисунке П.2 показана ситуация для типичного случая микросотовой NLoS (линия BS2–MS3 на рисунке П.1). Ниже этот случай называется NLoS2.

РИСУНОК 3
Определение параметров для случая NLoS2

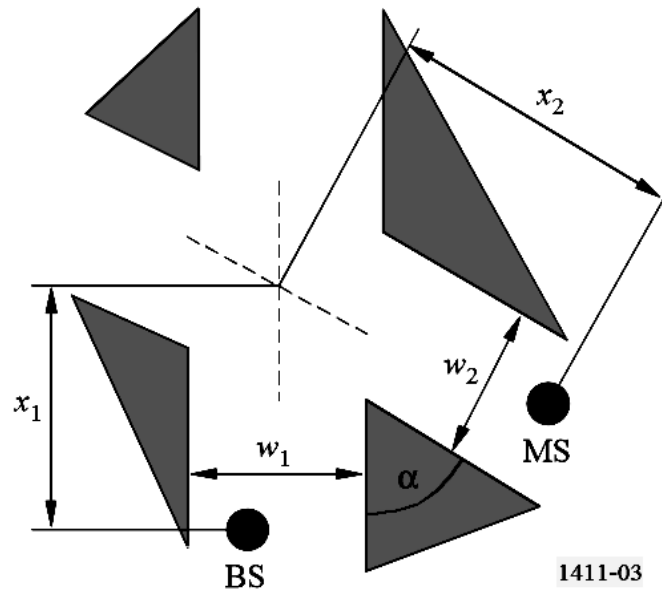


Рисунок ПБ.2 - Распространение радиоволн по уличным каньонам

Соответствующие параметры для этой ситуации:

w_1 : ширина улицы в точке расположения BS (м);

w_2 : ширина улицы в точке расположения MS (м);

x_1 : расстояние от BS до перекрестка (м);

x_2 : расстояние от MS до перекрестка (м);

α : угол перекрестка (рад).

NLoS2 – это преобладающий тип трассы в городских зонах многоэтажной застройки для всех типов сот и часто встречается в микросотах и пикосотах в городских зонах малоэтажной застройки.

Определение всех параметров для случая NLoS2 требует двумерного анализа зоны вокруг подвижного терминала.

4 Модели потерь на трассе

Для зависящих от местоположения расчетов в городских зонах можно использовать данные различных типов. Самая точная информация может быть получена из данных с высоким разрешением, которые включают:

- информацию о конструкции зданий;
- информацию об относительной и абсолютной высоте зданий;
- информацию о растительности.

Данные могут быть как в растровом, так и в векторном формате. Точность местоположения для векторных данных должна быть порядка 1–2 м. Рекомендованная разрешающая способность растровых данных составляет 1–10 м. Точность высоты для обоих форматов данных должна быть порядка 1–2 м. Если недоступны данные с высоким разрешением, то рекомендуется использовать данные с низким разрешением (разрешение 50 м), предназначенные для описания использования земли.

В зависимости от определения классов использования земли (городская зона плотной застройки, городская, пригородная и т. д.) могут быть присвоены параметры, требуемые для этих классов использования земли. Эти данные могут использоваться вместе с векторной информацией об улицах для получения углов ориентации улиц.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Типы мобильных станций радиоконтроля и их основные характеристики

1. Мобильная станция радиоконтроля VHF-UHF диапазона частот "БАРВИНОК-М"

<https://www.slideshare.net/NTCRTS/253000>

Общее представление

Мобильная станция радиоконтроля «Барвинок-М» предназначена для обнаружения и пеленгования сигналов источников радиоизлучений в диапазоне частот 25 – 3000 МГц.

Станция «Барвинок-М» обеспечивает сканирование заданного диапазона частот VHF-UHF, пространственный поиск и локализацию местоположения источника радиоизлучения (ИРИ) по поверхностной радиоволне вертикальной поляризации.

Аппаратура станции «Барвинок-М» устанавливается на автомобиле Заказчика (микроавтобус), в салоне которого размещается высокоскоростной панорамный обнаружитель-пеленгатор VHF-UHF диапазона частот, автоматизированное рабочее место оператора, оснащенное индустриальным компьютером, радиоприемником слежения, аппаратурой цифровой регистрации и классификации.

Для обслуживания станции «Барвинок-М» требуется один оператор. Программное обеспечение станции «Барвинок-М» разработано с использованием современных компьютерных технологий и функционирует под управлением операционной системы Windows-7.

Обнаружитель-пеленгатор станции «Барвинок-М» относится к классу систем с пространственной обработкой сигнала, и обеспечивает обнаружение сигнала по его пространственным признакам совместно с оценкой направления на источник радиоизлучения, используя векторно-корреляционный метод расчета пеленга.

Приемная система VHF-UHF диапазона базируется на многоканальном приемнике с 2-х кратным преобразованием частоты. Диапазон частот 1-3 ГГц преобразуется в диапазон частот 300-800 МГц с помощью СВЧ-конвертера .

Разрядность аналого-цифрового преобразователя в трактах приемной системы обнаружителя-пеленгатора составляет 16 bit

VHF-UHF аппаратура наблюдения и регистрации сигнала:·

Количество приемных каналов: 1 канал наблюдения-регистрации·

Диапазон рабочих частот 25-3000 МГц·

Чувствительность(SNR =10 дБ, BW=12 кГц) 0,7 - 1 мкВ·

Динамический диапазон по интермодуляции 3-го порядка:> 80 дБ·

Динамический диапазон уровней принимаемых сигналов > 120 дБ·

Автоматическая настройка частоты по командам обнаружителя имеется (режим«Автозапорос»)·

Время перестройки синтезатора частоты приемника 1 мс·

Шаг перестройки по частоте 10 Гц·

Полоса частотного анализа и цифровой регистрации 2,5 кГц- 3 МГц·

Время регистрации сигнала (устанавливается автоматически в зависимости от полосы частот сигнала и очереди заявок обнаружителя) 10...100 сек·

Суммарная длительность непрерывной записи на HDD сигнала с полосой частот 300 кГц 4 ч

Основные режимы индикации

1.Индикация панорамы загрузки контролируемого диапазона частот в координатах:«азимут-частота» (в полярных или прямоугольных координатах), «амплитуда-частота»,

2.Индикация формы спектра и автокорреляционной функции анализируемого сигнала,

3.Цифровая индикация очереди заявок и параметров обнаруженных ИРИ и радиосетей,

4. Отображение результатов автоматической классификации сигналов и результатов измерения их параметров,

5. Отображение карты контролируемого района с координатами обнаруженных ИРИ и азимутальными “засечками” станций пеленгаторной сети.

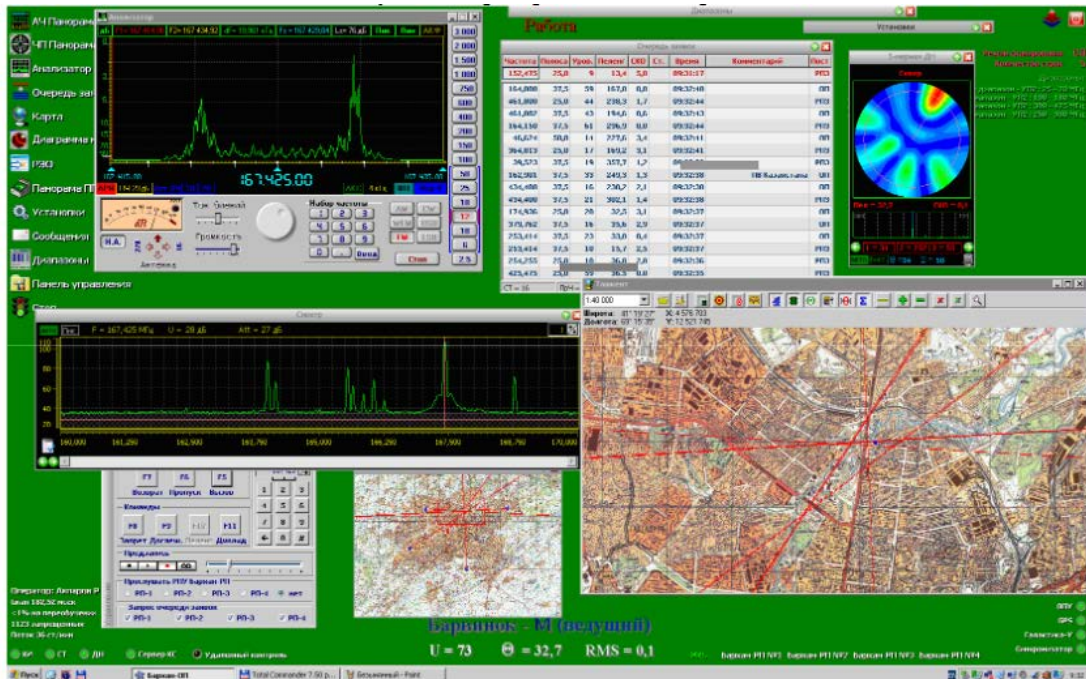


Рисунок ПВ.1 - Рабочий стол пульта оператора мобильной станции «Барвинок-М»

2. Мобильная станция радиоконтроля сетей сотовой связи PM1300-P3/5A

http://radiosoft.net.ua/production_6.html

Ведущий украинский производитель оборудования радиочастотного контроля - ООО "РАДИОСОФТ" предлагает ряд мобильных и стационарных программно-аппаратных средств, предназначенных для комплексного решения следующих задач:

- обнаружение радиоизлучений в заданной полосе частот;
- пеленгование источников радиоизлучений и отображение пеленгов на электронной карте местности;
- определение местоположения источников радиоизлучений на местности в условиях городской застройки;

- измерение параметров обнаруженных радиоизлучений (частота, ширина полосы частот, уровень сигнала, напряженность поля, девиация частоты, коэффициент амплитудной модуляции);
- ведение учетной базы данных и баз радиообстановки;
- выявление незаконно действующих радиоэлектронных средств (РЭС) и определение их местоположения;
- территориальное и объектовое планирование электромагнитной совместимости РЭС, расчет и снятие зон покрытия радиопередающих средств, расчет зон доступности средств радиоконтроля.

Аппаратная часть стационарных и мобильных станций радиоконтроля базируется на применении современной процессорной техники в сочетании с цифровой обработкой сигналов в масштабе времени близком к реальному.

ВОЗМОЖНОСТИ:

- обнаружение радиоизлучений и идентификация базовых станций стандартов E-GSM, R-GSM, GSM-900, DCS 1800, WCDMA, CDMA 800, CDMA 450, LTE в автоматическом режиме;
- обнаружение и измерение параметров радиоизлучений (частота, ширина полосы частот, уровень) в автоматическом режиме;
- передача в центральную базу данных информации:
 - маршрут движения транспортного средства;
 - степень загрузки диапазонов частот;
 - спектры радиоизлучений;
 - результаты измерения параметров радиоизлучений.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

- диапазон частот обнаружения и измерения параметров радиоизлучений, МГц20–3000
- погрешность собственного местоположения, м, не более100;
- чувствительность со входа РПУ, мкВ..... 0,6-1,0;
- напряжение питания, В.....11,5-15,1;
- потребляемая мощность, Вт.....90;

Перечень определяемых параметров БС:

- Код страны – MCC
- Код региона – LAC
- Код оператора – MNC
- Код БС и номер сектора – CID
- Номер частотного канала
- Уровень сигнала
- Tracking Area Code – TAC
- Pseudo-random Noise – PN
- Primary Scrambling Code - PSC
- Наличие метрологического сертификата.

ХАРАКТЕРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАНЦИИ:

- полностью автоматизированный режим работы – без участия оператора.
- возможность эксплуатации на неспециализированных автотранспортных средствах транспортного отдела (рейсовые автобусы, автомобили общего применения).
- два варианта поставки: на базе блока КССС-11 или на базе ультра компактного сканера TSME фирмы R&S.
- работа по трафиковым каналам БС GSM

3. Мобильная многофункциональная станция радиоконтроля

PM1300-2P3F

http://radiosoft.net.ua/production_5.html

ВОЗМОЖНОСТИ:

- радиочастотный мониторинг базовых станций сотовой связи стандартов GSM, DCS, CDMA, UMTS;
- обнаружение радиоизлучений и пеленгование их источников в движении и на стоянке (корреляционно-фазовый метод).
- местоопределение стационарных источников радиоизлучений (ИРИ).

- отображение на электронной карте:
 - маршрута движения,
 - данных расчета координат источников радиоизлучений;
 - измерение параметров радиоизлучений;
- отображение спектров радиоизлучений.
- ведение архивов данных обнаружения, технического анализа, пеленгования и координат.
- составления отчетной документации с поддержкой стандартных текстовых редакторов.
- определение загрузки диапазонов.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

- диапазон частот обнаружения и измерения параметров радиоизлучений, МГц..... 20-3000;
- метод пеленгования корреляционно-фазовый;
- погрешность пеленгования RMS, град... ..3;
- погрешность измерения частоты на частоте 3000 МГц, Гц60;
- чувствительность .со входа РПУ, мкВ..... 0,6-1,0;
- напряжение питания, В11,5-15,1;
- потребляемая мощность, Вт110;
- масса (кроме АФС), кг50;

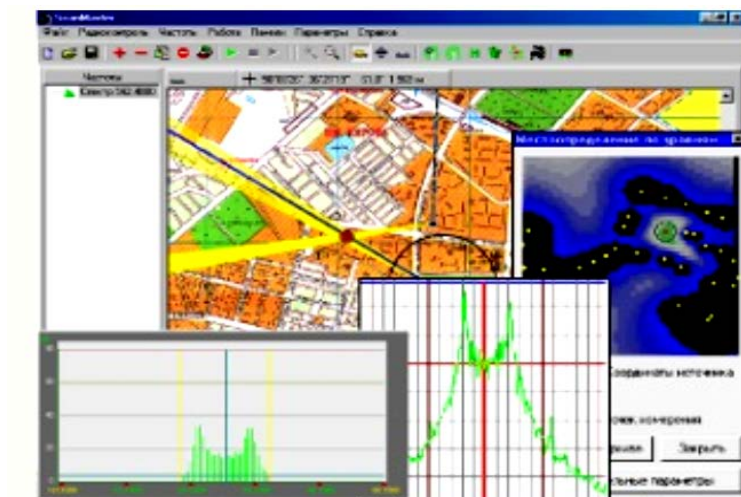


Рисунок ПВ.2 - Рабочий стол пульта оператора станции РМ1300-2Р3Ф

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Отзывы руководителей разделов

ОТЗЫВ

на дипломную работу магистра

студентки группы 172М-16-1 Кионга Гауденсии Шарлоты Нханги

на тему:

«Визначення параметрів моделей розповсюдження радіосигналу в мережі мобільного зв'язку GSM»

**Руководитель дипломной работы магистра,
к.т.н., доцент**

(підпис)

Галушко О.М.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Отзыв руководителя дипломной работы магистра

Отзывы руководителей разделов

Д.1 Отзыв руководителя экономического раздела

Керівник розділу, к.е.н., доц.. _____

(підпис)

Романюк Н.Н

(прізвище, ініціали)