# ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

# Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)

На правах рукописи

### Попов Иван Леонидович

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ МЯГКОЙ ЭСТАФЕТНОЙ ПЕРЕДАЧИ В СТАНДАРТЕ СОТОВОЙ СВЯЗИ ТЕХНОЛОГИИ МДКР

05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: д.т.н., профессор Горелов Георгий Владимирович

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ
1. СИСТЕМЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ. ЭСТАФЕТНАЯ ПЕРЕДАЧА В УСЛОВИЯХ
МНОГОЛУЧЕВОСТИ
1.1.Стандарты сотовой связи
1.2. Основные процедуры эстафетной передачи в системах сотовой связи
1.3. Эстафетная передача в условиях влияния многолучевого распространения . 15
1.4. Методы имитации функционирования систем сотовой связи в условиях
влияния многолучевого распространения
2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФИЗИЧЕСКОГО ИМИТАТОРА
РАДИОКАНАЛА ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ 2,4 ГГц С НИЧТОЖНЫМИ ШУМАМИ
МНОГОЛУЧЕВОСТИ17
2.1. Постановка задачи
2.2. Влияние многолучевости на параметры радиоканала, определяющие
дальность радиосвязи в диапазоне 2,4 ГГц
2.3. Критерии качества пакетной передачи с использованием радиоканала
диапазона 2,4 ГГц
2.4. Схема экспериментального определения энергетических характеристик
физического имитатора радиоканала диапазона 2,4 ГГц, с ничтожными шумами
многолучевости
2.5. Приемопередающее оборудование в составе ФИРК
2.6. Результаты экспериментального определения энергетических характеристик
ФИРК
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ФИРК ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ
РАДИОКАНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ
3.1. Постановка задачи
3.2. Градуировка ФИРК в области определения ДДРУ
3.3. Использование ФИРК на практике для анализа реальных радиоканалов с
существенным влиянием многолучевости

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ЗОНЫ МЯГКОЙ ЭСТАФЕТНОЙ ПЕРЕДАЧИ В	
СТАНДАРТЕ СОТОВОЙ СВЯЗИ ТЕХНОЛОГИИ МДКР4	.9
4.1. Постановка задачи	.9
4.2. Показатели работы, используемые при определении границ зоны эстафетной передачи	
4.3. Определение размера зоны хэндовера с использованием ФИРК и значений	
отношения сигнал/шум и коэффициента нелинейных искажений на выходе приемника MC	60
	Ü
4.4. Определение размера зоны хэндовера с использованием ФИРК и значения разборчивости на выходе приемника мобильной станции	2
5. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФИРК, С РЕЗУЛЬТАТАМИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИММИТИРУЕМОГО	
РЕАЛЬНОГО РАДИОКАНАЛА	9
5.1.Постановка задачи5	
5.2.Сравнение результатов, полученных при использовании ФИРК, с	
техническими требованиями по дальности к приемопередающим устройствам	
реального радиоканала5	9
5.3.Сравнение результатов, полученных при использовании ФИРК, с	
техническими характеристиками сети сотовой связи стандарта 3G города Москва	a
6	2
5.4.Сравнение результатов определения ДДРУ для реального радиоканала и для	
ФИРК в сети связи двух компьютеров при радиоинтерфейсе Radio Ethernet 802.11g диапазона 2,4 ГГц	i3
5.5.Сравнение результатов определения ДДРУ для ФИРК и для реального	
радиоканала из работы [2]6	4
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ7	0
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ7	3
ПРИЛОЖЕНИЕ 8	37

#### ВВЕДЕНИЕ

# Актуальность темы:

Для организации сетей подвижной связи используются сети сотовой связи, во многих из которых применяют технологии мобильной связи третьего поколения 3G (third generation), при пакетной передаче данных со скоростью до 3,6 Мбит/с в диапазоне 2,4 ГГц.

Используются 5 стандартов 3G семейства IMT-2000 (UMTS/WCDMA, CDMA2000/IMT-MC, TD-CDMA/TD-SCDMA, DECT и UWC-136). Наиболее распространены два: UMTS (илиW-CDMA) и CDMA2000 (IMT-MC), основанные на технологии многостанционного доступа с кодовым разделением каналов – CDMA (Code Division Multiple Access).

Одним из основных преимуществ CDMA, по сравнению с технологией второго поколения — многостанционным доступом с временным разделением каналов — TDMA (Time Division Multiple Access), является реализация иного принципа эстафетной передачи базовыми станциями мобильной станции — «мягкого хендовера» («make-before-break»), обеспечивающего меньшую вероятность обрыва связи в процессе эстафетной передачи.

При CDMA в пределах зоны, в которой существует проблема эстафетной передачи (будем называть ее «зоной эстафетной передачи») мобильная станция (МС) непрерывно получает сигналы от базовых станций (БС) на одной несущей и моменты начала и окончания эстафетной передачи определяются (в отличии от «жесткой» процедуры при TDMA) без задержек в передаче и обрывов соединения.

Для определения размера зоны эстафетной передачи необходима зависимость качества пакетной передачи в диапазоне 2,4 ГГц от расстояния между МС и БС (дальности действия радиоканальных устройств ДДРУ).

У операторов сотовой связи имеется достаточно широкий набор программных средств для имитации прохождения сигналов по трассам в различных условиях, которые позволяют, с одной стороны достаточно точно, а с

другой, относительно быстро рассчитывать затухания на трассах с учётом существующей застройки и растительности.

При этом результаты исследований характеризуют большое среднеквадратическое отклонение оценок при одном и том же значении ДДРУ( порядка 4-5 дБ).

Главным отличием исследований данной диссертационной работы является нивелирование в лабораторных условиях влияния многолучевости с использованием предложенного физического имитатора радиоканала (ФИРК) и входящей в его состав имитационной физической моделью радиолинии с ничтожными шумами многолучевости (ИФМР).

С учетом изложенного выше можно сформулировать основные положения, определяющие актуальность темы диссертационной работы:

- решение задач эстафетной передачи в сотовой связи поколения 3G;
- решение задач, связанных с наибольшей уязвимостью процедуры эстафетной передачи в условиях многолучевости распространения;
- использование предложенного физического имитатора радиоканала в качестве инструмента для решения этих задач.

### Цели и задачи работы:

Цель работы состоит в определении размера зоны эстафетной передачи при сотовой связи технологии МДКР.

Для достижения цели необходимо решить задачи:

- анализ систем сотовой связи и реализуемых в них процедур эстафетной передачи (хэндовера);
- разработка физического имитатора радиоканала (ФИРК) с входящей в его состав имитационной физической моделью радиолинии с ничтожными шумами многолучевости (ИФМР);
- формирование в лабораторных условиях при измерениях с помощью ФИРК базы данных для имитации разных аспектов функционирования реального радиоканала;
- Определение с помощью ФИРК дальности действия радиоканальных устройств (ДДРУ) и градуировка ФИРК в области определения ДДРУ как в

условиях свободного пространства, так и в условиях существенного влиянии многолучевости;

- определение размера зоны хэндовера с использованием ФИРК и значений ОСШ, КНИ и разборчивости на выходе приемника мобильной станции;
- сравнение результатов, полученных при использовании ФИРК, с результатами функционирования имитируемого реального радиоканала.

#### Исходная основа диссертации:

В основе диссертации лежат:

- фундаментальные работы Н. Винера, В.А. Котельникова, К. Шеннона и др.
- теоретические и прикладные исследования Ю.В. Ваванова, К.Ю. Ваванова, М.Д. Венедиктова, А.М. Вериго, А.П. Галкина, В.И. Зыкова, О.Н.Ромашковой, А.Г. Самойлова, С.А. Самойлова, Б.В.Сычева и др.

**Объект исследования** — система сотовой связи технологии многостанционного доступа с кодовым разделением.

**Предмет исследования** – физический имитатор радиоканала диапазона частот 2,4 ГГц.

#### Научная новизна:

- 1. Впервые разработан физический имитатор радиоканала с ничтожными шумами многолучевости, предоставляющий широкий набор новых функции для имитации реального радиоканала, как в условиях свободного пространства, так и в условиях существенного влиянии многолучевости;
- 2. Произведена градуировка ФИРК в области определения ДДРУ и впервые с помощью ФИРК получены значения ДДРУ, предназначенные для прогнозирования и расчета характеристик реального радиоканала;
- 3. Впервые (с использованием ФИРК) при значениях ОСШ, КНИ и разборчивости на выходе приемника мобильной станции определен размер зоны эстафетной передачи в сети сотовой связи диапазона 2,4 ГГц.

# Практическая и теоретическая значимость:

1. Разработанный физический имитатор радиоканала (ФИРК) с ничтожными шумами многолучевости, предоставляющий широкий набор новых функции для

имитации, дал реализованную в диссертации возможность получения практически важных результатов анализа реального радиоканала диапазона 2,4 ГГц, но его использование безусловно целесообразно и при решении практических задач исследований во всех диапазонах частот, где существенно проявляется многолучевое распространение;

- 2. Особый интерес для практики представляет градуировка ФИРК в области определения дальности действия радиоканальных устройств (ДДРУ) и ее результаты при прогнозировании ДДРУ для реального радиоканала;
- 3. Практический интерес представляет и определение размера зоны эстафетной передачи в сети сотовой связи диапазона 2,4 ГГц при значениях ОСШ, КНИ и разборчивости на выходе используемого в составе реального радиоканала приемника мобильной станции.

#### Методология и методы исследования:

В работе использованы методы математического анализа, теории вероятностей, современные методы измерения устройств телекоммуникаций.

# На защиту выносятся:

- концепция, структурная схема и физическая реализация (использованная при экспериментах) физического имитатора радиоканала (ФИРК) с ничтожными шумами многолучевости;
- результаты градуировки ФИРК в области определения дальности действия радиоканальных устройств (ДДРУ) и ее применение при прогнозировании ДДРУ для реального радиоканала;
- результаты определения размера зоны эстафетной передачи в сети сотовой связи диапазона 2,4 ГГц при значениях ОСШ, КНИ и разборчивости на выходе используемого в составе реального радиоканала приемника мобильной станции.

# Степень достоверности результатов проведенных исследований:

Достоверность результатов проведенных в диссертации исследований обусловлена корректным применением используемых математических методов, применением сертифицированного оборудования для экспериментальных исследований реальной радиолинии и предложенной ее имитационно-физической

модели, сравнением авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике.

**Апробация работы** выполнена на заседаниях кафедр радиотехники и электросвязи и автоматики телемеханки и связи на железнодорожнои транспорте МИИТа, а также - на конференциях:

«День радио», секция «Телекоммуникации на железнодорожном транспорте» (Санкт-Петербург) - 2015.

# Результаты работы внедрены и использованы.

Результаты работы внедрены НПО ООО «Аксион - РТИ» Радио, Телевидение, Информатика.

Результаты работы использованы:

- в госбюджетной НИР кафедры Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте (раздел «Исследование (на элементной базе МДКР) идеализированной радиолиния диапазона частот 2,4 ГГц») 2014-2015 г.;
- в учебном процессе Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ);
  - государственным институтом русского языка им. А.С. Пушкина.

# Публикации

Основные положения диссертации и результаты исследования опубликованы в восьми работах. Из них четыре работы из перечня, определенного ВАК.

# Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 107 наименований и приложения. Основная часть диссертации изложена на 90 страницах машинописного текста, содержит 20 рисунков, 19 таблиц.

# 1. СИСТЕМЫ СОТОВОЙ СВЯЗИ. ЭСТАФЕТНАЯ ПЕРЕДАЧА В УСЛОВИЯХ МНОГОЛУЧЕВОСТИ

# 1.1.Стандарты сотовой связи

Первые системы двусторонней радиотелефонной связи между подвижными объектами появились более 50 лет назад. Связь осуществлялась на фиксированных частотах, а передаваемые сигналы занимали в эфире широкую полосу частот. С развитием техники традиционной (конвенциональной) радиосвязи возникли проблемы, связанные с ограниченным частотным ресурсом (низкой спектральной эффективностью) таких систем [1;3-6].

Существенному увеличению спектральной эффективности способствовало создание систем сотовой связи (англ. cellular phone),основанных на разбиении обслуживаемой территории на небольшие зоны (соты, ячейки, англ. cell)), образующие сеть — совокупность приемопередатчиков базовых станций, связанных соединительными линиями с центром мобильной коммутации.

Наиболее часто конфигурация оты представляет собой шестиугольник, поскольку при использовании в ее центре антенны базовой станции с круговой диаграммой направленности обеспечивается равномерное радиопокрытие практически всех участков соты. [1;8].

Такой принцип организации позволяет увеличить число абонентов и повысить качество связи за счет повторного использования одних и тех же частот в различных сотах [9;10]. Сотовые системы называют системами с пространственно разнесенным повторным использованием частот.

Эволюция мобильных коммуникаций берёт свое начало во второй половине прошлого века. Все стандарты мобильной связи принято условно делить на поколения – 1G, 2G, 3G и 4G.

Применительно к сотовой связи:

1G – аналоговая связь;

2G – цифровая связь с коммутацией каналов;

3G – цифровая связь с коммутацией каналов и пакетной передачей [9-17].

Проблему с ограничением скорости передачи сигнала решили при помощи промежуточной версии между стандартами 2G и 3G, получившей название General Packet Radio Service (GPRS). Эта версия представляла более быстрый интернет и обеспечивала высокую скорость передачи данных, достигающая 114 кбит/с[11;17]. Стандарт GPRS был усовершенствован и преобразован в EDGE обеспечивающую скорость передачи данных до 474 кбит/с.

Мобильная связь третьего поколения строится на основе пакетной передачи. Наиболее значимым примером пакетной передачи речи является телекоммуникационная технология СТІ (Computer-Telephony Integration) - компьютерная телефония [15-17].

Технология компьютерной телефонии (VoIP, IP-телефонии) основана на использовании для передачи речи сетей, изначально предназначенных для передачи данных. Речь оцифровывается, разделяется на пакеты, применяемые для работы с данными, и пересылается по сети. На приемной стороне пакеты собираются, речевой сигнал восстанавливается, и обеспечиваются телефонные переговоры между двумя устройствами, подключенными к сети передачи данных.

Во введении отмечено, что сети третьего поколения 3G работают на частотах дециметрового диапазона около 2 ГГц, передавая данные со скоростью 2 Мбит/с.

# 1.2. Основные процедуры эстафетной передачи в системах сотовой связи

Хэндовер (англ. – handover, handoff) – процесс передачи обслуживания активного соединения абонента от одной базовой станции (БС) к другой по мере его перемещения из соты в соту [14;19-20], такой хэндовер называется «географическим» или «нормальным».

В этом параграфе приведем рассмотрение эстафетной передачи на примере классического (жесткого, с участием центра коммутации) хэндовера.

Различают межсотовый (на границе соты, когда отношение сигнал-шум на мобильном устройстве сигнала падает до минимально допустимого значения) и

внутрисотовый (при низком отношении сигнал-интерференция в канале) хэндовер [14;22-26].

Решение о выполнении хэндовера принимает центр коммутации на основании результатов измерений и оценки параметров сигнала.

Можно привести классификацию хэндовера с позиции причинности.

Хэндовер используется не только при перемещении абонента из соты в соту, но и при резком ухудшении качества сигнала внутри сектора, либо при перераспределении нагрузки между соседними секторами. Приведём описание различных типов хэндовера.

Хэндовер «спасения» – причиной проведения, может послужить уменьшение напряженности поля, наличие ошибок в радиоканале и интерференция, которые в свою очередь могут быть вызваны удалением от передатчика, наличием помех, многолучевым распространением радиосигнала [24].

С целью минимизации потребления мощности мобильным устройством происходит так называемый хэндовер «бюджета» мощности, который переводит вызов в ту соту, где качество соединения остается приемлемым, а излучаемые мобильным устройством и БС мощности - минимальны.

Хэндовер перераспределения нагрузки переводит часть вызовов сильно загруженной соты в менее нагруженные соседние соты.

Хэндовер в сетях с многослойной архитектурой сот устанавливает порядок перехода вызовов с одного уровня иерархии на другой.

Первые две причины проведения хэндовера обусловлены спецификой радиоканала, остальные – сетевыми критериями, а точнее, требованиями оператора к рациональному и эффективному использованию ресурсов сети [14;22].

Межсотовый хэндовер делят на жесткий, мягкий имягчайший(частный случай мягкого).

Во введении отмечено, что одним из основных преимуществ CDMA, по сравнению с технологией второго поколения — многостанционным доступом с временным разделением каналов — TDMA (Time Division Multiple Access), является реализация мягкого хендовера, обеспечивающего меньшую вероятность обрыва связи в процессе движения.

Выше было отмечено, что при CDMA в пределах гипотетической зоны эстафетной передачи», МС непрерывно получает сигналы от базовых на одной несущей и момент эстафетной передачи определяется (в отличии от «жесткой» процедуры при TDMA) без возможных задержек в передаче и обрывов соединения [15-16].

Так называемый «жесткий хэндовер» (англ. break-before-make) применяется в сетях второго поколения (2G) с технологиеймногостанционного доступа с временным разделением каналов - TDMA (Time Division Multiple Access) и в технологии третьего поколения мобильной связи LTE (Long-Term Evolution). В данном случае МС завершает процесс доступа к услугам сети в зоне действия обслуживающей БС, переключаясь в зону действия следующей базовой станции, при этом одновременный доступ к услугам сети от двух БС невозможен, что может привести к прерыванию соединения (рисунок 1.1) [11-12;17]. Это обусловлено тем, что мобильное устройствов каждый момент времени взаимодействует только с одной БС. Поэтому «жесткий хэндовер» имеет четко определенный момент выполнения.

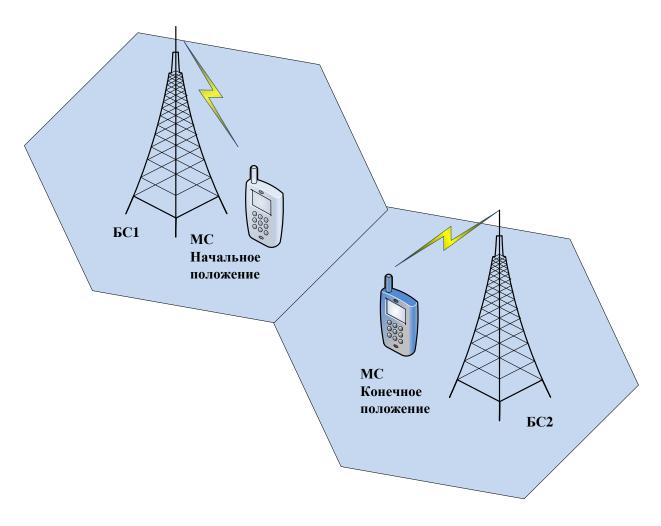


Рисунок 1.1. Схема соединения при жестком хэндовере

При «мягком хэндовере» (англ. make-before-break) происходит не смена частот, как это происходит при «жестком хэндовере», а смена кода БС [11-13]. «Привязка» к данной БС выполняется по уровню ее порогового сигнала, принимаемого на мобильном устройстве. Как правило, на МС поступают сигналы от двух или более БС. Их уровни сопоставляются с пороговыми значениями (рисунок 1.2) [17].

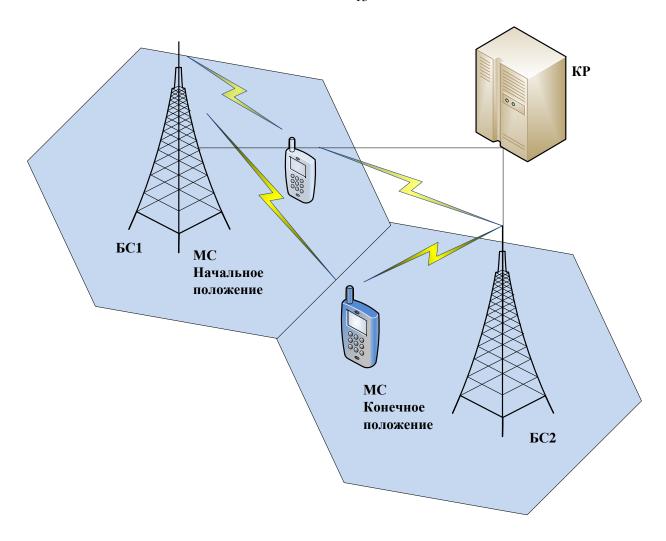


Рисунок 1.2. Схема соединения при «мягком хэндовере»

Существует и «мягчайший хэндовер» или вертикальный. Принцип действия основан на том же принципе, что и у мягкого, но реализуется в пределах одной соты, имеющей несколько секторов, что обеспечивает повышение качества соединения за счет смены несущей частоты[11-13].

Данный тип хэндовера применяется в том случае, если контроллер базовой станции определяет, что качество соединения слишком низкое, но нет никаких данных об измерениях, указывающих на то, что есть сота с лучшими значениями параметров. В этом случае контроллер базовой станции определяет другой канал (частоту) в этой же самой соте, где качество может быть лучше, и МС перенастраивается на этот канал [11-13].

Основные требования к хэндоверу следующие: низкие задержки, высокая надежность, высокий уровень успешности, минимальное количество хэндоверов

(поскольку частые переключения приводят к значительным энергозатратам и использованию полезной пропускной способности сети), обеспечение перемещения абонента, балансировка нагрузки на сети радиодоступа. Система вертикального хэндовера должна выбирать наиболее подходящий момент его инициации и наиболее подходящую сеть радиодоступа среди всех доступных [12-14;17].

Выделяют три этапа процедуры межсотового хэндовера: сбор информации о доступных сетях (инициация), принятие решения о сети назначения и, непосредственно, осуществление переключения [19-21].

На этапе сбора информации (обнаружения сетей) МС с множественными радиоинтерфейсами обнаруживает доступные беспроводные путем рассылок прослушивания эфира И получения служебных сетей (service advertisements). Также необходимо собрать информацию о состоянии MC, требованиях пользователя и других параметрах, входящих в критерий принятия решения о хэндовере[16;19].

Входными параметрами для алгоритма переключения могут быть следующие[16;19]:

- параметры пользователя (предпочтения, бюджет, профиль);
- параметры мобильного устройства (скорость передвижения, местоположение, поддерживаемые технологии, заряд аккумулятора, потребляемая мощность);
- параметры приложений (класс трафика: разговорный, потоковый,
   интерактивный, фоновый; QoS требования приложений);
- параметры сети (QoS, загруженность, безопасность, стоимость обслуживания);
- параметры канала связи (мощность принимаемого сигнала, ОСШ СИНАД,
   уровень битовых ошибок BER (Bit Error Rate) или ошибок блоков данных BLER
   (Block Error Rate), задержка и её вариация джиттер).

# 1.3. Эстафетная передача в условиях влияния многолучевого распространения

Многолучёвостью называется эффект, при котором в точке приёма присутствует не только прямой сигнал, но и отражённые сигналы.

Многолучёвость приводит в точке приёма к различным последствиям, таким как замирания и межсимвольная интерференция. В общем случае мощность принимаемого сигнала изменяется. Очевидно, что на дальности радиосвязи отрицательно сказывается уменьшение мощности принимаемого сигнала.

В системах сотовой связи используются разичные способы борьбы с многолучёвостью, например увеличение мощности сигнала, метод медленных скачков по частоте или метод прямой последовательности [22;25]. Так в стандарте сотовой связи второго поколения ТDMA применяют метод медленных скачков по частоте.

Многолучевость отрицательно вляет на разные процедуры функционирования систем сотовой связи, в том числе и на их основу – соту, выбор размера которой варьируется, в той или иной степени, в зависимости от эффекта многолучёвости.

Но наиболее чувствительна к влиянию многолучевого распространения напрямую связанная с ним процедура эстафетной передачи.

# 1.4. Методы имитации функционирования систем сотовой связи в условиях влияния многолучевого распространения

У операторов сотовой связи имеется достаточно широкий набор программных средств для расчёта прохождения сигналов по трассам в различных условиях.

В качестве примера можно указать программные комплексы Asset (AirComm, Англия), Atoll (Франция). Модели распространения составляют одну из важнейших сторон в указанных комплексах. Они, как правило, либо встроенные (например, модель DHL в Asset) или являются продуктом внешних разработчиков, участвующих в кооперации с вендорами программных комплексов (например,

Asset и Atoll). В качестве последних можно указать продукты Volcano (фирмы Siradel, Франция) и продукт CrossWave (фирма Forsk). В этих моделях в зоне близкого распространения используется расчётная имитация многократных переотражений лучей с интерференционным комбинированием. А в средней и дальних зонах — настраиваемые, как правило, 4-х параметрические модели затухания.

Это позволяет, с одной стороны достаточно точно, а с другой, относительно быстро рассчитывать затухания на трассах с учётом существующей застройки и кластеров растительности. Но поскольку точных данных об электродинамических показателях зданий, растительности, о дифракционных показателях нет, а собрать их в глобальном масштабе невозможно, то значительные усилия приходится прилагать для настройки таких моделей по результатам драйв-тестов.

Важным оказывается наличие свежих векторных карт высотной (3D) застройки местности. Только в этом случае эти модели могут качественно работать. Хорошим результатом настройки считается наблюдение среднеквадратической расчётной ошибки порядка 4-5 дБ.

Более высокая точность практически недостижима, так как сезонное появление/исчезновение растительности, выпадение осадков, рефракционные изгибы трасс из-за градиента температуры и плотности воздуха у поверхности Земли, усыхание бетонных стен новых зданий, застройка пустырей, точность определения мест установки антенн (даже ошибки в несколько метров уже сказываются) не позволяет решать задачу без погрешности. Кроме того, абонент может телом больше или меньше (в пределах 3 – 4 дБ) случайным образом экранировать антенну, а динамический характер усиления группового сигнала в усилителе мощности БС тоже приводит к тому, что уровень приёма замирает в пределах до 5 дБ.

Все это приводит к тому, что задачу расчёта затухания при распространении нужно рассматривать как сугубо статистическую и не пытаться использовать трудоёмкие методы для достижения сверхточных показателей по отдельным моментам, которые, все равно, будут «замаскированы» случайными составляющими других компонент.

# 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФИЗИЧЕСКОГО ИМИТАТОРА РАДИОКАНАЛА ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ 2,4 ГГц С НИЧТОЖНЫМИ ШУМАМИ МНОГОЛУЧЕВОСТИ

#### 2.1. Постановка задачи

Выше было отмечено, что для определения размеров зоны эстафетной передачи необходимо определять зависимость качества пакетной передачи от расстояния между мобильной и базовой станциями (дальности уверенной радиосвязи). Основным отличием исследований данной диссертационной работы по определению зоны эстафетной передачи является минимизация погрешностей, вносимых многолучевым распространением.

# 2.2. Влияние многолучевости на параметры радиоканала, определяющие дальность радиосвязи в диапазоне 2,4 ГГц

Многолучёвостью называется эффект, при котором в точке приёма присутствует не только прямой сигнал, но и отражённые сигналы.

Многолучёвость приводит в точке приёма к различным последствиям, таким как замирания и межсимвольная интерференция. В общем случае мощность передаваемого сигнала уменьшается. Существует много способов борьбы с многолучёвостью, например увеличение мощности сигнала, метод медленных скачков по частоте или метод прямой последовательности [22; 25]. Так в стандарте сотовой связи второго поколения ТDMA применяют метод медленных скачков по частоте.

Очевидно, что при многолучевом распространении сигнала и интерференции в точке приёма мощность прямого сигнала уменьшается, что, в свою очередь, сказывается на дальности радиосвязи.

Минимизация влияния многолучёвости при использовании физического имитатора радиоканала (ФИРК) даст более точный результат, поскольку натурные измерения приводят к большим среднеквадратическим отклонениям значений

мощности при каждом значении дальности. Основанием для такого суждения является анализ работ [1-4; 7], посвященных определению дальности при использовании пакетной передачи в дециметровом диапазоне волн. Все они имеют значительную дисперсию при определении дальности.

Однако в работе [2] при определении оптимальной мощности излучения, используют зависимость мощности принимаемого сигнала от дальности, полученную на основании результатов натурных испытаний. Для уменьшения влияния эффектов многолучевого распространения результаты усредняются по набору 10-ти показаний. Тем не менее, полученные оценки мощности имеют значительную дисперсию [22; 26].

Те же недостатки, связанные с погрешностями натурных испытаний, присущи и работе [27], в которой приведены результаты исследования для стандарта RadioEthernet 802.11 – Wi-Fi(Wireless Fidelity): зависимости от дальности связи L искажения спектральной плотности мощности (СПМ) речевого сообщения [22].

# 2.3. Критерии качества пакетной передачи с использованием радиоканала диапазона 2,4 ГГц

При решении задачи анализа функционирования радиоканала диапазона 2,4 ГГц с пакетной передачей речи необходимо выбрать критерий качества.

Очевидно, что оценка по критериям качества пакетной передачи речи будет более жесткой в контексте решаемой задачи по сравнению с использованием критериев качества пакетной передачи данных [18-22;27].

В роли критериев качества пакетной передачи речи могут выступать [22]:

- степень искажения спектральной плотности мощности (СПМ) речевого сообщения [18;23];
- отношение сигнал/шум по мощности ОСШ, дБ воспроизводимого речевого сообщения и связанные с ним критерии слоговой разборчивости и конкурирующие с ними критерии МОЅ [28]. При измерении параметров радиоприемных устройств

отношение сигнал/шум (ОСШ) выходного сигнала измеряют методом «СИНАД», предполагающим использование измерителя нелинейных искажений [105].

Так как ключевым критерием в оценке качества радиолинии является значение ОСШ на выходе реального радиоканала и ФИРК, то необходимы зависимости ОСШ от КНИ ( $K_{пр}$ ).

Согласно ГОСТ 12252-86 ОСШ определяется с помощью метода СИНАД по формуле 5.1 ГОСТ 12252-86 при условии уровня сигнала на выходе передатчика (входе ИФМР) составляет 0 дБм (0,775 В), уровень шумов — ничтожно мал в лабораторных условиях, а уровень напряжения искажений, можно получить из определения КНИ:

$$K_{\rm H} = \frac{\sqrt{U_{\rm H}^2}}{\sqrt{U_{\rm C}^2 + U_{\rm H}^2}},\tag{2.3}$$

где U<sub>и</sub> – уровень напряжения неосновных гармоник, В;

 $U_{C}$  – уровень напряжения основной гармоники, В.

Выразив U<sub>и</sub> через значение К<sub>н</sub> получим формулу 2.4:

$$U_{\rm H} = \sqrt{\frac{K_{\rm H}^2 U_{\rm C}^2}{1 - K_{\rm H}^2}},\tag{2.4}$$

Подставив (2.4) в (2.3) получим формулу 2.5, которая в наших обозначениях будет иметь вид [26]:

$$OCIII = 20lg\left(\sqrt{\frac{U_{C}^{2} + U_{III}^{2}(1 - K_{\Pi p}^{2})}{U_{C}^{2}K_{\Pi p}^{2} + U_{III}^{2}(1 - K_{\Pi p}^{2})}}100\right),$$
(2.5)

где  $\sqrt{U_{\rm c}^2 + U_{\rm m}^2 + U_{\rm n}^2}$  — среднее квадратическое значение полного напряжения шума и нелинейных искажений на выходе приемника ФИРК;

 $\sqrt{U_{\rm m}^2 + U_{\rm u}^2}$  — среднее квадратическое значение суммарного напряжения собственного шума приёмника и нелинейных искажений на выходе приемника ФИРК.

Поскольку при измерении чувствительности в лабораторных условия уровень шумов ничтожно мал (что справедливо и для измерений в условиях нашего ФИРК), постольку формула (2.5) упрощается [26]:

$$OCIII = 20lg \frac{100}{K_{np}}.$$
 (2.6.)

Аналитическая зависимость слоговой разборчивости S,% от ОСШ, дБ на выходе воспроизводящего устройства получена для русскоязычного речевого сообщения в работах [29-30;32], (рисунок 2.1) [104; 105].

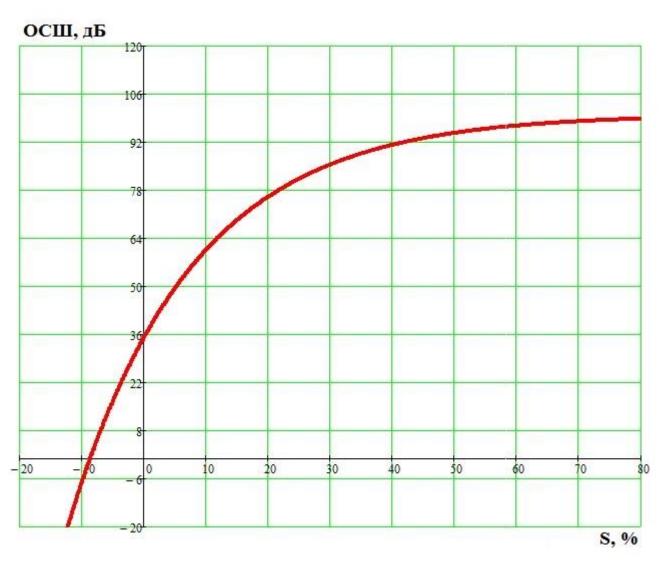


Рисунок 2.1. Зависимость слоговой разборчивости от ОСШ для русскоязычного речевого сообщения

В работе [26] представлена ее аппроксимация [104, 105]:

$$S = 35 + 65 \cdot \left[ 1 - \exp(-0.05 \cdot OCIII) \right]$$
 (2.7)

В 1994 году Московским государственным университетом и воинской частью 93901 разработан ГОСТ Р 50840-95 [33], принятый и введенный в действие постановлением Госстандарта России от 21.11.95 №579 [105].

Стандарт регламентирует комплексное оценивание качества передачи речи. Комплексная оценка включает: слоговую разборчивость, заметность искажения качества речи в тракте (аппаратуре) связи по методу парных сравнений относительно контрольного тракта, заметность искажения шести селективных признаков (картавость, гнусавость и др.), а также ряд других оценок.

# 2.4. Схема экспериментального определения энергетических характеристик физического имитатора радиоканала диапазона 2,4 ГГц, с ничтожными шумами многолучевости

Для любой системы связи одной из основных задач является рациональное использование энергетического потенциала линии связи. Применительно к анализу радиолинии диапазона 2,4 ГГц эта задача решается, например, в работе [2] по результатам натурных испытаний, с большой дисперсией оценок в результате влияния многолучевости [106].

С другой стороны, важной задачей анализа систем радиосвязи является создание имитаторов радиоканала, позволяющих в лабораторных условиях, адекватных реальным, экспериментально исследовать варианты построения систем [34-36, 106].

В диссертации предлагаем такой физический имитатор радиоканала (далее для его обозначения используем аббревиатуру ФИРК) главное назначение которого нивелировать в лабораторных условиях влияние многолучевости [106].

При этом, наверное, отсутствует необходимость имитировать функционирование стандартных приемопередающих устройств, используемых и в ФИРК, и в имитируемом с его помощью реальном радиоканале (очевидно и то, что функционирование приемопередающего устройства не подвержено влиянию эффекта многолучевости) [106].

Поэтому функции имитации ложатся на предложенную нами [22;26], входящую в состав ФИРК, имитационную физическую модель радиолинии с ничтожными шумами многолучевости (для ее обозначения используем аббревиатуру ИФМР) [106].

ФИРК решает задачи, подобные задачам имитатора радиоканала, предложенного в работе [37].

Структурная схема ФИРК представлена на рисунке 2.2 (ЗГ- задающий гератор, КНИ-коэффициент нелинейных искажений) [25; 104].

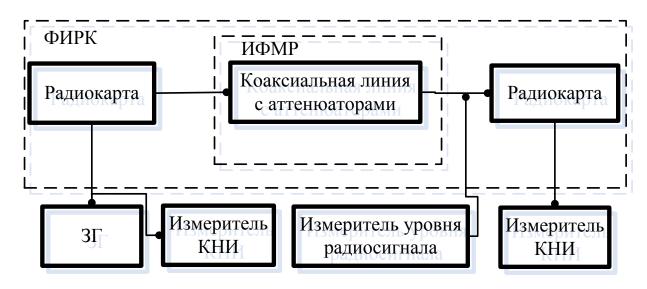


Рисунок 2.2. Структурная схема ФИРК

Эта схема предназначена для имитационного моделирования большинства реальных радиоканалов нашего диапазона частот. Достаточно привести пример организации радиоканала стандарта Radio Ethernet 802.11 между двумя компьютерами.

В тех же случаях, когда необходимо обеспечить более высокие значения уровня сигнала на входе ИФМР, схема ФИРК приобретает вид:

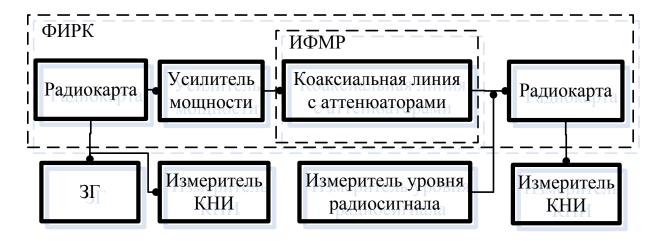


Рисунок 2.3. Структурная схема ФИРК при использовании усилителя мощности

Ниже структурная схема рисунка 2.3 используется по умолчанию. Специально оговаривается использование схемы рисунка 2.3.

Можно ли обойтись в ФИРК без ИФМР, заменяя ее в результате определения уровня сигнала на ее выходе простым вычитанием дискретных значений затухания (реализуемых ИФМР) из уровня сигнала на входе?

Ответ на этот вопрос отрицательный, поскольку использование ИФМР в составе ФИРК, предоставляет реализуемую нами возможность сохранить в процессе измерения процедуры, присущие реальному радиоканалу – преобразование сообщения (первичного сигнала) в сигнал (АЦП, пакетизация, модуляция и.т.п) и обратное преобразование (демодуляция, депакетизация, ЦАП и.т.п), чего не сделаешь при «простом вычитании».

Простой пример. Ниже приводим данные измерений при использовании ФИРК коэффициента нелинейных искажений и отношения сигнал/шум (СИНАД). При «простом вычитании» эти данные можно получить лишь в результате ненужного моделирования функций используемых стандартных приемопередающих устройств, еще и внося при этом погрешности, связанные с таким моделированием.

# 2.5. Приемопередающее оборудование в составе ФИРК

Выше было отмечено, что в функции ФИРК не входит задача имитации функционирования приемопередающего оборудования радиоканала, поскольку и в имитируемом реальном радиоканале, и в ФИРК используются стандартные приемопередающие устройства.

Приведем их технические характеристики.

При организации радиоканалов (радиоинтерфейсов) стандарта Radio Ethernet 802.11g (Wi-Fi), технологии мобильной связи третьего поколения 3G и т.п., работающих в диапазоне 2,4 ГГц), используют радиокарты разных производителей (YARKONIA BX-501, YARKONIA X400, Wiwat WT 2,4, Wiwat WR 2,4 и.т.п.), естественно, с одинаковыми техническими требованиями (таблица 2.2) [22; 26].

Таблица 2.2 – Технические параметры радиокарты

Параметр	Значение параметра
Чувствительность приемника радиокарты (СИНАД, С/Ш 12дБ)	-85 дБм
Частотный диапазон приемника/передатчика	2400 – 2483,5 МГц
Тип модуляции	GFSK
Скорость передачи	2 Мбит/с
Мощность передатчика радиокарты	0 дБм
Чувствительность аудиовхода передатчика радиокарты	1 B
Задержка передачи	< 3 mc
Частота дискретизации	44100 Гц
Количество бит квантования	16
Частотная характеристика аудиовхода передатчика радиокарты YARKONIA BX-501 (по уровню – 3дБ)	20 – 20000 Гц
Коэффициент нелинейных искажений аудиовыхода приемника радиокарты YARKONIA BX-501 (1 кГц)	1%
Напряжение электропитания приемника и передатчика радиокарты YARKONIA BX-501	5 B
Дальность связи для открытого пространства	50 м
Дальность связи для полузакрытого пространства	30 м
Дальность связи для закрытого пространства	10 м

В качестве примера усилителя мощности на схеме рисунка 2.3 можно привести двунаправленный усилитель «HORIZONT-2401» [38], предназначенный для использования совместно с радиомодемами, точками доступа и прочими приёмопередающими устройствами диапазона 2,4 ГГц. Усилитель полностью совместим с оборудованием передачи данных. Его технические параметры прелставлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. – Технические параметры усилителя мощности

Параметр	Значение параметра
Диапазон частот, МГц	2400 - 2500
Режимы работы	Двунаправленный, полудуплекс, автоматическое управление переключением с приёма на передачу и наоборот несущей радиочастотой от сопряжённого устройства
Коэфициент усиления, тракта передачи, дБ макс.	30
Выходная мощность, Вт	1 (30 дБм)
Максимальная мощность входного сигнала, мВт	200 (23 дБм)
Уровень переключения детектора передачи, мВт	0,5 (-3 дБм)
Усиление приёмного тракта, дБ номинал	28
Коэффициент шума, дБ не более	1,5

Применяют и усилители со ступенчатой регулировкой мощности с градациями 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 дБм [2].

Технические параметры используемых антенн диапазона 2,4ГГц можно найти в таблице 2.4, где приведены технические параметры одной из них.

Таблица 2.4 – Технические параметры антенны

Параметр	Значение параметра
1	2
Коэффицент усиления, дБі	12,0
Макс. подводимая мощность, Вт	100
Ширина диаграммы направленности	
В вертикальной плоскости	7°
В горизонтальной плоскости	360°
Входное сопротивление, Ом	50
Коэффицент усиления, dBi	12,0
КСВ в раб. диапазоне частот, не более	1,5
Поляризация	вертикальная

Как следует из таблицы ни один из параметров антенны не указывает на внесение ей дополнительного затухания. Поэтому в структурных схемах ФИРК (см. рисунки 2.2 и 2.3) антенна не присутствует.

# 2.6. Результаты экспериментального определения энергетических характеристик ФИРК

ИФМР подробно описана в работах [22;26].

В качестве критерия качества пакетной передачи речи используем разность значений коэффициента нелинейных искажений (КНИ) на входе и выходе ФИРК при подаче на его вход испытательного сигнала частотой 1020 Гц.

В таблице 2.5 приведены зависимости КНИ на выходе ФИРК от затухания вносимого ИФМР [22; 25; 26].

Таблица 2.5 – Зависимости КНИ на выходе ФИРК от затухания вносимого ИФМР

	Уровень	Значения $K_{np}$ и разностей КНИ на выходе ФИРК, %			
Затухание, вносимое ИФМР, дБ	сигнала на выходе ИФМР, дБм	$K_{np}$	Абсолютная разность $K_{np}$ - $K_{nep}$	Относительная разность $(K_{np} - K_{nep})/K_{nep}$	
0	0	1	0,5	1	
70	-70	1	0,5	1	
80	-80	3,5	3	6	
81	-81	4,5	4	8	
82	-82	6	5,5	11	
83	-83	10	9,5	19	
84	-84	15	14,5	29	
85	-85	25	24,5	49	
86	-86	30	29,5	59	
87	-87	50	49,5	99	
88	-88	100	99,5	199	

Следует отметить, что выделенные полужирным шрифтом значения при уровне сигнала на входе приемной радиокарты -85 дБм, соответствуют условию измерения чувствительности (ОСШ = 12 дБ,  $K_{np}$  = 25%) [22; 25; 26].

В таблице 2.6 представлена зависимость коэффициента нелинейных искажений Кпр и отношения сигнал/шум ОСШ (измеренного по методу СИНАД) на выходе ФИРК от затухания A, вносимого ИФМР при уровне сигнала на ее входе передающей радиокарты 0 дБм [26; 106].

Таблица 2.6 – Зависимость Кпр и ОСШ от затухания А в линии

Затухание А, вносимое ИФМР, дБ	Уровень сигнала на выходе ФИРК, дБм	Значения Кпр на выходе ФИРК, %	Значения ОСШ на выходе ФИРК, дБ
0	0	1	40
70	-70	1	40
80	-80	3,5	29,12
81	-81	4,5	26,94
82	-82	6	24,44
83	-83	10	20
84	-84	15	16,48
85	-85	25	12,04
86	-86	30	10,46
87	-87	50	6
88	-88	100	0

На рисунке 2.4 представлена зависимость ОСШ на выходе на выходе ФИРК от затухания, вносимого ИФМР [106].

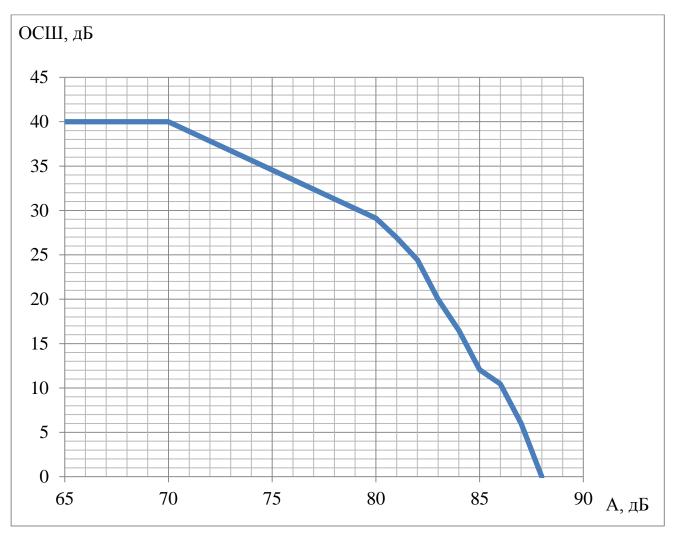


Рисунок 2.4. Зависимость ОСШ на выходе ФИРК от затухания, вносимого ИФМР

В реальных радиолиниях шумы аппаратуры отсутствовать не могут. Их необходимо учитывать. Принимаем уровень шумов  $U_{III}$  аппаратуры равным 1, 2, 3, 5, 10 и 15 % от уровня сигнала  $U_{C}$  (который для нашей передающей радиокарты равен 0,775 В) и получаем зависимости ОСШ на выходе ФИРК от затухания, вносимого ИФМР с учётом шумов аппаратуры (табл.2.7) [26; 106].

Таблица 2.7 – Зависимости КНИ и ОСШ на выходе приёмной радиокарты от затухания в коаксиальной линии с учётом шумов аппаратуры

Затухание,	Уровень сигнала	Значения К <sub>пр</sub> на	3	начения (	ОСШ на в	ыходе Ф	ИРК, дБ і	при <del>/</del> <u>//</u> / / / / / / / / / / / / / / / / /	
вносимого ИФМР, дБ	на выходе ФИРК, дБм	выходе ФИРК, %	0	1	2	3	5	10	15
0	0	1	40	36,99	33,012	30,004	25,862	20	16,556
70	-70	1	40	36,99	33,012	30,004	25,862	20	16,556
80	-80	3,5	29,12	28,779	27,895	26,733	24,303	19,546	16,35
81	-81	4,5	26,94	26,727	26,156	25,345	23,459	19,25	16,208
82	-82	6	24,44	24,319	23,983	23,475	22,164	18,719	15,943
83	-83	10	20	19,958	19,833	19,633	19,05	17,054	15,007
84	-84	15	16,48	16,46	16,405	16,315	16,041	14,954	13,611
85	-85	25	12,041	12,035	12,017	11,987	11,891	11,475	10,869
86	-86	30	10,46	10,454	10,442	10,422	10,359	10,079	9,655
87	-87	50	6,03	6,02	6,017	6,012	5,996	5,925	5,81
88	-88	100	0	0	0	0	0	0	0

По полученным значениям ОСШ строим семейство графиков зависимостей ОСШ от затухания в ИФМР при разных уровнях шума аппаратуры (рисунок 2.5) [104].

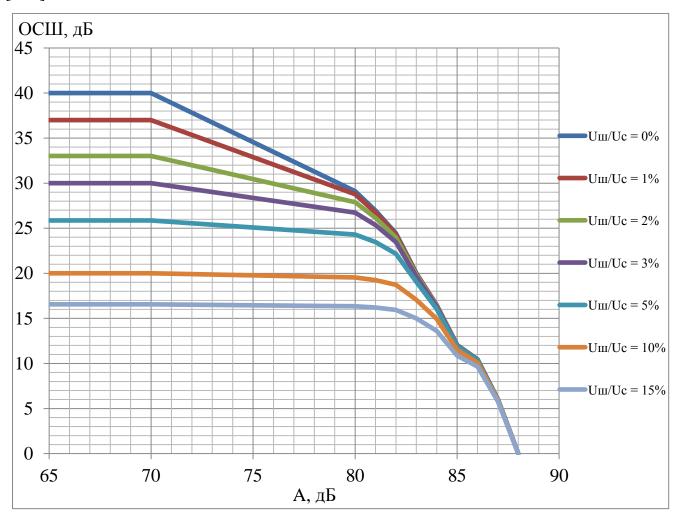


Рисунок 2.5. Семейство зависимостей ОСШ от затухания в ИФМР при разных уровнях шума

Из графиков видно, что уровень шумов аппаратуры влияет на качество канала, только снижая отношение сигнал шум на постоянную величину, при этом характер зависимости не меняется. Исходя из этого, можно сделать вывод, что шумы практически не влияют на переходную зону, которая нам наиболее интересна. Область графика при величине А от 70 дБ до 88 дБ является наиболее важной для определения размера зоны эстафетной передачи. Представляет интерес и то, что кривые сходятся в одну точку при А= 85 дБ, то есть при условии измерения чувствительности приемной радиокарты. При А= 85 дБ уровень Uш становится мал по сравнению с уровнем нелинейных искажений.

Для расчета значений  $K_{np}$ , % при задании уровня сигнала Uc,дБu на входе приемной радиокарты предложена формула (2.8), пригодная для использования для всех значений  $K_{np}$ , то есть при  $K_{np} = 0$  - 100%.

Кпр = 
$$\begin{cases} 0.01 \text{ при } U_{\text{C}} > -70 \text{ дБи и } U_{\text{C}} < 0 \text{ дБи;} \\ \frac{0.32}{U_{\text{C}} + 86.8} - 0.01 \text{ при } U_{\text{C}} > -82 \text{ дБи и } U_{\text{C}} < -70 \text{ дБи;} \\ \frac{2.9}{U_{\text{C}} + 90.2} - 0.3 \text{ при } U_{\text{C}} > -88 \text{ дБи и } U_{\text{C}} < -82 \text{ дБи;} \end{cases}$$
 (2.8)

Для решения возникающей на практике задачи расчета ОСШ, дБ при известных значениях уровня сигнала на входе приемной радиокарты Uc, дБи при условии Uш = 0 предложены формулы (2.9) для грубой, предварительной оценки и (2.10) для более точных расчетов.

ОСШ = 
$$\begin{cases} 40, \text{ при } U_{\text{C}} > -70 \text{ дБи и } U_{\text{C}} < 0 \text{ дБи;} \\ 62,4 - \frac{600}{U_{\text{C}} + 96.9}, \text{ при } U_{\text{C}} > -88 \text{ дБи и } U_{\text{C}} < -70 \text{ дБи;} \end{cases}$$
 (2.10)

Для расчета ОСШ, дБ в том случае, когда известны уровень сигнала на входе приемной радиокарты Uc, дБи и уровень шума аппаратуры Uш, дБи может быть использованы предложенная в работе формула (2.11).

$$OC\coprod = a(U_c)U_{\coprod}^2 + b(U_c)U_{\coprod} + c(U_c), \tag{2.11}$$

где  $a(U_c)$ ,  $b(U_c)$  и  $c(U_c)$  — коэффициенты, значения которых зависимости от уровня сигнала определяются по формулам (2.12), (2.13), и (2.14).

$$a(U_c) = \begin{cases} -9,38 \cdot 10^{-3} \text{ при } U_{\rm C} > -70 \text{ дБи и } U_{\rm C} < 0 \text{ дБи;} \\ -7,17 \cdot 10^{-4} U_c^2 - 0,13 U_c - 5,45 \text{ при } U_{\rm C} > -82 \text{ дБи и } U_{\rm C} < -70 \text{ дБи;} \\ 1,9 \cdot 10^{-4} (U_{\rm C} + 78,3)^2 - 0,02 \text{ при } U_{\rm C} > -88 \text{ дБи и } U_{\rm C} < -82 \text{ дБи;} \end{cases} \tag{2.12}$$

$$b(U_c) \ = \begin{cases} 0,02U_{\rm C} - 1,4 \text{ при } U_{\rm C} > -70 \text{ дБи и } U_{\rm C} < 0 \text{ дБи;} \\ -0,16U_c^2 - 28,67U_c - 1250,32 \text{ при } U_{\rm C} > -82 \text{ дБи и } U_{\rm C} < -70 \text{ дБи;} \\ 0,05(U_{\rm C} + 77,8)^2 - 5,5 \text{ при } U_{\rm C} > -88 \text{ дБи и } U_{\rm C} < -82 \text{ дБи;} \end{cases} \tag{2.13}$$

$$c(U_c) = \begin{cases} -9.37 \cdot 10^{-3} U_c^2 + 1.4 U_c - 3.91 \text{ при } U_{\mathsf{C}} > -70 \text{ дБи и } U_{\mathsf{C}} < 0 \text{ дБи;} \\ -9.67 U_c^2 - 1683.7 U_c - 73304 \text{ при } U_{\mathsf{C}} > -82 \text{ дБи и } U_{\mathsf{C}} < -70 \text{ дБи;} \\ 2.8 (U_{\mathsf{C}} + 77.7)^2 - 305 \text{ при } U_{\mathsf{C}} > -88 \text{ дБи и } U_{\mathsf{C}} < -82 \text{ дБи.} \end{cases}$$
 (2.14)

На практике для определения слоговой разборчивости S, % при известных значениях уровня сигнала Uc, дБи на входе ФИРК предложена формула (2.15) [55]:

$$S = \begin{cases} 91.2, \text{ при } U_{\rm C} > -70 \text{ дБи и } U_{\rm C} < 0 \text{ дБи;} \\ 100 - 2,87 e^{\frac{30}{U_{\rm C} + 96.9}}, \text{ при } U_{\rm C} > -88 \text{ дБи и } U_{\rm C} < -70 \text{ дБи.} \end{cases} \tag{2.15}$$

Зависимости ОСШ от уровня шума аппаратуры при фиксированном затухании в радиолинии представлены графиком рисунка 2.6.

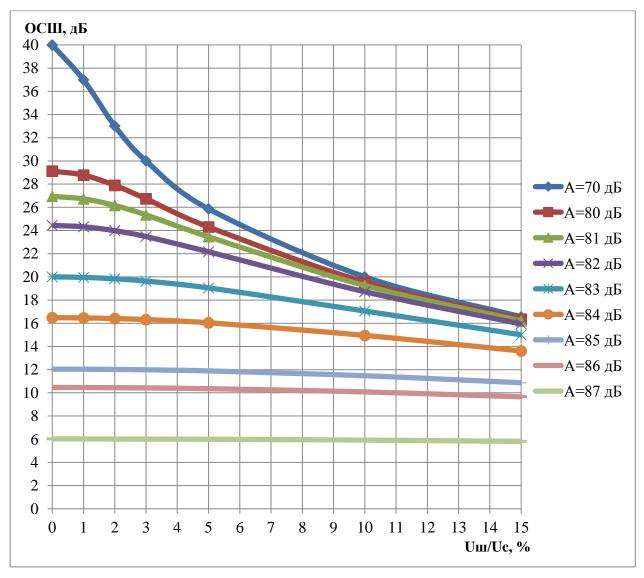


Рисунок 2.6. Зависимость ОСШ от уровня шума аппаратуры при различных затуханиях

В таблице 2.8 представлена зависимость Кпр и ОСШ на выходе ФИРК от уровня сигнала на его входе (использование ИФМР со структурной схемой рисунка 2.3a).

Таблица 2.8 – Зависимость КНИ и ОСШ на выходе ФИРК от уровня сигнала на его входе

	Уровень	Уровень	Значения	Значения
Номер	сигнала на	сигнала на	Кпр на	ОСШ на
позиции	входе	выходе	выходе	выходе
	ИФМР, дБм	ИФМР, дБм	ФИРК, %	ФИРК, дБ
1	0	-85	25	12
2	2	-83	10	20
3	4	-81	4,5	26,9
4	6	-79	3,2	29,9
5	8	-77	2,6	31,7
6	10	-75	2	34
7	12	-73	1,5	36,5
8	14	-71	1	40
9	16	-69	1	40
10	18	-67	1	40
11	20	-65	1	40

Следует отметить, что табличные значения отвечают регламентации ГОСТом 12252-66 процедур измерения двух видов чувствительностей (позиции 1 и 8) при хорошем и отличном качестве воспроизведения на аудиовыходе приемника и характеристик избирательности (позиция 1).

# 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ФИРК ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ РАДИОКАНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

#### 3.1. Постановка задачи

В предыдущей главе приведены результаты экспериментального определения энергетических характеристик ФИРК и оценивания при его использовании качества связи по методу «СИНАД».

Необходимо использовать эти результаты при определении расстояния между приемопередающими устройствами радиоканала.

Общеизвестны и широко используются термины: дальность уверенной радиосвязи, дальность радиосвязи [39;40], дальность радиоканала, дальность действия радиоканальных устройств, протяженность радиолинии, расстояние между радиоустройствами [41].

К проблематике главы наиболее близок по смыслу термин дальность действия радиоканальных устройств (далее используем аббревиатуру ДДРУ), который может быть применен и к реальному радиоканалу и к ФИРК и который, по сути, определяет расстояние между оконечными радиоустройствами работающего радиоканала.

Главное назначение ФИРК, как было отмечено выше, заключается в нивелировании в лабораторных условиях влияние многолучевости.

При этом отсутствует необходимость на канальном уровне имитировать реальный канал, поскольку в случае реального радиоканала используются одинаковые стандартные приемопередающие устройства.

Функции имитации ложатся на, входящую в состав ФИРК, имитационную физическую модель радиолинии с ничтожными шумами многолучевости ИФМР.

Для практического применения надо адаптировать ФИРК к реальному радиоканалу, на функционирование которого многолучевое распространение оказывает существенное влияние.

В главе излагается последовательность действий по решению этой задачи.

В начале рассмотрим вопрос наделения ФИРК функциями определения дальности действия радиоканальных устройств («градуировки» ФИРК в области определения ДДРУ).

### 3.2. Градуировка ФИРК в области определения ДДРУ

При градуировке в качестве основы используем ГОСТ Р 53363-2009 [42], в разделе 6 которого «Расчет потерь распространения радиосигнала в свободном пространстве» приведена формула (6.1) для расчета потерь распространения радиосигнала L0, дБ, в свободном пространстве на интервале длиной R, км, при частоте радиосигнала f, ГГц. В наших обозначениях эта формула принимает вид) [106]:

$$A^{I} = 92,45 + 20lg(f) + 20lg(L), \tag{3.1}$$

где A, дБ - потери распространения (ослабление) радиосигнала в свободном пространстве (затухание, вносимое ИФМР);

L, км - дальность действия радиоканальных устройств (ДДРУ);

f, ГГц - частота.

Используя значение f = 2,4 ГГц и выражая L в метрах, преобразуем формулу (3.1) [26]:

$$A^{I} = 40 + 20lg(L), \, \pi B.$$
 (3.2)

Естественно, может использоваться и формула для решения задачи определения зависимости L, км от A, дБ, которая при f = 2,4 ГГц принимает вид [26]:

$$L = 10^{\frac{A^{I} - 40}{20}}. (3.3)$$

На рисунках 3.1 и 3.2 представлены зеленым цветом графики зависимости (3.2) [26; 106].

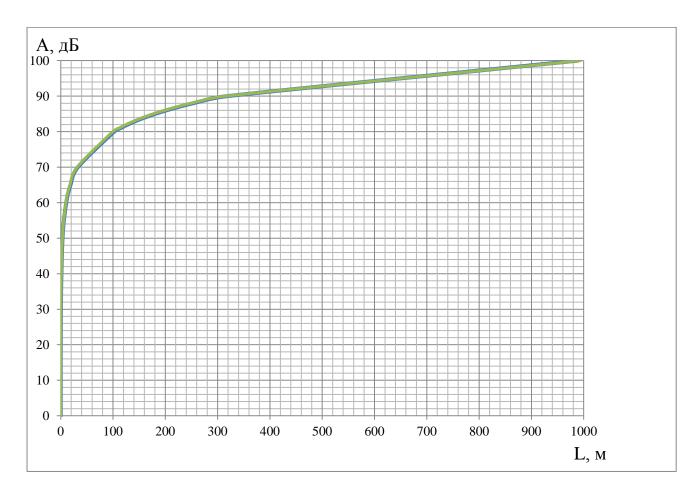


Рис. 3.1.Зависимость ослабления радиосигнала диапазона 2,4 ГГц (затухания A) в свободном пространстве от ДДРУ (область определения от 0 до 1000 м)

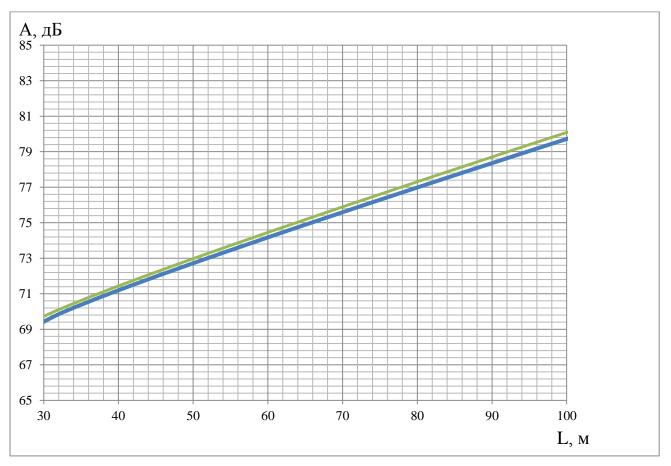


Рис. 3.2.Зависимость ослабления радиосигнала диапазона 2,4 ГГц (затухания A) в свободном пространстве от ДДРУ (область определения от 30 до 100 м)

В плане усиления представления о корректности основы градуировки на рисунках 3.1 и 3.2 представлены синим цветом графики из работы [43], отображающие ту же зависимость.

$$A^{I} = V0 (2400) = 100,6 + 20 lg Ltp (km).$$
 (3.4)

При градуировке следует иметь в виду, что формула (3.2) получена на основании кривой распространения радиоволн (зависимости напряжённости поля в дБи в точке приёма от расстояния) в диапазоне 2,4 ГГц. Поэтому используя для градуировки данные таблицы 2.3 переводим размерность уровня сигнала на выходе ИФМР из дБм в дБи и получаем значения А<sup>II</sup> затухания в ИФМР.

С использованием формул (3.2), (2.7) и данных таблицы 2.4 получаем результат градуировки (таблица 3.1) [104].

Таблица 3.1 – Зависимость дальности действия радиоканальных устройств ФИРК и показателей его качества от затухания, вносимого ИФМР

	1			
Затухание А <sup>II</sup> , дБ	ДДРУ, м	Значения Кпр на выходе ФИРК, %	Значения ОСШ на выходе ФИРК, дБ	Значения слоговой разборчивости на выходе ФИРК, S %
30	0,09	1	40	91,2
40	0,3	1	40	91,2
50	0,9	1	40	91,2
60	2,9	1	40	91,2
70	9,1	1	40	91,2
74	14,5	1	40	91,2
75	16,2	1,2	38,4	90,5
76	18,2	1,6	35,9	89,2
77	20,4	2	34	88,1
78	22,9	2,4	32,4	87,1
79	28,2	3	30,5	85,9
80	28,8	3,5	29,12	84,8
81,8	35,5	5,6	25	81,4
82,6	38,9	7,9	22	78,4
83	40,7	10	20	76,1
83,4	42,7	11,9	18,5	74,2
84	45,7	15	16,48	71,5
84,1	46,2	15,8	16	70,8
84,2	46,8	16,8	15,5	70,1
84,3	47,3	17,8	15	69,3
84,6	49	20	14	67,7
84,8	50,1	22,4	13	66,1
85	51,3	25	12,04	64,4
85,4	53,7	26,6	11,5	63,4
86	57,5	30	10,46	61,5
87	64,6	50	6	51,8

Градуировка закончена. Теперь ФИРК абсолютно точно отслеживает зависимость ослабления радиосигнала диапазона 2,4 ГГц в свободном пространстве от ДДРУ.

Но важнейшим результатом является то, что в отличие от основы градуировки ее результат (таблица 3.1) содержит информацию не только о параметрах радиолинии свободного пространства, но и о параметрах качества на канальном уровне для такой радиолинии (Кпр, ОСШ и S).

Но это имеет практическое значение лишь для реального радиоканала в свободном пространстве.

Необходимы результаты, которые могут быть использованы для реальных каналов, испытывающих существенное влияние многолучевого распространения.

Переходим к решению этой задачи.

### 3.3. Использование ФИРК на практике для анализа реальных радиоканалов с существенным влиянием многолучевости

В настоящее время в мире существует огромное количество методик проектирования и расчета сетей радиосвязи различных диапазонов, различных служб радиосвязи, различных стандартов и т.п.

Всех их объединяет один и тот же подход: за основу берется нечто идеализированное (преимущественно кривые распространения, определенные документами МСЭ (ранее МККР) или другими регламентирующими документами) и вводятся поправочные коэффициенты, учитывающие реалии (электромагнитную совместимость радиосредств, реальную мощност передатчика, интерференцию поля в точке приема (вляние многолучевости), реальные параметры антеннофидерных устройств и множество других).

Вряд ли можно найти единый инструментарий решения этих задач, применимый для любой радиосети.

Однако в середине прошлого века появляется модель Окамуры – Хата, разработанная на основе статистических данных натурных измерений в различных

условиях (свободное пространство, плотная городская застройка, средняя городская застройка и т.д.) для разных диапазонов частот.

Оригинальная модель Окамуры — Хата была ограничена диапазоном 1,5 ГГц, появление новых систем связи, работающих в диапазоне частот около 2 ГГц, дало толчок для дальнейшего расширения модели Окамура — Хата Европейским союзом COST — Cooperation for Scientific and Technical Research (Сотрудничество для научных и технических исследований) на частотный диапазон до 2 ГГц. Эта модификация, получила название COST 231.

Все модели COST 231 используют в качестве базовой (базы для последующего применения поправочных коэффициентов) зависимость для свободного пространства, которая в наших обозначениях принимает вид [44]

$$A^{I} = 201g f [M\Gamma_{II}] + 201g 0,001(L[M]) + 32,44 \, \text{дБ},$$
 (3.5)

а для частоты  $f = 2400 M\Gamma$ ц

$$A^{I}=40+201gL, \pi F,$$
 (3.6)

где L, м - ДДРУ.

Полное совпадение (3.6) и (3.2) позволяет перейти к определению поправочных коэффициентов одной из моделей модификации COST 231.

В реальных условиях распространения на местности величина затухания зависит от множества факторов (отражение сигнала от объектов, преломление радиосигнала, рассеивание радиосигнала, эффекта Доплера) многие из которых и определяют то, что нывают влиянием многолучевости.

Выбор поправочных коэффициентов, учитывающих эти факторы, зависит от выбора модели из модификации COST 231 (модель Окамуры, модель Хаты, модель COST231-Hata, заказные модели (COST231-Hata), модель "Ли", модель COST231-Уолфиш-Икегами, модель Hata/Davidson/Epstein-Peterson Diffraction, модель TIREM-EDX, модель FCC – EDX, модель FCC – FCC, модель CCIR – EDX, модель FCC - Pt.22 и ряд других моделей).

Из за ограниченности объема диссертации рассмотрим лишь пример использования одной модели – модели Окамуры (Okumura Technique).

Модель, предложенная Окамурой, основана на результатах экспериментальных исследований и моделью позволяет достаточно точно предсказывать среднее значение затухания радиосигнала [44].

Согласно модели Окамуры среднее затухание в дБ радиолинии

$$L = L_{FS} + A(f,d) - H(h_t) - H(h_r) - C$$
, дБ, (3.7)

Для удобства изложения запишем (3.7) в наших обозначениях:

$$B_{PE3} = A^{II} + B_{\Gamma OP} - B_{EC} - B_{MC} - C$$
, дБ, (3.8)

где B<sub>PE3</sub>= L - затухание в реальных условиях;

 $A^{II}$ , дБ – затухание в свободном пространстве (затухание в ИФПР), расчетное значение которого определяется по формуле (3.6) при заданном значении ДДРУ, м;

 $B_{\Gamma OP} = A(f,d)$  — затухание в городских условиях относительно затухания в свободном пространстве при задаваемых в модели значениях высот установки антенн базовой (  $h_t = 200$  м) и мобильной ( $h_r = 3$  м) станций, дБ;

 $B_{\text{БC}} = H(h_t)$  – усиление за счет отличия (увеличения) высоты антенны базовой станции от  $h_t = 200$  м, дБ (3.9);

 $B_{MC}=H(h_{r})$  — усиление за счет отличия (увеличения) высоты антенны мобильной станции от  $h_{r}=3$  м, дБ (3.10);

С – фактор затухания для различных типов местности, дБ.

Ниже полагаем C=3 дБ, поскольку для городов средних размеров и пригородов с умеренной плотностью деревьев C=0 дБ, для столичных центров (в которых наиболее сильно проявляет себя явление многолучёвости) C=3 дБ.

$$H(h_t) = 20lg(\frac{h_t}{200})$$
 при 100> $h_t$ >10, дБ; (3.9)   
 $H(h_r)$ , дБ =  $10lg(\frac{h_r}{3})$  при 3 $\geq h_r$ ;

$$H(h_r)$$
, дБ =  $20lg(\frac{h_r}{3})$  при  $10 > h_r > 3$ . (3.10)

 $B_{\Gamma OP}$  определяется по графику из методики Окамура в зависимости от частоты сигнала и ДДРУ (рисунок 3.3)

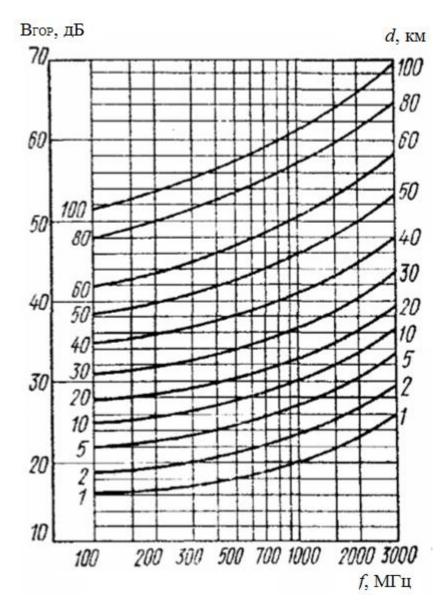


Рисунок 3.3.Зависимость  $B_{\Gamma OP}$  от частоты при значениях ДДРУ, км.

Зависимость  $B_{\Gamma OP}$  от ДДРУ, м при f=2400 МГц аппроксимируем с использованием формулы (3.11)

$$B_{\Gamma OP} = 11,03 \lg(ДДРУ) - 8,87, дБ$$
 . (3.11)

Значения этой зависимости представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2-3ависимость  $B_{\Gamma OP}$  от ДДРУ при f=2400 МГц

ДДРУ, м	10	20	30	50	80	100	300	500	1000	2000	5000
Вгор, дБ	2,15	5,48	7,42	9,87	12,12	13,19	18,45	20,9	24	28	32

Рассмотрим пример использования ФИРК на практике для анализа реального радиоканала с существенным влиянием многолучевости, основанный на модели Окамуры.

Задаем исходные данные для расчета:

ДДРУ =50 м, 
$$h_t = 150$$
 м,  $h_r = 3$  м,  $C=3$  дБ.

Вычисляем:

$$B_{BC} = B_{BC} = H(h_t) = 20 lg(\frac{h_t}{200}) = 20 lg(0,75) = -2.5 дБ,$$
 $B_{MC} = 20 lg(1) = 0 дБ.$ 

По данным таблицы 3.1 выбираем при ДДРУ=20 м значение  $A^{II} \! = \! L_{\text{FS}} \! = \! 77$  дБ.

По данным таблицы 3.2 выбираем при ДДРУ=20 м значение  $B_{\Gamma OP}=5,48$  дБ. По формуле (3.8) определяем

$$B_{PE3} = 77 + 5,48 + 2,5 - 0 - 3 = 82,98$$
, дБ.

Используя таблицу 3.1 при подстановке  $A^{II}$ =  $B_{PE3}$ =82,98 дБ получаем результаты определения с помощью ФИРК оценок качества имитированного им радиоканала, работающего в приведенных выше условиях: Кпр=10%,ОСШ=20 дБ, S %= 76,1%.

Отметим, что при таких значениях оценок качество связи имитированного реального радиоканала относится согласно ГОСТ Р 50840-95 (глава 4) к первому классу качества («понимание передаваемой речи без затруднений») [33].

То есть к достоинствам ФИРК можно отнести и предоставляемую им возможность классифицировать качество имитируемого реального радиоканала.

При использовании ФИРК для прогнозирования и расчета реальных радиоканалов с существенным влиянием многолучевости (свободное пространство, плотная городская застройка, средняя городская застройка и т.д.) можно предложить широкий набор номограмм, позволяющих осуществлять расчет, не проводя натурных испытаний на местности.

Для нас особый интерес представляют реальные радиоканалы диапазона 2,4 ГГц в с сетях сотовой связи стандарта 3G.

Используемые характеристики сети и их значения иллюстрируем примером организации сети в городе Москва:

- максимальная мощность излучения передатчика БС 40Вт;
- максимально допустимая по санитарным нормам мощность излучения 20Вт;
- высота установки антенны базовой станции 27 м (мачта Nokia Siemens Networks Flexi Multiradio [45]).

Переходим к полученным в диссертации номограммам.

Номограмма 1 позволяет для условий плотной городской застройки проводить сопоставление прогнозирумых оценок ДДРУ с прогнозирумыми оценками слоговой разборчивости S,% и класса качества (по ГОСТ Р 50840-95).

В качестве параметра номограммы используем фактор С затухания для различных типов местности С.

Значения характеристик сети стандарта 3G диапазона 2,4 ГГц, при которых номограмма справедлива: излучаемая мощность БС 52,5 дБм; высота установки антенны БС  $h_{t1}$  = 27 м; высота установки антенны МС  $h_{r}$  = 2 м.

Номограмма 1 представлена на рисунке 3.4.

Номограмма 2 позволяет для условий плотной городской застройки проводить сопоставление прогнозирумых оценок ДДРУ с прогнозирумыми оценками слоговой разборчивости S,% и класса качества (по ГОСТ Р 50840-95).

В качестве параметра номограммы используем фактор С затухания для различных типов местности С.

Отличие в значениях характеристик сети стандарта 3G диапазона 2,4 ГГц, при которых номограмма справедлива: излучаемая мощность БС 46 дБм.

Номограмма 2 представлена на рисунке 3.5.

Номограмма 3 позволяет для условий плотной городской застройки проводить сопоставление прогнозирумых оценок ДДРУ с прогнозирумыми оценками слоговой разборчивости S % и класса качества (по ГОСТ Р 50840-95 [33]).

В качестве параметра номограммы используем фактор С затухания для различных типов местности С.

Отличие в значениях характеристик сети стандарта 3G диапазона 2,4 ГГц, при которых номограмма справедлива: излучаемая мощность БС 43 дБм.

Номограмма 3 представлена на рисунке 3.6.

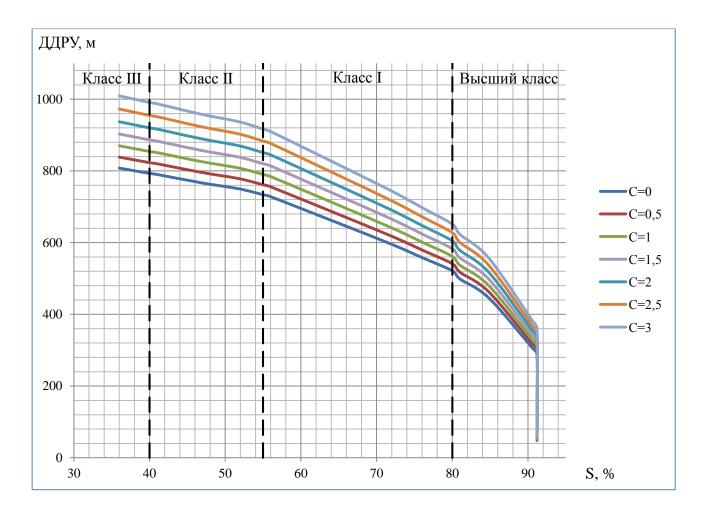


Рисунок 3.4. Номограмма 1

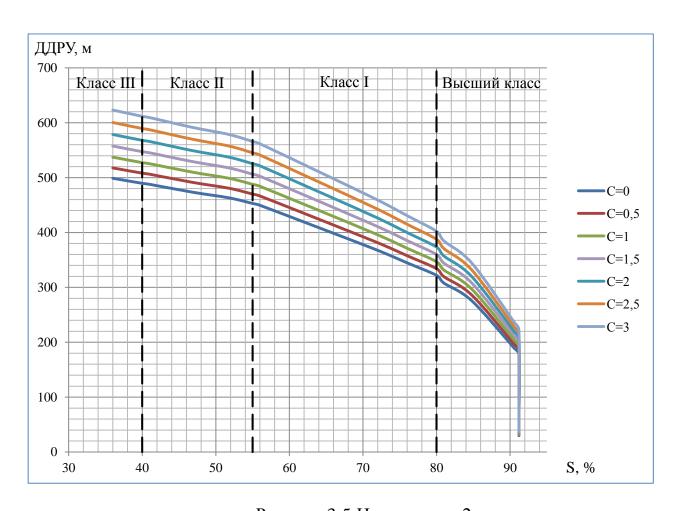


Рисунок 3.5. Номограмма 2

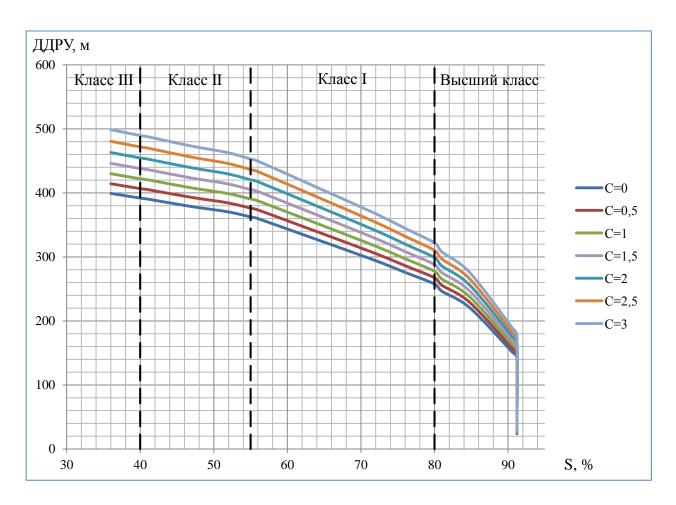


Рисунок 3.6. Номограмма 3

## 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРА ЗОНЫ МЯГКОЙ ЭСТАФЕТНОЙ ПЕРЕДАЧИ В СТАНДАРТЕ СОТОВОЙ СВЯЗИ ТЕХНОЛОГИИ МДКР

### 4.1. Постановка задачи

По нашему определению зона эстафетной передачи это область, в которой существует проблема эстафетной передачи и в которой мобильная станция (МС) пребывает от момента возникновения проблемы хендовера до момента его завершения. Длину пути, который МС совершает за этот временной отрезок, будем называть «размером зоны эстафетной передачи».

Считается, что в общем случае хэндовер должен завершиться в течение одной секунды [46-47]. На наш взгляд, разумнее определять размер зоны эстафетной передачи, который при задании скорости передвижения МС позволит определить и время хэндовера [55].

Используя результаты, приведенные в предыдущих главах, определим размер зоны мягкой эстафетной передачи.

# 4.2. Показатели работы, используемые при определении границ зоны эстафетной передачи

При жестком хэндовере (при МДВР) решение о его выполнении принимает центр мобильной коммутации (MSC) на основании результатов измерений и оценки базовыми станциями (БС) параметров принимаемого от МС сигнала [46].

Часто в системах на основе МДВР каналы управления совмещаются с каналами трафика. Одновременно с обслуживанием соединения приемник МС может непрерывно измерять мощность сигнала, принятого от БС соседних сот. Когда уровень сигнала в канале трафика, принимаемого от своей БС, падает ниже порогового, МС посылает запрос на выполнение хэндовера. Результатом выполнения хэндовера является назначение нового частотного канала для МС.

Моменты возникновения проблемы хендовера и его завершения определяются пороговыми значениями тех или иных показателей функционирования системы [55].

Показатели можно разделить на две группы.

К первой группе относятся показатели отношения сигнал/шум на входе приемника мобильной станции [33;46-47]:

- ОСШвх без учета шумов, за счет многолучевого распространения;
- ОСШ<sub>вх.инт</sub> с учетом этих шумов.

Например, в [43] рассматривается вариант, когда ОСШ $_{\rm BX}$  = -100 дБм.

Поскольку, предложенная выше ИФМР позволяет абстрагироваться от влияния шумов многолучевого распространения, постольку при ее применении предпочтительно использовать показатель  $OCШ_{Bx}$  и его пороговые значения  $OCШ_{Bx}$  нач при возникновении проблемы хендовера и  $OCШ_{Bx}$  при его окончании.

В качестве показателей второй группы можно предложить показатели отношения сигнал/шум на выходе приемника мобильной станции ОСШ и его пороговые значения ОСШ<sup>нач</sup> при возникновении проблемы хендовера и ОСШ<sup>ок</sup> при его окончании [55].

4.3. Определение размера зоны хэндовера с использованием ФИРК и значений отношения сигнал/шум и коэффициента нелинейных искажений на выходе приемника МС

Полученные выше при использовании ФИРК зависимости ДДРУ от отношения сигнал/шум на выходе приемника ОСШ и коэффициента нелинейных искажений Кпр (см. таблицу 3.1) представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Зависимость от ДДРУ отношения сигнал/шум ОСШ и коэффициента нелинейных искажений  $K_{np}$  на выходе ФИРК

ДДРУ, м	Значения Кпр на выходе ФИРК, %	Значения ОСШ на выходе ФИРК, дБ
0,09	1	40
0,3	1	40
0,9	1	40
2,9	1	40
9,1	1	40
14,5	1	40
16,2	1,2	38,4
18,2	1,6	35,9
20,4	2	34
22,9	2,4	32,4
28,2	3	30,5
28,8	3,5	29,12
35,5	5,6	25
38,9	7,9	22
40,7	10	20
42,7	11,9	18,5
45,7	15	16,48
46,2	15,8	16
46,8	16,8	15,5
47,3	17,8	15
49	20	14
50,1	22,4	13
51,3	25	12,04
53,7	26,6	11,5
57,5	30	10,46
64,6	50	6

Используя данные таблицы 4.1 и задавая пороговые значения характеристик, определяющих качество связи на границах зоны эстафетной передачи, можно определить ее размер [55].

Например, при  $K_{np}^{\text{нач}} = 10\%$  и  $K_{np}^{\text{ок}} = 50\%$  размер зоны эстафетной передачи составит 23,9 метра [55], что при скорости движения мобильной станции 60км/ч соответствует времени хэндовера 1,4 секунды, что хорошо корреспондируется с приведенным выше общепринятым значением.

Но пороговые значения могут быть определены и исходя из такого показателя качества, как слоговая разборчивость.

## 4.4. Определение размера зоны хэндовера с использованием ФИРК и значения разборчивости на выходе приемника мобильной станции

С использованием номограммы 3 из главы 3 можно определить для условий плотной городской застройки и излучаемой мощности БС 43 дБм зависимость от ДДРУ класса качества связи (по ГОСТ Р 50840-95) на выходе ФИРК (таблица 4.4).

Таблица 4.4 - Зависимость от ДДРУ класса качества связи на выходе ФИРК при уровне сигнала на входе ИФМР 43 дБм.

ДДРУ, м	Класс качества	Характеристика класса качества
30	Высший	Понимание передаваемой речи без малейшего напряжения внимания
308	Высший	
322	Ι	Понимание передаваемой речи без затруднений
450	I	
453	II	Понимание с напряжением внимания без переспросов и повторений
488	II	
490	III	Понимания передаваемой речи с некоторым напряжением внимания, редкими переспросами и повторениями

Теперь можно определить диапазоны размера зоны эстафетной передачи и ее времени (таблица 4.5), задавая моменты начала и окончания хэндовера, исходя из определения класса качества связи (согласно ГОСТ Р 50840-95) в эти моменты [55].

Используя номограмму, представленную рисунком 3.4, т.е. решая задачу в условиях городской застройки при исходных данных  $h_t = 27 \text{ м}$ ,  $h_r = 1,5 \text{ м}$ , уровень сигнала на входе ИФМР 43 дБм составляем таблицу 4.4. При этом ориентируемся на самую плохую ситуацию, когда по методике Окамура-Хата следует принять C=3.

Таблица 4.5 - Диапазоны размера зоны эстафетной передачи и ее времени исходя из класса качества связи (согласно ГОСТ Р 50840-95) на границах зоны.

Класс качества в начале хэндовера	Класс качества в конце хэндовера	Диапазон размера зоны эстафетной передачи, м	Диапазон времени эстафетной при скорости 60 км/ч передачи, с
1	2	3	4
Высший	I	14 - 142	0.8 - 8.5
	II	145 – 180	8,7 – 10,8
	III	182 –191	10,9 – 11,5
I	II	3 – 35	0,2 - 2
	III	40 – 49	2,4 – 2,9

Зависимости времени эстафетной передачи от размера зоны и скорости передвижения МС при комбинациях классов качества связи в моменты начала и окончания хэндовера представлены графиками [55] рисунков 4.2 - 4.6.

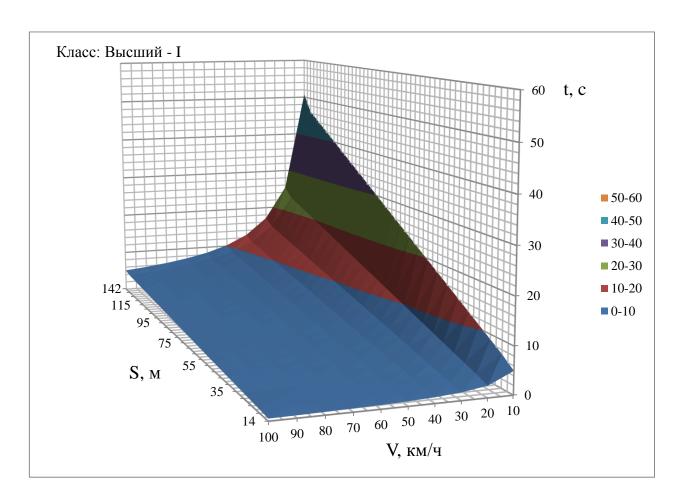


Рисунок 4.2. Зависимость времени эстафетной передачи от размера зоны и скорости передвижения МС при классах качества связи «высший» в момент начала хэндовера и «І-й» в момент его окончания

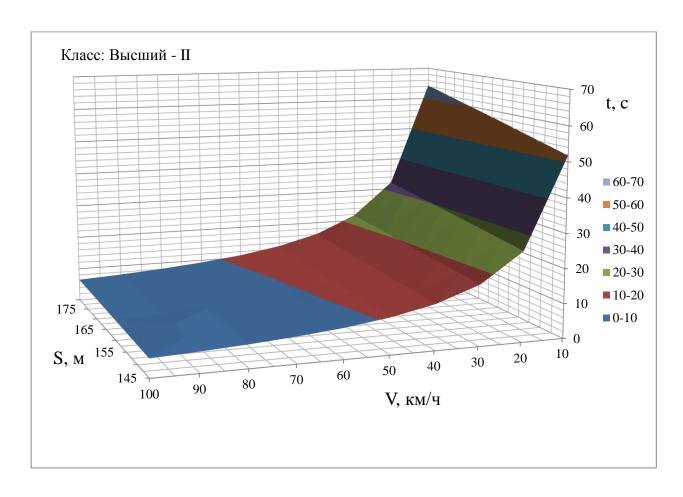


Рисунок 4.3. Зависимость времени эстафетной передачи от размера зоны и скорости передвижения МС при классах качества связи «высший» в момент начала хэндовера и «II -й» в момент его окончания

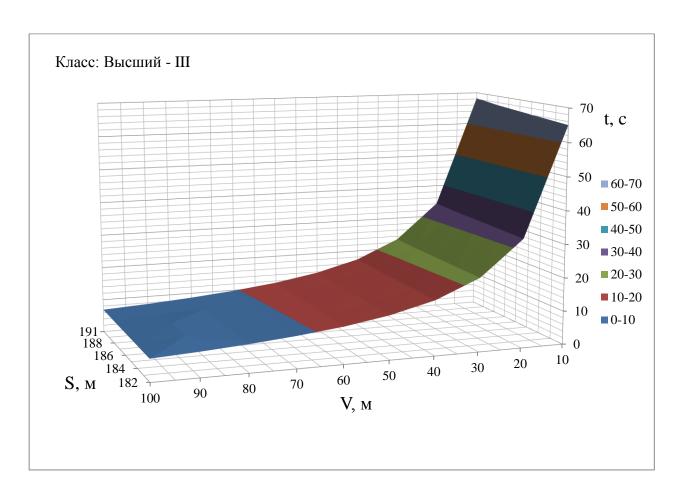


Рисунок 4.4. Зависимость времени эстафетной передачи от размера зоны и скорости передвижения МС при классах качества связи «высший» в момент начала хэндовера и «III –й» в момент его окончания

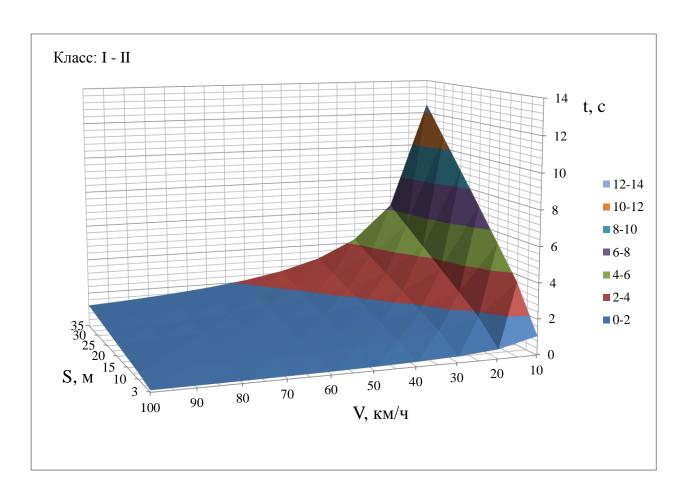


Рисунок 4.5. Зависимость времени эстафетной передачи от размера зоны и скорости передвижения МС при классах качества связи «І-й» в момент начала хэндовера и «ІІ -й» в момент его окончания

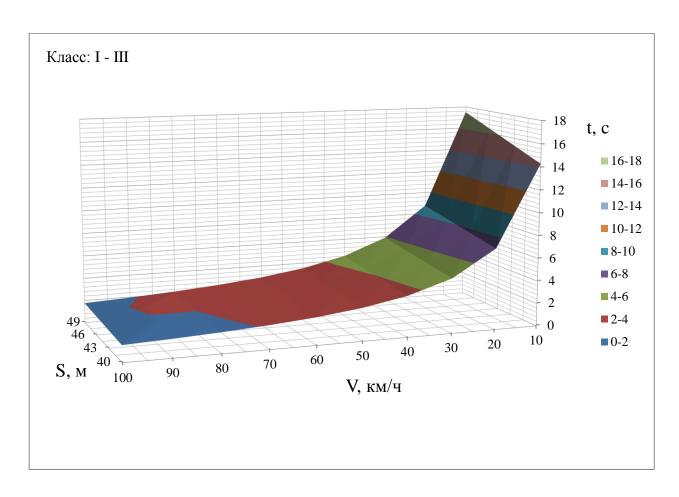


Рисунок 4.6. Зависимость времени эстафетной передачи от размера зоны и скорости передвижения МС при классах качества связи «І-й» в момент начала хэндовера и «ІІІ –й» в момент его окончания

# 5. СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ФИРК, С РЕЗУЛЬТАТАМИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИММИТИРУЕМОГО РЕАЛЬНОГО РАДИОКАНАЛА

### 5.1.Постановка задачи

В результате выполненой выше градуировки ФИРК он способен абсолютно точно отслеживает зависимость от ДДРУ ослабления радиосигнала диапазона 2,4 ГГц в свободном пространстве. При этом важнейшим результатом является то, что ФИРК предоставляет информацию не только о параметрах радиолинии свободного пространства, но и о параметрах качества на канальном уровне для такой радиолинии.

Но это имеет практическое значение лишь для реального радиоканала, функционирующего в свободном пространстве.

Однако в диссертации получены результаты, которые предназначены для прогнозирования и расчета реальных радиоканалов с существенным влиянием многолучевости (плотная городская застройка, средняя городская застройка и т.д.) и предложены номограммы, позволяющих осуществлять прогнозирование и расчет, не проводя натурных испытаний на местности.

Ниже приведены примеры адекватности результатов, полученных для ФИРК и имитируемых им реальных радиоканалов.

5.2. Сравнение результатов, полученных при использовании ФИРК, с техническими требованиями по дальности к приемопередающим устройствам реального радиоканала

При организации радиоканалов (радиоинтерфейсов) стандарта Radio Ethernet 802.11g (Wi-Fi), технологии мобильной связи третьего поколения 3G и т.п., работающих в диапазоне 2,4 ГГц), используют радиокарты разных производителей (YARKONIA BX-501, YARKONIA X400, Wiwat WT 2,4, Wiwat WR 2,4 и.т.п.),

естественно, с одинаковыми техническими требованиями, часть которых представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1- Технические параметры радиокарты

Позиция	Параметр	Значение
Позиция	Парамотр	параметра
1	Чувствительность приемника (СИНАД, С/Ш 12дБ)	–85 дБм
2	Мощность передатчика	0 дБм
3	Частотный диапазон приемника/передатчика	2400 – 2483,5 МГц
4	Коэффициент нелинейных искажений аудиовыхода приемника	1%
5	Дальность связи для открытого пространства	50 м

Проведем сравнение результатов, полученных при использовании ФИРК, с техническими требованиями к приемопередающим устройствам реального радиоканала.

В таблице 5.2 представлен фрагмент (см. таблицу 2.6) зависимости  $K_{np}$ , и ОСШ (СИНАД) на выходе ФИРК от уровня сигнала на выходе ИФМР

Таблица 5.2 – Зависимости  $K_{np}$ , и ОСШ (СИНАД) на выходе ФИРК от уровня сигнала на выходе ИФМР, дБм

Позиция	Уровень сигнала на выходе ИФМР, дБм	Значения К <sub>пр</sub> , %	Значения ОСШ, дБ
1	0	1	40
9	-85	25	12,04

Позиция 9 таблицы 5.2 соответствует регламенту ГОСТ 12252-86 в части измерения чувствительности приемника по методу СИНАД.

В таблице 5.3 представлены результаты сравнения данных таблиц 5.1 и 5.2

Таблица 5.3 – результаты сравнения данных таблиц 5.1 и 5.2

Позиция таблицы 5.1	Позиция таблицы 5.2	Предмет сравнения табличных данных	Комментарий
1	9	Значение чувствительности приемника	Полное совпадение
4	1	Коэффициент нелинейных искажений аудиовыхода приемника	Полное совпадение

Далее следует сравнение оценок по позиции 5 таблицы 5.1

Дальность связи для открытого пространства опреляется производителями радиокарт при условии мощности передатчика 0 дБм и чувствительности приемника (СИНАД, С/Ш 12дБ) –85 дБм.

В таблице 5.4 представлена строка из таблицы 3.1, представляющей результат градуировки ФИРК в области определения ДДРУ.

Таблица 5.4 — Зависимость дальности действия радиоканальных устройств ФИРК и показателей его качества от затухания, вносимого ИФМР

Позиция	Затухание	ДДРУ,	Значения Кпр на выходе ФИРК, %	Значения ОСШ на
таблицы	А <sup>п</sup> , дБ	м		выходе ФИРК, дБ
1	85	51,3	25	12,04

В таблице 5.5 представлены результаты сравнения данных таблицы 5.1 и таблицы 5.4.

Предмет Позиция Позиция сравнения таблицы Комментарий таблицы 5.1 табличных 5.4 данных Дальность Абсолютная погрешность 51,3связи 50=1,3 M5 1 радиокарты для Относительная погрешность открытого 100(1,3/50)=2,6%пространства

Таблица 5.5 – результаты сравнения данных таблиц 5.1 и 5.4

5.3. Сравнение результатов, полученных при использовании ФИРК, с техническими характеристиками сети сотовой связи стандарта 3G города Москва

В главе 3 предложены номограммы для прогнозирования и расчета сетей сотовой связи стандарта 3G при использовании ФИРК для имитации функционирования реального радиоканала диапазона 2,4 ГГц в условиях плотной городской застройки и оценивания ДДРУ на основании оценок качества сигнала на выходе приемника МС по критериям слоговой разборчивости и класса качества (по ГОСТ Р 50840-95 [33]).

При этом частично использовались типовые решения организации такой сети в городе Москва:

- максимальная мощность излучения передатчика БС 40Вт,46 дБм;
- максимально допустимая по санитарным нормам Москвы мощность излучения передатчика БС 20Вт,43 дБм;
- высота установки антенны базовой станции (при используемых в Москве мачтах Nokia Siemens Networks Flexi Multiradio [45]) 27 м.

Размер соты в сети сотовой связи стандарта 3G естественно зависят от множества факторов (места расположения в зоне обслуживания, рельефа местности, параметров оборудования и т.п.).

Из известных данных по сети 3G города Москва размер соты в его центре составляет  $800-1200\ \mathrm{M}.$ 

Для определения адекватности прогнозирования с помощью ФИРК реальных радиоканалов с существенным влиянием многолучевости (свободное пространство, плотная городская застройка, средняя городская застройка и т.д.) воспользуемся номограммами рисунков 3.5 и 3.6 для мощности излучения передатчика БС 46 дБм и максимально допустимой по санитарным нормам Москвы мощности излучения передатчика БС 43 дБм, соответственно.

Задаем наихудшие условия плотной городской застройки (С=3 дБ). Радиус соты определяем как разность значений ДДРУ при значении класса качества на выходе приемника МС «высший» (по ГОСТ Р 50840-95) в центре соты и значении нижней границы класса «П» на границе соты.

По номограммами рисунков 3.5 и 3.6 получаем:

- при мощности излучения БС равной 46 дБм радиус соты составляет 475 м, а ее размер (диаметр) 950 м;
- при максимально допустимой по санитарным нормам Москвы мощности излучения БС равной 43 дБм радиус соты составляет 340 м, а ее размер 680 м.

Полученные результаты хорошо корреспондируются с приведенными выше данными о размере соты в центре Москвы (800 – 1200 м).

5.4. Сравнение результатов определения ДДРУ для реального радиоканала и для ФИРК в сети связи двух компьютеров при радиоинтерфейсе Radio Ethernet 802.11g диапазона 2,4 ГГц

На кафедре, где выполнена данная диссертация, ранее получены результаты измерений степени влияния на качество воспроизведения речи от дальности в сети связи компьютеров при радиоинтерфейсе Radio Ethernet диапазона 2,4 ГГц [27].

Эти результаты приведены во втором столбце таблицы 5.6, третий столбец которой представляет данные таблицы 3.1.

Таблица 5.6 – сопоставление результатов [27] и данных таблицы 3.1.

ДДРУ, м	ОСШ [27], дБ	ОСШ на выходе ФИРК, дБ	Абсолютная разность значений ОСШ, дБ
6	25	25,8	0,8
45	12,5	16,5	4,0
50	12	12,5	0,5
60	11,5	8,5	- 3,0

Сравнение результатов определения ДДРУ для реального радиоканала и для ФИРК в сети связи компьютеров при радиоинтерфейсе Radio Ethernet 802.11g диапазона 2,4 ГГц выполнено с относительной среднеквадратической погрешностью 4,1%.

# 5.5.Сравнение результатов определения ДДРУ для ФИРК и для реального радиоканала из работы [2]

В работе [2], наряду с исследованиями зависимости мощности излучения передатчика от мощности его энергопотребления, приведена зависимость «оптимальной мощности излучения» от дальности L (в наших обозначениях - ДДРУ). График этой зависимости приведен на рисунке 5.1 [22; 26].

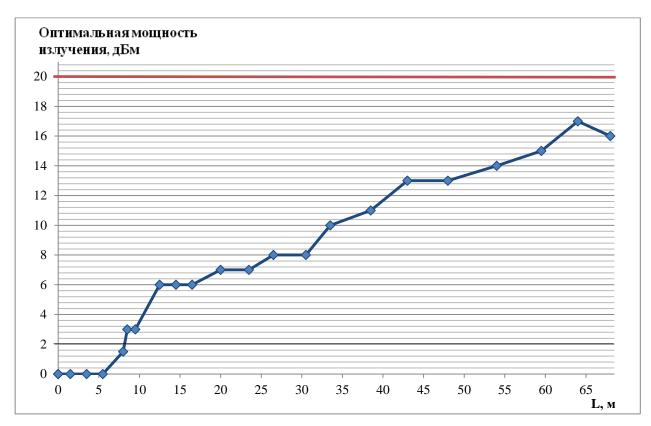


Рисунок 5.1. Зависимость оптимальной мощности излучения от ДДРУ

Значения зависимости рисунка 5.1 приведены во втором столбце таблицы 5.6, третий столбец которой представляет данные таблицы 3.1

Таблица 5.6 – сопоставление результатов рисунка 5.1 и данных таблицы 3.1

ДДРУ, м	Оптимальная мощность излучения[2], дБм	Оптимальная мощность излучения (табл.3.1), дБм	Абсолютная разность мощностей излучения, дБм
5	0	0	0
25	7,5	6	1,5
30	8	7,5	0,5
35	10,4	8,8	1,5
50	13,5	12	1,5
55	14,2	12,8	1,4
60	15,2	13,6	1,6
70	16	14,9	1,1

Относительная среднеквадратическая погрешность мощностей излучени исходя из данных таблицы 5.6 составляет 2,76%.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании исследований, представленных в диссертации, получены следующие результаты.

- 1. Предложена концепция, структурная схема и реализация физического имитатора радиоканала (ФИРК) с ничтожными шумами многолучевости, предоставляющего широкий набор новых функции для имитации реального радиоканала.
- 2. Предоставление с помощью ФИРК возможности (реализованной в диссертации) получения практически важных результатов анализа реального радиоканала диапазона 2,4 ГГц, при констатации целесообразности его применения при решении аналогичных задач во всех диапазонах частот, где существенно проявляется многолучевое распространение.
- 3. Создание при проведении измерений с помощью ФИРК в лабораторных условиях базы данных для имитации различных аспектов функционирования реального радиоканала.
- 4. Выполнение градуировки ФИРК в области определения дальности действия радиоканальных устройств (ДДРУ), позволившее использовать ФИРК при прогнозировании ДДРУ реального радиоканала. Градуировка выполнена на основе данных ГОСТ Р 53363-2009.
- 5. При использовании ФИРК для прогнозирования и расчета реальных радиоканалов, в том числе, с существенным влиянием многолучевости (свободное пространство, плотная городская застройка, средняя городская застройка и т.д.) предложен широкий набор номограмм, позволяющих осуществлять прогнозирование и расчет без проведения натурных испытаний на местности.
- 6. Для различных комбинаций значений параметров сети сотовой связи стандарта 3G в результате имитации с помощью ФИРК реального радиоканала диапазона 2,4 ГГц определены размеры зоны эстафетной передачи.

Например, в условиях плотной городской застройки и определении момента начала хэндовера классом качества связи «высший» в момент начала хэндовера и «II -й» в момент его окончания размер зоны эстафетной передачи изменяется в

пределах от 100 до 175 м, а время хэндовера (при скорости передвижения МС от 10 до 100 км/ч) - в пределах от 50 до 6 с.

7. Выполнено сравнение результатов использования ФИРК с результатами функционирования имитируемых им реальных радиоканалов.

Адекватность применения ФИРК на практике обоснована примерами:

- 7.1. При сравнение результатов, полученных при использовании ФИРК с техническими требованиями к приемопередающему устройству (стандартной радиокарте) реального радиоканала установлено полное совпадение по параметрам радиокарты: чувствительность (СИНАД), КНИ на аудиовыходе. По параметру: дальность связи радиокарты для открытого пространства относительная погрешность составила 2,6%.
- 7.2. При сравнение результатов, полученных при использовании ФИРК, с техническими характеристиками сети сотовой связи 3G города Москва использованы типовые решения ее организации и учтены наихудшие для распространения условия плотной городской застройки.

При этом установлено:

- при мощности излучения БС 46 дБм прогноз размера соты составляет 950 м;
- при максимально допустимой по санитарным нормам Москвы мощности излучения БС 43 дБм прогноз размера соты составляет 680 м.

Полученные результаты хорошо корреспондируются с известными данными о размере соты в центре Москвы (800 – 1200 м).

- 7.3. Сравнение результатов определения ДДРУ в сети связи компьютеров при радиоинтерфейсе Radio Ethernet 802.11g диапазона 2,4 ГГц для реального радиоканала (при натурных измерениях его характеристик) и при его имитации с помощью ФИРК привело к значению 4,1% относительной среднеквадратической погрешности оценок.
- 7.4. Сравнение результатов определения ДДРУ для ФИРК и для реального радиоканала (при натурных измерениях его характеристик при определении зависимости мощности излучения передатчика от мощности его

энергопотребления) привело к значению 2,76 % относительной среднеквадратической погрешности оценок.

### СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ФИРК – физический имитатор радиоканала

ИФМР – имитационная физическая модель ралиолинии

БС – базовая станция;

ВЧ – высокая частота;

ДМВ – дециметровые волны (300МГц-3ГГц);

КНИ – коэффициент нелинейных искажений;

MB – метровые волны (30-300МГц);

мдкр система многостанционного доступа с кодовым разделением –

канала;

МС – мобильная станция;

МУ – мобильное устройство;

ОСШ – отношение сигнал/шум

РЧ – радиочастота;

СПМ – спектральная плотность мощности;

ССС – сети сотовой связи;

(от англ. first generation) - технология мобильной связи 1 —

поколения;

от англ. second generation) - технологии мобильной связи 2 –

поколения;

от англ. third generation) - технологии мобильной связи 3 –

поколения;

4G – (от англ. fourth generation) - технология мобильной связи 4

поколения;

**BBM** (от англ break – before – make) – жесткая эстафетная передача (от англ. carrier-to-interference) - отношения уровня несущей к C/I уровню помехи; CDMA(от англ.code division multipleaccess) – система CDMA многостанционного доступа с кодовым разделением канала; (от англ. Digital Enhanced Cordless Telecommunication) — **DECT** технология беспроводной связи на частотах 1880—1900 МГц; (от англ. Enhanced Data rates for GSM Evolution) — цифровая **EDGE** технология беспроводной передачи данных для мобильной связи; (от англ. General Packet Radio Service) - пакетная радиосвязь **GPRS** общего пользования; (от англ. global system for mobile communications) - глобальный **GSM** цифровой стандарт для мобильной сотовой связи; (от англ. Long-Term Evolution) - стандарт мобильных сетей 4 **LTE** поколения; **MBB** (от англ make-before-break) – мягкая эстафетная передача (от англ. received-signal strength indication) - уровня полезного **RSSI** радиосигнала; (от англ. Stream Control Transmission Protocol)— протокол **SCTP** передачи с управлением потоком; (от англ. Software-defined radio) — радиопередатчик и/или радиоприемник, технология которого позволяет с помощью SDR программного обеспечения устанавливать или изменять рабочие радиочастотные параметры; (от англ. Session Initiation Protocol) — протокол установления SIP сеанса; (от англ. Short Message Service) – сервис коротких сообщений; **SMS** (от англ. Self-Organizing Network) - самоорганизующаяся сеть; SON

(от англ. Time Division - Code Division Multiple Access) -TD-CDMA стандарт мобильных сетей 3 поколения, используется в Китае оператором China Mobile; (от англ.time division multiple access) – система **TDMA** многостанционного доступа с временным разделением канала; (от англ. Time Division - Synchronous Code Division Multiple TD-Access) - стандарт мобильных сетей 3 поколения, используется в **SCDMA** Китае; (от англ. Universal Mobile Telecommunications System) — **UMTS** Универсальная Мобильная Телекоммуникационная Система; (от англ. Universal Wireless Communications-136) -UWC-136 Универсальные мобильные коммуникации; (от англ. Voice over Internet Protocol) - технология, которая VoIP обеспечивает передачу голоса в сетях с пакетной коммутацией по протоколу IP; (от англ. Wideband Code Division Multiple Access) -**WCDMA** широкополосный доступ с кодовым разделением каналов;

(от англ. Wireless Fidelity) - беспроводных сетей на базе Wi-Fi стандарта ІЕЕЕ 802.11;

XMT (от англ. transmitter power) - мощность передатчика;

# СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

- 1. Эстафетная передача (хэндовер) процесс передачи обслуживания активного соединения абонента от одной базовой станции к другой по мере его перемещения из соты в соту.
- 2. Мягкий хендовер (англ. make-before-break) хэндовер, который осуществляется без разрыва соединения за счёт смены кода базовой станции.
- 3. Жесткий хэндовер (англ. break before make) хэндовер, при котором мобильная станция завершает процесс доступа к услугам сети в зоне действия обслуживающей базовой станции, переключаясь в зону действия следующей базовой станции, при этом одновременный доступ к услугам сети от двух базовых станций невозможен, что может привести к прерыванию соединения.
- 4. Мягчайший хэндовер (вертикальный) мягкий хэндовер который реализуется в пределах одной соты, имеющей несколько секторов, что обеспечивает повышение качества соединения за счет смены несущей частоты.
- 5. Межсотовый хэндовер хэндовер на границе соты, когда отношение сигнал/шум сигнала мобильной станции падает до минимально допустимого значения.
- 6. Внутрисотовый хэндовер хэндовер при низком отношении сигнал/интерференция в канале.
- 7. Хэндовер «спасения» хэндовер, наступающий при уменьшении напряженности поля, наличии ошибок в радиоканале и интерференции, которые могут быть вызваны удалением от передатчика, наличием помех, многолучевым распространением радиосигнала.

- 8. Хэндовер «бюджета» мощности хэндовер, переводит вызов в ту соту, где качество соединения остается приемлемым, а излучаемые мобильной и базовой станциями мощности минимальны.
- 9. Хэндовер перераспределения нагрузки хэндовер, который переводит часть вызовов сильно загруженной соты в менее нагруженные соседние соты.
- 10. Гипотетическая зона эстафетной передачи зона, в которой существует проблема эстафетной передачи.
- 11. Размер зоны эстафетной передачи длина пути, который мобильная станция совершает за время совершения хэндовера.
- 12. Многолучевое распространение сигнала эффект, при котором в точке приёма присутствует не только прямой сигнал, но и отражённые сигналы
- 13. Замирания изменения амплитуды и фазы сигнала из-за перемещения передатчика или приёмника или распространения сигнала через неоднородную среду.
- 14. Межсимвольная интерференция наложение предыдущих канальных символов на последующие.
- 15. Идеализированная радиолиния физическая модель радиолинии, исключающая влияние многолучёвости и другие помехи, присущие натурным испытаниям.
- 16. Метод «СИНАД» метод определения отношения сигнал/шум, при котором кроме шумов аппаратуры учитываются ещё и нелинейные искажения.
- 17. Дальность уверенной радиосвязи расстояние, обеспечивающее постоянную устойчивую радиосвязь
- 18. Мультихоуминг одновременное подключение к нескольким сетям.
- 19. Слоговая разборчивость разборчивость независимых искусственных слогов.

20. Метод наименьших квадратов – математический метод, основанный на минимизации суммы квадратов отклонений некоторых функций от искомых переменных.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Горелов Г.В., Вин Хан, Житнов А.А.Мощность речевого сопровождения.
   Проверка расстоянием. / Мир транспорта. 2010. Т. 31. № 3. С.46-49.
- 2. Sheth A., Han R. An Implementation of Transmit Power Control in 802.11b Wireless Networks. Department of Computer Science University of Colorado, Boulder, CU-CS-934-02. 2002 pp. 1-21.
- 3. Карташевский В.Г., Семенов С.Н., Фирстова Т.В. Сети подвижной связи.-М.:Эко-Трендз,2001,300с.
- 4. Веселовский К. Системы подвижной радиосвязи / Пер. с польск. И.Д.Рудинского; под ред. А.И.Ледовского.—М.: Горячая линия — Телеком, 2006. – 536с.
- 5. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Михайлов П.А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование./ СПбГУТ. СПб, 2000. 196с.
- 6. Громаков Ю.А.Стандарты и системы подвижной радиосвязи. М.:Эко-Трендз,2007,238с.
- Горелов Г.В., Ромашкова О.Н., Житнов А.А. Искажения энергетического спектра речевого сообщения при использовании технологии VOICE OVER WI FI // Телекоммуникации. 2011. № 1. С. 10-12.
- 8. Горелов Г.В., Житнов А.А., Вин Хан. Пакетная передача речи с использованием динамической беспроводной сети AD-HOC NETWORK стандарта 802.11. // Проектирование и технология электронных средств. 2011.- № 3.- С. 24-25.
- 9. Маковеева М., Шинаков А. Системы связи с подвижными объектами. Радио и связь, 2002.
- 10. Стандарты сотовой связи первого поколения 1G// http://www.mobi-city.ru/articlereview/standarty\_svyazi\_1g ,2013
- 11. Стандарты сотовой связи второго поколения 2G (GSM)// http://www.mobi-city.ru/articlereview/standarty\_svyazi\_2g ,2013
- 12. Сеть второго поколения // http://www.nokia-gsm.ru/seti-vtorogo-

- pokolenija.html
- 13. Яковлев И.В. Общие характеристики стандарта GSM // http://www.uran1980.com/gsm/content/GSM01\_Chapter1\_1.html , Калининград, 2007.
- 14. Волков А.Н., Аксенов С.М. Оптимизация UTRA алгоритма мягкого хэндовера//Электросвязь, №10 2007
- 15. ETSI 3GPP TR 25.922 version 7.1.0 Release 7.
- 16. ETSI 3GPP TR 25.331 version 7.4.0 Release 7.
- 17. Средства связи с подвижными объектами: Основные характеристики систем связи с подвижными объектами.// http://systemseti.com
- 18. Горелов Г.В., Казанский Н.А., Лукова О.Н. Оценка качества различных методов восстановления речи в цифровых сетях с коммутацией пакетов речи и данных. // Автоматика и вычислительная техника. 1993. N4 С.11-
- 19. Современные телекоммуникационные технологии. Моделирование // Под ред. Г.В. Горелова. М.: МИИТ, 2009.
- 20. Телекоммуникационные технологии на железнодорожном транспорте // Под ред. Горелова Г.В. М.: Желдориздат, 1999. 576 с.
- 21. Цифровые телекоммуникационные сети // Под. ред. Горелова Г.В. Харьков. 2000. 216с.
- 22. Горелов Г.В., Маркачёв С.А., Попов И.Л., Самойлов В.Е. Измерение параметров радиолинии диапазона 2,4 ГГц при исключении влияния многолучевого распространения // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1; URL: http://www.science-education.ru/121-18358.
- 23. Горелов Г.В., Ромашкова О.Н. Оценка качества обслуживания в сетях с пакетной передачей речи и данных. Вестник РУДН, серия Прикладная и компьютерная математика. Т .2 № 1.- 2003. С. 23-31.
- 24. Горелов Г.В., Попов И.Л., Самойлов В.Е.«Зона эстафетной передачи в сети стандарта сотовой связи третьего поколения технологии МДКР» //

- Конференция «День радио», секция «Телекоммуникации на железнодорожном транспорте» (Санкт-Петербург) 2015. №1.
- 25. Горелов Г.В., Маркачёв С.А., Попов И.Л., «Измерения параметров радиолинии дециметрового диапазона» // Конференция «День радио», секция «Телекоммуникации на железнодорожном транспорте» (Санкт-Петербург)-2015.-№1.
- 26. Горелов Г.В., Маркачёв С.А., Попов И.Л., Самойлов В.Е. К определению зоны эстафетной передачи в сетях сотовой связи технологии многостанционного доступа с кодовым разделением // Проектирование и технология электронных средств, ISSN 20719809, 2015 №1.
- 27. Житнов А. А. Влияние дальности радиосвязи на качество пакетной передачи речи при использовании на канальном уровне технологии стандарта IEEE. 802.11. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Научный руководитель Горелов Г. В. М.— 2011
- 28. ГОСТ 12252-86 (СТ СЭВ 4280-83) Радиостанции с угловой модуляцией сухопутной подвижной службы. Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 38с.
- 29. Gorelov Georgy V., Romashkova Oksana N. Influence of Russian, Spanish and Vietnamese speech characteristics on digital information transmission quality. Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, ISIE'96. Part 1 (of 2). sponsors: IEEE, Warsaw University of Technology. Warsaw, Poland, 1996.- C. 311-313.
- 30. Горелов Г.В., Бахтиярова Е.А., Карпов А.В. . Вероятностные характеристики речевого трафика. // Мир транспорта. 2007. Т. 17. № 1- С. 22-25.
- 31. Горелов Г.В., Ромашкова О.Н., Горелов Г.В., Житнов А.А., Вин Хан. Спектральная плотность мощности и корреляционная функция сообщения устной мьянманской речи. // Проектирование и технология электронных средств. 2010.- № 3. С. 49-51.

- 32. Горелов Г.В., Житнов А.А., Вин Хан. Сопоставление оценок энергетического спектра устной русской и мьянманской речи. // Телекоммуникации. 2010. № 8. С. 8-11.
- 33. ГОСТ Р 50840-95 Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости, 1995
- 34. Самойлов А.Г., Самойлов С,А., Ву Ван Шон. Определение зоны жилой застройки около излучающих радиосистем // Журнал «Биомедицинская радиоэлектроника». Москва, 2008, № 6. С.48-51.
- 35. Самойлов А.Г., Ву Ван Шон, Ратников И.Е., Оценка уровней электромагнитного облучения // 8-я Международная НТК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии». Владимир: Владимирский государственный университет, Кн. 2, 2008. С. 297-299.
- 36. Самойлов А.Г., Ву Ван Шон. Модель распространения сигналов сотовой связи // 7-я Международная НТК «Перспективные технологии в средствах передачи информации». Владимир. 2007. С. 26-27.
- 37. Ву Ван Шон. Разработка имитатора радиоканалов мобильной связи автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Владимир 2009
- 38. Wi-Fi усилитель мощности Horizont 2401 http:// cybersenao.ru/catalog.php?tovar\_id=84
- 39. Методика определения дальности на каналах авиационной воздушной связи диапазона ОВЧ // http://kazakhstan.news-city.info/docs/sistemsq/dok\_ieqerb/page7.htm

//

- 40. Дальностьрадиосвязи http://www.radiovnimanie.ru/UKV\_svyaz/ukv\_svyaz.htm
- 41. Дальность радиоканала // http://www.secuteck.ru/articles2/firesec/radiokanalnye-sistemy-signalizacii
- 42. ГОСТ Р 53363-2009 ЦИФРОВЫЕ РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ ЛИНИИ Показатели качества. Методы расчета. Дата введения 2010
- 43. Елькин М.С. Расчет дальности радиосвязи в здании // Системы

- безопасности. 2010 № 3, URL: http://specautomatik.ru/index.php/article/295-radio-range-building
- 44. Абилов А.В. Распространение радиоволн в сетях подвижной связи // Ижевск 2001
- 45. LTE: "Матчасть". Базовые станции Nokia Siemens Networks Flexi Multiradio для сетей LTE // http://www.mforum.ru/news/article/094262.htm
- 46. Cho J. Jo. A cross-layer vertical handover between mobile WiMAX and 3G networks. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dx.doi.org/10.1109/IWCMC.2008.111.
- 47. Средства связи с подвижными объектами: Основные характеристики систем связи с подвижными объектами. Эстафетная передача (хендовер)// http://systemseti.com/CCPO/64.html
- 48. Горелов Г.В. Качество воспроизведения речи в стохастических цифровых системах передачи.//Автоматика и вычислительная техника.1993.-N5. с.40-43.
- 49. Горелов Г. В., Ромашкова О.Н., Чан Туань Ань. Качество управления речевым трафиком в телекоммуникационных сетях/ Под редакцией Г.В.Горелова). М.: Радио и связь, 2001. 215с.
- 50. Волкова Ю.А. История возникновения современное состояние и перспективы развития сотовых сетей связи. Национальный технический университет Украины «КПИ» Радиотехнический факультет, 2010.
- 51. Горелов Г.В., Чуриков В.Н., Ваванов К.Ю. Имитационные оценки качества речепреобразования низкоскоростного кодека // Проектирование и технология электронных средств. 2009. № 3. С.62-64
- 52. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio //IEEE Trans, on Vehical Technology. V.29, August 1980.
- 53. Горелов Г.В., Ромашкова О.Н., Горелов Г.В., Житнов А.А., Вин Хан. Спектральная плотность мощности и корреляционная функция сообщения устной мьянманской речи. // Проектирование и технология

- электронных средств. 2010.- № 3. С. 49-51.
- 54. Скородумов А.И. Взаимодополняющее развитие сетей беспроводного широкополосного доступа, сотовой и фиксированной связи закономерный этап в развитии российских инфокоммуникаций //Конференция Wireless broadband 2007. М.: Informedia, 2007.
- 55. Самойлов В.Е. К определению дальности в системах радиосвязи диапазона 2,4 ГГц // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2; URL: http://www.science-education.ru/131-23368)
- 56. Гришаева А.Д. Исследование процедуры вертикального хэндовера в гетерогенных беспроводных сетях / А.Д. Гришаева, В.Я. Воропаева // Наукові праці Донецкого национального техничного университета. Серия: Обчислювальна техника та автоматизация. 2013. Вип. 24 (202). С. 139-147.
- 57. Liao W.K. Supporting vertical handover between universal mobile telecommunications system and wireless LAN for real-time services / W.K. Liao, Y.C. Chen // IEEE Institution of Engineering and Technology Communications. 2008. vol. 2 (1). pp. 75–81.
- 58. Горелов Г.В., Пчелинцев А.В. Анализ кодеков G.711 с использованием распределения Парето длительности интервалов в потоке отсчетов. // Телекоммуникации. 2003г. N 5 C.7
- 59. Горелов Г.В., Чуриков В.Н., Ваванов К.Ю. Радиосети передачи данных в тоннелях с использованием излучающих кабелей // Проектирование и технология электронных средств. 2009. №4 С.52-56.
- 60. Берлин А.Н. Цифровые сотовые системы связи. М.: Эко-Трендз, 2007.
- 61. К. Весоловский Системы подвижной радиосвязи. М.: Горячая линия Телеком, 2006.
- 62. Ипатов В.П., Орлов В.И., Самойлов И.М., Смирнов В.Н.;под. ред. Ипатова В.П. Системы мобильной связи: Учебное пособие для вузов. М.: Горячая линия-телеком, 2003.
- 63. Методика определения дальности на каналах авиационной воздушной

- связи диапазона OBЧ.http://kazakhstan.news-city.info/docs/sistemsq/dok\_ieqerb/page7.htm
- 64. Дальностьрадиосвязи.http://www.radiovnimanie.ru/UKV\_svyaz/ukv\_svyaz. htm
- 65. Дальность радиоканала http://www.secuteck.ru/articles2/firesec/radiokanalnye-sistemy-signalizacii
- 66. Конспект лекций Симферопольского техникума радиоэлектроники. Дисциплина: Системы связи с подвижными объектами «Деление обслуживаемое территории на соты» // http://studopedia.ru/1\_105070\_povtornoe-ispolzovanie-chastot.html
- 67. Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А. Сети и системы радиодоступа. Эко-Трендз, 2005.
- 68. Российская информационная сеть Словари // http://dictionaries.rin.ru/cgi-bin/detail.pl?sel=sotov&word=CDMA
- 69. Nguyen-Vuong Q. A user-centric and context-aware solution to interface management and access network selection in heterogeneous wireless environments / Q. Nguyen-Vuong, N. Agoulmine and Y. Ghamri-Doudane // Comput.Netw. 2008. vol. 52. pp. 3358-3372.
- 70. Хэндовер. СБИ-Телеком // http://www.sbi-telecom.ru/hendover.html
- 71. 3GPP, «Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRAN); Overall description; Stage 2,»
  - 3rd Generation Partnership Project (3GPP), TS 36.300, Sep. 2008. [Online]. Available: http://www.3gpp.org/ftp/Specs/ html-info/36300.htm
- 72. INFSO-ICT-216284 SOCRATES D5.9 «Final Report on Self-Organisation and its Implications in Wireless Access Networks»
- 73. 3GPP TR 25.996 V10.0.0 «3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations (Release 10)»
- 74. Горелов Г.В., Венедиктов М.Д., Шалимов И.А. Компьютерная

- телефония в вопросах и ответах.- М.: МИИТ, 2009.
- 75. Горелов Г.В., Пчелинцев А.В. Анализ кодеков G.711 с использованием распределения Парето длительности интервалов в потоке отсчетов.//Телекоммуникации.-2003г. №5 С. 7.
- 76. Горелов Г.В., Чуриков В.Н., Ваванов К.Ю. Имитационные оценки качества речепреобразования низкоскоростного кодека // Проектирование и технология электронных средств. 2009. -№3. С. 62-64.
- 77. Горелов Г.В., Чуриков В.Н., Ваванов К.Ю. Радиосети передачи данных в тоннелях с использованием излучающих кабелей / Проектирование и технология электронных средств. 2009. №4 С. 52-56.
- 78. Горелов Г.В., Ромашкова О.Н., Казанский Н.А. Многофункциональная единая цифровая сеть связи (МЦСС) для городской транспортной системы / Наука и техника транспорта. 2003. № 4 С. 18-29.
- 79. Горелов Г. В., Ромашкова О.Н., Чан Туань Ань. Качество управления речевым трафиком в телекоммуникационных сетях/ Под редакцией Г.В.Горелова). М.: Радио и связь, 2001. 215с.
- 80. Горелов Г.В., Бахтиярова Е.А. Вероятностные характеристики сообщения устной казахской речи // Телекоммуникации. 2007. №9. С.8-10.
- 81. Marquez-Barja J. An overview of vertical handover techniques: Algorithms, protocols and tools / J. Marquez-Barja, C. T. Calafate, J.-C. Cano, P.Manzoni // Computer Communications. 2011. vol. 34. pp. 985–997.
- 82. Zekri M. A review on mobility management and vertical handover solutions over heterogeneous wireless networks / M. Zekri, B. Jouaber, D. Zeghlache // Computer Communications. 2012. vol. 35. pp. 2055–2068.
- 83. Hata M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio //IEEE Trans, on Vehical Technology. V.29, August 1980.
- 84. Alkhawlani M. M., Alsalem K. A., Hussein A. A. Multi-criteria vertical handover by TOPSIS and fuzzy logic // Communications and Information Technology (ICCIT), 2011 International Conference. 2011. pp. 96-102.

- 85. Волков А.Н., Аксенов С.М., Зорин Е.С. Оптимизация UTRA алгоритма мягкого хэндовера, ч.1 //Электросвязь. 2007. №10. С.21-23.
- 86. Gustafsson E. Always best connected / E. Gustafsson, A. Jonsson // IEEE WirelessCommun. Lett. 2003. vol. 10. pp. 49–55.
- 87. SEMAFOUR: Self-managemement for unified heterogeneous radio access Networks. [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: http://www.tno.nl/content.cfm?context=kennis&content=expertise\_euproject&laag1=1&laag2=62&item\_id=1882&Taal=2.
- 88. Sousa V. A. et al. Performance of Access Selection Strategies in Cooperative Wireless Networks using Genetic Algorithms / V. A. de Sousa, R. A. de O. Neto et al // WWRF'05. Paris, France. 2005.
- Nguyen-Vuong Q. A user-centric and context-aware solution to interface management and access network selection in heterogeneous wireless environments / Q. Nguyen-Vuong, N. Agoulmine and Y. Ghamri-Doudane // Comput.Netw. 2008. vol. 52. pp. 3358-3372.
- 90 Wright D.J. Maintaining QoS during handover among multiple wireless access technologies. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dx.doi.org/10.1109/ICMB.2007.40.
- 91 Marquez-Barja J. An overview of vertical handover techniques: Algorithms, protocols and tools / J. Marquez-Barja, C. T. Calafate, J.-C. Cano, P.Manzoni // Computer Communications. 2011. vol. 34. pp. 985–997.
- 2 Zahran A. H. Signal threshold adaptation for vertical handoff in heterogeneous wireless networks / A. H. Zahran, B. Liang and A. Saleh // Mob.Netw.Appl. 2006. vol. 11. pp. 625-640.
- 93 IEEE standard for local and metropolitan area networks part 21: Media independent handover. [Електронний ресурс]. Режим доступа: http://www.ieee802.org/21.
- 94 Taniuchi K., Ohba Y. et al. IEEE 802.21: Media independent handover: Features, applicability, and realization // Communications Magazine, IEEE, vol. 47. 2009 pp. 112-120.

- Stevens-Navarro E., Lin Y., Wong V.W.S. An MDP-based vertical handoff decision algorithm for heterogeneous wireless networks // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2008. vol. 57 [Електронний ресурс]. Режим доступа: http://dx.doi.org/10.1109/TVT.2007.907072.
- Horrich S., Ben, Godlewski P. Neural networks for adaptive vertical handover decision, in: 5th IEEE International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks, 2007, pp. 1–7. Режим доступа: http://dx.doi.org/10.1109/WIOPT.2007.4480068.
- 97 Trestian R., Ormond O., Muntean G.-M. Game Theory Based Network Selection: Solutions and Challenges // IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS 2012.
- 98 Kassar M. et al. An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks / M. Kassar, B. Kervella, G. Pujolle // Elsevier Computer Communications 2008. vol. 31. pp. 2607–2620.
- 99 Stevens-Navarro E., Wong V.W.S. Comparison between vertical handoff decision algorithms for heterogeneous wireless networks / 63rd IEEE Vehicular Technology Conference. 2006. vol. 2. pp. 947–951. Режим доступа: http://dx.doi.org/10.1109/VETECS.2006.1682964.
- 100. Rezaei S.S.C., Khalaj B.H. Grey Prediction Based Handoff Algorithm // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2007. – vol.2 – pp.554-557.
- 101 Saaty T.L., Vargas L.G. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. Boston: Kluwer Academic Publishers. 2001.
- 102 Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику / С.Д.Штовба // Винница: Издательство Винницкого государственного технического университета, 2001. 198 с.
- Alkhawlani M. M., Alsalem K. A., Hussein A. A. Multi-criteria vertical handover by TOPSIS and fuzzy logic // Communications and Information Technology (ICCIT), 2011 International Conference. 2011. pp. 96-102.

- 104 Горелов Г.В., Самойлов В.Е., Попов И.Л. Качество пакетной передачи речи в ДМВ диапазоне // 11-я международная научная конференция «Перспективные технологии в средствах передачи информации» (ПТСПИ) 2015. (в печати)
- 105 Горелов Г.В., Самойлов В.Е., Попов И.Л. Объективные и субъективные оценки разборчивости при оценке качества радиолинии ДМВ диапазона // 11-я международная научная конференция «Перспективные технологии в средствах передачи информации» (ПТСПИ) 2015. (в печати)
- Попов И.Л. Энергетический потенциал и дальность связи в радиолинии с ничтожными шумами многолучёвости // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2; URL: http://www.science-education.ru/129-23269)
- 107 Попов И.Л. Пакетная передача речи в сетях подвижной связи / Горелов Г.В., Клепцов Г.В. // Мир Транспорта, Издательство: Московский государственный университет путей сообщения (Москва) ISSN: 1992-3252. 2014. №3 (52). с. 50-55.

# ПРИЛОЖЕНИЕ

Акты о внедрении и использовании результатов диссертации



# ООО "АКСИОН-РТИ"

Радио, Телевидение, Информатика

# Научно-производственное предприятие

Николоямский пер., д. 3а, стр. 2 Москва, Россия, 109004 Тел/факс (495) 2251300 Тел (985)9289011

mail@axion-rti.ru

Утверждаю Директор HHIII «Аксион-рти»

> сти. с.н.с. Сычев Б.В. М. НО 27/Н 1=2015 г.

#### AKT

# о внедрении результатов диссертационной работы

#### Попова Ивана Леонидовича

### на тему:

«Определение зоны мягкой эстафетной передачи в стандарте сотовой связи технологии МДКР»

Комиссия в составе Зам. Директора к.т.н. Правдиной Е.Н., Главного инженера Яблоковой Л.А., Главного специалиста Аблина Н.Б. подтверждает, что научные результаты, полученные в диссертационной работе Попова И.Л., а содержание и результаты градуировки физического имитатора радиоканала в области определения дальности действия радиоканальных качестве основы градуировки кривые устройств, использующей В согласно ГОСТ Р 53363-2009, а в качестве результата распространения градуировки - оценку класса качества на выходе канала в соответствии с ГОСТ Р 53363-2009, использованы в анализе радиосистем диапазона дециметровых волн.

#### Члены комиссии:

Will

(Правдина Е.Н.)

2 /

( Яблокова Л.А.)

(Аблин Н.Б.)

**УТВЕРЖДАЮ** 

проректор - проректор - проректор по учебной работе Московского государственного университета путей сообщения д.т.н., проф. Виноградов В.В.

AKT

об использовании результатов кандидатской диссертации Попова И.Л. на тему «Определение зоны мягкой эстафетной передачи в стандарте сотовой связи технологии МДКР» в учебном процессе на кафедре «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Московского государственного университета путей сообщения

Настоящим актом комиссия в составе: профессор Волков А.А., старший преподаватель Богачев А.П., доцент Казанский Н.А. подтверждает, что результаты исследования радиолинии ДМВ диапазона и методика определения размера зоны эстафетной передачи в стандарте сотовой связи технологии МДКР, изложенные в диссертации Попова Ивана Леонидовича., использованы в курсах лекций, курсовом проектировании и лабораторных работах по дисциплинам «Радиосвязь на железнодорожном транспорте» и «Системы связи с подвижными объектами на железнодорожном транспорте».

Члены комиссии:

Профессор, д.т.н.

Старший преподаватель

Доцент, к.т.н.

А.А.Волков

А.П.Богачев

Н.А.Казанский



Министерство образования и науки Российской Федерации Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

# «Государственный институт русского языка им. А.С. Пушкина» (ФГБОУ ВО «Гос. ИРЯ им. А.С. Пушкина»)

Академика Волгина ул., д. 6. Москва, 117485.Тел. (495) 335-08-00. (495) 330-88-01. Факс (495) 330-85-65. e-mail: inbox@pushkin.edu.ru http://www.pushkin.edu.ru

$N_{\Omega}$	

#### AKT

#### об использовании

результатов диссертации Попова И.Л.

на тему «Определение зоны мягкой эстафетной передачи в стандарте сотовой связи технологии МДКР»

при организации ЛВС и учебного процесса в ФГБОУ ВО «Государственный институт русского языка им. А.С. Пушкина»

Настоящим актом комиссия в составе: начальник Управления информационных систем и технологий в образовании Павличева Е.Н., заместитель начальника Управления информационных систем и технологий в образовании, начальник отдела Управления информационных систем и технологий в образовании Урюпии А.В., подтверждает, что в локальной вычислительной сети ФБГОУ ВО «Гос. ИРЯ им. А.С. Пушкина» используются следующие результаты диссертационного исследования Попова Ивана Леонидовича на тему «Определение зоны мягкой эстафетной передачи в стандарте сотовой связи технологии МДКР»:

Сопоставление измеренного значения отношения сигнал/шум на выходе АРМ с классом качества речи по ГОСТ Р 50840-95, используемое для оценки качества канала;

2. Уточнение мест расположения точек доступа в сети связи двух компьютеров при радиоинтерфейсе Radio Ethernet 802.11g диапазона 2,4 ГГц с помощью предложенного в диссертации физического имитатора радиоканала.

Члены комиссии:

нач. управления УИСиТ зам. нач. управления УИСиТ нач. отдела УИСиТ

Е.Н. Павличева

И.А. Калинин

А.В. Урюпин

Подпись руки Павингевай Е. Н., Кашенина И. А., Ургонина А.В.

ЗАВЕРЯЮ: вер. спеу. по паррание отдел КАДРОВ: Менлеурий инстидут р