

**МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**УРГЕНЧСКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

К ЗАЩИТЕ

и.о.Заведующий кафедрой

«Телекоммуникационный инжиниринг»

Сетметов Н.У. _____

« 27 » _____ 05 _____ 2016 год

Матназаров Матназар Ойбекович

Ф.И.О. выпускника.

**Методы устранения взаимодействия антенн и зона
покрытия базовой станции мобильных систем**

на присвоение академической степени бакалавра
по направлению «Телекоммуникация»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Выпускник	_____	Матназаров М.О.
	(подпись)	(Ф.И.О.)
Руководитель	_____	Бекиметов А.Ф.
	(подпись)	(Ф.И.О.)
Консультант	_____	Жуманиязов Н.С.
	(подпись)	(Ф.И.О.)
Рецензент	_____	Ганджаев Т.Х.
	(подпись)	(Ф.И.О.)

УРГЕНЧ – 2016 г.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 3
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

**МИНИСТЕРСТВО ПО РАЗВИТИЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН
УРГЕНЧСКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

*Факультет компьютерный инжиниринг,
Кафедра телекоммуникационный инжиниринг.
Направления телекоммуникация*

**«УТВЕРЖДАЮ»
Заведующий
кафедрой**

(подпись)

«__» _____ 2

016 г.

З А Д А Н И Е

на выпускную квалификационную работу

Матназаров Матназар Ойбекович
(фамилия, имя, отчество)

1. Тема *Методы устранения взаимодействия антенн и зона
работы _____
покрытия базовой станции мобильных систем*

2. Утверждена по университету *12-ХФ* от 2016 г. *11*
приказом _____ *январ*

3. Срок сдачи законченной *27.05.2016*
работы _____

4. Исходные данные к *Роль структуры в повышении
работе _____
Эффективности использования частотного ресурса*

5. Содержание расчётное – пояснительной записи (перечень
подлежащих
разработке *Основание актуальности заданной темы,*
вопросов) _____

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 4
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

определение цели исследования и определения внедрения нужных цели для этих задач

6. Список графических материалов. *Модели распространения радиосигналов. Расчет ослабления сигналов при распространении Радиоволн из здания на улицу*

7. Дата выдачи задания 18.01.2016

Руководитель _____
(подпись)

Задание принял

(подпись)

8. Консультанты по отдельным разделам выпускной работы

Раздел	Ф.И.О. руководителя (консультанта)	Подпись дата	
		Задание выдал	Задание принял
1. Системный анализ и постановка задачи	Бекметов А.Ф	18.02.16	18.02.16
2. Основная часть	Бекметов А.Ф	7.03.16	7.03.16
3. Охрана труда и техника безопасности	Аллабергенова Д.	5.03.16	5.03.16

9. График выполнения работы

№	Наименование раздела работы	Срок выполнения	Отметка руководителя о выполнении
1	Утверждение выпускной работы	11.01.16	

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 5
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

2	Сбор и изучение материалов по теме	1.02.16	
3	Системный анализ и постановка задачи	7.03.16	
4	Основная часть	4.04.16	
5	Алгоритм и программное обеспечение	25.04.16	
6	Охрана труда и техника безопасности	2.05.16	
7	Заключение	16.05.16	
8	Список литературы	17.05.16	
9	Чертежи, графические карты и презентация	20.05.16	
10	Оформление выпускной работы	21.05.16	

Выпускник _____ « 26 » 05 _____ 2016 г.

(подпись)

Руководитель _____ « 26 » 05 _____ 2016 г.

(подпись)

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 6
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	
ГЛАВА I. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ	
1.1. Роль сотовой структуры в повышении эффективности использования частотного ресурса	
1.2. Структура системы сотовой подвижной радиосвязи.....	
1.3. Постановка задачи	
ГЛАВА II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	
2.1. Модели распространения радиосигналов	
2.2. Расчет ослабления сигналов при распространении радиоволн из здания на улицу	
2.3. Расчет зоны покрытия одной базовой станции разным методами.....	
ГЛАВА III. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ	
3.1. Гигиеническая оценка и нормирование ЭМП в производственных условиях и на территории жилой застройки.....	
3.2. Способы и средства защиты от электромагнитных полей.....	
3.3. Расчет параметров устройств защиты от электромагнитных излучений	
Заключение	
Список использованной литературы	

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 7
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Введение

В последние годы в промышленно развитых странах наблюдается значительный рост использования электромагнитных волн во всех сферах деятельности человека. Растет процент населения, практически постоянно подвергающегося облучению, в связи с развитием телевидения, радиовещания и персональных мобильных средств связи. Кроме чисто технических проблем: распределения и регистрации частот, вопросов электромагнитной совместимости, серьезно ставится вопрос об устранении взаимодействия антенн.

Одним из основных элементов сети любого сотового оператора является базовая станция (base station subsystem), представляющая собой системный комплекс приемопередающей аппаратуры, осуществляющей централизованное обслуживание группы конечных абонентских устройств. Проще говоря — благодаря базовым станциям (или коротко — БС) мобильные устройства абонентов (сотовые телефоны, планшеты, usb-модемы) могут связываться между собой через коммутационное оборудование, выходить в интернет, получать и отправлять сообщения и данные. Зона покрытия антенн базовой станции образует соту, а вместе — группу сот. Покрытие 1 БС в зависимости от настроек может быть от нескольких десятков метров до 50 километров (иногда и более). Каждая БС обслуживает только свой определенный участок сети с помощью нескольких нацеленных в различные участки сектора трансиверов. Рабочий радиус (ширина охвата), равно как и емкость, у БС может быть разной и зависит от установленного оборудования.

При установке новой базовой станции планировщики будут учитывать множество факторов, которые будут влиять на работу БС и уровень сигнала сети, среди которых важнейшими являются условия распространения сигнала (рельеф местности, плотность застройки,

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 8
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

антропогенные факторы, зеленые насаждения, наличие радиопомех и т.д.). При планировании специалисты также должны учесть возможное будущее строительство новых базовых станций, чтобы в последующем новые базовые станции не оказывали влияние на старые, учесть воздвигаемые новые здания, которые могут перекрыть сигнал, учесть погодные условия в конкретной местности и многое другое.

Чем сложнее условия распространения радиосигнала и выше плотность населения, тем меньше размеры сот, или зона покрытия базовой станции. В этих случаях устанавливаются БС с более высокой мощностью сигнала, и располагаются они на небольшом расстоянии друг от друга. Например, «закрытие» парков производится установкой БС с нескольких сторон, при этом сектора у БС могут работать не одинаково.

Также на этапе планирования учитывается присутствие других сотовых операторов, которые тоже ведут строительство своих базовых станций, а также сторонних организаций, которые в своей работе могут использовать различные приемопередатчики, оказывая влияние на сеть.

Вообще, планирование строительства БС — довольно сложная работа. Необходимо не только знать основы, но и чувствовать, как изменения в одной точке сети могут вызвать изменения во всем городе. Количество переменных огромно, и неправильно установленная одна БС может негативно сказаться на работе всей сети, поэтому производятся многократные итерации для улучшения сигнала.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 9
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

ГЛАВА I. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1.1. Роль сотовой структуры в повышении эффективности использования частотного ресурса

История сотовых сетей радиосвязи с подвижными объектами насчитывает немногим более 35 лет. За этот отрезок времени успели смениться несколько поколений мобильных систем, количество и качество услуг связи непрерывно растет и, как показывает жизнь, этот процесс не обнаруживает тенденции к замедлению.

Следует отметить, что практическое использование сотовой структуры для разворачивания мобильной радиосвязи стало возможным только после того, как появились технические и программные средства, позволяющие решить три основные проблемы:

- определение текущего местоположения абонентской станции в ячеистой структуре конкретной сети, в пределах города, страны и мирового пространства;
- поддержание непрерывности связи при перемещении абонента из одной ячейки в другую;
- обеспечение тарификации предоставляемых абоненту услуг связи.

Следующее структурное образование – кластер, представляющий собой совокупность соседних сот, где используются различные рабочие частоты либо различные наборы частот. Размерность кластера K определяется числом входящих в него ячеек. Рис. 1.1 иллюстрирует кластеры различных размерностей. Кластеры равномерно покрывают всю территорию, где разворачивается сотовая сеть, образуя периодическую структуру.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 10
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

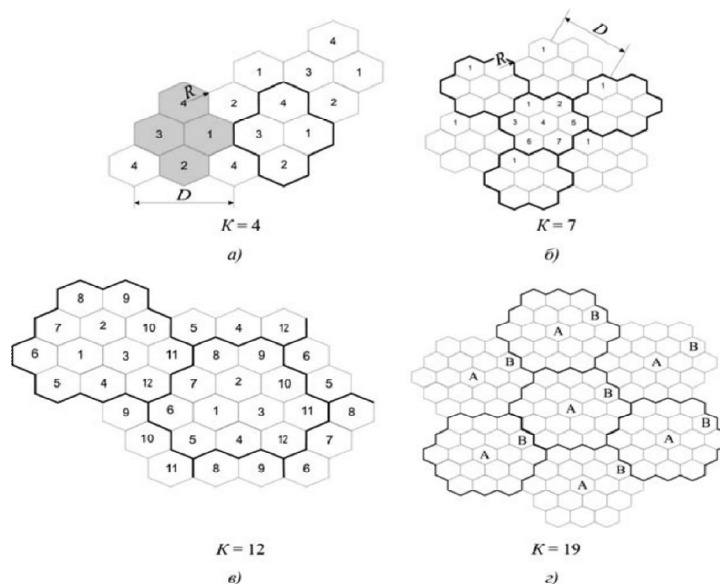


Рис. 1.1. Периодические структуры, порождаемые кластерами.

Общее количество каналов, выделенное для конкретной сотовой сети подвижной радиосвязи (ССПР), распределяется между ячейками кластера. Многократное использование одних и тех же рабочих частот в сети неминуемо приводит к возникновению взаимных внутрисистемных помех. К счастью, существуют эффективные методы снижения уровня этих помех до безопасной величины, когда обеспечивается заданное качество обслуживания абонентов.

Функциональная схема системы связи с подвижными объектами.

Основные элементы сотовой сети подвижной радиосвязи показаны на рис. 1.2.

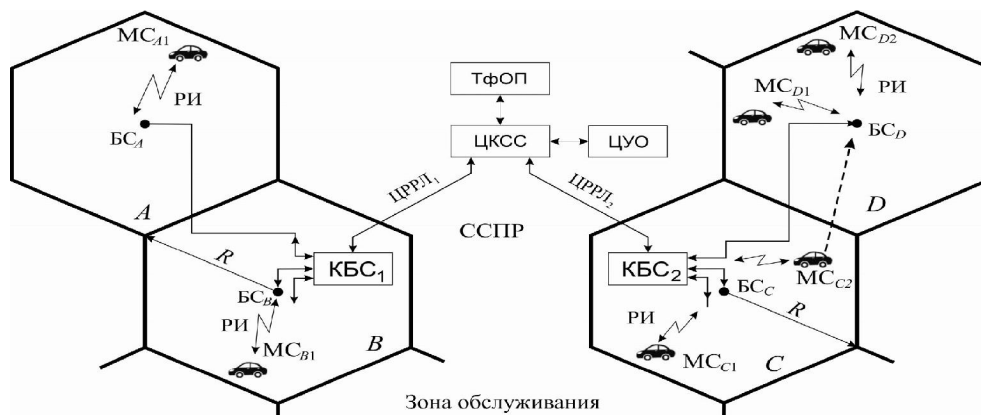


Рис.1.2. Функциональная схема ССПР

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 11
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Вся территория обслуживания разделяется на ячейки в виде шестиугольных сот, которые образуют на карте местности плоскую регулярную гексагональную решетку. В каждой соте располагается базовая станция (БС), которая представляет собой стационарное сооружение, укомплектованное приемопередающим оборудованием и антенными системами, расположенными на мачте.

Центральным элементом ССПР является центр управления и обслуживания (ЦУО) или ОМС (Operations and Maintenance Center), который обеспечивает управление всеми элементами системы, а также осуществляет контроль качества функционирования сети в целом.

Таким образом, в приведенной на рис. 1.2, функциональной схеме можно условно выделить четыре основных компонента – ЦУО и три подсистемы:

- подсистема мобильных станций или MSS (Mobile Station Subsystem);
- подсистема базовых станций или BSS (Base Station Subsystem);
- подсистема коммутации или SSS (Switching Subsystem).

В подсистему базовых станций входят базовые приемопередающие станции и контроллеры базовых станций. Функциональное сопряжение (взаимодействие) всех подсистем осуществляется рядом интерфейсов.

Алгоритмы функционирования подсистем сотовой сети. Центр коммутации ЦКСС и базовые станции БС работают круглосуточно и непрерывно. Организовать такой режим работы удастся благодаря применению 100% резервирования всего оборудования. При аварии, неисправности или выполнении профилактических работ основные блоки отключаются, и работоспособность сети сохраняется за счет переключения на резервный комплект. После устранения нештатной ситуации снова включается основное оборудование.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 12
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

В работе мобильных станций перерывы и отключения неизбежны.

Алгоритмы функционирования систем сотовой мобильной связи различных стандартов в основном совпадают и отличаются только в отдельных деталях. Рассмотрим работу мобильной станции, когда она не покидает пределов своей соты. В этом случае принято различать четыре режима работы МС: включение и инициализация; режим ожидания; режим установления связи; сеанс связи.

1. После включения источника питания мобильной станции активизируется приемно-передающее оборудование и начинает свою работу логический блок или CPU (Center Processing Unit), в состав которого входит сигнальный процессор вместе с оперативной и постоянной памятью. Логический блок является фактически мозговым центром каждой МС. В первые мгновения после включения МС «не знает», в какой соте сети она находится. Более того, она «не знает» находится ли в данный момент на территории «своей» ССПР или же оказалась в зоне действия другой ССПР, между которыми, однако, существует соглашение о роуминговом обслуживании абонентов.

Подчиняясь программе, записанной в запоминающем устройстве, логический блок посылает ряд команд в различные устройства мобильного телефона. В результате этого начинается процесс сканирования мобильной станцией всех радиоканалов, закрепленных за ССПР. Это означает, что приемник и передатчик МС последовательно настраиваются на заданные фиксированные частоты. Приемник МС принимает сигналы от всех базовых станций сети и измеряет уровень мощности в каждом канале.

2. В режиме ожидания МС отслеживает все изменения, которые происходят в сотовой сети. При перемещении МС в зоне обслуживания могут возникнуть ситуации, когда будет необходимо сменить БС. Время от времени по запросу из ЦКСС МС должна подтвердить свою

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 13
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

работоспособность. Кроме того, мобильная станция непрерывно измеряет и периодически передает на БС информацию об уровне принимаемого сигнала, передаваемого БС «своей» соты и передатчиками базовых станций до 16 смежных сот. Подобная информация передается по каналам управления ВССН (Broadcast Control Channels).

В ЦКСС для каждой МС, находящейся в режиме ожидания, фиксируется та сота, в которой МС была зарегистрирована, что облегчает организацию поиска МС и процедуру вызова подвижного абонента.

3. В режиме установления связи между абонентами процедура образования соединения может развиваться по различным сценариям. Если вызов поступает от стационарного телефонного аппарата (ТА) и адресован абоненту $МС_{В1}$, то можно проследить следующий путь прохождения вызова: ТА –

ТфОП – ЦКСС – ЦРРЛ₁ – КБС₁ – БС_В – $МС_{В1}$ (рис. 1.2). Поступающий в ЦКСС вызов направляется по каналу управления на БС_В или на несколько БС в окрестностях соты В. Предположим, что за время, прошедшее с момента последней «регистрации», $МС_{В1}$ не успела покинуть соту В. Тогда $МС_{В1}$ по каналу управления отвечает на этот вызов через свою БС_В, передавая одновременно на ЦКСС данные, необходимые для проведения процедуры аутентификации. Аутентификация – это процедура проверки наличия у абонента права пользоваться услугами сотовой сети. Если аутентификация прошла успешно, то ЦКСС через БС_В назначает для $МС_{В1}$ номер канала трафика, по которому будут беседовать абоненты. Допустим, в наборе частот для соты В оказались свободными $f_{В1}'$ и $f_{В1}$. Тогда передатчик БС_В настраивается на частоту $f_{В1}$, а передатчик $МС_{В1}$ на частоту $f_{В1}'$. Приемники БС_В и $МС_{В1}$ настраиваются на частоты $f_{В1}'$ и $f_{В1}$ соответственно. Уже на частотах разговорного канала $МС_{В1}$ и БС_В обмениваются информацией, подтверждающей организацию разговорного

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 14
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

канала.

Если один мобильный абонент вызывает другого, то установление связи происходит несколько иначе. Допустим, что вызов инициируется со стороны мобильной станции MS_{D2} , которая вызывает мобильную станцию MS_{A1} . Тогда путь прохождения разговорного сигнала поясняет следующая последовательность: $MS_{D2} - BC_D - KBC_2 - ЦРРЛ_2 - ЦКСС - ЦРРЛ_1 - KBC_1 - BC_A - MS_{A1}$. Предположим, что MS_{D2} уже прошла процедуру инициализации (регистрации) и находится в режиме ожидания, о чем свидетельствует соответствующая пиктограмма на дисплее мобильного телефона. Абонент MS_{D2} набирает номер вызываемого абонента MS_{A1} и нажимает кнопку вызова на панели управления. Дальнейшие шаги на этапе обмена служебной информацией зависят от стандарта, который принят в сотовой сети. Если используется стандарт GSM, то после нажатия кнопки вызова MS_{D2} через канал случайного доступа RACH (Random Access Channel) запрашивает выделенный закрепленный канал управления SDCCH (Standalone Dedicated Control Channel) для дальнейшего обмена служебной информацией. Контроллер базовой станции KBC_2 через канал разрешенного доступа AGCH (Access Grant Channel) назначает MS_{D2} запрашиваемый ею канал управления SDCCH.

Если связь организуется между двумя МС, расположенными в одной соте, например, в соте С, то соединение абонентов выполняет KBC_2 .

В том случае, когда две МС расположены в разных сотах, но их базовые станции находятся под управлением одного и того же KBC , за установление связи несет ответственность этот же KBC , имеющий соответствующее коммутационное поле.

4. В режиме ведения разговора выполняется большое число измерений параметров сети, результаты которых используются для автоматического регулирования режимов работы приемопередающего

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 15
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

оборудования на БС и МС. При перемещении мобильной станции в пределах соты расстояние между МС и БС непрерывно изменяется. Для поддержания заданного уровня сигнала на входе приемников необходимо использовать системы автоматического управления мощностью передатчиков.

Мощности передатчиков мобильных станций, распределенных по всей территории соты, устанавливаются таким образом, чтобы на входе приемника БС мощности приходящих сигналов были равны с точностью ± 2 дБ для стандарта GSM и $\pm 0,2$ дБ для стандарта CDMA.

В стандарте GSM мощность передатчика БС регулируется дискретно с шагом 2 дБ. Минимальная мощность передатчика БС составляет 13 дБм (20 мВт). Регулировка мощности передатчика БС уменьшает уровень внутрисистемных помех, что позволяет увеличить емкость сети.

Как уже отмечалось, в стандарте GSM на этапе установления связи каждая МС настраивается на заданный номер слота в кадре. В разговорном режиме производится постоянное измерение времени прохождения радиоволн от мобильных станций до БС и регулируется величина задержки сигнала, чтобы сохранять временное согласование слотов в TDMA-кадре. Таким образом, каждая из восьми МС, использующих одну и ту же несущую частоту, начинает передавать свой информационный пакет по команде с БС, что гарантирует точное попадание пакетов в отведенные для них временные окна. Величина задержки пакетов может регулироваться от 0 до 63 бит с шагом 1 бит (3,69 мкс).

Следующей проблемой, которую приходится решать в разговорном режиме, является эстафетная передача обслуживания мобильной станции при пересечении ею границ соты. Если мобильная станция $МС_{C2}$ перемещается из соты С в соту D, т.е. приобретает номер $МС_{D3}$, то она причисляется к тем МС, которые обслуживает $БС_D$ со всеми вытекающими

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 16
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

отсюда последствиями (рис. 1.2). Таким образом, обслуживание МС передается от БС_С к БС_Д. Этот процесс и называется эстафетной передачей (handover). Если в соте D свободных радиоканалов не оказывается, то связь прерывается.

Необходимость в эстафетной передаче возникает тогда, когда качество обслуживания падает ниже допустимого уровня. Количественно качество связи оценивается по отношению сигнал/шум либо по частоте битовой ошибки BER (Bit Error Rate). Мобильная станция в разговорном режиме измеряет мощность радиосигналов от передатчиков БС «своей» соты, а также до 16 смежных сот. Результаты измерений по линии МС – БС передаются на БС, а оттуда в центр коммутации. После анализа результатов ЦКСС выбирает соту, в которую можно было бы передать обслуживание МС. Далее ЦКСС информирует о своем решении БС новой соты, а также через БС старой соты передает на МС необходимые команды с номерами двух фиксированных частот, закрепленными за новой сотой, и прочую служебную информацию.

Методы организации многостанционного доступа к ресурсам сети подвижной радиосвязи. Под «многостанционным доступом» (multiple access) понимают совместное использование общего ресурса многими потребителями услуг связи. В сотовых сетях радиосвязи с подвижными объектами используются следующие варианты многостанционного доступа:

- многостанционный доступ с частотным разделением каналов связи или FDMA (Frequency Division Multiple Access);
- многостанционный доступ с временным разделением каналов связи или TDMA (Time Division Multiple Access);
- многостанционный доступ с кодовым разделением каналов связи или CDMA (Code Division Multiple Access);
- многостанционный доступ с пространственным разделением

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 17
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

каналов связи или SDMA (Space Division Multiple Access);

- многостанционный доступ с поляризационным разделением каналов связи PDMA (Polarization Division Multiple Access);

- многостанционный доступ со случайным разделением каналов связи или ALOHA.

Следует отметить, что все названные способы многостанционного доступа в той или иной степени находят применение в различных стандартах мобильных систем радиосвязи.

1. Метод многостанционного (множественного) доступа с разделением каналов по частоте (МДЧР), который наиболее прост в реализации, использовался во всех системах мобильной связи первого поколения. МДЧР предполагает, что каждому пользователю на время сеанса связи выделяется тот или иной свободный участок полосы частот f_k (частотный канал). Все пользователи занимают свои каналы в произвольные моменты времени и могут работать одновременно. Рассмотрим в качестве примера план распределения рабочих частот аналоговой системы мобильной радиосвязи первого поколения NMT-450. Скандинавский стандарт NMT-450 был разработан во второй половине 70-х годов прошлого столетия совместными усилиями Дании, Норвегии, Финляндии, Швеции и Исландии.

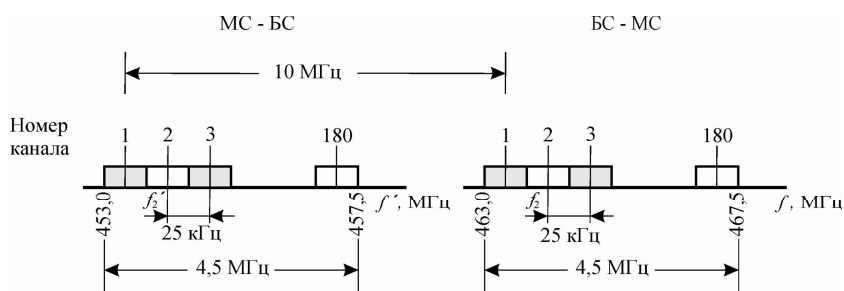


Рис 1.3. Частотный план стандарта NMT – 450

Как показано на рис. 1.3, для этого стандарта выделены две полосы

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 18
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

частот по 4,5 МГц в диапазоне 450 МГц. В каждой полосе размещается по 180 радиоканалов шириной $f_k = 25$ кГц. Отсюда следует, что в системе принят частотный дуплекс с дуплексным разнесением частот 10 МГц.

2. Метод многостанционного доступа с разделением каналов по времени (МДВР) основан на поочередной передаче информационных пакетов различных пользователей, находящихся в одной соте. Первым шагом в реализации этого метода является превращение аналоговых речевых сигналов в цифровые. Классический метод цифровизации, основанный на теореме Котельникова и дающий скорость 64 кбит/с, в мобильных системах радиосвязи не используется. Во всех стандартах мобильных систем применяются вокодерные методы анализа и синтеза речевых сигналов, которые работают на более низких скоростях. Например, в стандарте GSM скорость передачи оцифрованного речевого сигнала составляет 13 кбит/с.

3. Метод многостанционного доступа с кодовым разделением (МДКР) считается в настоящее время наиболее перспективным для дальнейшего совершенствования ССПР.

В ССПР он стал применяться позже, чем МДЧР и МДВР ввиду своей относительной сложности. Он также всегда реализуется в сочетании с МДЧР, образуя комбинацию МДЧР + МДКР. Это означает, что каждый частотный канал используется несколькими абонентами на основе кодового разделения их информационных потоков. Например, в стандарте CDMA IS-95 на каждой несущей удастся организовать порядка 55-ти цифровых разговорных каналов.

4. Метод многостанционного доступа с пространственным разделением каналов связи (МДПР) нашел практическое применение в системах глобальной мобильной радиосвязи на основе низкоорбитальных спутниковых систем типа Iridium и Globalstar.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 19
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Бортовые антенны каждого КА формировали 48 лучей, образующих на поверхности Земли ячейки с заданным значением плотности потока мощности. Диаметр одной ячейки был равен 550...600 км в центре зоны обслуживания и увеличивался до 850...900 км на ее периферии. Диаметр зоны обслуживания составлял 4700 км. При вращении связки ИСЗ зоны обслуживания перемещались по поверхности Земли со скоростью 7500 км/час.

С некоторыми изменениями метод МДПР был задействован и в спутниковой системе Globalstar. Здесь была реализована комбинация МДПР + МДЧР + МДКР и в основном использовался опыт создания сотовых систем мобильной радиосвязи с кодовым разделением каналов фирмы Qualcomm.

В общей сложности были задействованы следующие полосы частот:

- в направлении от абонента к спутнику
- 1610...1626,5 МГц (полоса L);
- от спутника к шлюзовой станции (Gateway) на поверхности Земли 6875...7055 МГц (полоса фидерной линии); – от шлюзовой станции к спутнику 5091...5250 МГц (полоса фидерной линии);
- от спутника к абоненту 2483,5...2500 МГц (полоса S).

Каждый абонент занимал полосу 1,3 МГц, используя для связи шумоподобные сигналы (ШПС) и многостанционный доступ с кодовым разделением. Всего в полосе 1,3 МГц могло работать до 127 абонентов. В речевом канале применен вокодерный принцип передачи. Средняя скорость передачи сигнала цифровой телефонии составляет 2,4 кбит/с.

5. Метод многостанционного доступа с поляризационным разделением каналов связи (МДПоР) находит в сотовых сетях довольно ограниченное применение.

Используя ортогональную поляризацию радиоволн, например,

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 20
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

вертикальную и горизонтальную, можно удвоить пропускную способность радиотракта.

Практическую реализацию МДПоР можно встретить в системе Globalstar в фидерной линии, соединяющей ИСЗ и шлюзовую земную станцию.

б. Метод многостанционного доступа со случайным разделением каналов связи (МДСР) предполагает такую организацию, когда сообщения пользователей представлены в виде определенного числа пакетов, которые каждый пользователь может передавать в произвольные моменты времени в общей полосе частот. Такой режим упрощает приемо-передающее оборудование и делает ненужной систему синхронизации.

Случайный многостанционный доступ используется также в наземных ССПР. Как отмечалось выше, в режиме ожидания МС не может воспользоваться каналами трафика, однако она нуждается в канале управления для получения доступа к сети. Для этого всем мобильным станциям в зоне обслуживания выделяется один канал типа ALOHA, который называется каналом случайного доступа от МС к БС для передачи запроса на установление соединения RACH (Random Control Channel).

Семиуровневая модель взаимодействия открытых систем. Для упрощения решения сложных задач часто используют процедуру декомпозиции, т.е. преобразование одной сложной задачи в набор более простых. В результате достигается структуризация исходной задачи и, что немаловажно, появляется возможность независимой модернизации процесса решения на каждой отдельной ступени без изменения остальной части образовавшейся конструкции. В теории и практике телекоммуникаций такой сложной задачей является процесс передачи информации по разветвленным сетям связи.

Принципиально новым шагом в развитии ССПР, начиная со второго

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 21
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

поколения, было принятие модели взаимодействия открытых систем OSI (Open System Interconnection), одобренной Международной организацией стандартов – ISO (Internation Standardization Organization). В этой модели все функции обмена информацией между абонентами поделены на семь уровней, как показано на рис. 1.4.

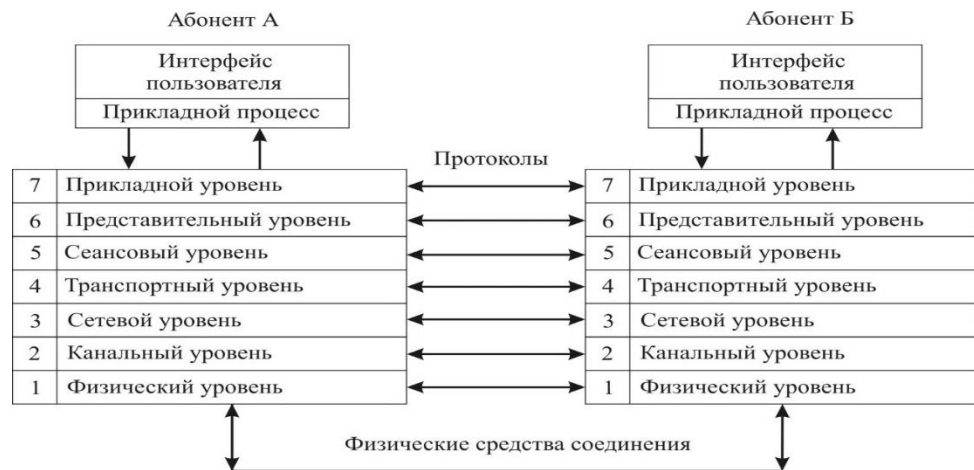


Рис. 1.4. Модель взаимодействия открытых систем

Прикладной процесс, представленный на рис. 1.4, включает обработку данных для нужд пользователя, которая выполняется с помощью аппаратнопрограммных средств либо непосредственно в человеческом сознании.

Верхний, седьмой уровень дает возможность организовать различные формы взаимодействия прикладных процессов. На этом уровне осуществляется управление заданиями, идентификация пользователей по паролям, адресам и т.д.

Представительный уровень обеспечивает информационную прозрачность различных прикладных уровней ССПР. Он отвечает за то, чтобы информация, поступающая из прикладного уровня, была понятна прикладному уровню в другой системе. В частности, здесь при необходимости осуществляется сжатие данных, шифрование и любые другие преобразования прикладного потока данных, если эти

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 22
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

преобразования могут быть полезными.

Сеансовый уровень определяет процедуру проведения сеансов между прикладными процессами, т.е. устанавливает, поддерживает и разрывает соединение, а также предоставляет средства синхронизации. Последние позволяют вставлять контрольные точки в длинные передачи, чтобы в случае отказа, можно было вернуться назад к последней контрольной точке вместо того, чтобы начинать все с начала.

Транспортный уровень обеспечивает верхним уровням – прикладному и сеансовому – передачу данных с той степенью надежности, которая им требуется. Модель OSI определяет пять классов сервиса, предоставляемых транспортным уровнем.

Канальный уровень служит для того, чтобы сформировать надежную виртуальную радиолинию, по которой кадры от абонентского терминала передаются на базовую станцию. Основной функцией этого уровня является надежная доставка пакетов на сетевой уровень.

Физический уровень преобразует поступающие биты в радиоимпульсы для передачи их по радиоканалу. Здесь используются такие понятия как диапазон частот, радиопередающие устройства, фазированные антенные решетки, среда распространения радиоволн, радиоприемные устройства и др. На этом уровне выполняется канальное кодирование и модуляция.

На рис. 1.4 показаны линии, соединяющие одноименные уровни. Это протоколы, названия которых совпадает с названиями соответствующих уровней. Например, существуют сеансовые, транспортные, сетевые протоколы. Протокол – это установленная последовательность шагов, выполняемых взаимодействующими объектами, для достижения поставленной цели. Протокол должен содержать описание последовательности действий обеих сторон при любых возможных

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 23
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

вариантах для исключения тупиковых ситуаций.

Обмен протоколами выглядит следующим образом. Например, на уровне представления к заголовку, полученному от прикладного уровня, добавляется собственная служебная информация, в которой содержатся указания для представительного уровня адресата. Такие процедуры выполняются на каждом уровне, как показано на рис. 1.5.

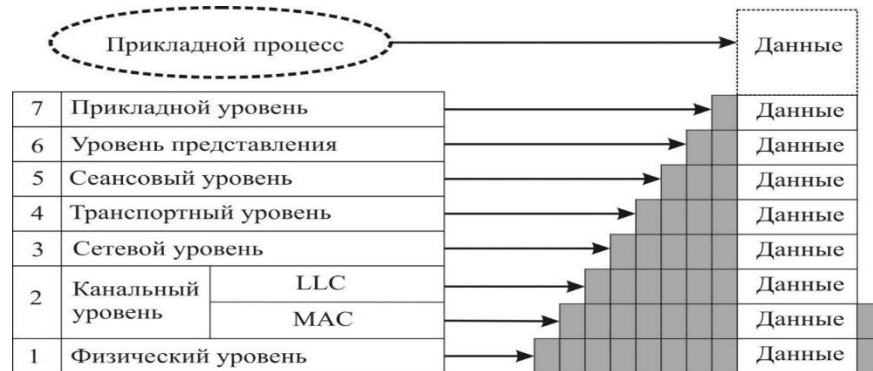


Рис. 1.5. Принцип формирования протоколов

Когда сообщение достигает нижнего физического уровня, оно уже «обросло» заголовками. На канальном уровне служебная информация размещается не только в начале сообщения в виде заголовка, но и в конце, где содержится контрольная последовательность кадра. После того, как передаваемое по сети сообщение поступает на устройство адресата, оно принимается на физическом уровне и последовательно перемещается вверх с одного уровня на другой. На каждом уровне после анализа соответствующего заголовка выполняются определенные операции, после чего этот заголовок удаляется, а сообщение передается на вышестоящий уровень.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 24
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

1.2. Цифровые системы сотовой подвижной радиосвязи с МДВР

Технические характеристики основных стандартов мобильной радиосвязи с МДВР. В 80-е годы XX в. Европейская Конференция Административных Почт и Электросвязи (CEPT – Conference of European Posts and Telegraphs), объединяющая в то время администрации связи 26 стран, образовала специальную рабочую группу Group Special Mobile (GSM), которая приступила к разработке единого европейского стандарта цифровой сотовой радиосвязи. Для нового стандарта возле частоты 900 МГц были выделены две частотные полосы по 25 МГц. Через некоторое время, когда этот стандарт получил мировое признание, аббревиатура GSM стала расшифровываться как Global System of Mobile Communications – Всемирная система мобильной связи.

Коммерческое использование европейского стандарта GSM-900 началось в 90-е годы. Таким образом произошел переход от первого поколения ССПР ко второму.

В то же время в Северной Америке получил развитие стандарт DAMPS в версии IS-136, который пришел на смену аналоговому стандарту AMPS. В начале был разработан стандарт D-AMPS версии IS-54 (IS – в сокращении от Interim Standard, т.е. промежуточный стандарт), который представлял собой двухрежимную аналого-цифровую систему, способную работать как в аналоговом, так и в цифровом режимах в сетке частот, выделенной для аналогового стандарта AMPS. Усовершенствованная версия IS-136 отличалась от IS-54 наличием полностью цифровых каналов управления. Для версии IS-136, кроме диапазона 800 МГц, были выделены полосы в диапазоне 1800 МГц.

Япония разработала свой цифровой стандарт – JDC (Japan Digital Cellular), технические характеристики которого были близки к D-AMPS (табл. 1.1).

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 25
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Таблица 1.1 Стандарты сотовых мобильных систем с МДВР

Параметр стандарта	Значение		
	GSM	D-AMPS	JDC
Вид многостанционного доступа	FDMA/TDMA	FDMA/TDMA	FDMA/TDMA
Частотный диапазон прямой линии, МГц	935...960 1805...1880	824...849	810...826
Частотный диапазон обратной линии, МГц	890...915 1710...1785	869...894	940...956
Дуплексный разнос частот приема и передачи, МГц	45 (95)	45	130
Ширина выделенной полосы, МГц	25 (75)	25	16
Ширина полосы одного канала, кГц	200	30	25
Число речевых каналов на несущую	8	3	3
Эквивалентная полоса речевого канала, кГц	25	10	8,3
Скорость преобразования речевого кодека, кбит/с	13	8	11,2
Алгоритм преобразования речи	RPE/LTP - LPC	VSELP	VSELP
Общая скорость передачи, кбит/с	270,833	48	42
Метод разнесения для борьбы с замираниями	Перемежение, частотное разнесение (скачки по частоте)	Перемежение	Перемежение, пространственное разнесение
Вид модуляции	0,3GMSK	$\pi/4$ – DQPSK	$\pi/4$ – DQPSK
Треб. отношение несущая/шум, дБ	9	16	13
Радиус соты, км	0.5...35	0.5...20	0.5...20

Уровни выходной мощности передатчиков в стандарте GSM могут меняться в широких пределах. Предусмотрено 8 классов

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 26
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

мощности для передатчиков БС от 320 до 2,5 Вт и 5 классов для передатчиков МС от 20 до 0,8 Вт.

Совершенствование европейского стандарта привело к освоению нового частотного диапазона 1800 МГц, в котором, благодаря расширению рабочих полос до 75 МГц в сочетании с меньшими размерами сот, появилась возможность строить ССПР значительно большей емкости.

Стандарт GSM нашел применение и в США, однако поскольку диапазон 1800 МГц был уже занят D-AMPS в версии IS-136, ему были выделены две полосы частот в диапазоне 1900 МГц. Данный вариант стандарта GSM получил название «американский» GSM версии IS-661.

Все названные стандарты, получившие распространение в конце 90-х, составили основу второго поколения ССПР.

Сетка частот, соответствующая Рекомендациям СЕРТ для стандарта GSM-900, представлена на рис. 1.6.

Полоса частот 935...960 МГц используется для связи в направлении БС-МС, которое называется прямой (нисходящей) линией (downlink). В полосе 890...915 МГц работают передатчики мобильных станций и приемники БС. Это направление называется обратной (восходящей) линией (uplink). Полоса частот, отведенная для одного частотного канала, составляет 200 кГц. Это означает, что шаг в сетке частот на рис. 1.6 составляет 200 кГц. Разнос по частоте прямого и обратного канала (дуплексный разнос) равен 45 МГц.

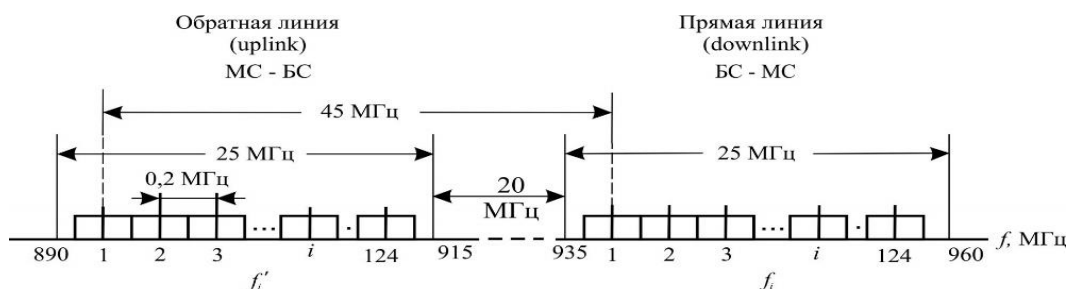


Рис. 1.6. План распределения рабочих частот стандарта GSM-900

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 27
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Таким образом, в каждой отведенной для приема (передачи) полосе частот шириной 25 МГц размещаются по 124 частотных канала связи.

Передатчики базовой станции (прямой канал) работают на фиксированных частотах

$$f_i = 935,2 + 0,2(i - 1), \text{ МГц}, \quad 1 \leq i \leq 124. \quad (1.1)$$

На эти же частоты настраиваются приемники активных абонентов в соте. В обратном направлении используются частоты

$$f_i' = 890,2 + 0,2(i - 1), \text{ МГц}, \quad 1 \leq i \leq 124, \quad (1.2)$$

причем

$$f_i = f_i' + 45, \text{ МГц}.$$

Приведенная организация стандарта GSM в частотной области представляет собой типичный пример МДЧР (FDMA). Каждый частотный канал делят между собой восемь мобильных абонентов, используя для этого возможности МДВР (TDMA).

Структура временных кадров в стандарте GSM. При организации виртуальных и физических каналов в стандарте GSM образуется довольно сложная структура, состоящая из вложенных друг в друга кадров. Общая иерархия временных кадров представлена на рис. 1.7.

Рассмотрим особенности построения сигнальных кадров в стандарте GSM.

1. Основной структурной единицей временно́го разделения цифрового потока является гиперкадр.

Протяженность гиперкадра составляет $T_r = 3 \text{ часа } 28 \text{ мин } 53 \text{ с } 760 \text{ мс} = 12533,76 \text{ с}$. Гиперкадр делится на 2048 суперкадров.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 28
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

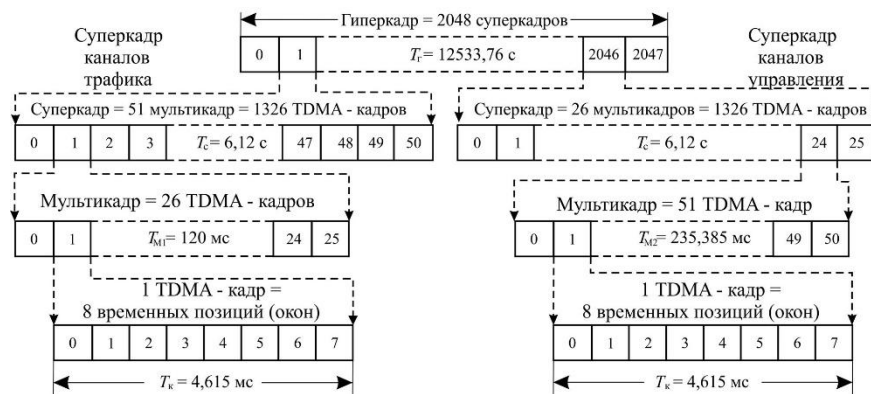


Рис. 1.7. Организация кадров при МДВР

2. Суперкадр имеет длительность

$$T_c = \frac{12533,76}{2048} = 6120 \text{ мс.}$$

Суперкадр состоит из мультикадров.

3. Мультикадры бывают двух видов. Это связано с тем, что виртуальные каналы трафика и каналы управления требуют различных методов организации.

В первом случае суперкадр делится на 51 мультикадр (рис. 1.7):
1 суперкадр = 51 мультикадр; 1 мультикадр = 26 TDMA-кадров.

Таким образом, 1 суперкадр = $51 \cdot 26 = 1326$ TDMA-кадров.

Во втором случае суперкадр делится на 26 мультикадров (рис. 1.7):
1 суперкадр = 26 мультикадр; 1 мультикадр = 51 TDMA-кадров. В итоге имеем: 1 суперкадр = $26 \cdot 51 = 1326$ TDMA-кадров. Таким образом, способ деления суперкадра не влияет на число TDMA-кадров в нем. Длительность мультикадра в первом случае

$$T_c = 6120 = 120 \text{ мс,}$$

$$T_{m1} = 51 \cdot 120 = 6120 \text{ мс}$$

а во втором

$$T_c = 6120 = 235,385 \text{ мс.}$$

$$T_{m2} = 26 \cdot 235,385 = 6120 \text{ мс}$$

4. TDMA-кадр имеет длительность в первом случае

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 29
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

$$T_k = \frac{T_{M1}}{26} = \frac{6120}{51 \cdot 26} = \frac{60}{13} = 4,615 \text{ мс}$$

и во втором

$$T_k = \frac{T_{M2}}{51} = \frac{6120}{26 \cdot 51} = \frac{60}{13} = 4,615 \text{ мс,}$$

что и следовало ожидать (рис. 1.7).

Следовательно, в одном гиперкадре содержится

$$N = 26 \cdot 51 \cdot 2048 = 2715648 \text{ TDMA-кадров.}$$

Каждый имеет свой порядковый номер от 0 до NFmax (Number of Frame), т.е. от 0 до 2715647. Номер кадра NF используется в качестве входного параметра в системе криптографической защиты передаваемой информации.

5. Каждый TDMA-кадр делится на 8 временных позиций (окон) длительностью

$$T_o = \frac{T_k}{8} = \frac{60}{13 \cdot 8} = \frac{15}{26} \approx 576,923 \text{ мкс.}$$

Каждое окно обозначается буквами TN с номером от 0 до 7.

Рассмотренный порядок деления кадров в цифровой последовательности наглядно поясняет, каким образом в стандарте GSM реализован принцип многостанционного доступа с временным разделением одного частотного канала шириной 200 кГц между мобильными абонентами сети.

Физический смысл окна – это заданный интервал времени, в течении которого пакет цифрового потока, соответствующий оцифрованному речевому сообщению или данным, подается на модулятор передатчика МС или БС.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 30
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Для передачи информации и сигналов управления, для подстройки несущих частот, обеспечения кадровой синхронизации между БС и мобильными станциями, организации каналов доступа и др. в структуре TDMA-кадра используются пять видов временных интервалов (окон).

1. NB (Normal Burst) – нормальный временной интервал.
2. FB (Frequency correction Burst) – временной интервал подстройки частоты.
3. SB (Synchronisation Burst) – интервал временной синхронизации.
4. DB (Dummy Burst) – установочный интервал.
5. AB (Access Burst) – интервал доступа к сети GSM.

Мультикадр первого типа используются для организации каналов трафика и совмещенных с ними каналов управления. В каналах трафика передают оцифрованные речевые сигналы. Структура мультикадра для передачи речи с полной скоростью представлена на рис. 1.8, где буквой Т обозначены TDMA-кадры, в которых передаются сигналы трафика. TDMA-кадр №13 этого мультикадра выделен для организации медленного совмещенного канала управления SACCH (см. разд. 1.8). TDMA-кадр № 26 не используется. В нем ничего не передают.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 31
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

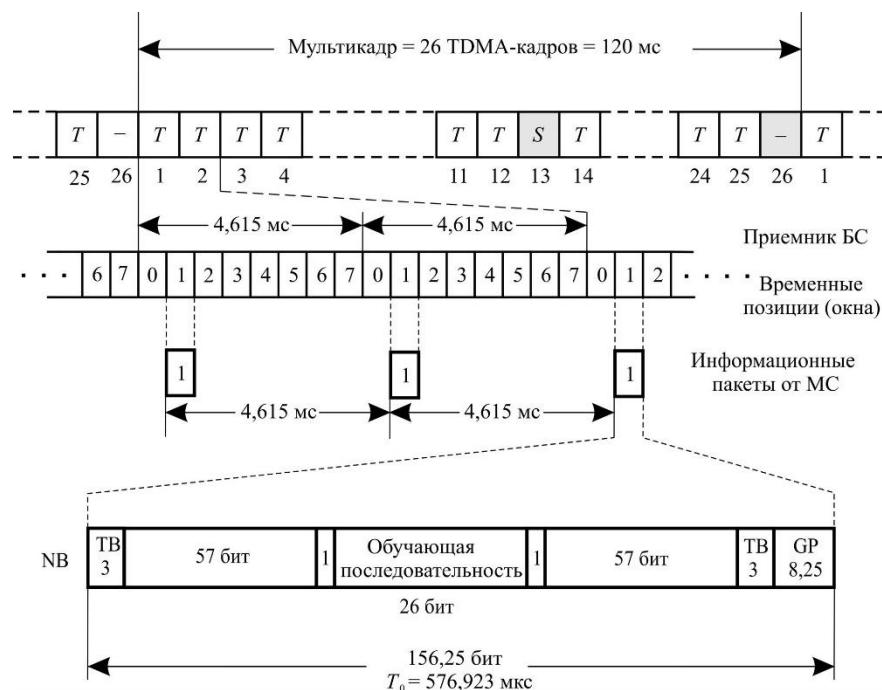


Рис. 1.8. Структура мультикадра первого типа

Как уже отмечалось, длительность TDMA-кадра равна $T_k = T_{м1}/26 = 120 \text{ мс}/26 = 4,615 \text{ мс}$, а длительность окна (слота) составляет $T_0 = 576,923 \text{ мкс}$.

В окнах размещаются нормальные пакеты NB. Каждый NB пакет (рис. 1.8) содержит:

- 1) два поля по 57 бит зашифрованной речевой информации;
- 2) поле обучающей последовательности 26 бит;
- 3) два поля по одному биту, т.е. два флажка, определяющие тип передаваемой информации (0 – речевая, 1 – служебная);
- 4) две концевые комбинации ТВ (Trial Bits), указывающие границы передаваемого блока.

Обучающая последовательность имеет неизменный вид и используется для решения следующих задач:

- оценка качества связи посредством сравнения принятой последовательности с эталонной;
- периодическая (через каждые 4,615 мс) оценка импульсной

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 32
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

характеристики радиотракта и подстройка адаптивного эквалайзера для коррекции частотной характеристики канала, которая подвергается искажениям в результате быстрых селективных замираний;

– оценка времени распространения радиоволн между БС и МС для определения того момента, когда МС должна начинать передачу пакета NB.

Наличие защитного интервала в слоте GP (Guard Period) длительностью 8,25 бит (30,44 мкс) предотвращает наложение пакетов на входе приемника БС, поступающих от различных мобильных станций при их перемещении во время сеанса связи.

Для передачи оцифрованной речи используют TDMA-кадры 1-12 и 1425, т.е. 24 кадра из 26. Каждый пользователь занимает в TDMA-кадре одно из восьми окон, причем номер окна сохраняется во всех кадрах. В каждом окне передается NB пакет, содержащий 114 бит зашифрованной цифровой телефонии. Поскольку длительность мультикадра трафика равна $T_{м1} = 120$ мс, то скорость информационного потока одного абонента составляет

$$R_{аб} = \frac{114 \cdot 24}{120} = 22,8 \text{ кбит/с.}$$

Суммарная скорость передачи информации в стандарте GSM равна

$$R_{GSM} = \frac{26 \cdot 8 \cdot 156,25}{120} = 270,833 \text{ кбит/с.}$$

Поток с такой скоростью будет иметь место на входе одного приемника БС, принимающего радиосигнал на одной рабочей частоте, когда абоненты МС используют все восемь окон каждого TDMA-кадра.

На основании рис. 1.8 легко можно рассчитать длительность одного информационного символа (бита). Она равна

$$T^0 = 576,923 = 3,6923 \text{ мкс.}$$

$$T_6 = 156,25$$

Общее число символов (бит) в мультикадре трафика равно

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 33
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

$$156,25 \cdot 8 \cdot 26 = 32500 \text{ бит.}$$

Построение мультикадров на нисходящей и восходящей линиях однотипно, однако нисходящий поток опережает восходящий на три временных интервала (окна), поэтому передатчик и приемник МС никогда не работают одновременно. Для каждого абонента, получившего доступ к сети, выделяется две частоты f_i и f_i' , а также номер окна в TDMA-кадре, например №1, как показано на рис. 1.9. Следует отметить, что значения мощности передатчика МС, приведенные в разд. 1.6, относятся к мощности «вспышки». Средняя же мощность передатчика оказывается в 8 раз меньше, так как 7/8 времени передатчик выключен.

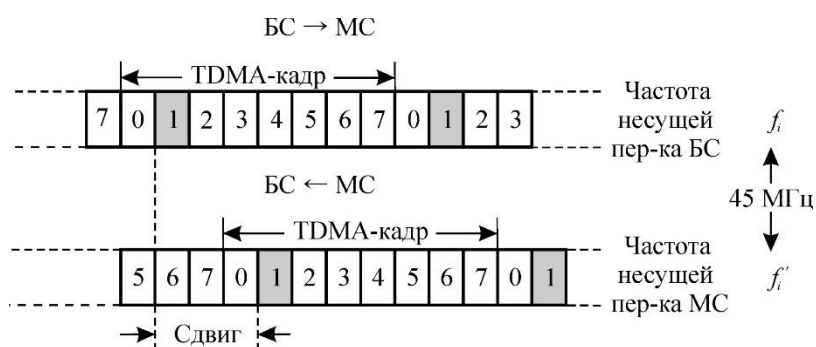


Рис. 1.9. Сдвиг мультикадров во встречных потоках

Организация физических и логических каналов в стандарте GSM.

Как уже отмечалось, в стандарте GSM используется комбинация FDMA+TDMA, поэтому число каналов равно $124 \cdot 8 = 992$. Это так называемые физические каналы.

Прежде чем сформировать физический канал, передаваемые сообщения и данные, представленные в цифровой форме, группируются и объединяются в так называемые логические каналы. В каждом физическом

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 34
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

канале может быть размещено несколько логических каналов.

Всего в стандарте GSM существует 11 логических каналов: два из них используются в качестве каналов связи, т.е. для передачи кодированной речи и данных – Traffic Channel (TCH), а девять для передачи сигналов управления и синхронизации – Control Channel (CCH).

Уже такое неравенство в числе каналов говорит о том, насколько процесс управления сетью сложнее, чем непосредственная процедура передачи информации от одного абонента к другому.

Различают следующие логические каналы связи.

1. Логический канал TCH/F (Full rate TCH) – канал передачи сообщений с полной скоростью 22,8 кбит/с.

2. Логический канал TCH/H (Half rate TCH) – канал передачи сообщений с половинной скоростью 11,4 кбит/с.

Один физический канал (пакет NB) можно использовать для организации одного логического канала TCH/F или двух TCH/H.

В зависимости от назначения и способа организации все каналы управления принято разделять на четыре категории:

1. BCCH (Broadcast Control Channels) – широковещательные каналы для передачи команд в направлении от БС к МС без конкретной адресации, обеспечивают настройку МС для работы в сети.

2. CCCH (Common Control Channels) – общие каналы управления.

3. SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channels) – индивидуальные каналы управления, используемые для передачи служебной информации в двух направлениях для связи между БС и конкретной МС.

4. ACCH (Associated Control Channels) – совмещенные каналы управления, которые также используются для передачи служебной информации в двух направлениях. В прямом направлении передаются

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 35
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

команды от БС к МС, в обратном направлении передается информация о статусе МС.

В свою очередь, в каждую из категорий входят специализированные каналы для передачи определенного вида команд.

Перечислим каналы управления, входящие в категорию ВССН.

1. FCCN (Frequency Correction CHannel) – канал подстройки частоты генераторов МС. По этому каналу передается не модулированная несущая с фиксированным частотным сдвигом относительно номинального значения частоты канала связи.

2. SCH (Synchronisation CHannel) – канал синхронизации, по которому на МС передается информация для кадровой синхронизации работы аппаратуры БС и МС.

3. ВССН (Broadcast Control CHannel) – канал управления передачей, обеспечивает формирование и передачу на МС разнообразной служебной информации. В число общих каналов управления ВССН входят следующие каналы:

4. PCN (Paging CHannel) – канал вызова мобильной станции – однонаправленный канал от БС к МС, который используется для передачи сигнала входящего вызова к МС. С помощью PCN базовая станция начинает обслуживание RACH запроса.

5. RACH (Random Access CHannel) – канал параллельного доступа, используется только в направлении от МС к БС. По этому каналу МС передает запрос с просьбой предоставить ей индивидуальный канал для двухстороннего обмена информацией с БС. Канал доступа является общим для всех МС данной зоны, поэтому для работы используется алгоритм асинхронного случайного многостанционного доступа ALOHA.

6. AGCH (Access Grant CHannel) – канал разрешения доступа, направление передачи от БС к МС. С помощью AGCH базовая станция

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 36
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

продолжает обслуживание RACH запроса.

Различают три двухсторонних канала управления между БС и МС:

7. SDCCH (Stand-alone Dedicated Control Channel) – индивидуальный выделенный канал управления для связи в двух направлениях между БС и МС. Последние два канала являются совмещенными, т.е. они организованы в TDMA-кадрах трафика и имеют формат NB.

8. SACCH (Slow Associated Control Channel) – медленный совмещенный канал управления. По направлению «вниз» БС передает команды для установки уровня мощности передатчика МС.

9. FACCH (Fast Associated Control Channel) – быстрый совмещенный канал управления служит для обмена служебной информацией между БС и МС при переходе МС из одной соты в другую, т.е. при эстафетной передаче МС от одной БС к другой.

Все каналы управления стандарта GSM сведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Классификация каналов управления

Категория каналов управления		Назначение каналов	
BCCH	Вещательные	Коррекция частоты	FCCH
		Синхронизация	SCH
		Управление передачей	BCCH
CCCH	Общие	Пейджинга	PCCH
		Случайного доступа	RACH
		Разрешенного доступа	AGCH
DCCH	Назначенные	Индивидуальные	SDCCH
ACCH	Совмещенные	Быстрый совмещенный	FACCH
		Медленный совмещенный	SACCH

Развернутая схема, иллюстрирующая состав каналов радиointерфейса системы GSM, представлена на рис. 1.2.5.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 37
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

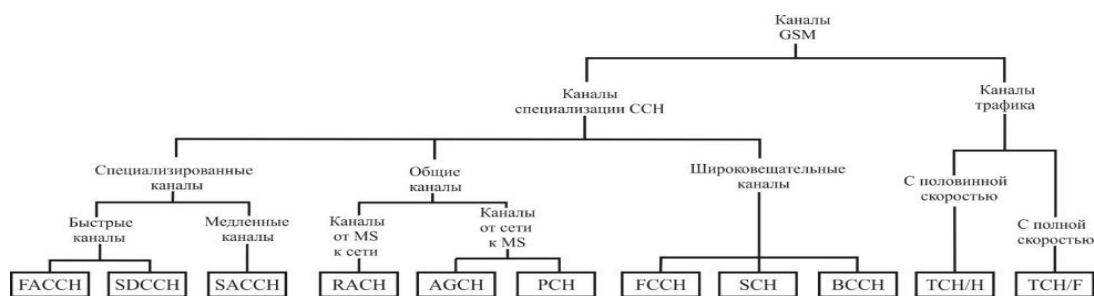


Рис. 1.10. Состав логических каналов системы GSM

Для организации каналов управления (кроме FACCH и SACCH) используется мультикадр второго типа, который насчитывает 51 TDMA-кадр, каждый из которых содержит 8 окон (слотов). Такой мультикадр длится 235,385 мс. Прямое и обратное направления имеют различные структуры мультикадров. Выше был приведен список пакетов управления. Содержание пакетов управления и их назначение представлены на рис. 1.11.

Сообщения каналов BCCH и CCCH, передаваемые по прямой линии от БС к МС, размещаются в нулевых слотах первых 50-ти TDMA-кадров мультикадра второго типа. Последний, 51-й, TDMA-кадр этого мультикадра остается свободным.

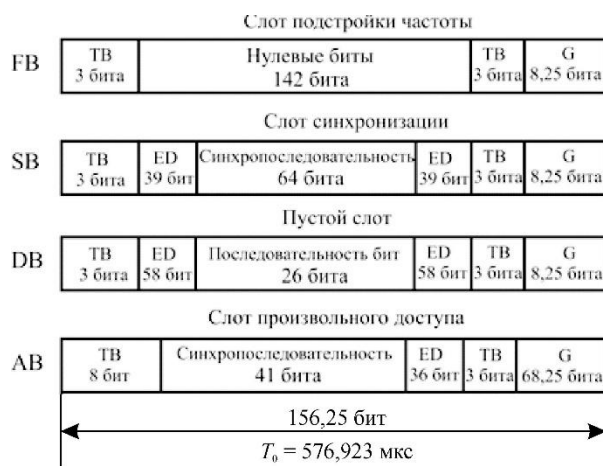


Рис. 1.11. Структура пакетов в каналах управления

Первые 50 TDMA-кадров делятся на 5 блоков по 10 TDMA-кадров (рис. 1.12).

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 38
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

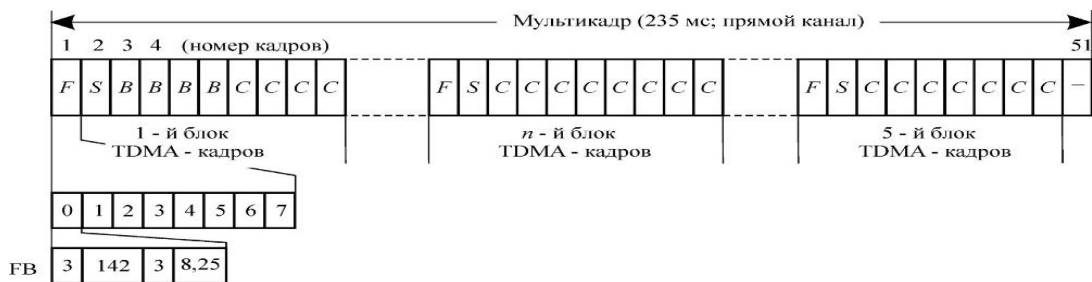


Рис. 1.12. Структура мультикадра каналов управления в прямом направлении

В начале каждого блока в канале FSSCH передается сообщение в виде немодулированной несущей для подстройки частоты, далее в канале SCH передается последовательность синхроимпульсов для кадровой синхронизации оборудования БС и МС. После этого в первом блоке следуют четыре сообщения в канале BCCH и четыре сообщения канала AGCH или канала PCN. В остальных четырех блоках все восемь TDMA-кадров отводятся под канал AGCH/PCN.

Сообщения в логических каналах управления обычно кодируются со значительной избыточностью для надежной защиты передаваемой информации. Обратная линия мультикадра каналов управления используется для передачи запроса МС на обслуживание. Сообщения RACH могут быть переданы в нулевом окне (слоте) любого TDMA-кадра 51-кадрового мультикадра. При этом используется структура логического канала, соответствующая так называемому пакету доступа АВ (рис. 1.11).

Все сказанное иллюстрирует рис. 1.13.



Рис. 1.13. Структура мультикадра каналов управления в обратном направлении

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 39
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Переमेжение и формирование TDMA-кадра.

При передаче сигнал-параметров речевого сигнала по радиотракту возникают ошибки, которые имеют тенденцию группироваться в пакеты. Существующие методы блочного и сверточного кодирования успешно корректируют одиночные ошибки, однако они плохо работают в условиях, когда ошибки объединяются в пакеты. В сетях мобильной радиосвязи нашел применение метод перемежения (interleaving), который позволяет преобразовывать пакеты ошибок в одиночные ошибки. Следует подчеркнуть, что количество ошибочных битов при этом не изменяется, однако после перемежения они рассредоточиваются по цифровому потоку.

Существует много схем перемежения: диагональная, блочная, сверточная и др.

Цифровой поток в передающей части построчно записывается в матрицу $M_{m,n}$, каждый элемент которой a_i может быть символом или группой символов. Записанный в $M_{m,n}$ блок считывается по столбцам и передается по каналу связи. Считывание по столбцам даёт выходную последовательность, в которой соседние входные биты разнесены на n позиций.

В приемнике поступивший информационный блок, содержащий пакеты ошибок, записывается в аналогичную матрицу по столбцам, а считывается по строкам.

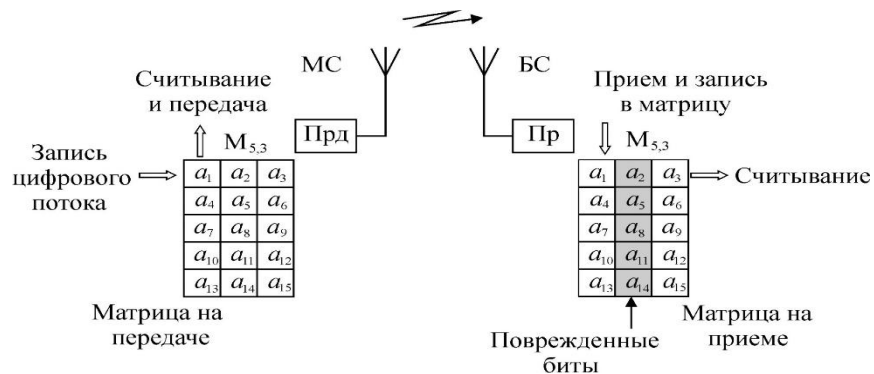


Рис. 1.14. Блочная схема перемежения и деперемежения

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 40
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

На рис. 1.15 представлен процесс перемежения для (5×3) – матриц.

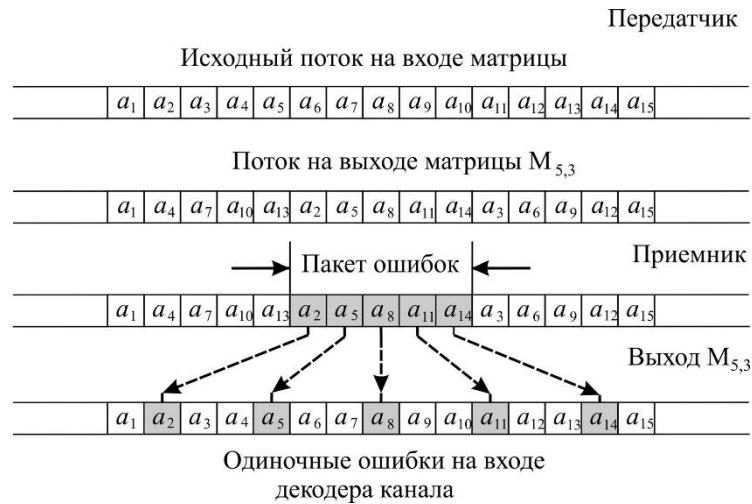


Рис. 1.15. Иллюстрация преобразования пакета ошибок в одиночные ошибки

Для борьбы с длинными пакетами ошибок приходится увеличивать размеры матриц. Однако это приводит к увеличению задержки речевого сигнала.

Следует отметить, что если считывание и запись столбцов в матрицах производить в порядке, определяемом секретным ключом, то это даст возможность для дополнительного шифрования передаваемой информации. Все сказанное позволяет сделать следующие выводы.

1. Размеры столбцов матрицы определяют длину пакета ошибок, который можно «рассыпать» в одиночные ошибки.
2. Размеры строк определяют расстояние между соседними одиночными ошибками.
3. Если в канале радиосвязи преобладают одиночные ошибки, то перемежение группирует их в пакеты и тем самым снижает помехоустойчивость связи.

В стандарте GSM используется довольно сложная и эффективная схема блочно-диагонального перемежения. Вся процедура перемежения укладывается на 20-миллисекундном сегменте. При этом пакет из 456 бит

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 41
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

закодированного речевого сигнала разбивается на 8 блоков по 57 бит в каждом. Алгоритм разбиения показан на рис. 1.16.

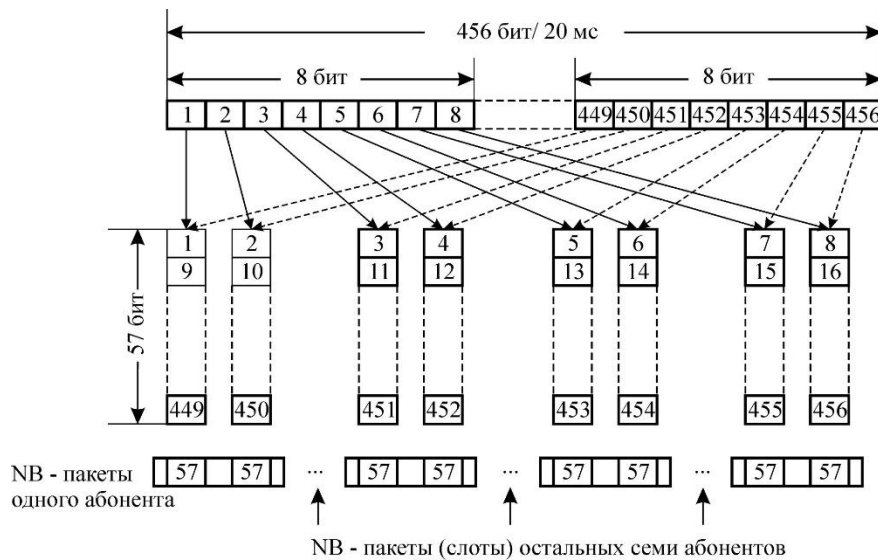


Рис. 1.16. Принцип перемежения и формирования TDMA-кадров в стандарте GSM

Вначале между блоками распределяются первые 8 битов из 456, затем следующие 8 битов и т.д. В результате этого в первый блок попадают биты под номерами 1, 9, 17, ..., 449; во второй – биты под номерами 2, 10, 18, ..., 450 и т.д. Полученные таким образом блоки устанавливаются в нормальные временные интервалы NB, которые находятся в четырех следующих друг за другом TDMA-кадрах. Напомним, что первые 148 битов NB-интервала составляют информационную часть. Сюда входят два поля по 57 бит; 2 бита на флажки, определяющие тип передаваемой информации; 26 битов занимает обучающая последовательность; 2 защитных бланка по 3 бита, которые используются в качестве стартового и стопового флагов. Остальные 8,25 бита входят в защитный интервал.

На этом заканчивается формирование физического канала трафика (Traffic Channel).

После перемежителя цифровой поток, упорядоченный в виде последовательности TDMA-кадров, поступает на модулятор передатчика.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 42
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

1.3. Постановка задачи.

Широкое использование радиосвязи с подвижными объектами стало характерной чертой современного мира. Большинство абонентов не задумывается о том, как осуществляется звонок по мобильному телефону, как происходит передача SMS-сообщения или data-трафика. Главное, чтобы в любой момент времени и в любой точке пространства они не испытывали проблем со связью. Между тем комфорт общения обеспечивается постоянно работающей огромной системой, состоящей из тысяч элементов, в числе которых базовые станции, контроллеры, коммутационное оборудование, ИТ-системы и многое другое, что позволяет оставаться на связи 24 часа в сутки.

При установке новой базовой станции планировщики будут учитывать множество факторов, которые будут влиять на работу БС и уровень сигнала сети, среди которых важнейшими являются условия распространения сигнала (рельеф местности, плотность застройки, антропогенные факторы, зеленые насаждения, наличие радиопомех и т.д.). При планировании специалисты также должны учесть возможное будущее строительство новых базовых станций, чтобы в последующем новые базовые станции не оказывали влияние на старые, учесть воздвигаемые новые здания, которые могут перекрыть сигнал, учесть погодные условия в конкретной местности и многое другое.

Целью настоящей выпускной квалификационной работы является:

- Анализ моделей распространения радиосигналов;
- Расчет ослабления сигналов при распространении радиоволн из здания на улицу;
- Расчет зоны покрытия одной базовой станции разным методами.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 43
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

ГЛАВА II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Модели распространения радиосигналов.

Модель Ли. Ли (англ. W.C.Y. Lee) предложил очень простую модель распространения сигнала, основанную на серии проведенных в США измерений на несущей частоте $f_0 = 900$ МГц.

Согласно модели Ли, среднее значение мощности, измеренной на расстоянии d от передающей станции, описывается выражением

$$P(d) = P_0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-\gamma} \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-n} F_0, \quad (1)$$

или в логарифмическом представлении

$$(P(d))_{dB} = (P_0)_{dB} - \gamma \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) - n \lg \left(\frac{f}{f_0} \right) + (F_0)_{dB};$$

$$F_0 = \prod_{i=1}^5 F_i, \quad (2)$$

где P_0 - эталонная медианная мощность, измеренная на расстоянии $d_0 = 1$ км; F_0 - поправочный коэффициент, вычисляемый на основе серии компонентных множителей.

Коэффициенты F_i рассчитываются следующим образом:

$$F_1 = \left(\frac{h_{BS,eff}}{30,48} \right)^2;$$

$$F_2 = \left(\frac{h_{MS}}{3} \right)^v;$$

$$F_3 = \frac{P_T}{10};$$

$$F_4 = \frac{G_T}{4};$$

$$F_5 = G_R,$$

где $h_{BS,eff}$ - эффективная высота антенны базовой станции, м; v - показатель степени: при высоте антенны подвижной станции менее 3 м принимается $v = 1$, а при высоте более 10 м - $v = 2$; P_T - мощность сигнала, излучаемого передатчиком базовой станции, Вт; G_T , G_R - коэффициенты

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 44
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

усиления антенн соответственно базовой и подвижной станции относительно полуволнового вибратора.

Параметры P_0 и γ получены экспериментально на основе проведенных замеров в различных типах окружающей среды.

Тип среды	P_0	γ , дБ на декаду
Свободное пространство	-41	20,0
Сельская местность, редкая застройка	-40	43,5
Пригород, небольшой город	-54	38,4
Филадельфия	-62,5	36,8
Нью-Йорк	-55	43,1
Токио	-78	30,5

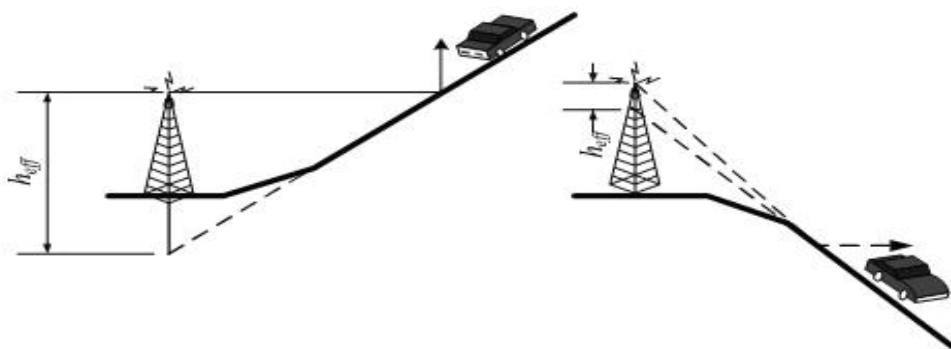
Медианные потери мощности в зависимости от частоты определяются коэффициентом $(f/f_0)^{-n}$ и его показателем степени n .

Для частот от 30МГц до 2ГГц и расстояний между подвижной и базовой станциями от 2 до 30км значение n лежит в диапазоне от 2 до 3.

Величина n также зависит от топографических особенностей местности. Для пригородных и сельских районов рекомендуется выбирать $n = 2$ при частотах ниже 450 МГц и $n = 3$ при частотах выше 450 МГц.

На пересеченной местности эффективная высота антенны может сильно отличаться от ее физической высоты.

Определение эффективной высоты антенны БС в холмистой местности.



Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 45
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Измерения, лежащие в основе эмпирических формул модели Ли, были проведены в системе со следующими параметрами:

- несущая частота f_c , МГц 900;
- высота антенны БС $h_{BS,eff}$, м 30;
- мощность передаваемого сигнала P_T , Вт 10;
- коэффициент усиления антенны БС относительно полуволнового

вibratorа G_T , дБд 6;

- высота антенны подвижной станции h_{MS} , м 3;
- коэффициент усиления антенны подвижной станции

относительно полуволнового vibratorа G_R , дБд 0;

Эти параметры отражены в формулах в виде коэффициентов $F_1 - F_5$.

Модель Окумуры

В основе модели Окумуры (англ. Okumura) также лежит множество измерений. Многочисленные измерения в частотном диапазоне от 150 до 1920 МГц проводились в Токио. Для описания зависимости медианных потерь $(L_{50})_{dB}$ от расстояния d до передающей антенны БС была предложена формула

$$(L_{50})_{dB} = L_S + A(f,d) + G(h_{BS,eff}) + G(h_{MS}); \quad (3)$$

$$L_S = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2, \quad (4)$$

где L_S - потери при распространении в свободном пространстве; $A(f,d)$ - медианное значение потерь в городской среде с квазигладкой земной поверхностью по отношению к затуханию в свободном пространстве в случае, если эффективная высота антенны БС $h_{BS,eff} = 200$ м, а высота антенны подвижной станции $h_{MS} = 3$ м; $G(h_{BS,eff})$ - корректирующий коэффициент (в дБ), учитывающий отличие эффективной высоты антенны БС от 200 м; $G(h_{MS})$ - корректирующий коэффициент (в

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 46
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

дБ), зависящий от высоты антенны подвижной станции, если она отличается от 3 м.

Потери при распространении в свободном пространстве L_S вычисляются в логарифмическом масштабе.

Формула (4), совместно с полученными эмпирическими графиками, позволяет оценить затухание сигнала в условиях городской застройки на частотах от 150 до 2000 МГц, если расстояние между подвижной и базовой станциями составляет от 1 до 100 км, а эффективная высота антенны базовой станции лежит в диапазоне от 30 до 1000 м.

$$(L_{50})_{dB} = L_S + A(f,d) - G(h_{BS,eff}) - G(h_{MS}) - G_{AREA}.$$

В настоящее время предложены дополнительные корректирующие члены, позволяющие учесть наклон и неровности местности, а также ее тип.

$$G(h_{BS,eff}) = 20 \lg \left(\frac{h_{BS,eff}}{200} \right), \quad 10 < h_{BS,eff} < 1000 \text{ м};$$

В справочной литературе можно обнаружить другой вариант формулы, описывающей модель Окумуры. Она имеет вид

$$G(h_{MS}) = 10 \lg \left(\frac{h_{MS}}{3} \right), \quad h_{MS} \leq 3 \text{ м};$$

Параметр $A(f,d)$, как и ранее, берется из эмпирического графика, а корректирующие члены $G(h_{BS,eff})$ и $G(h_{MS})$ задаются выражениями

$$G(h_{MS}) = 20 \lg \left(\frac{h_{MS}}{3} \right), \quad 3 < h_{BS,eff} < 10 \text{ м}.$$

Поправочный коэффициент G_{AREA} , выраженный в дБ, зависит от типа местности и несущей частоты и также находится из эмпирических графиков.

Модель Окумуры очень проста и основана исключительно на экспериментальных данных, собранных в районе Токио.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 47
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Характеристики японской городской местности немного отличаются от характеристик городской местности в Европе или США.

Несмотря на это, модель Окумуры пользуется популярностью и считается наилучшей моделью для разработки сотовых и других систем наземной подвижной связи.

Основной недостаток модели Окумуры - медленная реакция на изменение типа местности. Эта модель лучше всего подходит для городских и пригородных районов и не очень эффективна для сельской местности.

Модель Хата. Модель Хата (англ. Hata) возникла в результате адаптации эмпирических формул к графикам, составленным Окумурой и его соавторами. Эти формулы хорошо аппроксимируют графики в определенных диапазонах несущих частот на квазигладкой земной поверхности. Для оценки затухания сигнала Хата предложил следующие эмпирические формулы:

$$(L_{50})_{dB}|_{\text{город}} = 69,55 + 26,16 \cdot \lg f - 13,83 \cdot \lg(h_{BS,eff}) - a(h_{MS}) + [44,9 - 6,55 \cdot \lg(h_{BS,eff})] \cdot \lg d ;$$

В городской местности в частотном диапазоне от 150 до 1500 МГц при эффективной высоте антенны БС $h_{BS,eff} =$ от 30 до 200 м имеем

$$a(h_{MS}) = (1,1 \cdot \lg f - 0,7) h_{MS} - 1,56 \cdot \lg f + 0,8 ,$$

где $a(h_{MS})$ - поправочный коэффициент, зависящий от высоты антенны подвижной станции и вычисляемый в диапазоне высот от 1 до 10 м.

$$a(h_{MS}) = 8,29(\lg 1,54 h_{MS})^2 - 1,1 \quad \text{для} \quad f \leq 400 \text{ МГц} ,$$

Для крупного города он задается выражениями (в дБ):

$$a(h_{MS}) = 3,2(\lg 11,75 h_{MS})^2 - 4,97 \quad \text{для} \quad f \geq 400 \text{ МГц} .$$

В пригородной местности потери при распространении сигнала можно описать формулой.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 48
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

$$(L_{50})_{dB} = (L_{50})_{dB}|_{\text{город}} - 2 \left[\lg \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4.$$

В условиях открытой местности потери описываются выражением

$$(L_{50})_{dB} = (L_{50})_{dB}|_{\text{город}} - 2 \left[\lg \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4.$$

Модели распространения:

Представленные выше модели распространения сигнала позволяют оценить зависимость потерь от несущей частоты, высоты антенн базовой и подвижной станций и типа местности.

Они неплохо отражают процессы распространения сигнала на расстояния, превышающие 1км, и лучше всего подходят для частот до 1,5 ГГц. Однако системы персональной связи работают в диапазоне от 1,8 до 2,0 ГГц. Примеры таких систем - это DCS 1800 и PCS 1900 - две версии системы GSM, функционирующие в Европе и США, соответственно.

В связи с этим, для создания моделей распространения сигнала в частотном диапазоне от 1,8 до 2,0 ГГц в условиях, характерных для систем PCS, были поставлены многочисленные эксперименты и проведено множество измерений.

По причине большего затухания сигнала в диапазоне 1,8ГГц в сравнении с диапазоном 900МГц, традиционно применяемым в сотовой телефонии, основное различие между системой PCS и традиционной сотовой системой заключается в уменьшении размера сот.

Исследования новых моделей распространения проводились в рамках проекта Европейского Союза COST#231.

В результате в справочной литературе представлены, по крайней мере, две известные модели распространения, разработанные в рамках проектов COST:

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 49
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

- модель COST231 - Хата;
- модель COST231- Уолфиш-Икегами.

Модель COST231-Хата

Могенсен (англ. Mogensen) с соавторами предложил расширить модели Окумуры и Хата на частотный диапазон от 1,5 до 2ГГц.

$$(L_{50})_{dB} = 46,3 + 33,9 \cdot \lg f - 13,82 \cdot \lg(h_{BS,eff}) - a(h_{MS}) + [44,9 - 6,55 \cdot \lg(h_{BS,eff})] \cdot \lg d + C$$

В этом диапазоне использование упомянутых моделей приводит к недооценке затухания сигнала.

Модель COST#231-Хата справедлива для несущих частот в диапазоне от 1,5 до 2ГГц, высоте антенны базовой станции от 30 до 200м, высоте антенны подвижной станции от 1 до 10м и расстоянию между ними от 1 до 20км.

Модель позволяет оценивать затухание по формуле

где С - постоянная: для средних городов и пригородных районов с умеренной растительностью С = 0 и для центров крупных городов С = 3.

Формально модели Окумуры, Хата и COST#231-Хата можно использовать только для высоты антенны базовой станции, превышающей 30м, однако их применение возможно и для более низких высот при условии, что соседние строения значительно ниже антенны.

Модель COST#231-Хата не подходит для оценки затухания сигнала при расстояниях между подвижной и базовой станциями менее 1км.

В этом случае затухание сильно зависит от топографии местности, в которой происходит распространение сигнала.

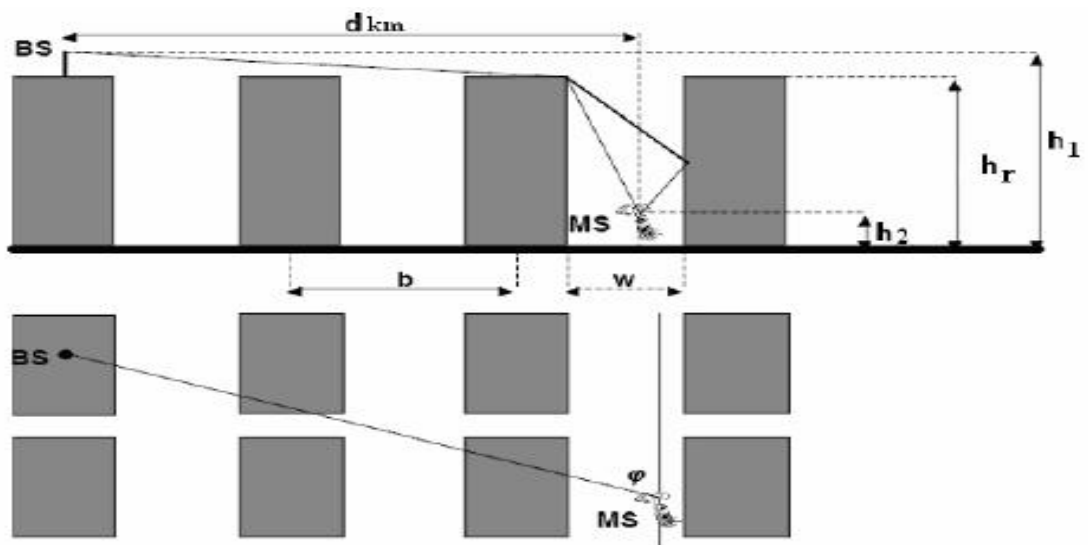
Эту модель также нельзя использовать для оценки распространения сигнала по улицам с высокими строениями (по так называемым уличным каньонам)

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 50
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Модель COST231-Уолфиш-Икегами. Модель COST#231-Уолфиш-Икегами (англ. Walfish-Ikegami), сокращенно WIM, может применяться в случаях, когда антенна базовой станции расположена как выше, так и ниже линии уровня крыш городской застройки. В совокупность эмпирических факторов, учтенных расчетной формулой входят высоты антенн базовой и подвижной станций, ширина улиц, расстояния между зданиями, высота зданий и ориентация улиц относительно направления распространения сигнала.

В общих чертах формула, описывающая потери сигнала, состоит из трех членов: потерь LS на распространение в свободном пространстве; потерь L_{rts} на дифракцию и рассеяние волн на крышах зданий; потерь L_{ms} , вызванных многократной дифракцией от рядов зданий.

Геометрия прохождения радиосигнала и параметры WIM



здесь h_1 , h_2 – высота подъема антенны БС и МС соответственно, м;
 d_{km} – расстояние по горизонтали между базовой и мобильной станциями, км;

h_r – средняя высота зданий, м;

b – среднее разнесение зданий, м;

w – средняя ширина улиц, м;

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 51
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

φ - угол на базовую станцию относительно продольного направления улиц,

град (от 0° до 90°).

Суммарные потери рассчитываются по формуле

$$(L_{50})_{dB} = L_S + L_{rts} + L_{ms}.$$

Данная модель широко используется Международным союзом электросвязи (ITU) в качестве стандартной модели для универсальной системы подвижной связи третьего поколения IMT-2000.

Ее можно применять в следующих диапазонах параметров:

- $800 < f_c < 2000$ МГц;
 - $4 < h_{BS} < 50$ м;
 - $1 < h_{MS} < 3$ м;
- $0,02 < d < 5$ км.

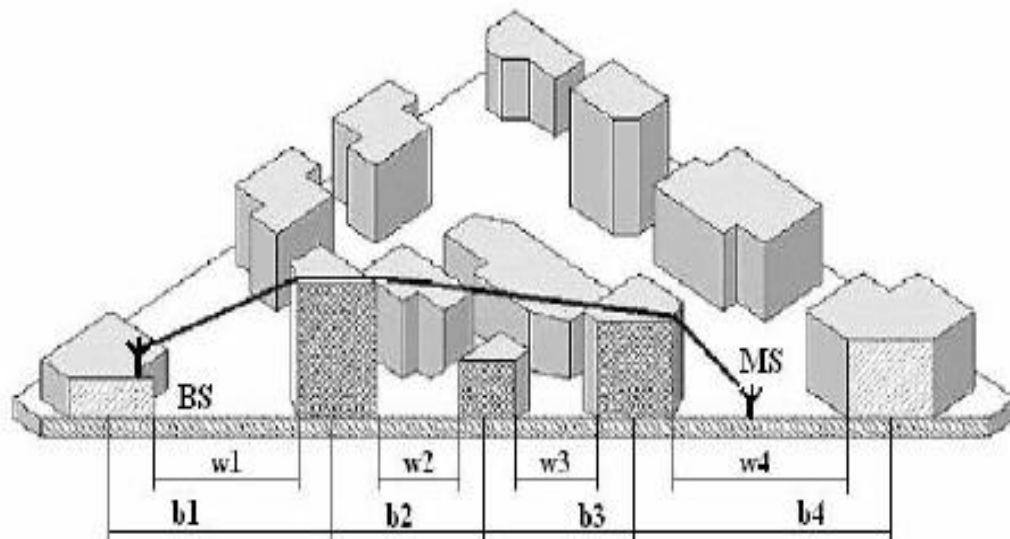
Часто параметры застройки выбираются в следующих пределах:

- высота зданий $h_f = 3 \cdot (\text{количество этажей}) + 3$ м (если крыша имеет скатную конструкцию);
- разнесение зданий $b = 20 \dots 50$ м
- ширина улицы $w = 0,5 \cdot b$.
- угол на базовую станцию относительно продольного направления улиц $\varphi = 90^\circ$

При нерегулярной застройке в качестве b , w , и h_f используют их средние значения, полученные для трассы распространения.

Определение параметров WIM для нерегулярной застройки

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 52
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		



Модель Уолфиша-Икегами позволяет рассчитать медианные потери мощности сигнала при распространении для двух противоположных случаев – при отсутствии и при наличии прямой видимости между БС и МС.

1. При отсутствии прямой видимости - NLOS основное выражение для медианных потерь имеет вид:

$$L_b = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{msd}, & L_{rts} + L_{msd} \geq 0 \\ L_0, & L_{rts} + L_{msd} < 0 \end{cases} \quad (5)$$

где L_0 - потери распространения в свободном пространстве,

L_{rts} - потери при распространении сигнала над крышами зданий за счет дифракции (roof-top-to-street diffraction loss),

L_{msd} - потери при множественном отражении сигнала от стен зданий (multiscreen diffraction loss).

Входящие в (5) компоненты определяются приведенными ниже математическими выражениями.

А) Потери распространения в свободном пространстве

$$L_0 = 32.45 + 20 \log d_{км} + 20 \log f_{МГц} \quad (6)$$

Б) Потери при распространении сигнала над крышами зданий за счет

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 53
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

дифракции:

$$L_{rtx} = -16.9 - 10 \log w + 10 \log f_{MHz} + 20 \log(h_r - h_2) + L_{ori} \quad (7)$$

где L_{ori} – потери из-за взаимной ориентации пути распространения сигнала и улиц,

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\phi, & 0 \leq \phi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\phi - 35), & 35 \leq \phi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\phi - 55), & 55 \leq \phi \leq 90^\circ \end{cases} \quad (8)$$

(Замечание: При $\phi = 28,25^\circ$ значение $L_{ori} = 0$.)

В) Потери при множественном отражении сигнала от стен зданий:

$$L_{msd} = L_{bsh} + ka + kd \log d_{km} + kf \log f_{MHz} - 9 \log b \quad (9)$$

где L_{bsh} – компонент, учитывающий уменьшение потерь, если антенна БС расположена выше крыш зданий,

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log(1 + h_1 - h_r), & h_1 > h_r \\ 0, & h_1 \leq h_r \end{cases} \quad (10)$$

ka – коэффициент, учитывающий влияние расстояния (радиуса соты) d_{km} на потери L_{msd} ,

$$ka = \begin{cases} 54, & h_1 > h_r \\ 54 - 0,8(h_1 - h_r), & d_{km} \geq 0,5, \quad h_1 \leq h_r \\ 54 - 1,6d_{km}(h_1 - h_r), & d_{km} < 0,5, \quad h_1 \leq h_r \end{cases} \quad (11)$$

kd – коэффициент, учитывающий влияние подъема антенны БС выше или ниже крыш зданий на потери L_{msd} ,

$$kd = \begin{cases} 18, & h_1 > h_r \\ 18 - 15(h_1 - h_r)/h_r, & h_1 \leq h_r \end{cases} \quad (12)$$

k_f – коэффициент, учитывающий влияние на потери L_{msd} значения частоты сигнала и характера застройки,

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 54
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

$$kf = \begin{cases} -4 + 0,7(f_{MHz}/925 - 1), & \text{средние_города_и_пригороды} \\ -4 + 1,5(f_{MHz}/925 - 1), & \text{многоэтажные_центры} \end{cases} \quad (13)$$

2. В рамках модели Уолфиша-Икегами распространение по линии прямой видимости (The Walfisch-Ikegami Line-of-Sight (WIM-LOS)) предполагается при условии расположения антенны БС не выше крыш зданий и распространения вдоль уличного каньона или других открытых площадей.

При этом используется следующее выражение,

$$L_{WIM-LOS} = 42,64 + 26 \log d_{km} + 20 \log f_{MHz}, \quad d_{km} \geq 0,02 \quad (14)$$

Из (6) и (14) можно видеть, что

$$L_{WIM-LOS} = L_0 + 10,19 + 6 \log(d_{km}) = L_0 + 6 \log(49,93 d_{km}) \quad (15)$$

Или, с учетом приближения,

$$\Delta L_{WIM-LOS} \approx 6 \log(d_m / 20) \quad (16)$$

где d_m – расстояние между БС и МС в метрах.

Как следует из (15 - 16), при $d_m = 20$ м, модель Уолфиша-Икегами эквивалентна модели распространения в свободном пространстве.

При росте d_m эта модель дает около 6дВ на декаду по дистанции большее затухание, чем модель для свободного пространства.

Считается, что модель Уолфиша-Икегами имеет наибольшие погрешности для случая расположения антенн БС ниже уровня крыш зданий при заметной нерегулярности застройки.

Модель рассчитана на плоское основание города, из-за чего она не применима для городов с сильной неравномерностью рельефа.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 55
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

2.2. Методика расчета ослабления сигналов при распространении радиоволн из здания на улицу

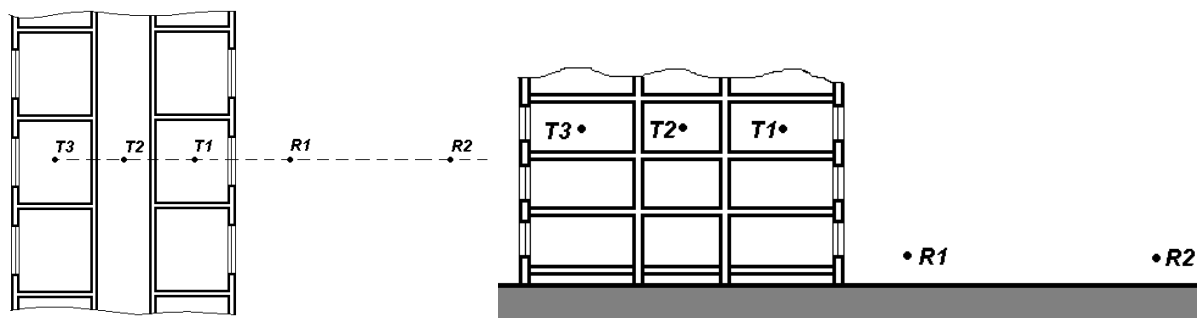
В настоящее время разработано достаточно много моделей распространения радиоволн и методик расчета уровней ослабления сигналов в условиях городской застройки. Как правило, такие модели можно разделить на три типа: модели распространения радиоволн в городских кварталах, модели распространения радиоволн внутри зданий и модели распространения радиоволн из здания и внутрь здания. При этом модели распространения радиоволн из здания и внутрь здания могут применяться как в виде самостоятельного аппарата прогнозирования, так и в виде связующего звена между моделями распространения в городе (вне зданий) и моделями распространения внутри здания..

Рассмотрим многоэтажное здание офисного типа в виде периодической структуры с ячейками из помещений и коридоров (рис. 2.1). В общем случае предполагаем, что помещения на каждом этаже имеют одинаковые размеры и соединены общим коридором. Приемная антенна может размещаться на различных удалениях от здания, например, в точках R1 и R2. Передающая антенна может размещаться в ближайшей к приемной антенне комнате (точка T1), в коридоре (точка T2) и в удаленной комнате (точка T3).

Для выявления наиболее общих закономерностей полагаем, что проекция линии, соединяющей точки T и R, на горизонтальную плоскость нормальна фронтальной стене здания (рис. 2.1a). Кроме того предполагается, что в комнатах здания отсутствует мебель.

В качестве передающей и приемной антенны рассмотрим дипольную антенну, удовлетворяющую условию $l \ll \lambda$, где l - длина антенны, λ - длина волны.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 56
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		



а) вид сверху

б) вид сбоку

Рис. 2.1. Схема многоэтажного здания и точек размещения передающей и приемной антенн.

Для расчета напряженности поля целесообразно использовать геометрическую теорию дифракции, отличающуюся простой математической записью выражений для коэффициентов дифракции и достаточно высокой точностью расчетов при размещении точки приема в зоне тени.

В качестве примера рассмотрим лучевую структуру поля для типовой ситуации размещения передающей антенны в комнате на первом этаже здания и приемной антенны – вблизи земли на некотором удалении от здания (рис. 2.2).

Для упрощения анализа предлагаемой модели распространения радиоволн все множество лучей в точке приема выделим в две группы.

Первая группа лучей образует дифракционную компоненту поля (рис. 2.2а). Для рассматриваемой трассы распространения радиоволн эту группу образуют дифракционные лучи на вертикальных и горизонтальных краях оконного проема (на рис. 2.2а цифрами 1-3 обозначены горизонтальные края оконного проема, освещенные первичным падающим полем). Кроме того, учитывается многократное отражение лучей от стен, пола и потолка комнаты.

Вторая группа лучей образует сквозную компоненту и представляет

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 57
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

собой лучи, проходящие через окно, стены и межэтажные перекрытия, а также сквозные лучи многократно переотразившиеся внутри комнаты (рис. 2.2б).

Кроме того, в каждой группе учитывается как прямой луч, так и луч, отраженный от земной поверхности.

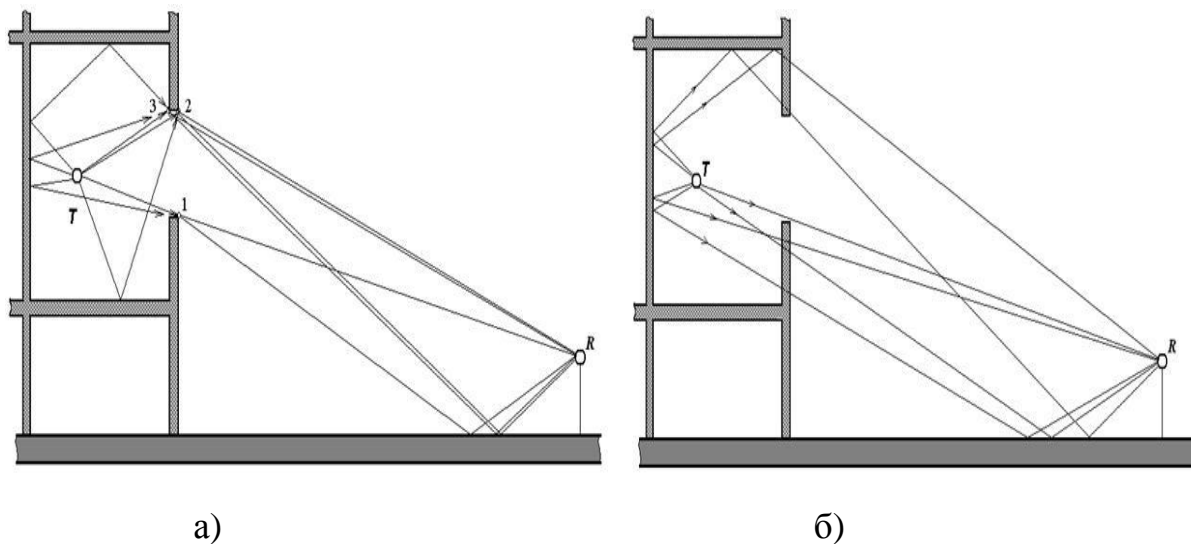


Рис. 2.2. Схема лучей дифракционной (а) и сквозной (б) компонент волны (вид сбоку)

При размещении передающей антенны на n -ом этаже дополнительный вклад в результирующий сигнал будут вносить волны дифракции на оконных проемах более низких этажей (рис. 2.3). Однако проведенные дополнительные расчеты показали, что вклад волн дифракции на более низких этажах существенно меньше вклада волн дифракции на оконном проеме этажа размещения передающей антенны вследствие существенного ослабления радиоволн межэтажными перекрытиями.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 58
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

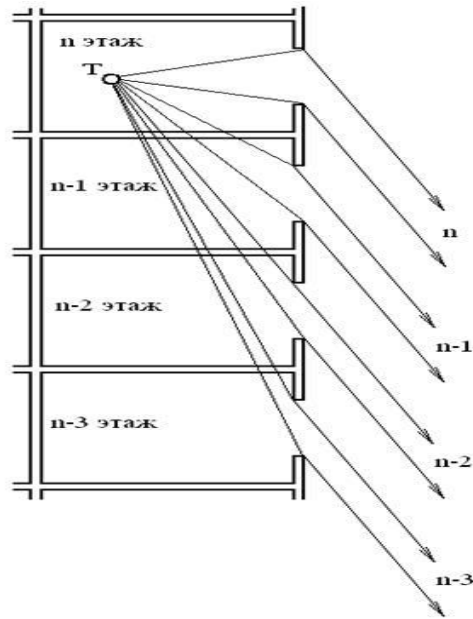


Рис. 2.3. Схема лучей дифракции на оконных проемах комнат различных этажей здания

Общая электродвижущая сила (ЭДС), наведенная в приемной антенне многолучевым полем, будет определяться суммой:

$$\xi_A = \sum_{i=1}^N \xi_i,$$

где $\xi_i = E_i l_d(\theta_i, \varphi_i)$ – ЭДС, наведенная полем i -го луча; E_i – напряженность поля i -го луча в точке приёма; θ_i, φ_i – угол места и азимут прихода луча;

$l_d(\theta_i, \varphi_i) = l_d(\theta_i) = l \cos(\theta_i)$ – действующая длина дипольной антенны.

Напряженность поля сквозной через препятствие волны можно записать в виде:

$$E_N = E_0 W A_N e^{-iks}$$

где E_0 – напряженность поля падающей волны, A_N – коэффициент, зависящий от геометрии трассы; W – коэффициент прозрачности препятствия; k – постоянная распространения в воздухе; s – расстояние от

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 59
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

точки выхода волны из стены до точки приема.

Коэффициент прозрачности может быть рассчитан как с учетом переотражений волны внутри слоя, так и приближенно через коэффициенты прохождения волны из воздуха в стену и из стены в воздух.

В первом случае коэффициент прозрачности равен

$$W = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2 e^{ik_2h} - (Z_1 - Z_2)^2 e^{-ik_2h}}$$

где $Z_{1,2}$ - импеданс воздуха и стены соответственно; k_2 - постоянная распространения в стене; h - толщина стены.

Во втором случае приближенное выражение для коэффициента прозрачности имеет вид

$$W = T_{1-2}T_{2-1}e^{-ik_2h_1}$$

где $T_{1-2,2-1}$ - коэффициент прохождения из воздуха в стену и из стены в воздух; h_1 - расстояние, проходимое волной в стене.

Напряженность поля отраженной от препятствия волны равна:

$$E_R = E_0 R A_R e^{-iks}$$

где A_R - коэффициент, зависящий от геометрии трассы; R - коэффициент отражения Френеля; s - расстояние между точкой отражения и точкой приёма.

Выражение для напряженности поля дифракционной волны имеет вид:

$$E_D = E_0 D A_D e^{-iks}$$

где A_D - коэффициент, зависящий от геометрии трассы, D - коэффициент дифракции; s - расстояние между точкой дифракции и точкой приёма.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 60
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

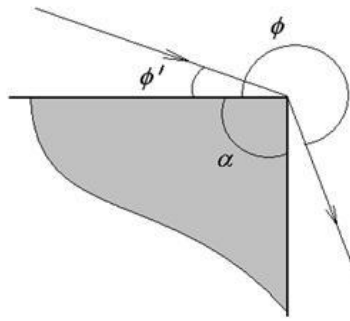


Рис. 2.4. Геометрия задачи дифракции на диэлектрическом клине

При нахождении коэффициента дифракции воспользуемся решением задачи дифракции плоской волны на диэлектрическом клине

$$D = D_1 + D_2 + R(\psi)(D_3 + D_4),$$

$$D_1 = -\frac{e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k}} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi + (\phi - \phi')}{2n} \right) \times F(kLa^+(\phi - \phi')),$$

$$D_2 = -\frac{e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k}} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi - (\phi - \phi')}{2n} \right) \times F(kLa^-(\phi - \phi')),$$

$$D_3 = -\frac{e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k}} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi + (\phi + \phi')}{2n} \right) \times F(kLa^+(\phi + \phi')),$$

$$D_4 = -\frac{e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k}} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi - (\phi + \phi')}{2n} \right) \times F(kLa^-(\phi + \phi')),$$

$$F(x) = 2j\sqrt{x} \int_{\sqrt{x}}^{\infty} e^{-ju} du \quad \text{для } x > 0,$$

$$F(x) = F^*(|x|) \quad \text{для } x < 0,$$

$$a^{\pm}(\phi, \phi') = 2 \cos^2 \left(\frac{2\pi n N^{\pm} - (\phi \pm \phi')}{2} \right),$$

ϕ и ϕ' - угол дифракции и падения волны соответственно,

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 61
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

N^{\pm} - целое число, максимально удовлетворяющее двум уравнениям

$$2\pi nN^{+} - (\phi \pm \phi') = \pi,$$

$$2\pi nN^{-} - (\phi \pm \phi') = -\pi,$$

$$n = \frac{2\pi - \alpha}{\pi}, \quad \alpha - \text{внутренний угол клина};$$

$R(\psi)$ - коэффициент отражения, $\psi = \psi(\phi)$ - угол между нормалью к грани клина и направлением дифракционного луча;

$$\psi(\phi) = 0,5\pi - n\pi + \phi, \quad \text{при } 0,75\pi \leq \phi < n\pi,$$

$$\psi(\phi) = 0,5\pi - \phi, \quad \text{при } 0 < \phi < 0,75\pi.$$

Результаты расчетов и их анализ.

Для проверки достоверности разработанной методики проведены сравнения результатов расчетов с результатами экспериментов, полученными в работе. Параметры трассы распространения приняты аналогичными представленным в виде:

- толщина фронтальной стены здания равна 0,4 м;
- передающая антенна размещается на удалении 3 м от окна на высоте 1 м над полом;
- высота подоконника – 1 м;
- пол первого этажа находится на высоте 1 м над землей;
- приемная антенна размещается на удалении 2 м и 14 м от здания на высоте 1 м над землей.

Необходимо отметить, что весьма важным является определение комплексной диэлектрической проницаемости стен и межэтажных перекрытий $\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon''$, оказывающей существенное влияние на поглощение радиоволн в материале препятствия.

Наиболее достоверные результаты оценки поглощения радиоволн в

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 62
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

различных материалах могут быть получены на основе экспериментальных исследований. Анализ параметров влажной и сухой кирпичной стены (песка), показывает, что в рассматриваемом диапазоне частот вещественная часть диэлектрической проницаемости практически не зависит от частоты и может быть принята равной $\epsilon' = 5$.

На рис. 2.5 приведены обобщенные результаты измерений удельного затухания радиоволн в сухой и влажной кирпичной стене (песке). Сплошные кривые построены по данным, штриховые – по данным.

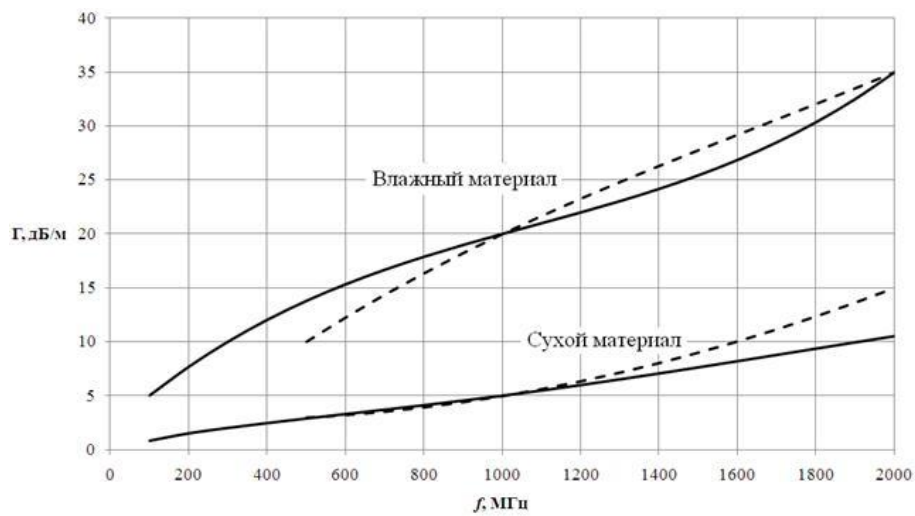


Рис. 2.5. Частотная зависимость удельного затухания в сухом и влажном материале

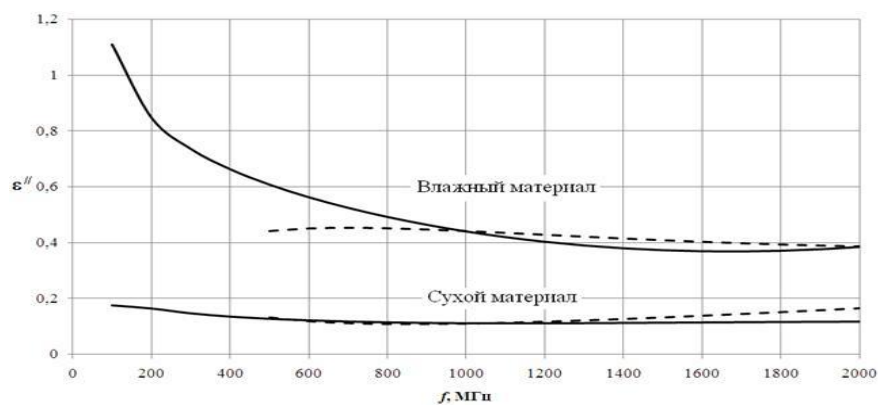


Рис. 2.6. Частотная зависимость мнимой части диэлектрической проницаемости для сухого и влажного материала

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 63
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

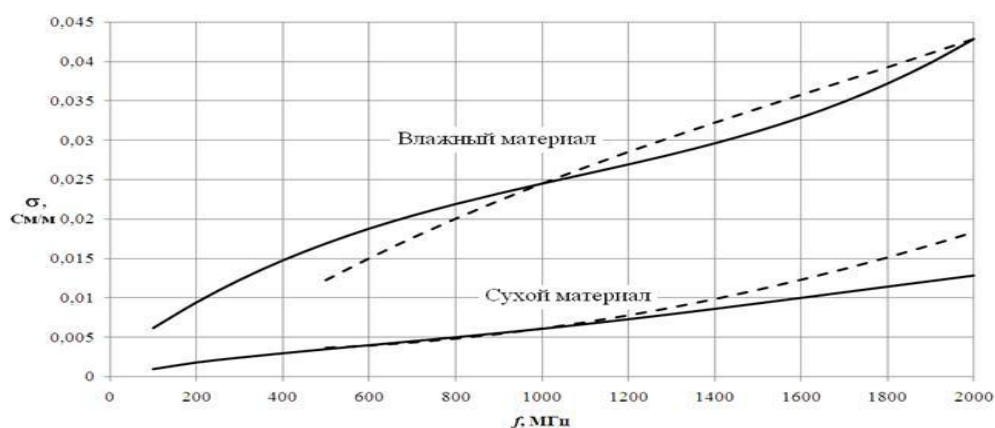


Рис. 2.7. Частотная зависимость проводимости для сухого и влажного материала

Диэлектрическая проницаемость межэтажных перекрытий может быть принята равной диэлектрической проницаемости внешней кирпичной стены.

На основе предлагаемой методики рассчитывался уровень сигнала в точке наблюдения относительно уровня сигнала в опорной точке, расположенной на удалении 1 м от передающей антенны (ослабление сигнала относительно сигнала в опорной точке):

$$K(f) = \frac{\xi_A(f)}{\xi_{A0}(f)},$$

где $\xi_A(f)$ - ЭДС в точке наблюдения; $\xi_{A0}(f)$ - ЭДС в опорной точке.

Для сравнения также были проведены расчеты относительного уровня сигнала (ослабления сигнала) K на основе модели COST 231:

$$K[\text{дБ}] = L_0[\text{дБ}] - L[\text{дБ}]$$

где L - потери на трассе распространения из здания на улицу; L_0 - потери в опорной точке на расстоянии 1 м от передающей антенны.

Согласно [1] L рассчитывается по формуле:

$$L[\text{дБ}] = 32,4 - 20 \log(f) + 20 \log(S+d) + W_s + W_G \left(1 - \frac{D}{S}\right)^2 + \max(\Gamma_1, \Gamma_2)$$

где S , D , d [м] - расстояния, определяемые из геометрии задачи (рис. 2.8),

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 64
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

f [ГГц] – частота сигнала; W_e - потери во внешней стене здания при нормальном падении волны на стену ($S=D$); WG_e - дополнительные потери при $D=0$.

$\Gamma_1 = W_{iP}$; $\Gamma_2 = \alpha(d-2)(1-D/S)^2$; W_i - потери во внутренней стене здания;

P - количество внутренних стен, пересекаемых линией d ; α - затухание внутри здания.

На основании анализа результатов многочисленных измерений в предлагаются следующие значения указанных параметров:

$W_e = 4..10$ дБ (среднее значение при стандартном окне – 7 дБ);

$W_i = 4..10$ дБ (среднее значение 7 дБ);

$WG_e = 20$ дБ;

$\alpha = 0,6$ дБ/м.

Поскольку опорная точка находится достаточно близко к передающей антенне, потери L_0 могут быть определены по формуле для свободного пространства:

$$L_0[\text{дБ}] = 32,4 + 20\log(f[\text{ГГц}]) + 20\log(r[\text{м}])$$

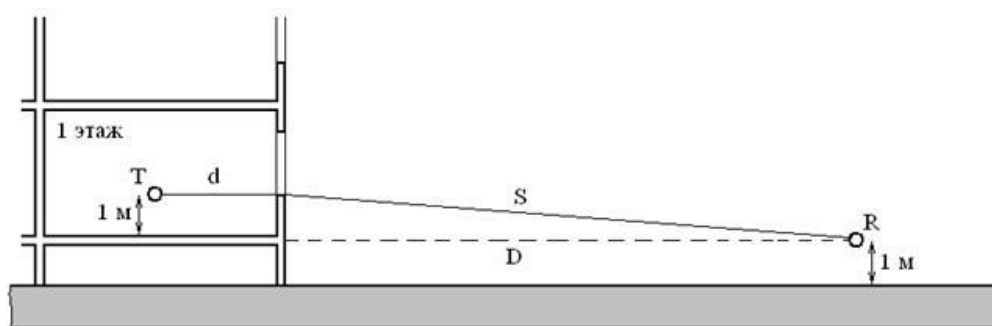


Рис. 2.8. Геометрия трассы распространения радиоволн с первого этажа здания

На рис. 2.9, 2.10 представлены значения ослабления сигналов при

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 65
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

удалении приемной антенны на расстояние 2 м (рис. 2.9) и 14 м (рис. 2.10) от здания, рассчитанные по предлагаемой методике (сплошная кривая), по методике COST (штриховая линия) и полученные экспериментально в работе (точки).

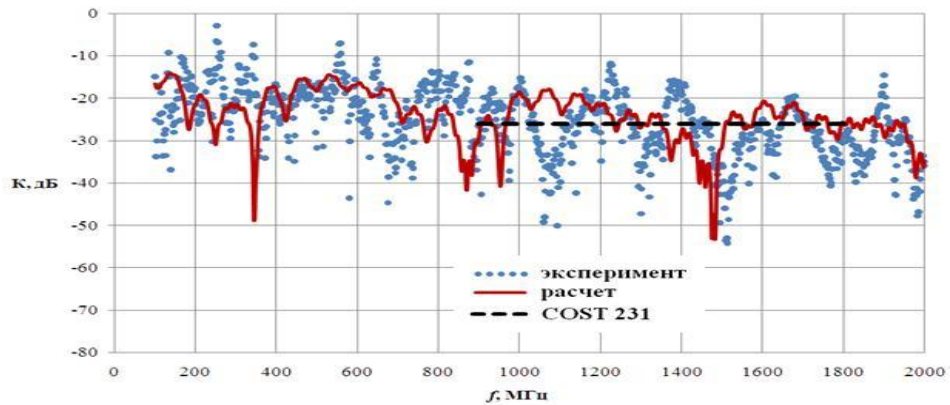


Рис. 2.9. Частотные зависимости ослабления сигнала относительно точки на расстоянии 1 м от передающей антенны при удалении приемной антенны на расстояние 2 м от здания.

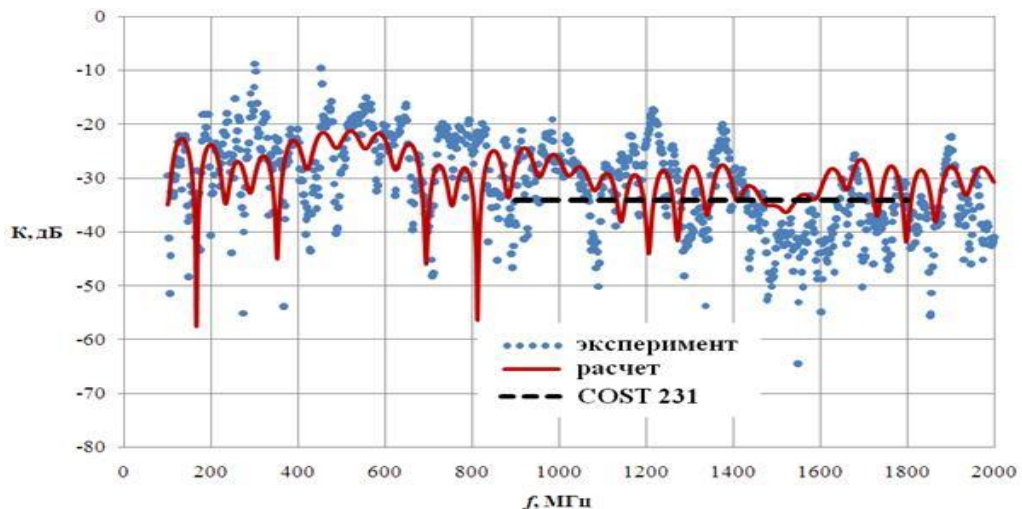


Рис. 2.10. Частотные зависимости ослабления сигнала относительно точки на расстоянии 1 м от передающей антенны при удалении приемной антенны на расстояние 14 м от здания.

Максимальная недооценка уровня сигнала при использовании модели COST 231 наблюдается при наличии прямой видимости между передающей и приемной антенной. Такая трасса может быть получена в

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 66
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

рассматриваемой геометрии задачи (рис. 2.8) при увеличении высоты передающей антенны над полом до 1,5 м (рис. 2.11).

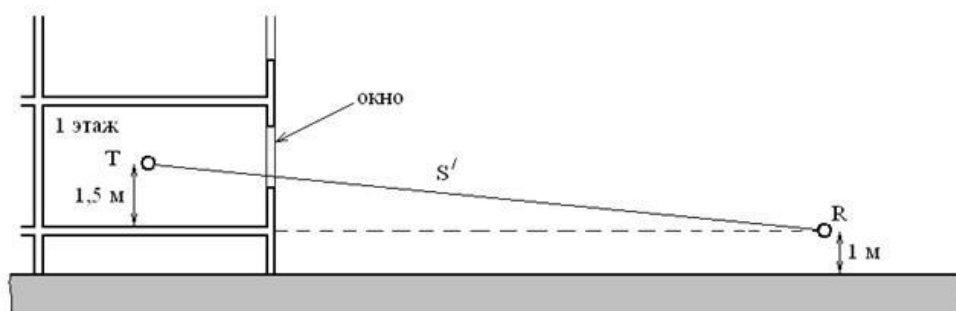


Рис. 2.11. Геометрия трассы распространения радиоволн с первого этажа здания (передающая и приемная антенны находятся на линии прямой видимости)

На рис. 2.12 представлены частотные зависимости ослабления при размещении передающей антенны на высоте 1,5 м над полом, рассчитанные по предлагаемой методике и по методике COST 231.

Из рис. 2.12 видно, что во всем диапазоне частот 900 – 1800 МГц средние значения K , полученные на основе COST 231, занижены на 8 - 14 дБ (уровень сигнала существенно недооценивается). Объясняется это возможно тем, что экспериментальные данные, на основе которых разработана модель COST231, были получены для различных трасс распространения радиоволн, причем большинство трасс существенно отличалось от линии прямой видимости между передающей и приемной антеннами, проходящей через окно.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 67
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

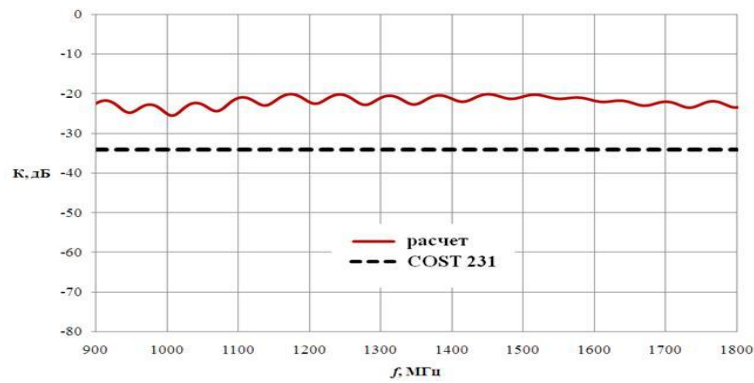


Рис. 2.12. Частотные зависимости ослабления сигнала при удалении приемной антенны на расстояние 14 м от здания (высота передающей антенны 1,5 м над уровнем пола)

При достаточно большом удалении приемной антенны от здания существенное влияние на уровень принимаемого сигнала может оказывать поверхность земли за счет интерференции в точке приема прямых и отраженных от земли лучей. На рис. 2.13 – 2.15 представлены рассчитанные частотные зависимости ослабления сигнала при размещении передающей антенны на высоте 1 м над уровнем пола на 1, 3 и 7 этажах и приемной антенны на удалении 100 м от здания. Также для сравнения представлены результаты расчетов ослабления при аналогичном размещении передающей антенны относительно поверхности земли, но в отсутствии здания и результаты расчетов на основе модели COST 231.

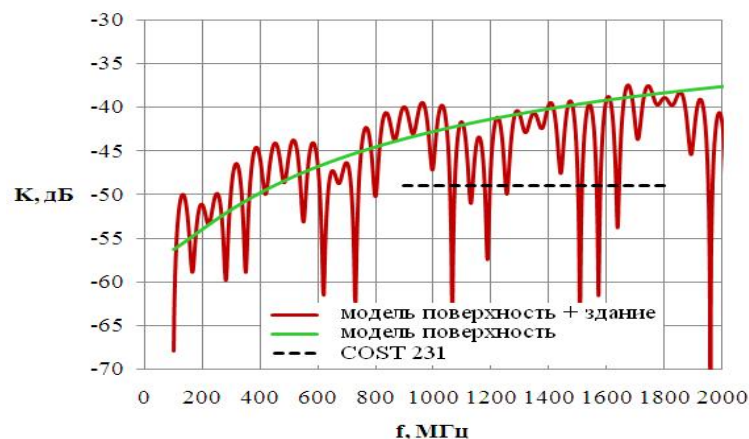


Рис. 2.13. Частотные зависимости ослабления сигнала при размещении передающей антенны на первом этаже здания

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 68
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

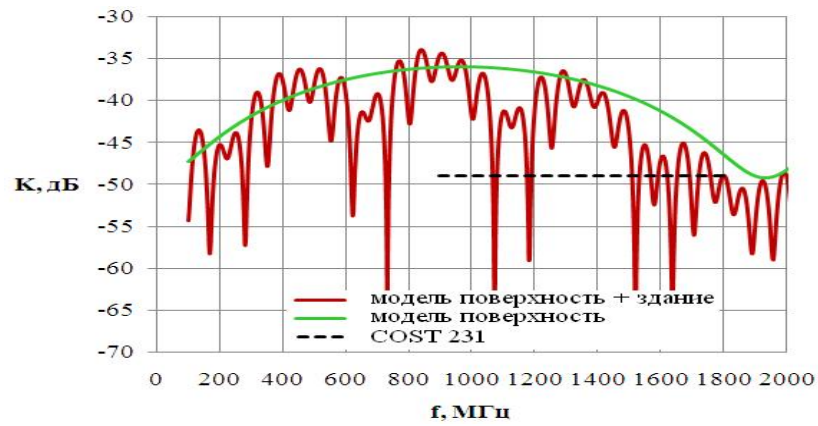


Рис. 2.14. Частотные зависимости ослабления сигнала при размещении передающей антенны на третьем этаже здания

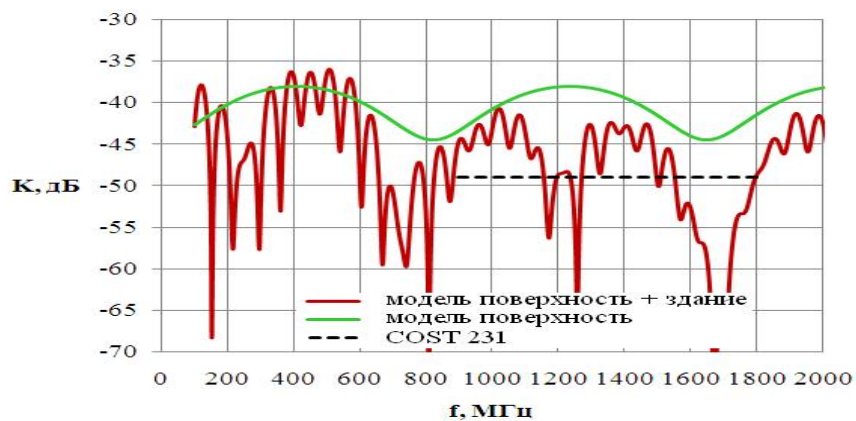


Рис. 2.15. Частотные зависимости ослабления сигнала при размещении передающей антенны на 7-м этаже здания

Из анализа рис. 2.13 - 2.14 видно, что при размещении передающей антенны на нижних этажах здания влияние земли весьма существенно, средний уровень ослабления с учетом здания практически повторяет уровень ослабления, рассчитанного только с учетом поверхности. При перемещении передающей антенны с первого этажа на третий влияние земли уменьшается на частотах 100 – 800 МГц (средний уровень относительного сигнала увеличивается на 5 – 10 дБ), однако проявляется на частотах 1500 – 2000 МГц (средний уровень относительного сигнала уменьшается на 5 – 10 дБ).

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 69
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

2.3. Рассчитывается зона покрытия одной базовой станции разным методами.

В данной части рассчитывается зона покрытия одной базовой станции двумя методами – методом Окамуры-Хата и методом Волфиша-Икегами. В ходе расчетов будет доказано, что разница в расчетах данными методами невелика.

При выполнении работы требуется определить зону покрытия БС стандарта GSM, расположенной в соответствии с заданием в одном из районов г. Ташкент, используя два метода:

1. эмпирическую модель предсказания Окомура-Хата или COST231-Хата, указанные в задании;
2. модель Волфиша-Икегами (WIM).

Радиус зоны покрытия определяется в трех направлениях: север, юго-восток, юго-запад.

Необходимо также определить зону покрытия МС одним из предложенных методов (на выбор). Местоположение МС выбрать в направлении на север от БС на расстоянии 1,5 км от нее.

На чертеже указать конфигурации зон покрытия БС, полученные различными методами, а также зону покрытия МС.

Высота антенны мобильной станции (МС) принимается равной 1,5 м.

Таблица 1 – Высота подвеса антенны БС

Высота подъема антенны БС h_{BC} , м	40
Стандарт GSM	1800
Модели расчета	COST231- Хата

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 70
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Таблица 2 - Стандартные значения параметров БС и МС

Обозначение	Наименование и единица измерения	Значение
РПРД БС	Мощность передатчика БС, дБВт	13
ГПРД БС	К-т усиления передающей антенны БС , дБ	18
fПРД БС	Полоса рабочих частот передачи БС, МГц	935-960
РПРМ БС	Чувствительность приемника БС, дБВт	-138
ГПРМ БС	К-т усиления приемной антенны БС , дБ	18
fПРМ БС	Полоса рабочих частот приема БС, МГц	890-915
РПРД МС	Мощность передатчика МС, дБВт	-3
ГПРД МС	К-т усиления передающей антенны МС, дБ	0
fПРД МС	Полоса рабочих частот передачи МС, МГц	890-915
РПРМ МС	Чувствительность приемника МС, дБВт	-104
ГПРМ МС	К-т усиления приемной антенны МС, дБ	0
fПРМ МС	Полоса рабочих частот приема МС, МГц	935-960

Рельеф местности в зоне обслуживания $\Delta h_{БС}$ системы подвижной радиосвязи определяется по карте местности с учетом расположения трехсекторной антенны K730380 в месте расположения БС.

Коэффициент согласования антенны с радиосигналом по поляризации (для передатчика и приемника) принимается равным $\xi_{П} = \xi_{С} = 0,9$.

КПД передающего и приемного фидеров принимается равным $\eta_{ФПРД} = \eta_{ФПРМ} = 0,95$.

1. Определение зоны покрытия трехсекторной БС с помощью моделей предсказания, учет потерь при распространении радиоволн. Основу территориального планирования составляет энергетический расчет, в процессе которого определяется архитектура сети и ее пространственные координаты с учетом качества обслуживания и информационной нагрузки. Заданное качество принятого сигнала определяется чувствительностью приемника. В общем виде уравнение передачи может быть представлено как:

$$P_{ПРМ} = \frac{P_{ПРД} \cdot \eta_{ФПРД} \cdot G_{АПРД} \cdot \xi_{П} \cdot G_{АПРМ} \cdot \eta_{ФПРМ} \cdot \xi_{С}}{L_{\Sigma}} \quad (2.3.1)$$

где $P_{ПРМ}$ – мощность радиосигнала на входе приемника;

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 71
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

$P_{\text{ПРД}}$ – мощность передатчика;

$\eta_{\text{ФПРД}}, \eta_{\text{ФПРМ}}$ – КПД передающего и приемного фидеров;

$G_{\text{АПРД}}, G_{\text{АПРМ}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн;

$\xi_{\text{П}}, \xi_{\text{С}}$ – коэффициенты согласования антенн с радиосигналом по поляризации;

L_{Σ} – суммарное затухание радиоволн на трассе.

Значение мощности радиосигнала на входе приемника удобно выражать в децибелах относительно ватта. При этом уравнение (2.3.1) принимает вид:

$$P_{\text{ПРМ}}(\text{дБ}/\text{Вт}) = P_{\text{ПРД}}(\text{дБ}/\text{Вт}) + \eta_{\text{ФПРД}}(\text{дБ}) + G_{\text{АПРД}}(\text{дБ}) + \xi_{\text{П}}(\text{дБ}) + G_{\text{АПРМ}}(\text{дБ}) + \eta_{\text{ФПРМ}}(\text{дБ}) + \xi_{\text{С}}(\text{дБ}) - L_{\Sigma}(\text{дБ}) \quad (2.3.2)$$

По этой формуле несложно определить суммарные энергетические потери, возникающие на трассе распространения радиоволн:

$$L_{\Sigma}(\text{дБ}) = P_{\text{ПРД}} + \eta_{\text{ФПР}} + G_{\text{АПРД}} + \xi_{\text{П}} + G_{\text{АПРМ}} + \eta_{\text{ФПРМ}} + \xi_{\text{С}} - P_{\text{ПРМ}} \quad (2.3.3)$$

Для БС суммарное затухание радиоволн на трассе равно:

$$L_{\Sigma \text{ БС}}(\text{дБ}) = P_{\text{ПРД БС}} + \eta_{\text{ФПР БС}} + G_{\text{АПРД БС}} + \xi_{\text{П БС}} + G_{\text{АПРМ МС}} + \eta_{\text{ФПРМ МС}} + \xi_{\text{С МС}} - P_{\text{ПРМ МС}} = 13 + 0,95 + 18 + 0,9 + 0 + 0,95 + 0,9 + 104 = 138,7 \text{ дБ}$$

Для МС суммарное затухание радиоволн на трассе равно:

$$L_{\Sigma \text{ МС}}(\text{дБ}) = P_{\text{ПРД МС}} + \eta_{\text{ФПР МС}} + G_{\text{АПРД МС}} + \xi_{\text{П МС}} + G_{\text{АПРМ БС}} + \eta_{\text{ФПРМ БС}} + \xi_{\text{С БС}} - P_{\text{ПРМ БС}} = -3 + 0,95 + 0 + 0,9 + 18 + 0,95 + 0,9 + 138 = 156,7 \text{ дБ}$$

Определим суммарное затухание радиоволн как потери распространения для соответствующего типа местности $L_{\text{Р}}$ и поправки, учитывающей рельеф местности $L_{\text{РЕЛ}}$:

$$L_{\Sigma} = L_{\text{Р}} + L_{\text{РЕЛ}} \quad (2.3.4)$$

Определим поправку, учитывающей рельеф местности. Для этого в районе ориентировочного местоположения БС на карте города выбираем

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 72
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

место, которое будет удовлетворять одновременно следующим условиям:

- для размещения антенны БС в соответствующем районе имеется подходящее по условиям задания здание или опора, на которых можно арендовать площадь для размещения антенны БС;
- перед антенной БС на расстоянии приблизительно 5 км для GSM-900 и 3 км для GSM-1800 не должно быть значительных возвышенностей (экранов), желательно во всех трех направлениях, для которых производится расчет (север, юго-запад и юго-восток).

Рассчитаем высоту данного здания вместе с антенной:

$$h=9*3=27 \text{ м}$$

Вместе с антенной: $h=27+3=30$ метров.

Строим в трех направлениях рельеф местности. На рельефе указываем высоты для следующих точек местности: первая точка – точка расположения антенны БС; следующие точки выбираем через 5 км для стандарта GSM-900 в каждом направлении и через 3 км для стандарта GSM-1800 в каждом направлении. Получим по 6 точек в каждом направлении, соединив которые плавной линией, определим в соответствующем направлении рельеф местности.

В данной работе используется трехсекторная антенна, разделим местность на 3 сектора: сектор А - 0°, сектор В - 120°, сектор С - 240°.

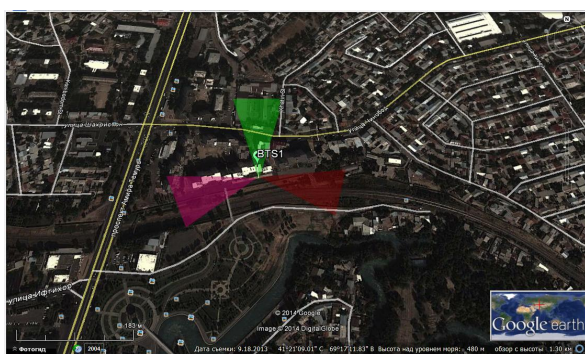
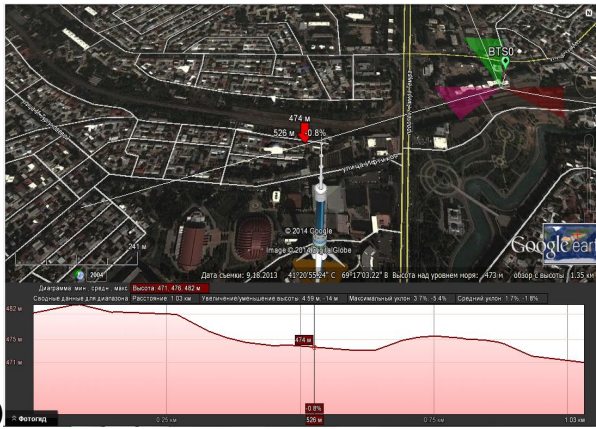


Рисунок 2.16 – Три сектора местности



Рисунок 2.17 – Рельеф местности в направлении к северу от БС

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 73
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		



0

Рисунок 2.18 – Рельеф местности в направлении к юго-западу от БС

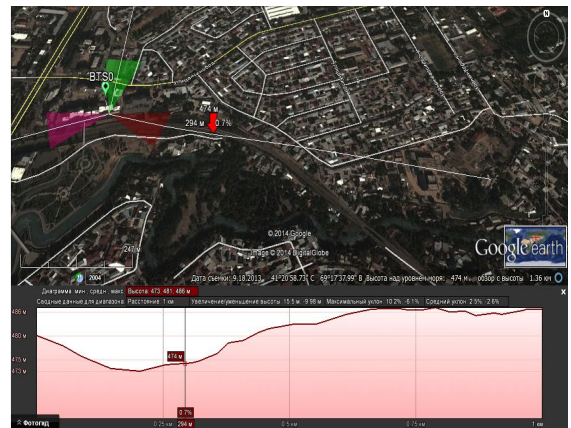


Рисунок 2.19 – Рельеф местности в направлении к юго-востоку от БС

Определим поправки, учитывающие рельеф местности для всех трех направлений. Коэффициент $L_{\text{рел}}$ определяем, интерполируя между графиками рисунка 2.18,2.19.

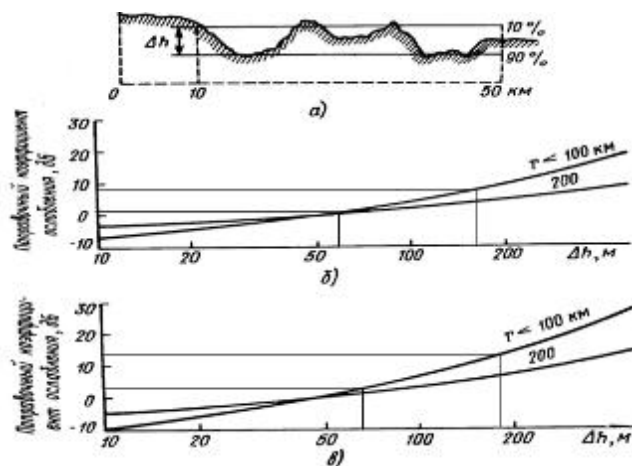


Рисунок 2.20 – График для определения поправки, учитывающей рельеф местности

При $\Delta h = 64$; $L_{\text{РЕЛ}} = \frac{2+3}{2} = 2,5$ дБ - сектор А - 0°

При $\Delta h = 194$; $L_{\text{РЕЛ}} = \frac{8,5+12}{2} = 10,25$ дБ - сектор В - 120°

При $\Delta h = 8$; $L_{\text{РЕЛ}} = \frac{-4-12}{2} = -8$ дБ - сектор С - 240°

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 74
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Определим потери распространения для соответствующего типа местности:

1. От БС к МС:

$$L_P = L_{\Sigma} - L_{PEЛ} = 138,7 - 2,5 = 136,2 \text{ дБ - сектор А - } 0^\circ$$

$$L_P = L_{\Sigma} - L_{PEЛ} = 138,7 - 10,25 = 128,45 \text{ дБ - сектор В - } 120^\circ$$

$$L_P = L_{\Sigma} - L_{PEЛ} = 138,7 + 8 = 146,7 \text{ дБ - сектор С - } 240^\circ$$

2. От МС к БС:

$$L_P = L_{\Sigma} - L_{PEЛ} = 156,7 - 2,5 = 154,2 \text{ дБ - сектор А - } 0^\circ$$

Определив из потери распространения для соответствующего типа местности L_P , можно приступить к определению радиуса зоны покрытия базовой станции с помощью эмпирических моделей Оокумура и Хата, Волфиша-Икегами (WIM).

2. Модель COST231-Хата. Могенсен с соавторами предложил расширить модели Оокумура и Хата на частотный диапазон от 1,5 до 2 ГГц. В этом диапазоне использование модели Оокумура и Хата приводит к недооценке затухания сигнала. Модель COST231-Хата справедлива для несущих частот в диапазоне от 1,5 до 2 ГГц, высоте антенны базовой станции от 30 до 200 м, высоте антенны подвижной станции от 1 до 10 м и расстоянию между ними от 1 до 20 км. Модель позволяет оценивать затухание по формуле

$$L_p = 46,3 + 33,9 \lg(f_0) - 13,83 \lg(h_b) - a(h_m) + [44,9 - 6,55 \lg(h_b)] \lg r + C, \quad (2.3.5)$$

Где C – постоянная: для средних городов и пригородных районов с умеренной растительностью $C = 0$ и для центров крупных городов $C = 3$.

Формально модели Оокумура и Хата и COST231-Хата можно использовать только для высоты антенны базовой станции, превышающей 30м, однако их применение возможно и для более низких высот при

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 75
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

условии, что соседние строения значительно ниже антенны.

Модель COST231-Хата не подходит для оценки затухания сигнала при расстояниях между подвижной и базовой станциями менее 1 км. В этом случае затухание сильно зависит от топографии местности, в которой происходит распространение сигнала. Эту модель также нельзя использовать для оценки распространения сигнала по улицам с высокими строениями (по так называемым уличным каньонам).

$$h_b = 30 \text{ м} - \text{Высота антенны базовой станции}$$

$$h_m = 1,7 \text{ м} - \text{Высота антенны мобильной станции}$$

1. От БС к МС:

$$f_0 = 1900 \text{ МГц}$$

$$a(h_m) = [1,1 \cdot \lg(f_0) - 0,7] \cdot h_m - [1,56 \cdot \lg(f_0) - 0,8]$$

$$a(h_m) = [1,1 \cdot \lg(1900) - 0,7] \cdot 1,7 - [1,56 \cdot \lg(1900) - 0,8] = 0,626$$

$$A = A(f_0, h_b, h_m) = 46,3 + 33,9 \cdot \lg(1900) - 13,83 \cdot \lg(30) - 0,626 = 136,39$$

$$B = B(h_b) = 44,9 - 6,55 \cdot \lg(30) = 35,22$$

$$L_P = A + B \cdot \lg(r)$$

$$r = 10^{\frac{L_P - A}{B}}$$

1.1. Сектор А - 0°:

$$r = 10^{\frac{L_P - A}{B}} = 10^{\frac{136,2 - 125,427}{35,22}} = 0,987 \text{ км}$$

1.2. Сектор В - 120°:

$$r = 10^{\frac{L_P - A}{B}} = 10^{\frac{128,45 - 136,39}{35,22}} = 0,594 \text{ км}$$

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 76
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

1.3. СЕКТОР С - 240°:

$$r = 10 \frac{L_P - A}{B} = 10 \frac{146,7 - 136,39}{35,22} = 1,962 \text{ км}$$

2. От МС к БС:

$$f_0 = 1750 \text{ МГц}$$

$$a(h_m) = [1,1 \cdot \lg(f_0) - 0,7] \cdot h_m - [1,56 \cdot \lg(f_0) - 0,8]$$

$$a(h_m) = [1,1 \cdot \lg(1750) - 0,7] \cdot 1,7 - [1,56 \cdot \lg(1750) - 0,8] = 0,614$$

$$A = A(f_0, h_b, h_m) = 46,3 + 33,9 \cdot \lg(1750) - 13,83 \cdot \lg(30) - 0,614 = 135,192$$

$$B = B(h_b) = 44,9 - 6,55 \cdot \lg(30) = 35,22$$

$$L_P = A + B \cdot \lg(r)$$

$$r = 10 \frac{L_P - A}{B}$$

2.1. СЕКТОР А - 0°:

$$r = 10 \frac{L_P - A}{B} = 10 \frac{154,2 - 135,192}{35,22} = 3,465 \text{ км}$$

Результаты расчета сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчётов модели Окомура и Хата

Направление сектора БС относительно СП, град.	Потери при распространении, LP, дБ		Ожидаемое расстояние между БС и МС, км			Ожидаемое расстояние между МС и БС, км		
	БС-МС	МС-БС	БС ₀	БС ₂	БС ₃	БС ₀	БС ₂	БС ₃
Сектор С	135,7	134,7	1,058			1,045		
Сектор Ю-3	130,2		0,732		0,727			2,434
Сектор Ю-В	131,7		0,809	0,473			2,887	

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 77
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

3. Модель Волфиша-Икегами (WIM). Потери распространения для соответствующего типа местности показывают, что уровень сигнала заметно флуктуирует из-за изменения высоты зданий, ширины улиц, характера местности. Поэтому, определив радиус зоны покрытия БС по модели, указанной в задании, необходимо повторить расчет радиуса зоны покрытия, используя модель Волфиша-Икегами (WIM), нашедшую еще более широкое применение в области мобильных технологий. Модель WIM используется при расчете затухания в городской среде.

В модели WIM различают два случая LOS (прямая видимость) и NLOS (non-line-of-sight, т.е. в случае не прямой видимости). В случае LOS, если на прямой распространения сигнала от передатчика и приемника нет заграждений, то WIM-модель описывается уравнением:

$$L_{LOS} = 42,64 + 26 \cdot \lg d_{km} + 20 \cdot \lg f_{MHz}, \quad d_{km} \geq 0,02 \quad (2.3.6)$$

Потери в свободном пространстве:

$$L_{fs} = 32,45 + 20 \cdot \lg d_{km} + 20 \cdot \lg f_{MHz} \quad (2.3.7)$$

$$L_{LOS} = L_{fs} + 10,19 + 6 \cdot \lg d_{km} = L_{fs} + 6 \cdot \lg(50 \cdot d_{km}) = L_{fs} + 6 \cdot \lg\left(\frac{d_{km}}{20}\right) \quad (2.3.8)$$

где d_m – расстояние в метрах.

Параметры, также используемые в NLOS WIM:

h_b - высота антенны базовой станции(40-50 м от земли);

h_m - высота антенны абонента (1-3 м от земли);

h_B - высота зданий;

$\Delta h_{\phi} = h_b - h_B$ – высота антенны базовой станции от уровня крыш;

b - расстояние между зданиями (20-50 м);

ω -ширина улиц (обычно $b/2$);

Теперь рассмотрим несколько вариантов в случае NLOS WIM.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 78
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

$$\Delta h_b > 0 :$$

$$L_{NLOS} = 69,55 + 38 \cdot \lg d_{km} + 26 \cdot \lg f_{MHz} - 10 \cdot \lg \omega - 9 \cdot \lg b + 20 \lg \Delta h_m - 18 \cdot \lg(1 + \Delta h_b) + L_{LOS} \quad (2.3.9)$$

$$\Delta h_b \leq 0, d_{km} \geq 0,5 :$$

$$L_{NLOS} = 69,55 + (38 + 15 \left| \frac{\Delta h_b}{h_b} \right|) \cdot \lg d_{km} + 26 \cdot \lg f_{MHz} - 10 \cdot \lg \omega - 9 \cdot \lg b + 20 \lg \Delta h_m + 0,8 \cdot \lg \left| \frac{\Delta h_b}{h_b} \right| + L_{LOS} \quad (2.3.10)$$

$$\Delta h_b \leq 0, d_{km} < 0,5 :$$

$$L_{NLOS} = 69,55 + (38 + 15 \left| \frac{\Delta h_b}{h_b} \right|) \cdot \lg d_{km} + 26 \cdot \lg f_{MHz} - 10 \cdot \lg \omega - 9 \cdot \lg b + 20 \lg \Delta h_m + 0,8 \cdot \lg \left| \frac{\Delta h_b}{h_b} \right| \cdot (d_{km} / 0,5) + L_{LOS} \quad (2.3.11)$$

Как правило, городские районы застроены разновысокими зданиями. Ширина улиц и расстояние между зданиями также колеблются в широких пределах. Поэтому при расчете по модели WIM принимаем несколько условий:

1. высота одного этажа в жилом здании принимается равной 3 м;
2. в одноэтажных жилых зданиях высота неплоской крыши принимается равной 2 м;
3. расстояние между одноэтажными зданиями не менее 5 м;
4. ширина улиц, застроенных одноэтажными домами не менее 10 м;
5. расстояние между многоэтажными зданиями принимается равной 20 м;
6. ширина улиц, застроенных многоэтажными зданиями принимается равной 20 м;
7. высота одного этажа в офисном учебном и т. п. помещении принимается равной 3,5 м;
8. высота одного этажа промышленного предприятия принимается

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 79
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

равной 7,5 м. Следовательно, необходимо знать процент застройки района, в котором размещается антенна БС, зданиями различного типа. На основании этого определяется средняя высота зданий, среднее расстояние между зданиями и средняя ширина улиц для всего района, определенного в задании.

Высоту здания, на котором будет размещена антенна БС, усреднять не рекомендуется. Зная высоту этого здания и высоту положения антенны БС в соответствии с заданием, можно определить Δh_b – высоту антенны базовой станции от уровня крыш.

$$h_b = 40 \text{ м}$$

$$h_m = 1,5 \text{ м}$$

$$h_B = \frac{14 + 14 + 17,5 + 17,5 + 30}{5} = 18,6 \text{ м}$$

$$\Delta h_b = h_b - h_B = 40 - 18,6 = 21,4 \text{ м}$$

$$b = 24 \text{ м}$$

$$\omega = 12 \text{ м}$$

LOS:

$$d_{km} = 10 \frac{L_P - 42,64 - 20 \cdot \lg f}{26}$$

NLOS:

$$d_{km} = 10 \frac{L_P - 69,55 - 26 \cdot \lg f + 10 \cdot \lg \omega + 9 \cdot \lg b - 20 \cdot \lg \Delta h_m + 18 \cdot \lg(1 + \Delta h_b)}{38}$$

1. От БС к МС:

$$f_0 = 1900 \text{ МГц}$$

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 80
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

1.1 Сектор А - 0°:

LOS:

$$d_{km} = 10^{\frac{135,76 - 42,64 - 20 \cdot \lg 1900}{26}} = 12,108 \text{ км}$$

NLOS:

$$d_{km} = 10^{\frac{135,76 - 69,55 - 26 \lg(1900) + 10 \lg(12) + 9 \lg(24) - 20 \lg(2) + 18 \lg(1 + 21,4)}{38}} = 3,957 \text{ км}$$

1.2 Сектор В - 120°:

LOS: $d_{km} = 10^{\frac{138,7 - 42,64 - 20 \cdot \lg 1900}{26}} = 2,541 \text{ км}$

NLOS:

$$d_{km} = 10^{\frac{138,7 - 69,55 - 26 \lg(1900) + 10 \lg(12) + 9 \lg(24) - 20 \lg(2) + 18 \lg(1 + 21,4)}{38}} = 4,297 \text{ км}$$

1.3 Сектор С - 240°:

LOS:

$$d_{km} = 10^{\frac{146,7 - 42,64 - 20 \cdot \lg 1900}{26}} = 30,685 \text{ км}$$

NLOS:

$$d_{km} = 10^{\frac{146,7 - 69,55 - 26 \lg(1900) + 10 \lg(12) + 9 \lg(24) - 20 \lg(2) + 18 \lg(1 + 21,4)}{38}} = 2,541 \text{ км}$$

2. От МС к БС:

$$f_0 = 1750 \text{ МГц}$$

2.1 Сектор А - 0°:

$$d_{km} = 10^{\frac{136,2 - 69,55 - 26 \lg(1750) + 10 \lg(12) + 9 \lg(24) - 20 \lg(2) + 18 \lg(1 + 21,4)}{38}} = 4,261 \text{ км}$$

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 81
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Результаты расчета сведом в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Результаты расчётов модели Волфиша-Икегами(WIM).

Направление сектора БС относительно СП, град.	Потери при распространении, ЛР, дБ		Ожидаемое расстояние между БС и МС, км			Ожидаемое расстояние между МС и БС, км		
	БС-МС	МС-БС	БС ₀	БС ₂	БС ₃	БС ₀	БС ₂	БС ₃
Сектор С	135,7	134,7	4,23 8			5,05 6		
Сектор Ю-3	130,2		3,02 2		7,1529 / 3,012			10, 721
Сектор Ю-В	1131,7		3,30 9	8,965 / 3,516			12,51 3	

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 82
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

ГЛАВА III. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

3.1. Гигиеническая оценка и нормирование ЭМП в производственных условиях и на территории жилой застройки

В результате научно-технического прогресса широкое применение в промышленности, научной и бытовой сферах в последние десятилетия получила электромагнитные поля и излучения различных диапазонов частот. Так, излучения высоких (ВЧ) и ультравысоких радиочастот (УВЧ) широко применяются в радиосвязи, радиовещании, телевидении, в промышленных установках и технологических процессах для нагрева, закалки иковки металлов, термической обработки диэлектриков и полупроводников. Электромагнитные излучения сверхвысоких частот (СВЧ) получили широкое применение в радиолокации, радионавигации, радиоастрономии, радиоспектроскопии, ядерной физике, медицине, промышленности и быту. Кроме того, дальнейшее совершенствование новых типов СВЧ-генераторов позволит в ближайшем будущем применять энергию СВЧ-диапазона в радарных системах транспортных средств для предупреждения столкновений, в дорожных системах сигнализации, в мощных системах наземной и спутниковой связи и др.

В связи с этим значительное влияние на электромагнитный фон Земли, который ранее формировался главным образом за счёт естественных источников космического, земного и околоземного происхождения, стали оказывать искусственные источники электромагнитного поля (ЭМП). В результате уже в настоящее время практически всё население земного шара в большей или меньшей степени подвергается воздействию надфоновых уровней ЭМП.

В процессе эволюционного развития все живые существа на Земле приспособились к определённым изменениям природных электромагнитных полей и, по мнению большинства исследователей,

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 83
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

вынуждены были выработать по отношению к ним не только защитные механизмы, но и в какой-то степени включить их в свою жизнедеятельность. Поэтому увеличение или уменьшение параметров ЭМП, значительно отличающихся от адекватных, могут вызвать в организмах функциональные сдвиги, в ряде случаев перерастающие в патологические.

О биологической значимости ЭМП свидетельствуют как давние наблюдения, так и экспериментальные исследования последних лет на различном уровне организации биологических систем. При этом установлено, что воздействие искусственных ЭМП на биообъекты обусловлено не только энергетическими, но и информационными его характеристиками, вызывая тепловое и нетепловое действие.

Исследования по изучению влияния ЭМП радиочастотного диапазона на организм человека выявили определенные функциональные сдвиги со стороны нервной, сердечно-сосудистой и дыхательной систем, изменения показателей крови, обмена веществ и некоторых функций эндокринных желез. При обследовании большого контингента людей в производственных условиях установлено, что количество и частота жалоб на ухудшение самочувствия возрастают с увеличением профессионального стажа, причём при хроническом облучении более ранние и более выраженные реакции обнаруживаются со стороны нервной системы. Психоневрологические симптомы появляются в виде постоянной головной боли, повышенной утомляемости, слабости, нарушения сна, повышенной раздражительности, ослаблении памяти и внимания. Иногда наблюдаются приступообразная головная боль, побледнение кожных покровов, адинамия и обморочные состояния. При длительном воздействии электромагнитных излучений могут иметь место изменения в крови, помутнение хрусталика глаза. Таким образом,

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 84
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

признанная биологическая значимость ЭМП, всё возрастающая роль искусственных источников ЭМП в формировании электромагнитной обстановки в производственной и окружающей среде являются важной предпосылкой для освоения будущими специалистами и руководителями производств методик гигиенической оценки и прогнозирования электромагнитных полей в рабочей зоне и жилой территории, определения санитарно-защитных зон и применения других инженерно-технических способов и средств по снижению негативного воздействия ЭМП на организм человека.

Гигиеническая оценка электромагнитного поля заключается в измерении или расчете (при прогнозировании) ожидаемых уровней нормируемых энергетических характеристик поля: напряженностей электрической E , В/м, и магнитной H , А/м, составляющих в диапазонах высоких (30 кГц – 30 МГц) и ультравысоких (30 – 300 МГц) частот и плотности потока энергии (ППЭ), Вт/м² (мкВт/см²), в диапазоне сверхвысоких частот (300 МГц – 300 ГГц) и сравнении их фактических значений на рабочих местах (в рабочей зоне) или на территории жилой застройки с предельно допустимыми $E_{пд}$, $H_{пд}$, ППЭ_{пд} в зависимости от продолжительности воздействия.

Достоверная оценка опасности и вредности электромагнитного поля на производстве или в жилой зоне позволяет определить необходимость проведения профилактических мероприятий против их вредного воздействия на организм людей и применения способов и средств защиты.

Рассчитанные значения нормируемых энергетических характеристик поля допускается использовать для гигиенической оценки его на планируемых производствах или объектах с источниками электромагнитных излучений, то есть для прогнозирования электромагнитной обстановки в том или ином производственном

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 85
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

помещении или на территории жилых застроек.

Расчетные формулы для определения E, H и ППЭ представлены в таб. 3.1.

Таблица 3.1. Расчетные формулы.

Частота ЭМП	Формулы для расчета нормируемых параметров	Обозначения
от 30 кГц до 300 МГц	$E = \frac{I \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \omega \cdot r^3}, \text{ В/м}$ $H = \frac{I \cdot L}{4 \cdot \pi \cdot r^2}, \text{ А/м}$	I – ток в проводнике (антенне), А L – длина проводника (антенны), м ε – диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м ω – круговая частота поля, рад/с
от 300 МГц до 300 ГГц	$ППЭ \approx \frac{P_{\text{изл}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \Phi_3, \text{ Вт/м}$ $ППЭ \approx \frac{P_{\text{изл}} \cdot g}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \Phi_3, \text{ Вт/м}$	$P_{\text{изл}}$ – излучаемая мощность, Вт r – расстояние до излучателя, м g – коэффициент усиления антенны Φ_3 – фактор земли, зависящий от типа передатчика и характеристики трассы

В диапазоне частот 300 Гц – 30 кГц устанавливаются фиксированные значения предельно допустимых уровней, равные их электрической составляющей 1000 В/м (для условий шахт – 500 В/м), по магнитной составляющей – 25 А/м.

Для персонала предельно допустимое значение E и H в диапазоне частот 30 кГц – 300 МГц на рабочем месте следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по формулам:

$$E_{\text{пд}} = \sqrt{\frac{\text{ЭН}_{E_{\text{пд}}}}{T}}, \quad H_{\text{пд}} = \sqrt{\frac{\text{ЭН}_{H_{\text{пд}}}}{T}}, \text{ где } T \text{ – время воздействия, ч;}$$

$\text{ЭН}_{E_{\text{пд}}}$ и $\text{ЭН}_{H_{\text{пд}}}$ – предельно допустимое значение энергетической нагрузки в течение рабочего дня, соответственно в $(\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$ и $(\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$ (табл. 3.2).

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 86
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Одновременное воздействие электрического и магнитного полей в диапазоне от 0,03 до 3,0 МГц следует считать допустимыми при условии:

$$\frac{\mathcal{E}H_E}{\mathcal{E}H_{E_{\text{пд}}}} + \frac{\mathcal{E}H_H}{\mathcal{E}H_{H_{\text{пд}}}} \leq 1$$

Таблица 3.2. Предельно допустимые значения энергетической нагрузки

Параметр	Предельные значения в диапазоне частот, МГц		
	от 0,03 до 3,0	свыше 3 до 30	свыше 30 до 300
$\mathcal{E}H_{E_{\text{пд}}}$, (В/м) ² ·ч	20 000	7 000	800
$\mathcal{E}H_{H_{\text{пд}}}$, (А/м) ² ·ч	200	–	–

Предельно допустимые значения ППЭ в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки ($\mathcal{E}H_{\text{ППЭпд}}$), равной 2 Вт·ч/м² или 200 мкВт·ч/см², и времени воздействия (Т, ч) по формуле:

$$\text{ППЭ}_{\text{пд}} = K \frac{\mathcal{E}H_{\text{ППЭпд}}}{T},$$

где К – коэффициент ослабления биологической активности, равный 1 (единице) для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн, и 10 (десяти) – для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 50.

Для жилой территории предельно допустимые уровни (ПДУ) распространяются на диапазон частот 30 кГц – 300 ГГц.

ПДУ ЭМП для населения при круглосуточном непрерывном излучении в диапазоне частот 30 кГц – 30 ГГц указаны в табл. 3.3.

Таблица 3.3. ПДУ ЭМП для населения.

№ диапазона	Частоты	Длина волны	ПДУ
5	30 – 300 кГц	10 – 1 км	25 В/м
6	0,3 – 3 МГц	1 – 0,1 км	15 В/м

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 87
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

7	3 – 30 МГц	100 – 10 м	10 В/м
8	30 – 300 МГц	10 – 1 м	3 В/м
9	300 – 3000 МГц	1 – 0,1 м	10 мкВт/см ²
10	3 – 30 ГГц	10 – 1 см	10 мкВт/см ²

Уровни ЭМП в 9 – 11 диапазонах при импульсном излучении на жилой территории в районах, действующих, проектируемых и реконструируемых РЛС, а также на территории, предназначенной для перспективного градостроительного освоения в районе действующих РЛС, не должны превышать ПДУ, указанных табл. 3.4.

Таблица 3.4. Предельно допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) для радиолокационных станций (РЛС).

Назначение РЛС	№ диапазона	Длина волны, см	Режим работы		Отношение продолжительности работы на излучение к общему времени работы в сутки	ПДУ, мкВт/см ²
			Частота сканирования антенны, Гц	Время облучения с однопорядковой интенсивностью		
Метеорологические РЛС и другие им подобные по режиму работы при общей продолжительности работы 12 ч/сут	11	0,8 ± 15%	≤ 0,1	≤ 0,03 периода сканирования	0,5	140
			0	≤ 12 часов в сутки		10
	10	3 ± 20%	≤ 0,1	≤ 0,04 периода сканирования	0,5	60
			0	≤ 12 часов в сутки		10
9	10 ± 15%	0	≤ 12 часов в сутки	0,5	20	
9	17 ± 15%	0,25	≤ 0,05 периода сканирования	1	15	

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 88
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Обзорные РЛС гражданск ой авиации и другие им подобные по режиму работы	9	$10 \pm 20\%$	$\leq 0,250$	$\leq 0,05$ периода сканирован ия	1	15
	9	$23 \pm 15\%$	$\leq 0,250$	$\leq 0,02$ периода сканирован ия	1	20
	9	$35 \pm 15\%$	$0 \leq 0,250$	$\leq 0,02$ периода сканирован ия	1	20

При расчете электромагнитной обстановки в связи с тем, что РЛС и объект облучения (контрольная точка) могут находиться на различных уровнях земли, необходимо учитывать понижение $h_{\text{ПОН}}$ или повышение $h_{\text{ПОВ}}$ расположения контрольной точки по отношению к расположению антенны излучения (рис. 3.1) Повышение или понижение определяется с помощью теодолитов или других аналогичных приборов.

Для прогнозирования и определения существующей электромагнитной обстановки в районе размещения РЛС могут также использоваться заранее построенные для той или иной РЛС так называемые вертикальные диаграммы излучения (ВДИ).

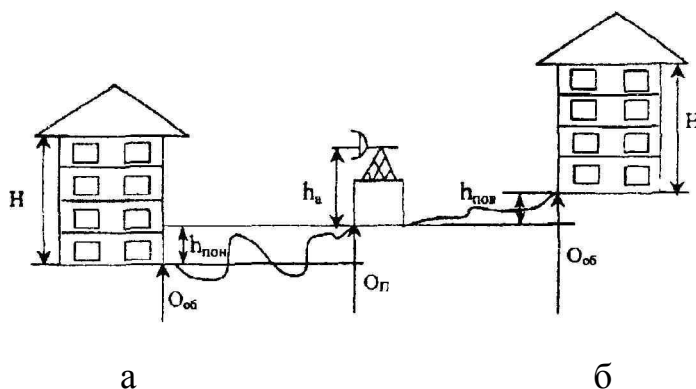


Рис. 3.1. К расчету превышения: а – для $\bar{h} = h_a + h_{\text{ПОН}} - H$; б – для $\bar{h} = h_a - h_{\text{ПОВ}} - H$.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 89
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Они представляют собой совокупность кривых в вертикальной плоскости, каждая из которых имеет постоянное значение ППЭ, построенных в прямоугольной системе координат r и \bar{h} .

Кроме кривых равных плотностей, на графике ВДИ наносятся линии максимального излучения антенны по углу места ϵ_0 (рис. 3.2).

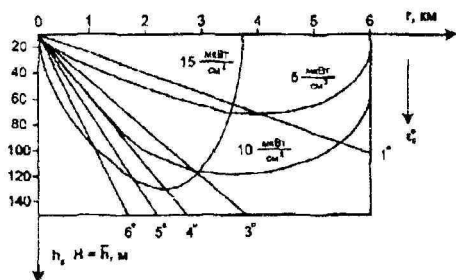


Рис 3.2. Вертикальная диаграмма направленности, построенная в координатах r и \bar{h} (5, 10, 15 – ППЭ_{ПД}, мкВт/см²)

Зная расстояние (r) до контрольной точки (объекта), превышение \bar{h} , угол места ϵ_0 , по ВДИ можно определить, какой интенсивности электромагнитного облучения подвергаются жители данного района, санитарно-защитную зону объекта излучения (РЛС), необходимое удаление жилой зоны от расположения объекта, а также предельную этажность строительства проектируемой застройки в районе действия РЛС.

На рис. 3.3 – 3.8 представлены вертикальные диаграммы излучения, некоторых радиолокаторов гражданской авиации и метеослужбы.

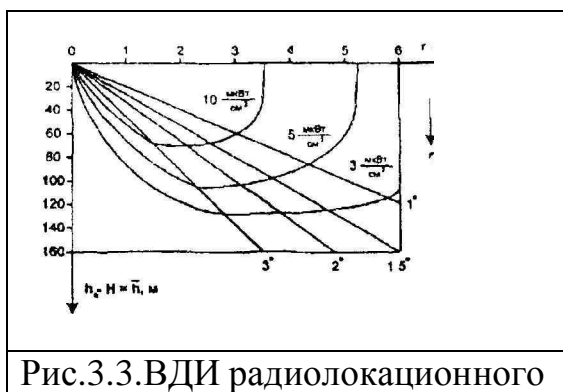


Рис.3.3.ВДИ радиолокационного

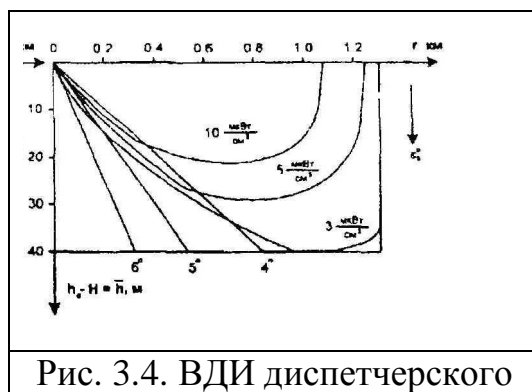


Рис. 3.4. ВДИ диспетчерского

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 90
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

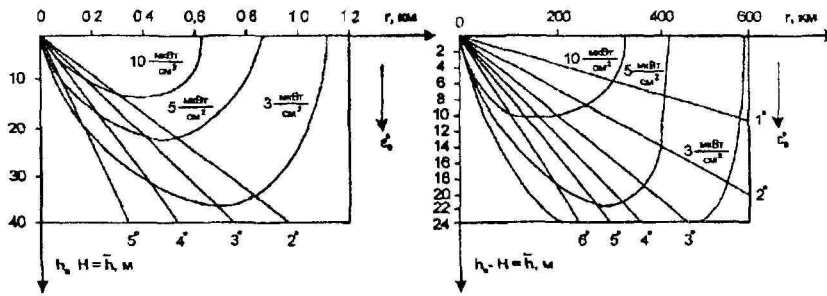


Рис. 3.5. ВДИ диспетчерского радиолокатора ДРАС-А

Рис. 3.6. ВДИ диспетчерского радиолокатора типа ДРЛ

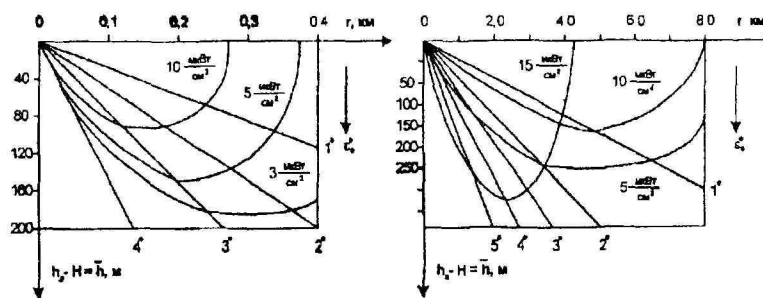


Рис. 3.7. ВДИ метеорологических комплексов ТРАК-1.0 («Скала»)

Рис. 3.8. ВДИ радиолокационных радиолокаторов типа МРЛ-1-2-4

3.2. Способы и средства защиты от электромагнитных полей.

При выборе защиты персонала или населения от электромагнитных излучений необходимо учитывать особенности производства, условия эксплуатации оборудования, рабочий диапазон частот, характер выполняемых работ, интенсивность поля, продолжительность облучения и др.

Для снижения интенсивности поля в рабочей или жилой зоне рекомендуется применять различные инженерно-технические способы и средства, а также организационные и лечебно-профилактические мероприятия.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 91
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

В качестве инженерно-технических методов и средств защиты применяются: экранирование излучателей, помещений или рабочих мест; уменьшение напряженности и плотности потока энергии в рабочей или жилой зоне за счет уменьшения мощности источника (если позволяют технические условия) и использование ослабителей (аттенюаторов) мощности и согласованных нагрузок (например, эквивалентов антенн); применение средств индивидуальной защиты.

При экранировании используются такие явления как поглощение электромагнитной энергии материалом экрана и её отражение от поверхности экрана. Поглощение ЭМП обуславливается тепловыми потерями в толще материала за счет индукционных токов и зависит от электромагнитных свойств материала экрана (электрической проводимости, магнитной проницаемости и др.). Отражение обуславливается несоответствием электромагнитных свойств воздуха (или другой среды, в которой распространяется электромагнитная энергия) и материала экрана (главным образом, волновых сопротивлений).

Для изготовления экранов применяют либо тонкие металлические (сталь, алюминий, медь, сплавы) листы, либо металлические сетки, т. к. металлы, являясь хорошими проводниками, реализуют оба явления, используемые при экранировании.

Толщина экрана (d) из металлического листа выбирается исходя из соображений механической прочности, но не менее 0,5 мм, и должна быть больше глубины проникновения ЭМ волны в толщу экрана:

$$d \geq r = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega \cdot \mu \cdot \sigma}{2}}} \geq 0,5 \text{ мм}$$

где r – глубина проникновения поля в проводящую среду, определяемая

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 92
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

$$r = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega \cdot \mu \cdot \sigma}{2}}}$$

как величина, обратная коэффициенту затухания $\omega = 2\pi f$, где f – частота, Гц; μ – магнитная проницаемость материала, Гн/м; σ – электрическая проводимость материала.

Большая отражательная способность металлов, обусловленная значительным несоответствием волновых сопротивлений воздуха и металла, в ряде случаев может оказаться нежелательной, т. к. может увеличивать интенсивность поля в рабочей зоне и влиять на режим работы генератора (излучателя). Поэтому в подобных случаях следует применять экраны, преимущественно с малым коэффициентом отражения и большим коэффициентом поглощения. В табл. 3.5 приведены некоторые радиопоглощающие материалы и их основные характеристики.

Требуемое ослабление поля ($L_{\text{ТР}}$) и эффективность экранирования ($\mathcal{E}_{\text{ЭКР}}$) определяются по формулам:

$$L_{\text{ТР}} = \frac{E_{\text{Р}}}{E_{\text{ДОП}}} = \frac{H_{\text{Р}}}{H_{\text{ДОП}}},$$

$$\mathcal{E}_{\text{ЭКР}} = \left| \frac{E_2}{E_1} \right|, \quad \mathcal{E}_{\text{Н}} = \left| \frac{H_2}{H_1} \right|, \quad \mathcal{E}_{\text{Н}} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}, \text{ дБ},$$

где $E_{\text{Р}}$, $E_{\text{ДОП}}$, $H_{\text{Р}}$, $H_{\text{ДОП}}$ – соответственно напряженность электрического и магнитного поля на рабочем месте (или жилой зоне) и предельно допустимые их значения;

Таблица 3.5. Основные характеристики некоторых радиопоглощающих материалов.

Материал	Марка, тип	Диапазон, см	Коэффициент отражения по мощности, %
Поглощающие покрытия на основе поролона	«Болото»	0,8 и более	2 – 3
Поглощающие пластины	«Луч»	0,3 и	1 – 3

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 93
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

на основе древесины		более	
Текстолит графитированный	369 – 61	1 – 50	до 50
Краска	НТСООЗМ – 003	0,8 – 16	до 50
Резиновые коврики	В2Ф–2; В2Ф–3; ВКФ–4	0,8 – 4,0	2
Магнитодиэлектрические пластины	ХВ–0,8; ХВ– 20; ХВ–3,3; ХВ– 4,4; ХВ–6,2; ХВ– 6,5; ХВ–10,6	0,8 – 4,0	2
Ферритовые пластины	СВЧ–0,68	15 – 200	3,4
Поглощающий материал	ВТУ–0,8; ВТУ–1–66	0,8 – 20	3

E_1, E_2, H_1, H_2 –соответственно напряженность электрического и магнитного поля после и до экранирования;

Π_1, Π_2 – плотность потока энергии до и после применения экрана.

Металлические экраны за счет отражения и поглощения практически непроницаемы для ЭМ энергии радиочастотного диапазона при их толщине $d > \lambda$, где λ – длина волны.

Применение поглощающих нагрузок и аттенюаторов позволяет ослабить интенсивность излучения электромагнитной энергии в окружающее пространство на 60 дБ и более.

Для защиты от ЭМП при работе в антенном поле, проведении испытательных и регулировочных работ на объектах, устранении аварийных ситуаций и ремонте рекомендуется использование индивидуальных средств защиты. Для защиты всего тела применяются комбинезоны, халаты и капюшоны. Их изготавливают из трёх слоев

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 94
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

ткани. Внутренний и наружный слои делают из хлопчатобумажной ткани (диагональ, ситец), а средний, защитный слой – из радиотехнической ткани, имеющей проводящую сетку. Для защиты глаз используются специальные радиозащитные очки из стекла, покрытого полупроводниковым оловом. Эффективность таких очков составляет 20 - 22 дБ.

Организационные мероприятия включают в себя, требования к персоналу (возраст, медицинское освидетельствование, обучение, инструктаж и т. п.), выбор рационального взаимного размещения в рабочем помещении оборудования, излучающего ЭМ энергию, и рабочих мест; установление рациональных режимов работы оборудования и обслуживающего персонала; ограничение работы оборудования во времени (например, за счёт сокращения времени на проведение наладочных и ремонтных работ), защита расстоянием (удаление рабочего места от источника ЭМП, когда имеется возможность использовать дистанционное управление оборудованием); применение средств предупреждающей сигнализации (световой, звуковой и т. п.) и др.

Лечебно-профилактические мероприятия направлены на предупреждение заболевания, которое может быть вызвано воздействием ЭМП, а также на своевременное лечение работающих при обнаружении заболевания.

Для предупреждения профессиональных заболеваний у лиц, работающих в условиях ЭМП, применяются такие меры, как предварительный (для поступающих на работу) и периодический (не реже одного раза в год) медицинский контроль за состоянием здоровья, а также ряд мер, способствующих повышению устойчивости организма человека к действию ЭМП.

Медицинский контроль позволяет выявить людей с такими

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 95
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

патологическими изменениями в организме, при которых работа в условиях облучения ЭМП противопоказана, и определить необходимость проведения лечения.

К мероприятиям, способствующим повышению резистентности организма к ЭМП, могут быть отнесены регулярные физические упражнения, рационализация времени труда и отдыха, а также использование некоторых лекарственных препаратов и общеукрепляющих витаминных комплексов.

3.3. Расчет параметров устройств защиты от электромагнитных излучений.

Расчет и определение минимальной толщины экрана и длины трубки, в трубчатом волноводе при помощи которой выводят ручку управления из экранирующей камеры, обеспечивающих необходимую мощность облучения, с учетом требований по защите обслуживающего персонала от воздействия ЭМИ.

Действие электромагнитных полей высокой частоты на организм человека может вызвать тяжелые заболевания. Превышение определенных уровней облучения приводят к расстройству нервной и сердечно-сосудистой системы. Защита человека от вредного действия ионизирующих излучений сводится к защите от внешнего и внутреннего облучений. Защита осуществляется комплексом следующих мероприятий:

Установление предельно допустимых доз облучения (внешнего и внутреннего);

Применение технических средств защиты, которые наряду с нормированием рабочего времени снижают интенсивность облучения;

Осуществление дозиметрического контроля и периодического медицинского контроля.

Электромагнитные волны лишь частично поглощаются тканями

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 96
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

биологического объекта, поэтому биологический эффект зависит от физических параметров ЭМП радиочастот: длины волны (частоты колебаний), интенсивности и режима излучения (непрерывный, прерывистый, импульсно-модулированный), продолжительности и характера облучения организма (постоянное, интермиттирующее), а также от площади облучаемой поверхности и анатомического строения органа или ткани. Степень поглощения энергии тканями зависит от их способности к ее отражению на границах раздела, определяемой содержанием воды в тканях и другими их особенностями. При воздействии ЭМП на биологический объект происходит преобразование электромагнитной энергии внешнего поля в тепловую, что сопровождается повышением температуры тела или локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток, особенно с плохой терморегуляцией (хрусталик, стекловидное тело, семенники, и др.). Тепловой эффект зависит от интенсивности и продолжительности облучения.

Действие ЭМИ радиочастот на центральную нервную систему при плотности потока энергии (ППЭ) более 1 мВт/см² свидетельствует о ее высокой чувствительности к электромагнитным излучениям.

Изменения в крови наблюдаются, как правило, при ППЭ выше 10 мВт/см³. При меньших уровнях воздействия наблюдаются фазовые изменения количества лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина (чаще лейкоцитоз, повышение эритроцитов и гемоглобина). При длительном воздействии ЭМП происходит физиологическая адаптация или ослабление иммунологических реакций.

Поражение глаз в виде помутнения хрусталика - катаракты является одним из наиболее характерных специфических последствий воздействия ЭМП в условиях производства. Помимо этого следует иметь в виду и возможность неблагоприятного воздействия ЭМП облучения на сетчатку

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 97
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

и другие анатомические образования зрительного анализатора.

Таблица 3.6

W	I, A	f, Гц	T, ч	D, м	R, м	г, м
12	350	3108	4	110-2	3	2,510-1

Таблица 3.7

μ	$\mu_a, \text{Гн/м}$	$\gamma, \text{I/Ом}\cdot\text{м}$	ϵ
200	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^7$	7

Для решения задач по созданию безопасных условий работы с источниками ионизирующих излучений необходимо изучить основные величины, от которых зависят дозы облучения и единицы их измерения, уяснив принципы действия приборов дозиметрического контроля.

В СВЧ передатчике имеется выходной кондуктор, содержащий катушку с переменной индуктивностью. Радиус катушки равен r , число витков W , сила тока в катушки и его частота равны I и f соответственно. В течении рабочего дня суммарное время регулировок с помощью ручки управления не превышает T часов.

Схема для расчёта толщины экрана и длинны трубки, приведена на рисунке 3.9.

При решении задачи можно воспользоваться приведенной ниже методикой. Напряжённость магнитной составляющей поля катушки H . На расстоянии R от нее (без экрана) может быть рассчитана:

$$H = \frac{w \cdot I \cdot r^2}{4 \cdot R^3} \beta_m, \text{ A/м}, (3.1)$$

где β_m - коэффициент, определяемый соотношением R/r . ($R/r > 10$ значение $\beta_m = 1$). Если R удовлетворяет условиям

$$R \gg \lambda / 2\pi, R \gg r^2 / \lambda, (3.2)$$

$$\lambda = c / f$$

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 98
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

где λ - длина волны, м, то имеет место волновая зона, оценку эффективности поля в которой производят по плотности потока энергии (ППЭ) излучения

$$\delta = 377 \cdot H^2 / 2, \text{Вт} / \text{м}^2, (3.3)$$

Допустимая величина ППЭ определяется по формуле

$$\delta_{\text{доп}} = N / T, (3.4)$$

где $N = 2 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$; T - время облучения, ч.

Требуемое ослабление электромагнитного поля L можно определить по формуле:

$$L = \delta / \delta_{\text{доп}}, (3.5)$$

Зная характеристики металла (см. таблица 3.7), можно рассчитать толщину экрана δ обеспечивающую заданное ослабление электромагнитного поля L

$$\delta = \frac{LnL}{2\sqrt{\omega\mu_a\gamma/2}}, (3.6)$$

$$\omega = (2 \cdot \pi \cdot f)$$

где ω - угловая частота, $1/\text{с}$; μ_a - абсолютная магнитная проницаемость, $\text{Гн}/\text{м}$; γ - электрическая проводимость, $\text{А}/\text{Ом} \cdot \text{м}$;

$$\mu_a = \mu_0 \cdot \mu, (3.7)$$

где $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн}/\text{м}$ - магнитная постоянная; μ - относительная магнитная проницаемость среды.

Ручки управления выводятся через стенки экранирующей камеры при помощи трубок, впаянных в стенки и представляющих собой волноводные (при диэлектрическом стержне) или коаксиальные (при металлическом стержне) линии. На рис. 3.10 показан вывод ручки управления, насаженной на диэлектрический стержень 1, который

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 99
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

находится внутри металлической трубки 2. Такая конструкция может рассматриваться как волноводная линия.

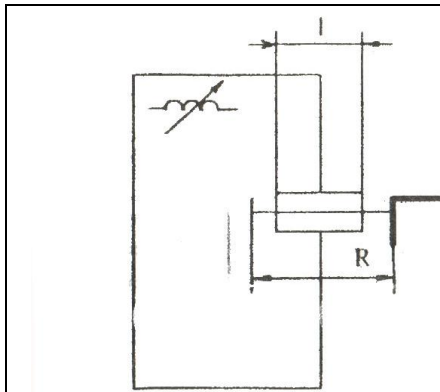


Рис. 3.9 Схема толщины экрана и длины ручки

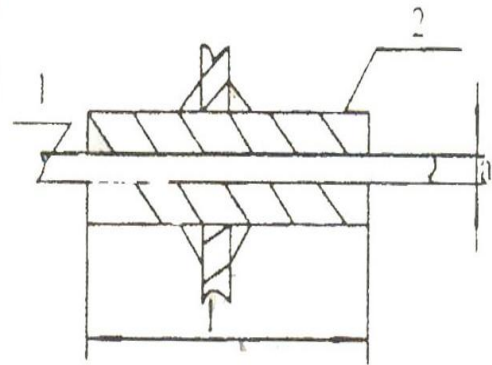


Рис.3.10 Вывод ручки управления

Ослабление энергии в трубке - волноводе на 1 м длины определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{32}{D\sqrt{\epsilon}}, \text{дБ/м}, (3.8)$$

где D - диаметр, м; ϵ - относительная диэлектрическая постоянная стержня.

Материал экрана: сталь $\mu = 200$; медь $\mu = 1$; материал стержня: гетинакс $\epsilon = 7$; текстолит $\epsilon = 8$; эбонит $\epsilon = 3$; стекло текстолит $\epsilon = 7,5$

Требуемую длину трубки можно определить по формуле

$$l = \frac{10 \lg \cdot L}{\alpha}, \text{м}, (3.9)$$

Заключение

В ходе выполнения данной работы мной была определена зона покрытия БС стандарта GSM, расположенной в центральном районе города Ташкент, эмпирическим методом. Также было рассчитано покрытие МС

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 100
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

двумя методами.

Модель Окумуры-Хаты – наиболее известная и используемая модель предсказания, позволяет оценить размер зон обслуживания соты системы подвижной связи по уровню затухания сигнала, но не проводит оценку зависимости уровня сигнала от рельефа местности, погодных условий, времени суток, уровня помех.

Модель Волфиша-Икегами рассчитана на плоское основание города, из-за чего она не применима для городов с сильной неравномерностью рельефа. Модель может применяться в случаях, когда антенна базовой станции расположена как выше, так и ниже линии уровня крыш городской застройки. В совокупность эмпирических факторов, учтенных расчетной формулой входят высоты антенн базовой и подвижной станций, ширина улиц, расстояния между зданиями, высота зданий и ориентация улиц относительно направления распространения сигнала.

По полученным вычислениям видно, что результаты расчетов зон покрытия базовой и мобильной станции двумя методами приблизительно одинаковы, что подтверждает справедливость использования двух рассмотренных методов.

СОДЕРЖАНИЕ

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 101
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Введение	
ГЛАВА I. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ	
1.1. Роль сотовой структуры в повышении эффективности использования частотного ресурса	
1.2. Структура системы сотовой подвижной радиосвязи.....	
1.3. Постановка задачи	
ГЛАВА II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ	
2.1. Модели распространения радиосигналов	
2.2. Расчет ослабления сигналов при распространении радиоволн из здания на улицу	
2.3. Расчет зоны покрытия одной базовой станции разным методами.....	
ГЛАВА III. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ	
3.1. Гигиеническая оценка и нормирование ЭМП в производственных условиях и на территории жилой застройки.....	
3.2. Способы и средства защиты от электромагнитных полей.....	
3.3. Расчет параметров устройств защиты от электромагнитных излучений	
Заключение	
Список использованной литературы	

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 102
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Введение

В последние годы в промышленно развитых странах наблюдается значительный рост использования электромагнитных волн во всех сферах деятельности человека. Растет процент населения, практически постоянно подвергающегося облучению, в связи с развитием телевидения, радиовещания и персональных мобильных средств связи. Кроме чисто технических проблем: распределения и регистрации частот, вопросов электромагнитной совместимости, серьезно ставится вопрос об устранении взаимодействия антенн.

Одним из основных элементов сети любого сотового оператора является базовая станция (base station subsystem), представляющая собой системный комплекс приемопередающей аппаратуры, осуществляющей централизованное обслуживание группы конечных абонентских устройств. Проще говоря — благодаря базовым станциям (или коротко — БС) мобильные устройства абонентов (сотовые телефоны, планшеты, usb-модемы) могут связываться между собой через коммутационное оборудование, выходить в интернет, получать и отправлять сообщения и данные. Зона покрытия антенн базовой станции образует соту, а вместе — группу сот. Покрытие 1 БС в зависимости от настроек может быть от нескольких десятков метров до 50 километров (иногда и более). Каждая БС обслуживает только свой определенный участок сети с помощью нескольких нацеленных в различные участки сектора трансиверов. Рабочий радиус (ширина охвата), равно как и емкость, у БС может быть разной и зависит от установленного оборудования.

При установке новой базовой станции планировщики будут учитывать множество факторов, которые будут влиять на работу БС и уровень сигнала сети, среди которых важнейшими являются условия распространения сигнала (рельеф местности, плотность застройки,

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 103
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

антропогенные факторы, зеленые насаждения, наличие радиопомех и т.д.). При планировании специалисты также должны учесть возможное будущее строительство новых базовых станций, чтобы в последующем новые базовые станции не оказывали влияние на старые, учесть воздвигаемые новые здания, которые могут перекрыть сигнал, учесть погодные условия в конкретной местности и многое другое.

Чем сложнее условия распространения радиосигнала и выше плотность населения, тем меньше размеры сот, или зона покрытия базовой станции. В этих случаях устанавливаются БС с более высокой мощностью сигнала, и располагаются они на небольшом расстоянии друг от друга. Например, «закрытие» парков производится установкой БС с нескольких сторон, при этом сектора у БС могут работать не одинаково.

Также на этапе планирования учитывается присутствие других сотовых операторов, которые тоже ведут строительство своих базовых станций, а также сторонних организаций, которые в своей работе могут использовать различные приемопередатчики, оказывая влияние на сеть.

Вообще, планирование строительства БС — довольно сложная работа. Необходимо не только знать основы, но и чувствовать, как изменения в одной точке сети могут вызвать изменения во всем городе. Количество переменных огромно, и неправильно установленная одна БС может негативно сказаться на работе всей сети, поэтому производятся многократные итерации для улучшения сигнала.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 104
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

ГЛАВА I. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1.1. Роль сотовой структуры в повышении эффективности использования частотного ресурса

История сотовых сетей радиосвязи с подвижными объектами насчитывает немногим более 35 лет. За этот отрезок времени успели смениться несколько поколений мобильных систем, количество и качество услуг связи непрерывно растет и, как показывает жизнь, этот процесс не обнаруживает тенденции к замедлению.

Следует отметить, что практическое использование сотовой структуры для разворачивания мобильной радиосвязи стало возможным только после того, как появились технические и программные средства, позволяющие решить три основные проблемы:

- определение текущего местоположения абонентской станции в ячеистой структуре конкретной сети, в пределах города, страны и мирового пространства;
- поддержание непрерывности связи при перемещении абонента из одной ячейки в другую;
- обеспечение тарификации предоставляемых абоненту услуг связи.

Следующее структурное образование – кластер, представляющий собой совокупность соседних сот, где используются различные рабочие частоты либо различные наборы частот. Размерность кластера K определяется числом входящих в него ячеек. Рис. 1.1 иллюстрирует кластеры различных размерностей. Кластеры равномерно покрывают всю территорию, где разворачивается сотовая сеть, образуя периодическую структуру.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 105
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

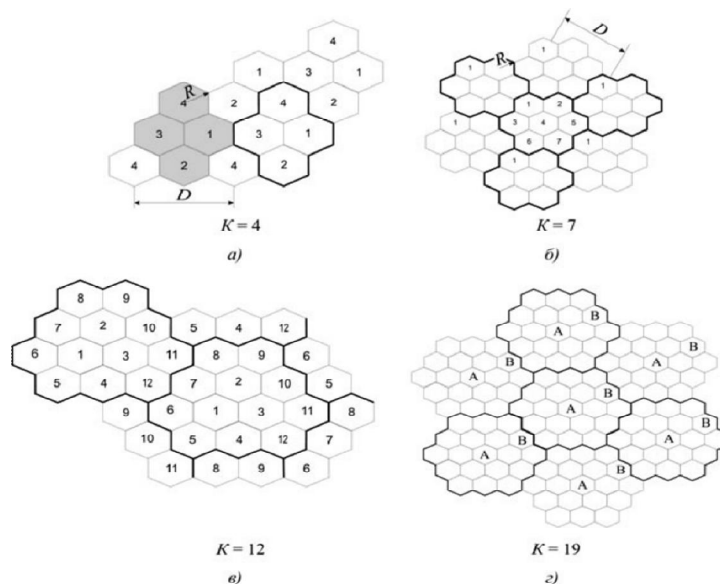


Рис. 1.1. Периодические структуры, порождаемые кластерами.

Общее количество каналов, выделенное для конкретной сотовой сети подвижной радиосвязи (ССПР), распределяется между ячейками кластера. Многократное использование одних и тех же рабочих частот в сети неминуемо приводит к возникновению взаимных внутрисистемных помех. К счастью, существуют эффективные методы снижения уровня этих помех до безопасной величины, когда обеспечивается заданное качество обслуживания абонентов.

Функциональная схема системы связи с подвижными объектами.

Основные элементы сотовой сети подвижной радиосвязи показаны на рис. 1.2.

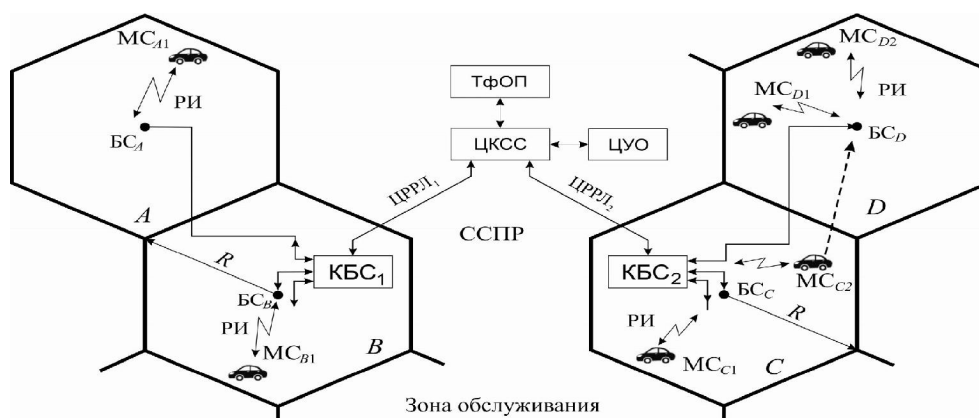


Рис.1.2. Функциональная схема ССПР

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 106
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Вся территория обслуживания разделяется на ячейки в виде шестиугольных сот, которые образуют на карте местности плоскую регулярную гексагональную решетку. В каждой соте располагается базовая станция (БС), которая представляет собой стационарное сооружение, укомплектованное приемопередающим оборудованием и антенными системами, расположенными на мачте.

Центральным элементом ССПР является центр управления и обслуживания (ЦУО) или ОМС (Operations and Maintenance Center), который обеспечивает управление всеми элементами системы, а также осуществляет контроль качества функционирования сети в целом.

Таким образом, в приведенной на рис. 1.2, функциональной схеме можно условно выделить четыре основных компонента – ЦУО и три подсистемы:

- подсистема мобильных станций или MSS (Mobile Station Subsystem);
- подсистема базовых станций или BSS (Base Station Subsystem);
- подсистема коммутации или SSS (Switching Subsystem).

В подсистему базовых станций входят базовые приемопередающие станции и контроллеры базовых станций. Функциональное сопряжение (взаимодействие) всех подсистем осуществляется рядом интерфейсов.

Алгоритмы функционирования подсистем сотовой сети. Центр коммутации ЦКСС и базовые станции БС работают круглосуточно и непрерывно. Организовать такой режим работы удастся благодаря применению 100% резервирования всего оборудования. При аварии, неисправности или выполнении профилактических работ основные блоки отключаются, и работоспособность сети сохраняется за счет переключения на резервный комплект. После устранения нештатной ситуации снова включается основное оборудование.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 107
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

В работе мобильных станций перерывы и отключения неизбежны.

Алгоритмы функционирования систем сотовой мобильной связи различных стандартов в основном совпадают и отличаются только в отдельных деталях. Рассмотрим работу мобильной станции, когда она не покидает пределов своей соты. В этом случае принято различать четыре режима работы МС: включение и инициализация; режим ожидания; режим установления связи; сеанс связи.

4. После включения источника питания мобильной станции активизируется приемно-передающее оборудование и начинает свою работу логический блок или CPU (Center Processing Unit), в состав которого входит сигнальный процессор вместе с оперативной и постоянной памятью. Логический блок является фактически мозговым центром каждой МС. В первые мгновения после включения МС «не знает», в какой соте сети она находится. Более того, она «не знает» находится ли в данный момент на территории «своей» ССПР или же оказалась в зоне действия другой ССПР, между которыми, однако, существует соглашение о роуминговом обслуживании абонентов.

Подчиняясь программе, записанной в запоминающем устройстве, логический блок посылает ряд команд в различные устройства мобильного телефона. В результате этого начинается процесс сканирования мобильной станцией всех радиоканалов, закрепленных за ССПР. Это означает, что приемник и передатчик МС последовательно настраиваются на заданные фиксированные частоты. Приемник МС принимает сигналы от всех базовых станций сети и измеряет уровень мощности в каждом канале.

5. В режиме ожидания МС отслеживает все изменения, которые происходят в сотовой сети. При перемещении МС в зоне обслуживания могут возникнуть ситуации, когда будет необходимо сменить БС. Время от времени по запросу из ЦКСС МС должна подтвердить свою

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 108
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

работоспособность. Кроме того, мобильная станция непрерывно измеряет и периодически передает на БС информацию об уровне принимаемого сигнала, передаваемого БС «своей» соты и передатчиками базовых станций до 16 смежных сот. Подобная информация передается по каналам управления ВССН (Broadcast Control Channels).

В ЦКСС для каждой МС, находящейся в режиме ожидания, фиксируется та сота, в которой МС была зарегистрирована, что облегчает организацию поиска МС и процедуру вызова подвижного абонента.

6. В режиме установления связи между абонентами процедура образования соединения может развиваться по различным сценариям. Если вызов поступает от стационарного телефонного аппарата (ТА) и адресован абоненту МС_{В1}, то можно проследить следующий путь прохождения вызова: ТА –

ТфОП – ЦКСС – ЦРРЛ₁ – КБС₁ – БС_В – МС_{В1} (рис. 1.2). Поступающий в ЦКСС вызов направляется по каналу управления на БС_В или на несколько БС в окрестностях соты В. Предположим, что за время, прошедшее с момента последней «регистрации», МС_{В1} не успела покинуть соту В. Тогда МС_{В1} по каналу управления отвечает на этот вызов через свою БС_В, передавая одновременно на ЦКСС данные, необходимые для проведения процедуры аутентификации. Аутентификация – это процедура проверки наличия у абонента права пользоваться услугами сотовой сети. Если аутентификация прошла успешно, то ЦКСС через БС_В назначает для МС_{В1} номер канала трафика, по которому будут беседовать абоненты. Допустим, в наборе частот для соты В оказались свободными $f_{В1}'$ и $f_{В1}$. Тогда передатчик БС_В настраивается на частоту $f_{В1}$, а передатчик МС_{В1} на частоту $f_{В1}'$. Приемники БС_В и МС_{В1} настраиваются на частоты $f_{В1}'$ и $f_{В1}$ соответственно. Уже на частотах разговорного канала МС_{В1} и БС_В обмениваются информацией, подтверждающей организацию разговорного

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 109
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

канала.

Если один мобильный абонент вызывает другого, то установление связи происходит несколько иначе. Допустим, что вызов инициируется со стороны мобильной станции MC_{D2} , которая вызывает мобильную станцию MC_{A1} . Тогда путь прохождения разговорного сигнала поясняет следующая последовательность: $MC_{D2} - BC_D - KBC_2 - ЦРРЛ_2 - ЦКСС - ЦРРЛ_1 - KBC_1 - BC_A - MC_{A1}$. Предположим, что MC_{D2} уже прошла процедуру инициализации (регистрации) и находится в режиме ожидания, о чем свидетельствует соответствующая пиктограмма на дисплее мобильного телефона. Абонент MC_{D2} набирает номер вызываемого абонента MC_{A1} и нажимает кнопку вызова на панели управления. Дальнейшие шаги на этапе обмена служебной информацией зависят от стандарта, который принят в сотовой сети. Если используется стандарт GSM, то после нажатия кнопки вызова MC_{D2} через канал случайного доступа RACH (Random Access Channel) запрашивает выделенный закрепленный канал управления SDCCH (Standalone Dedicated Control Channel) для дальнейшего обмена служебной информацией. Контроллер базовой станции KBC_2 через канал разрешенного доступа AGCH (Access Grant Channel) назначает MC_{D2} запрашиваемый ею канал управления SDCCH.

Если связь организуется между двумя МС, расположенными в одной соте, например, в соте С, то соединение абонентов выполняет KBC_2 .

В том случае, когда две МС расположены в разных сотах, но их базовые станции находятся под управлением одного и того же KBC , за установление связи несет ответственность этот же KBC , имеющий соответствующее коммутационное поле.

4. В режиме ведения разговора выполняется большое число измерений параметров сети, результаты которых используются для автоматического регулирования режимов работы приемопередающего

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 110
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

оборудования на БС и МС. При перемещении мобильной станции в пределах соты расстояние между МС и БС непрерывно изменяется. Для поддержания заданного уровня сигнала на входе приемников необходимо использовать системы автоматического управления мощностью передатчиков.

Мощности передатчиков мобильных станций, распределенных по всей территории соты, устанавливаются таким образом, чтобы на входе приемника БС мощности приходящих сигналов были равны с точностью ± 2 дБ для стандарта GSM и $\pm 0,2$ дБ для стандарта CDMA.

В стандарте GSM мощность передатчика БС регулируется дискретно с шагом 2 дБ. Минимальная мощность передатчика БС составляет 13 дБм (20 мВт). Регулировка мощности передатчика БС уменьшает уровень внутрисистемных помех, что позволяет увеличить емкость сети.

Как уже отмечалось, в стандарте GSM на этапе установления связи каждая МС настраивается на заданный номер слота в кадре. В разговорном режиме производится постоянное измерение времени прохождения радиоволн от мобильных станций до БС и регулируется величина задержки сигнала, чтобы сохранять временное согласование слотов в TDMA-кадре. Таким образом, каждая из восьми МС, использующих одну и ту же несущую частоту, начинает передавать свой информационный пакет по команде с БС, что гарантирует точное попадание пакетов в отведенные для них временные окна. Величина задержки пакетов может регулироваться от 0 до 63 бит с шагом 1 бит (3,69 мкс).

Следующей проблемой, которую приходится решать в разговорном режиме, является эстафетная передача обслуживания мобильной станции при пересечении ею границ соты. Если мобильная станция МС_{С2} перемещается из соты С в соту D, т.е. приобретает номер МС_{D3}, то она причисляется к тем МС, которые обслуживает БС_D со всеми вытекающими

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 111
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

отсюда последствиями (рис. 1.2). Таким образом, обслуживание МС передается от БС_С к БС_Д. Этот процесс и называется эстафетной передачей (handover). Если в соте D свободных радиоканалов не оказывается, то связь прерывается.

Необходимость в эстафетной передаче возникает тогда, когда качество обслуживания падает ниже допустимого уровня. Количественно качество связи оценивается по отношению сигнал/шум либо по частоте битовой ошибки BER (Bit Error Rate). Мобильная станция в разговорном режиме измеряет мощность радиосигналов от передатчиков БС «своей» соты, а также до 16 смежных сот. Результаты измерений по линии МС – БС передаются на БС, а оттуда в центр коммутации. После анализа результатов ЦКСС выбирает соту, в которую можно было бы передать обслуживание МС. Далее ЦКСС информирует о своем решении БС новой соты, а также через БС старой соты передает на МС необходимые команды с номерами двух фиксированных частот, закрепленными за новой сотой, и прочую служебную информацию.

Методы организации многостанционного доступа к ресурсам сети подвижной радиосвязи. Под «многостанционным доступом» (multiple access) понимают совместное использование общего ресурса многими потребителями услуг связи. В сотовых сетях радиосвязи с подвижными объектами используются следующие варианты многостанционного доступа:

- многостанционный доступ с частотным разделением каналов связи или FDMA (Frequency Division Multiple Access);
- многостанционный доступ с временным разделением каналов связи или TDMA (Time Division Multiple Access);
- многостанционный доступ с кодовым разделением каналов связи или CDMA (Code Division Multiple Access);
- многостанционный доступ с пространственным разделением

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 112
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

каналов связи или SDMA (Space Division Multiple Access);

- многостанционный доступ с поляризационным разделением каналов связи PDMA (Polarization Division Multiple Access);

- многостанционный доступ со случайным разделением каналов связи или ALOHA.

Следует отметить, что все названные способы многостанционного доступа в той или иной степени находят применение в различных стандартах мобильных систем радиосвязи.

1. Метод многостанционного (множественного) доступа с разделением каналов по частоте (МДЧР), который наиболее прост в реализации, использовался во всех системах мобильной связи первого поколения. МДЧР предполагает, что каждому пользователю на время сеанса связи выделяется тот или иной свободный участок полосы частот f_k (частотный канал). Все пользователи занимают свои каналы в произвольные моменты времени и могут работать одновременно. Рассмотрим в качестве примера план распределения рабочих частот аналоговой системы мобильной радиосвязи первого поколения NMT-450. Скандинавский стандарт NMT-450 был разработан во второй половине 70-х годов прошлого столетия совместными усилиями Дании, Норвегии, Финляндии, Швеции и Исландии.

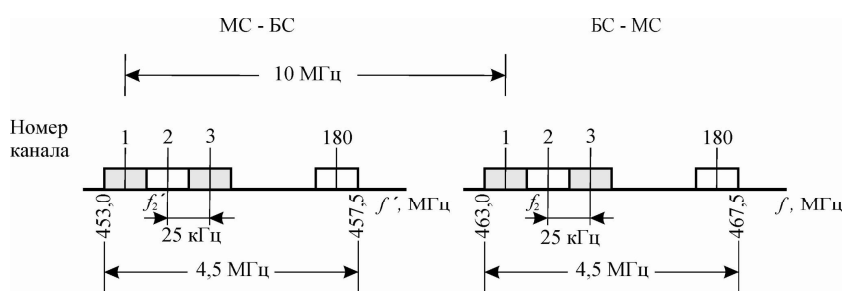


Рис 1.3. Частотный план стандарта NMT – 450

Как показано на рис. 1.3, для этого стандарта выделены две полосы

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 113
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

частот по 4,5 МГц в диапазоне 450 МГц. В каждой полосе размещается по 180 радиоканалов шириной $f_k = 25$ кГц. Отсюда следует, что в системе принят частотный дуплекс с дуплексным разнесением частот 10 МГц.

5. Метод многостанционного доступа с разделением каналов по времени (МДВР) основан на поочередной передаче информационных пакетов различных пользователей, находящихся в одной соте. Первым шагом в реализации этого метода является превращение аналоговых речевых сигналов в цифровые. Классический метод цифровизации, основанный на теореме Котельникова и дающий скорость 64 кбит/с, в мобильных системах радиосвязи не используется. Во всех стандартах мобильных систем применяются вокодерные методы анализа и синтеза речевых сигналов, которые работают на более низких скоростях. Например, в стандарте GSM скорость передачи оцифрованного речевого сигнала составляет 13 кбит/с.

6. Метод многостанционного доступа с кодовым разделением (МДКР) считается в настоящее время наиболее перспективным для дальнейшего совершенствования ССПР.

В ССПР он стал применяться позже, чем МДЧР и МДВР ввиду своей относительной сложности. Он также всегда реализуется в сочетании с МДЧР, образуя комбинацию МДЧР + МДКР. Это означает, что каждый частотный канал используется несколькими абонентами на основе кодового разделения их информационных потоков. Например, в стандарте CDMA IS-95 на каждой несущей удастся организовать порядка 55-ти цифровых разговорных каналов.

7. Метод многостанционного доступа с пространственным разделением каналов связи (МДПР) нашел практическое применение в системах глобальной мобильной радиосвязи на основе низкоорбитальных спутниковых систем типа Iridium и Globalstar.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 114
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Бортовые антенны каждого КА формировали 48 лучей, образующих на поверхности Земли ячейки с заданным значением плотности потока мощности. Диаметр одной ячейки был равен 550...600 км в центре зоны обслуживания и увеличивался до 850...900 км на ее периферии. Диаметр зоны обслуживания составлял 4700 км. При вращении связки ИСЗ зоны обслуживания перемещались по поверхности Земли со скоростью 7500 км/час.

С некоторыми изменениями метод МДПР был задействован и в спутниковой системе Globalstar. Здесь была реализована комбинация МДПР + МДЧР + МДКР и в основном использовался опыт создания сотовых систем мобильной радиосвязи с кодовым разделением каналов фирмы Qualcomm.

В общей сложности были задействованы следующие полосы частот:

- в направлении от абонента к спутнику
- 1610...1626,5 МГц (полоса L);
- от спутника к шлюзовой станции (Gateway) на поверхности Земли 6875...7055 МГц (полоса фидерной линии); – от шлюзовой станции к спутнику 5091...5250 МГц (полоса фидерной линии);
- от спутника к абоненту 2483,5...2500 МГц (полоса S).

Каждый абонент занимал полосу 1,3 МГц, используя для связи шумоподобные сигналы (ШПС) и многостанционный доступ с кодовым разделением. Всего в полосе 1,3 МГц могло работать до 127 абонентов. В речевом канале применен вокодерный принцип передачи. Средняя скорость передачи сигнала цифровой телефонии составляет 2,4 кбит/с.

7. Метод многостанционного доступа с поляризационным разделением каналов связи (МДПоР) находит в сотовых сетях довольно ограниченное применение.

Используя ортогональную поляризацию радиоволн, например,

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 115
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

вертикальную и горизонтальную, можно удвоить пропускную способность радиотракта.

Практическую реализацию МДПоР можно встретить в системе Globalstar в фидерной линии, соединяющей ИСЗ и шлюзовую земную станцию.

8. Метод многостанционного доступа со случайным разделением каналов связи (МДСР) предполагает такую организацию, когда сообщения пользователей представлены в виде определенного числа пакетов, которые каждый пользователь может передавать в произвольные моменты времени в общей полосе частот. Такой режим упрощает приемо-передающее оборудование и делает ненужной систему синхронизации.

Случайный многостанционный доступ используется также в наземных ССПР. Как отмечалось выше, в режиме ожидания МС не может воспользоваться каналами трафика, однако она нуждается в канале управления для получения доступа к сети. Для этого всем мобильным станциям в зоне обслуживания выделяется один канал типа ALOHA, который называется каналом случайного доступа от МС к БС для передачи запроса на установление соединения RACH (Random Control Channel).

Семиуровневая модель взаимодействия открытых систем. Для упрощения решения сложных задач часто используют процедуру декомпозиции, т.е. преобразование одной сложной задачи в набор более простых. В результате достигается структуризация исходной задачи и, что немаловажно, появляется возможность независимой модернизации процесса решения на каждой отдельной ступени без изменения остальной части образовавшейся конструкции. В теории и практике телекоммуникаций такой сложной задачей является процесс передачи информации по разветвленным сетям связи.

Принципиально новым шагом в развитии ССПР, начиная со второго

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 116
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

поколения, было принятие модели взаимодействия открытых систем OSI (Open System Interconnection), одобренной Международной организацией стандартов – ISO (International Standardization Organization). В этой модели все функции обмена информацией между абонентами поделены на семь уровней, как показано на рис. 1.4.

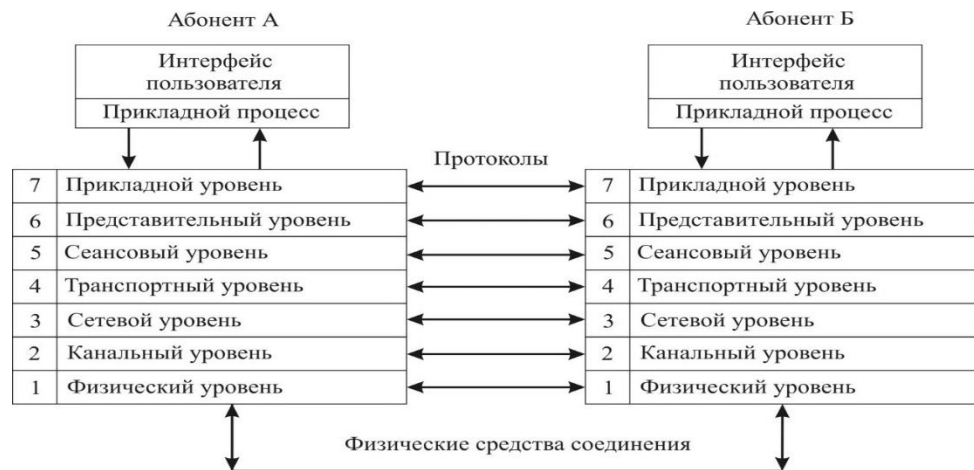


Рис. 1.4. Модель взаимодействия открытых систем

Прикладной процесс, представленный на рис. 1.4, включает обработку данных для нужд пользователя, которая выполняется с помощью аппаратнопрограммных средств либо непосредственно в человеческом сознании.

Верхний, седьмой уровень дает возможность организовать различные формы взаимодействия прикладных процессов. На этом уровне осуществляется управление заданиями, идентификация пользователей по паролям, адресам и т.д.

Представительный уровень обеспечивает информационную прозрачность различных прикладных уровней ССПР. Он отвечает за то, чтобы информация, поступающая из прикладного уровня, была понятна прикладному уровню в другой системе. В частности, здесь при необходимости осуществляется сжатие данных, шифрование и любые другие преобразования прикладного потока данных, если эти

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 117
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

преобразования могут быть полезными.

Сеансовый уровень определяет процедуру проведения сеансов между прикладными процессами, т.е. устанавливает, поддерживает и разрывает соединение, а также предоставляет средства синхронизации. Последние позволяют вставлять контрольные точки в длинные передачи, чтобы в случае отказа, можно было вернуться назад к последней контрольной точке вместо того, чтобы начинать все с начала.

Транспортный уровень обеспечивает верхним уровням – прикладному и сеансовому – передачу данных с той степенью надежности, которая им требуется. Модель OSI определяет пять классов сервиса, предоставляемых транспортным уровнем.

Канальный уровень служит для того, чтобы сформировать надежную виртуальную радиолинию, по которой кадры от абонентского терминала передаются на базовую станцию. Основной функцией этого уровня является надежная доставка пакетов на сетевой уровень.

Физический уровень преобразует поступающие биты в радиоимпульсы для передачи их по радиоканалу. Здесь используются такие понятия как диапазон частот, радиопередающие устройства, фазированные антенные решетки, среда распространения радиоволн, радиоприемные устройства и др. На этом уровне выполняется канальное кодирование и модуляция.

На рис. 1.4 показаны линии, соединяющие одноименные уровни. Это протоколы, названия которых совпадает с названиями соответствующих уровней. Например, существуют сеансовые, транспортные, сетевые протоколы. Протокол – это установленная последовательность шагов, выполняемых взаимодействующими объектами, для достижения поставленной цели. Протокол должен содержать описание последовательности действий обеих сторон при любых возможных

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 118
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

вариантах для исключения тупиковых ситуаций.

Обмен протоколами выглядит следующим образом. Например, на уровне представления к заголовку, полученному от прикладного уровня, добавляется собственная служебная информация, в которой содержатся указания для представительного уровня адресата. Такие процедуры выполняются на каждом уровне, как показано на рис. 1.5.

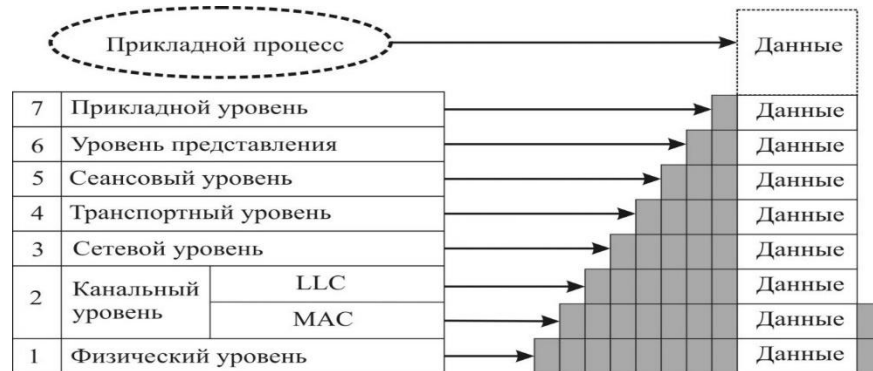


Рис. 1.5. Принцип формирования протоколов

Когда сообщение достигает нижнего физического уровня, оно уже «обросло» заголовками. На канальном уровне служебная информация размещается не только в начале сообщения в виде заголовка, но и в конце, где содержится контрольная последовательность кадра. После того, как передаваемое по сети сообщение поступает на устройство адресата, оно принимается на физическом уровне и последовательно перемещается вверх с одного уровня на другой. На каждом уровне после анализа соответствующего заголовка выполняются определенные операции, после чего этот заголовок удаляется, а сообщение передается на вышестоящий уровень.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 119
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

1.2. Цифровые системы сотовой подвижной радиосвязи с МДВР

Технические характеристики основных стандартов мобильной радиосвязи с МДВР. В 80-е годы XX в. Европейская Конференция Административных Почт и Электросвязи (CEPT – Conference of European Posts and Telegraphs), объединяющая в то время администрации связи 26 стран, образовала специальную рабочую группу Group Special Mobile (GSM), которая приступила к разработке единого европейского стандарта цифровой сотовой радиосвязи. Для нового стандарта возле частоты 900 МГц были выделены две частотные полосы по 25 МГц. Через некоторое время, когда этот стандарт получил мировое признание, аббревиатура GSM стала расшифровываться как Global System of Mobile Communications – Всемирная система мобильной связи.

Коммерческое использование европейского стандарта GSM-900 началось в 90-е годы. Таким образом произошел переход от первого поколения ССПР ко второму.

В то же время в Северной Америке получил развитие стандарт DAMPS в версии IS-136, который пришел на смену аналоговому стандарту AMPS. В начале был разработан стандарт D-AMPS версии IS-54 (IS – в сокращении от Interim Standard, т.е. промежуточный стандарт), который представлял собой двухрежимную аналого-цифровую систему, способную работать как в аналоговом, так и в цифровом режимах в сетке частот, выделенной для аналогового стандарта AMPS. Усовершенствованная версия IS-136 отличалась от IS-54 наличием полностью цифровых каналов управления. Для версии IS-136, кроме диапазона 800 МГц, были выделены полосы в диапазоне 1800 МГц.

Япония разработала свой цифровой стандарт – JDC (Japan Digital Cellular), технические характеристики которого были близки к D-AMPS (табл. 1.1).

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 120
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Таблица 1.1 Стандарты сотовых мобильных систем с МДВР

Параметр стандарта	Значение		
	GSM	D-AMPS	JDC
Вид многостанционного доступа	FDMA/TDMA	FDMA/TDMA	FDMA/TDMA
Частотный диапазон прямой линии, МГц	935...960 1805...1880	824...849	810...826
Частотный диапазон обратной линии, МГц	890...915 1710...1785	869...894	940...956
Дуплексный разнос частот приема и передачи, МГц	45 (95)	45	130
Ширина выделенной полосы, МГц	25 (75)	25	16
Ширина полосы одного канала, кГц	200	30	25
Число речевых каналов на несущую	8	3	3
Эквивалентная полоса речевого канала, кГц	25	10	8,3
Скорость преобразования речевого кодека, кбит/с	13	8	11,2
Алгоритм преобразования речи	RPE/LTP - LPC	VSELP	VSELP
Общая скорость передачи, кбит/с	270,833	48	42
Метод разнесения для борьбы с замираниями	Перемежение, частотное разнесение (скачки по частоте)	Перемежение	Перемежение, пространственное разнесение
Вид модуляции	0,3GMSK	$\pi/4$ – DQPSK	$\pi/4$ – DQPSK
Треб. отношение несущая/шум, дБ	9	16	13
Радиус соты, км	0.5...35	0.5...20	0.5...20

Уровни выходной мощности передатчиков в стандарте GSM могут меняться в широких пределах. Предусмотрено 8 классов

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 121
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

мощности для передатчиков БС от 320 до 2,5 Вт и 5 классов для передатчиков МС от 20 до 0,8 Вт.

Совершенствование европейского стандарта привело к освоению нового частотного диапазона 1800 МГц, в котором, благодаря расширению рабочих полос до 75 МГц в сочетании с меньшими размерами сот, появилась возможность строить ССПР значительно большей емкости.

Стандарт GSM нашел применение и в США, однако поскольку диапазон 1800 МГц был уже занят D-AMPS в версии IS-136, ему были выделены две полосы частот в диапазоне 1900 МГц. Данный вариант стандарта GSM получил название «американский» GSM версии IS-661.

Все названные стандарты, получившие распространение в конце 90-х, составили основу второго поколения ССПР.

Сетка частот, соответствующая Рекомендациям СЕРТ для стандарта GSM-900, представлена на рис. 1.6.

Полоса частот 935...960 МГц используется для связи в направлении БС-МС, которое называется прямой (нисходящей) линией (downlink). В полосе 890...915 МГц работают передатчики мобильных станций и приемники БС. Это направление называется обратной (восходящей) линией (uplink). Полоса частот, отведенная для одного частотного канала, составляет 200 кГц. Это означает, что шаг в сетке частот на рис. 1.6 составляет 200 кГц. Разнос по частоте прямого и обратного канала (дуплексный разнос) равен 45 МГц.

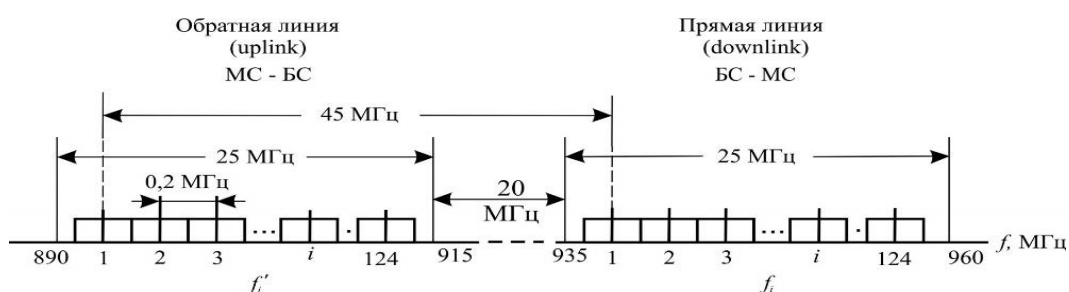


Рис. 1.6. План распределения рабочих частот стандарта GSM-900

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 122
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Таким образом, в каждой отведенной для приема (передачи) полосе частот шириной 25 МГц размещаются по 124 частотных канала связи.

Передатчики базовой станции (прямой канал) работают на фиксированных частотах

$$f_i = 935,2 + 0,2(i - 1), \text{ МГц}, \quad 1 \leq i \leq 124. \quad (1.1)$$

На эти же частоты настраиваются приемники активных абонентов в соте. В обратном направлении используются частоты

$$f_i' = 890,2 + 0,2(i - 1), \text{ МГц}, \quad 1 \leq i \leq 124, \quad (1.2)$$

причем

$$f_i = f_i' + 45, \text{ МГц}.$$

Приведенная организация стандарта GSM в частотной области представляет собой типичный пример МДЧР (FDMA). Каждый частотный канал делят между собой восемь мобильных абонентов, используя для этого возможности МДВР (TDMA).

Структура временных кадров в стандарте GSM. При организации виртуальных и физических каналов в стандарте GSM образуется довольно сложная структура, состоящая из вложенных друг в друга кадров. Общая иерархия временных кадров представлена на рис. 1.7.

Рассмотрим особенности построения сигнальных кадров в стандарте GSM.

4. Основной структурной единицей временно́го разделения цифрового потока является гиперкадр.

Протяженность гиперкадра составляет $T_r = 3 \text{ часа } 28 \text{ мин } 53 \text{ с } 760 \text{ мс} = 12533,76 \text{ с}$. Гиперкадр делится на 2048 суперкадров.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 123
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

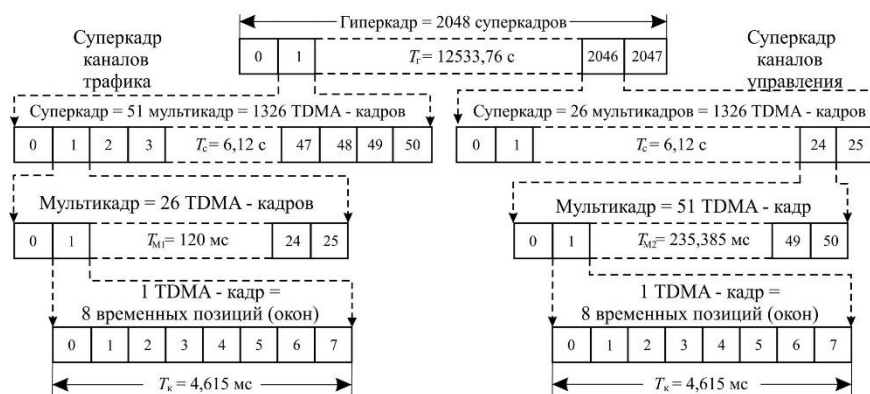


Рис. 1.7. Организация кадров при МДВР

5. Суперкадр имеет длительность

$$T_c = \frac{12533,76}{2048} = 6120 \text{ мс.}$$

Суперкадр состоит из мультикадров.

6. Мультикадры бывают двух видов. Это связано с тем, что виртуальные каналы трафика и каналы управления требуют различных методов организации.

В первом случае суперкадр делится на 51 мультикадр (рис. 1.7):
1 суперкадр = 51 мультикадр; 1 мультикадр = 26 TDMA-кадров.

Таким образом, 1 суперкадр = $51 \cdot 26 = 1326$ TDMA-кадров.

Во втором случае суперкадр делится на 26 мультикадров (рис. 1.7):
1 суперкадр = 26 мультикадр; 1 мультикадр = 51 TDMA-кадров. В итоге имеем: 1 суперкадр = $26 \cdot 51 = 1326$ TDMA-кадров. Таким образом, способ деления суперкадра не влияет на число TDMA-кадров в нем. Длительность мультикадра в первом случае

$$T_c = 6120 = 120 \text{ мс,}$$

$$T_{m1} = 51 \cdot 26$$

а во втором

$$T_c = 6120 = 235,385 \text{ мс.}$$

$$T_{m2} = 26 \cdot 51$$

6. TDMA-кадр имеет длительность в первом случае

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 124
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

$$T_k = \frac{T_{M1}}{26} = \frac{6120}{51 \cdot 26} = \frac{60}{13} = 4,615 \text{ мс}$$

и во втором

$$T_k = \frac{T_{M2}}{51} = \frac{6120}{26 \cdot 51} = \frac{60}{13} = 4,615 \text{ мс,}$$

что и следовало ожидать (рис. 1.7).

Следовательно, в одном гиперкадре содержится

$$N = 26 \cdot 51 \cdot 2048 = 2715648 \text{ TDMA-кадров.}$$

Каждый имеет свой порядковый номер от 0 до NFmax (Number of Frame), т.е. от 0 до 2715647. Номер кадра NF используется в качестве входного параметра в системе криптографической защиты передаваемой информации.

7. Каждый TDMA-кадр делится на 8 временных позиций (окон) длительностью

$$T_o = \frac{T_k}{8} = \frac{60}{13 \cdot 8} = \frac{15}{26} \approx 576,923 \text{ мкс.}$$

Каждое окно обозначается буквами TN с номером от 0 до 7.

Рассмотренный порядок деления кадров в цифровой последовательности наглядно поясняет, каким образом в стандарте GSM реализован принцип многостанционного доступа с временным разделением одного частотного канала шириной 200 кГц между мобильными абонентами сети.

Физический смысл окна – это заданный интервал времени, в течении которого пакет цифрового потока, соответствующий оцифрованному речевому сообщению или данным, подается на модулятор передатчика МС или БС.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 125
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Для передачи информации и сигналов управления, для подстройки несущих частот, обеспечения кадровой синхронизации между БС и мобильными станциями, организации каналов доступа и др. в структуре TDMA-кадра используются пять видов временных интервалов (окон).

6. NB (Normal Burst) – нормальный временной интервал.

7. FB (Frequency correction Burst) – временной интервал подстройки частоты.

8. SB (Synchronisation Burst) – интервал временной синхронизации.

9. DB (Dummy Burst) – установочный интервал.

10. AB (Access Burst) – интервал доступа к сети GSM.

Мультикадр первого типа используются для организации каналов трафика и совмещенных с ними каналов управления. В каналах трафика передают оцифрованные речевые сигналы. Структура мультикадра для передачи речи с полной скоростью представлена на рис. 1.8, где буквой Т обозначены TDMA-кадры, в которых передаются сигналы трафика. TDMA-кадр №13 этого мультикадра выделен для организации медленного совмещенного канала управления SACCH (см. разд. 1.8). TDMA-кадр № 26 не используется. В нем ничего не передают.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 126
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

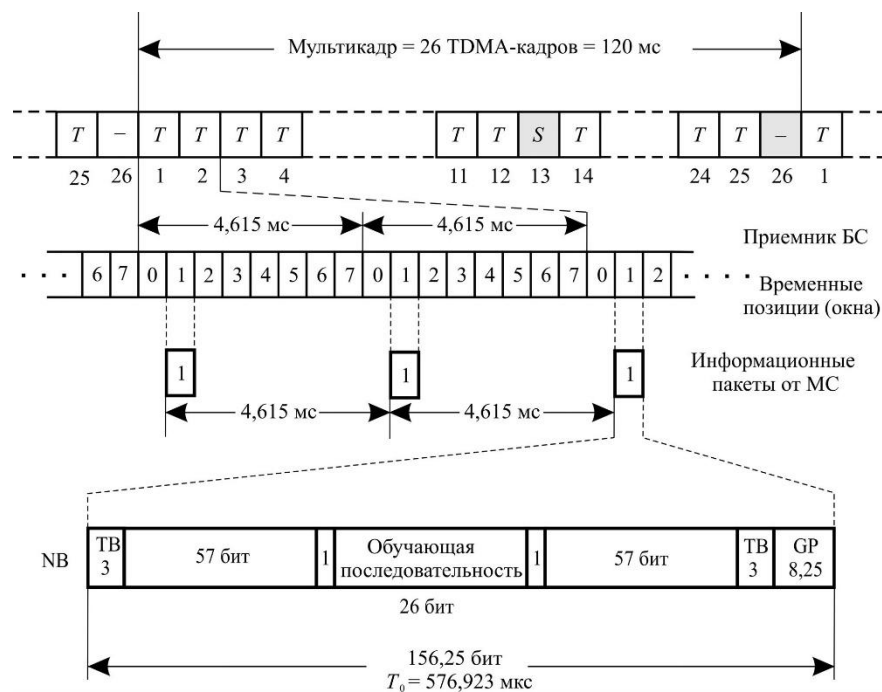


Рис. 1.8. Структура мультикадра первого типа

Как уже отмечалось, длительность TDMA-кадра равна $T_k = T_{м1}/26 = 120 \text{ мс}/26 = 4,615 \text{ мс}$, а длительность окна (слота) составляет $T_0 = 576,923 \text{ мкс}$.

В окнах размещаются нормальные пакеты NB. Каждый NB пакет (рис. 1.8) содержит:

- 5) два поля по 57 бит зашифрованной речевой информации;
- 6) поле обучающей последовательности 26 бит;
- 7) два поля по одному биту, т.е. два флажка, определяющие тип передаваемой информации (0 – речевая, 1 – служебная);
- 8) две концевые комбинации ТВ (Trial Bits), указывающие границы передаваемого блока.

Обучающая последовательность имеет неизменный вид и используется для решения следующих задач:

- оценка качества связи посредством сравнения принятой последовательности с эталонной;
- периодическая (через каждые 4,615 мс) оценка импульсной

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 127
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

характеристики радиотракта и подстройка адаптивного эквалайзера для коррекции частотной характеристики канала, которая подвергается искажениям в результате быстрых селективных замираний;

– оценка времени распространения радиоволн между БС и МС для определения того момента, когда МС должна начинать передачу пакета NB.

Наличие защитного интервала в слоте GP (Guard Period) длительностью 8,25 бит (30,44 мкс) предотвращает наложение пакетов на входе приемника БС, поступающих от различных мобильных станций при их перемещении во время сеанса связи.

Для передачи оцифрованной речи используют TDMA-кадры 1-12 и 1425, т.е. 24 кадра из 26. Каждый пользователь занимает в TDMA-кадре одно из восьми окон, причем номер окна сохраняется во всех кадрах. В каждом окне передается NB пакет, содержащий 114 бит зашифрованной цифровой телефонии. Поскольку длительность мультикадра трафика равна $T_{м1} = 120$ мс, то скорость информационного потока одного абонента составляет

$$R_{аб} = \frac{114 \cdot 24}{120} = 22,8 \text{ кбит/с.}$$

Суммарная скорость передачи информации в стандарте GSM равна

$$R_{GSM} = \frac{26 \cdot 8 \cdot 156,25}{120} = 270,833 \text{ кбит/с.}$$

Поток с такой скоростью будет иметь место на входе одного приемника БС, принимающего радиосигнал на одной рабочей частоте, когда абоненты МС используют все восемь окон каждого TDMA-кадра.

На основании рис. 1.8 легко можно рассчитать длительность одного информационного символа (бита). Она равна

$$T^0 = 576,923 = 3,6923 \text{ мкс.}$$

$$T_6 = 156,25$$

Общее число символов (бит) в мультикадре трафика равно

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 128
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

$$156,25 \cdot 8 \cdot 26 = 32500 \text{ бит.}$$

Построение мультикадров на нисходящей и восходящей линиях однотипно, однако нисходящий поток опережает восходящий на три временных интервала (окна), поэтому передатчик и приемник МС никогда не работают одновременно. Для каждого абонента, получившего доступ к сети, выделяется две частоты f_i и f_i' , а также номер окна в TDMA-кадре, например №1, как показано на рис. 1.9. Следует отметить, что значения мощности передатчика МС, приведенные в разд. 1.6, относятся к мощности «вспышки». Средняя же мощность передатчика оказывается в 8 раз меньше, так как 7/8 времени передатчик выключен.

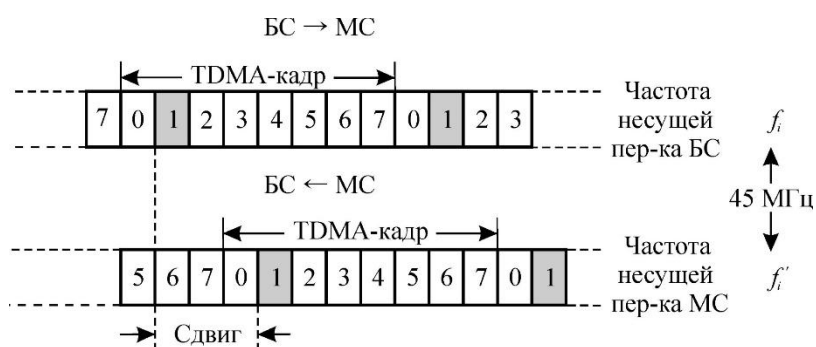


Рис. 1.9. Сдвиг мультикадров во встречных потоках

Организация физических и логических каналов в стандарте GSM.

Как уже отмечалось, в стандарте GSM используется комбинация FDMA+TDMA, поэтому число каналов равно $124 \cdot 8 = 992$. Это так называемые физические каналы.

Прежде чем сформировать физический канал, передаваемые сообщения и данные, представленные в цифровой форме, группируются и объединяются в так называемые логические каналы. В каждом физическом

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 129
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

канале может быть размещено несколько логических каналов.

Всего в стандарте GSM существует 11 логических каналов: два из них используются в качестве каналов связи, т.е. для передачи кодированной речи и данных – Traffic Channel (TCH), а девять для передачи сигналов управления и синхронизации – Control Channel (CCH).

Уже такое неравенство в числе каналов говорит о том, насколько процесс управления сетью сложнее, чем непосредственная процедура передачи информации от одного абонента к другому.

Различают следующие логические каналы связи.

3. Логический канал TCH/F (Full rate TCH) – канал передачи сообщений с полной скоростью 22,8 кбит/с.

4. Логический канал TCH/H (Half rate TCH) – канал передачи сообщений с половинной скоростью 11,4 кбит/с.

Один физический канал (пакет NB) можно использовать для организации одного логического канала TCH/F или двух TCH/H.

В зависимости от назначения и способа организации все каналы управления принято разделять на четыре категории:

5. BCCH (Broadcast Control Channels) – широковещательные каналы для передачи команд в направлении от БС к МС без конкретной адресации, обеспечивают настройку МС для работы в сети.

6. CCCH (Common Control Channels) – общие каналы управления.

7. SDCCCH (Stand-alone Dedicated Control Channels) – индивидуальные каналы управления, используемые для передачи служебной информации в двух направлениях для связи между БС и конкретной МС.

8. ACCH (Associated Control Channels) – совмещенные каналы управления, которые также используются для передачи служебной информации в двух направлениях. В прямом направлении передаются

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 130
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

команды от БС к МС, в обратном направлении передается информация о статусе МС.

В свою очередь, в каждую из категорий входят специализированные каналы для передачи определенного вида команд.

Перечислим каналы управления, входящие в категорию ВССН.

10. FCSN (Frequency Correction CHannel) – канал подстройки частоты генераторов МС. По этому каналу передается не модулированная несущая с фиксированным частотным сдвигом относительно номинального значения частоты канала связи.

11. SCH (Synchronisation CHannel) – канал синхронизации, по которому на МС передается информация для кадровой синхронизации работы аппаратуры БС и МС.

12. BCCH (Broadcast Control CHannel) – канал управления передачей, обеспечивает формирование и передачу на МС разнообразной служебной информации. В число общих каналов управления СССН входят следующие каналы:

13. PCH (Paging CHannel) – канал вызова мобильной станции – однонаправленный канал от БС к МС, который используется для передачи сигнала входящего вызова к МС. С помощью PCH базовая станция начинает обслуживание RACH запроса.

14. RACH (Random Access CHannel) – канал параллельного доступа, используется только в направлении от МС к БС. По этому каналу МС передает запрос с просьбой предоставить ей индивидуальный канал для двухстороннего обмена информацией с БС. Канал доступа является общим для всех МС данной зоны, поэтому для работы используется алгоритм асинхронного случайного многостанционного доступа ALOHA.

15. AGCH (Access Grant CHannel) – канал разрешения доступа, направление передачи от БС к МС. С помощью AGCH базовая станция

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 131
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

продолжает обслуживание RACH запроса.

Различают три двухсторонних канала управления между БС и МС:

16. SDCCCH (Stand-alone Dedicated Control CHannel) – индивидуальный выделенный канал управления для связи в двух направлениях между БС и МС. Последние два канала являются совмещенными, т.е. они организованы в TDMA-кадрах трафика и имеют формат NB.

17. SACCH (Slow Associated Control CHannel) – медленный совмещенный канал управления. По направлению «вниз» БС передает команды для установки уровня мощности передатчика МС.

18. FACCH (Fast Associated Control CHannel) – быстрый совмещенный канал управления служит для обмена служебной информацией между БС и МС при переходе МС из одной соты в другую, т.е. при эстафетной передаче МС от одной БС к другой.

Все каналы управления стандарта GSM сведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Классификация каналов управления

Категория каналов управления		Назначение каналов	
BCCH	Вещательные	Коррекция частоты	FCCH
		Синхронизация	SCH
		Управление передачей	BCCH
CCCH	Общие	Пейджинга	PCCH
		Случайного доступа	RACH
		Разрешенного доступа	AGCH
DCCH	Назначенные	Индивидуальные	SDCCCH
ACCH	Совмещенные	Быстрый совмещенный	FACCH
		Медленный совмещенный	SACCH

Развернутая схема, иллюстрирующая состав каналов радиointерфейса системы GSM, представлена на рис. 1.2.5.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 132
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

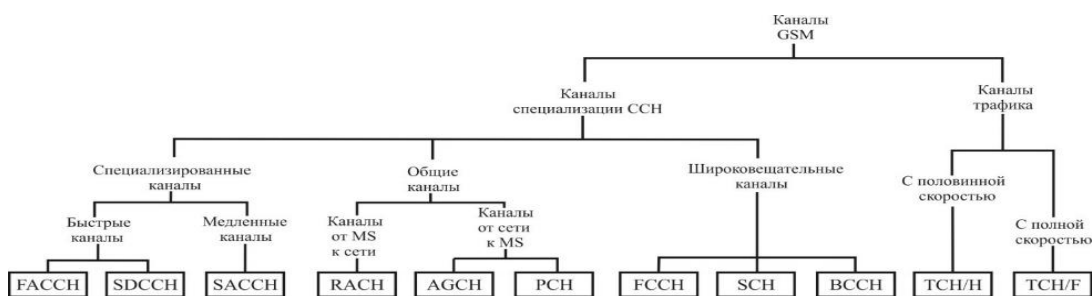


Рис. 1.10. Состав логических каналов системы GSM

Для организации каналов управления (кроме FACCH и SACCH) используется мультикадр второго типа, который насчитывает 51 TDMA-кадр, каждый из которых содержит 8 окон (слотов). Такой мультикадр длится 235,385 мс. Прямое и обратное направления имеют различные структуры мультикадров. Выше был приведен список пакетов управления. Содержание пакетов управления и их назначение представлены на рис. 1.11.

Сообщения каналов BCCH и CCCH, передаваемые по прямой линии от БС к МС, размещаются в нулевых слотах первых 50-ти TDMA-кадров мультикадра второго типа. Последний, 51-й, TDMA-кадр этого мультикадра остается свободным.

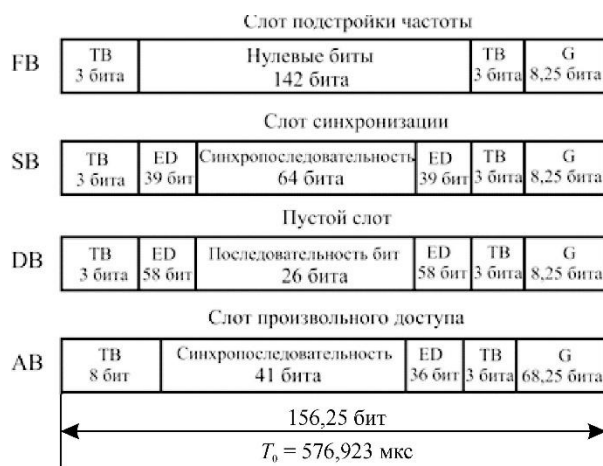


Рис. 1.11. Структура пакетов в каналах управления

Первые 50 TDMA-кадров делятся на 5 блоков по 10 TDMA-кадров (рис. 1.12).

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 133
Проверил:	Бежиметов А.Ф.		

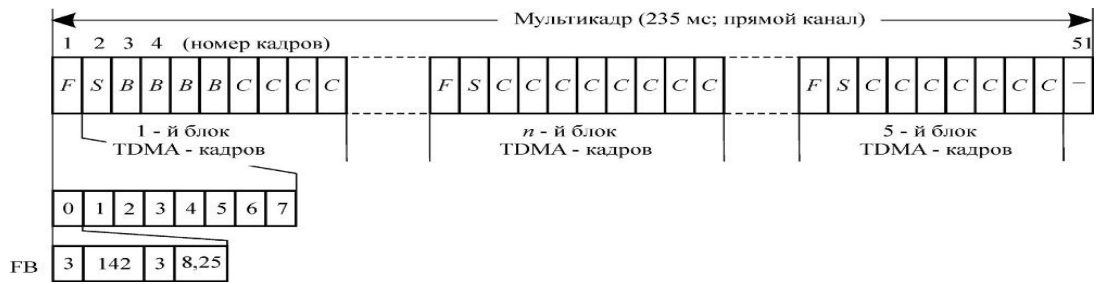


Рис. 1.12. Структура мультикадра каналов управления в прямом направлении

В начале каждого блока в канале FSSCH передается сообщение в виде немодулированной несущей для подстройки частоты, далее в канале SCH передается последовательность синхроимпульсов для кадровой синхронизации оборудования БС и МС. После этого в первом блоке следуют четыре сообщения в канале BCCH и четыре сообщения канала AGCH или канала PCN. В остальных четырех блоках все восемь TDMA-кадров отводятся под канал AGCH/PCN.

Сообщения в логических каналах управления обычно кодируются со значительной избыточностью для надежной защиты передаваемой информации. Обратная линия мультикадра каналов управления используется для передачи запроса МС на обслуживание. Сообщения RACH могут быть переданы в нулевом окне (слоте) любого TDMA-кадра 51-кадрового мультикадра. При этом используется структура логического канала, соответствующая так называемому пакету доступа АВ (рис. 1.11).

Все сказанное иллюстрирует рис. 1.13.

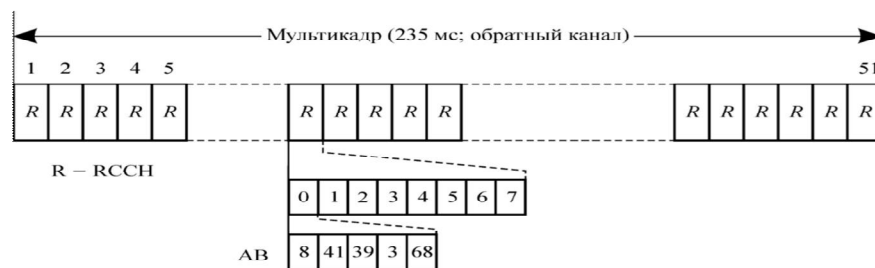


Рис. 1.13. Структура мультикадра каналов управления в обратном направлении

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 134
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Переमेжение и формирование TDMA-кадра.

При передаче сигнал-параметров речевого сигнала по радиотракту возникают ошибки, которые имеют тенденцию группироваться в пакеты. Существующие методы блочного и сверточного кодирования успешно корректируют одиночные ошибки, однако они плохо работают в условиях, когда ошибки объединяются в пакеты. В сетях мобильной радиосвязи нашел применение метод перемежения (interleaving), который позволяет преобразовывать пакеты ошибок в одиночные ошибки. Следует подчеркнуть, что количество ошибочных битов при этом не изменяется, однако после перемежения они рассредоточиваются по цифровому потоку.

Существует много схем перемежения: диагональная, блочная, сверточная и др.

Цифровой поток в передающей части построчно записывается в матрицу $M_{m,n}$, каждый элемент которой a_i может быть символом или группой символов. Записанный в $M_{m,n}$ блок считывается по столбцам и передается по каналу связи. Считывание по столбцам даёт выходную последовательность, в которой соседние входные биты разнесены на n позиций.

В приемнике поступивший информационный блок, содержащий пакеты ошибок, записывается в аналогичную матрицу по столбцам, а считывается по строкам.

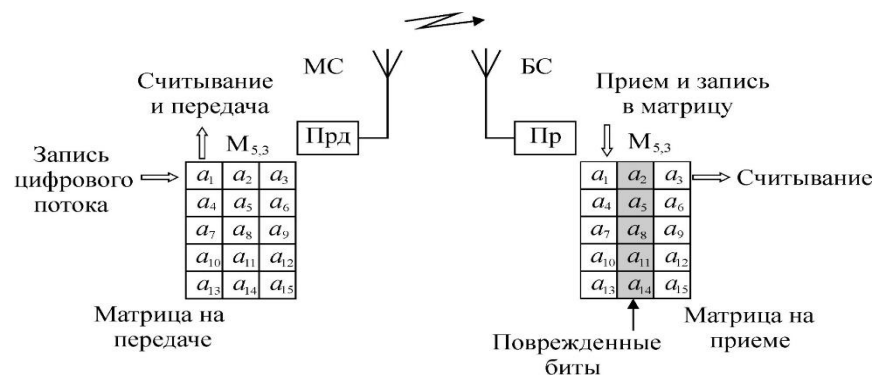


Рис. 1.14. Блочная схема перемежения и деперемежения

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 135
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

На рис. 1.15 представлен процесс перемежения для (5×3) – матриц.

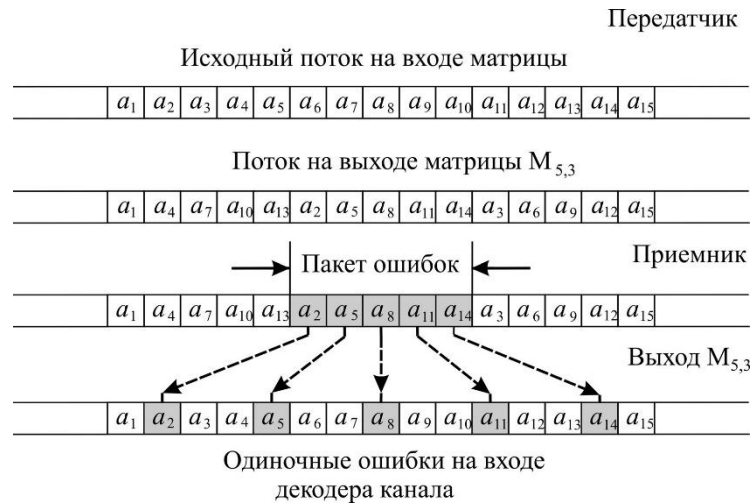


Рис. 1.15. Иллюстрация преобразования пакета ошибок в одиночные ошибки

Для борьбы с длинными пакетами ошибок приходится увеличивать размеры матриц. Однако это приводит к увеличению задержки речевого сигнала.

Следует отметить, что если считывание и запись столбцов в матрицах производить в порядке, определяемом секретным ключом, то это даст возможность для дополнительного шифрования передаваемой информации. Все сказанное позволяет сделать следующие выводы.

4. Размеры столбцов матрицы определяют длину пакета ошибок, который можно «рассыпать» в одиночные ошибки.

5. Размеры строк определяют расстояние между соседними одиночными ошибками.

6. Если в канале радиосвязи преобладают одиночные ошибки, то перемежение группирует их в пакеты и тем самым снижает помехоустойчивость связи.

В стандарте GSM используется довольно сложная и эффективная схема блочно-диагонального перемежения. Вся процедура перемежения укладывается на 20-миллисекундном сегменте. При этом пакет из 456 бит

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 136
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

закодированного речевого сигнала разбивается на 8 блоков по 57 бит в каждом. Алгоритм разбиения показан на рис. 1.16.

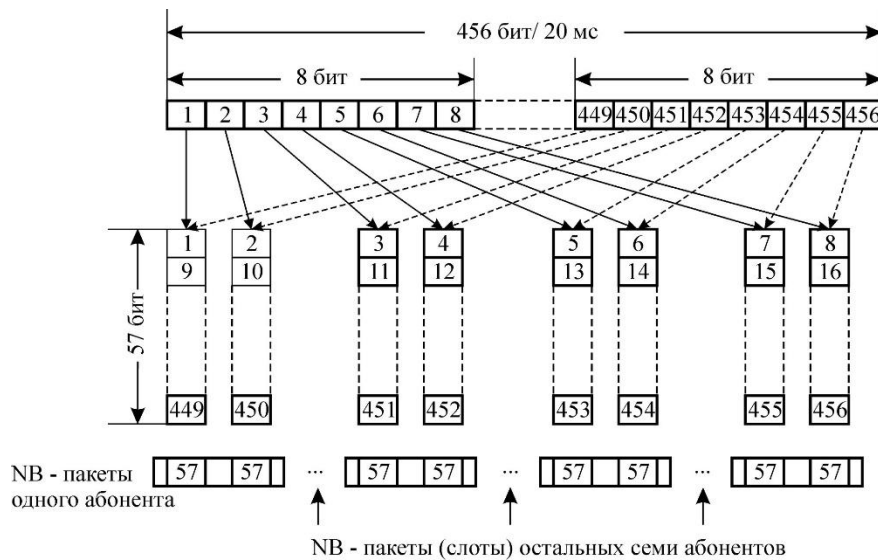


Рис. 1.16. Принцип перемежения и формирования TDMA-кадров в стандарте GSM

Вначале между блоками распределяются первые 8 битов из 456, затем следующие 8 битов и т.д. В результате этого в первый блок попадают биты под номерами 1, 9, 17, ..., 449; во второй – биты под номерами 2, 10, 18, ..., 450 и т.д. Полученные таким образом блоки устанавливаются в нормальные временные интервалы NB, которые находятся в четырех следующих друг за другом TDMA-кадрах. Напомним, что первые 148 битов NB-интервала составляют информационную часть. Сюда входят два поля по 57 бит; 2 бита на флажки, определяющие тип передаваемой информации; 26 битов занимает обучающая последовательность; 2 защитных бланка по 3 бита, которые используются в качестве стартового и стопового флагов. Остальные 8,25 бита входят в защитный интервал.

На этом заканчивается формирование физического канала трафика (Traffic Channel).

После перемежителя цифровой поток, упорядоченный в виде последовательности TDMA-кадров, поступает на модулятор передатчика.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 137
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

1.3. Постановка задачи.

Широкое использование радиосвязи с подвижными объектами стало характерной чертой современного мира. Большинство абонентов не задумывается о том, как осуществляется звонок по мобильному телефону, как происходит передача SMS-сообщения или data-трафика. Главное, чтобы в любой момент времени и в любой точке пространства они не испытывали проблем со связью. Между тем комфорт общения обеспечивается постоянно работающей огромной системой, состоящей из тысяч элементов, в числе которых базовые станции, контроллеры, коммутационное оборудование, ИТ-системы и многое другое, что позволяет оставаться на связи 24 часа в сутки.

При установке новой базовой станции планировщики будут учитывать множество факторов, которые будут влиять на работу БС и уровень сигнала сети, среди которых важнейшими являются условия распространения сигнала (рельеф местности, плотность застройки, антропогенные факторы, зеленые насаждения, наличие радиопомех и т.д.). При планировании специалисты также должны учесть возможное будущее строительство новых базовых станций, чтобы в последующем новые базовые станции не оказывали влияние на старые, учесть воздвигаемые новые здания, которые могут перекрыть сигнал, учесть погодные условия в конкретной местности и многое другое.

Целью настоящей выпускной квалификационной работы является:

- Анализ моделей распространения радиосигналов;
- Расчет ослабления сигналов при распространении радиоволн из здания на улицу;
- Расчет зоны покрытия одной базовой станции разным методами.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 138
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

ГЛАВА II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Модели распространения радиосигналов.

Модель Ли. Ли (англ. W.C.Y. Lee) предложил очень простую модель распространения сигнала, основанную на серии проведенных в США измерений на несущей частоте $f_0 = 900$ МГц.

Согласно модели Ли, среднее значение мощности, измеренной на расстоянии d от передающей станции, описывается выражением

$$P(d) = P_0 \left(\frac{d}{d_0} \right)^{-\gamma} \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-n} F_0, \quad (1)$$

или в логарифмическом представлении

$$(P(d))_{dB} = (P_0)_{dB} - \gamma \lg \left(\frac{d}{d_0} \right) - n \lg \left(\frac{f}{f_0} \right) + (F_0)_{dB};$$

$$F_0 = \prod_{i=1}^5 F_i, \quad (2)$$

где P_0 - эталонная медианная мощность, измеренная на расстоянии $d_0 = 1$ км; F_0 - поправочный коэффициент, вычисляемый на основе серии компонентных множителей.

Коэффициенты F_i рассчитываются следующим образом:

$$F_1 = \left(\frac{h_{BS,eff}}{30,48} \right)^2;$$

$$F_2 = \left(\frac{h_{MS}}{3} \right)^v;$$

$$F_3 = \frac{P_T}{10};$$

$$F_4 = \frac{G_T}{4};$$

$$F_5 = G_R,$$

где $h_{BS,eff}$ - эффективная высота антенны базовой станции, м; v - показатель степени: при высоте антенны подвижной станции менее 3 м принимается $v = 1$, а при высоте более 10 м - $v = 2$; P_T - мощность сигнала, излучаемого передатчиком базовой станции, Вт; G_T , G_R - коэффициенты

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 139
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

усиления антенн соответственно базовой и подвижной станции относительно полуволнового вибратора.

Параметры P_0 и γ получены экспериментально на основе проведенных замеров в различных типах окружающей среды.

Тип среды	P_0	γ , дБ на декаду
Свободное пространство	-41	20,0
Сельская местность, редкая застройка	-40	43,5
Пригород, небольшой город	-54	38,4
Филадельфия	-62,5	36,8
Нью-Йорк	-55	43,1
Токио	-78	30,5

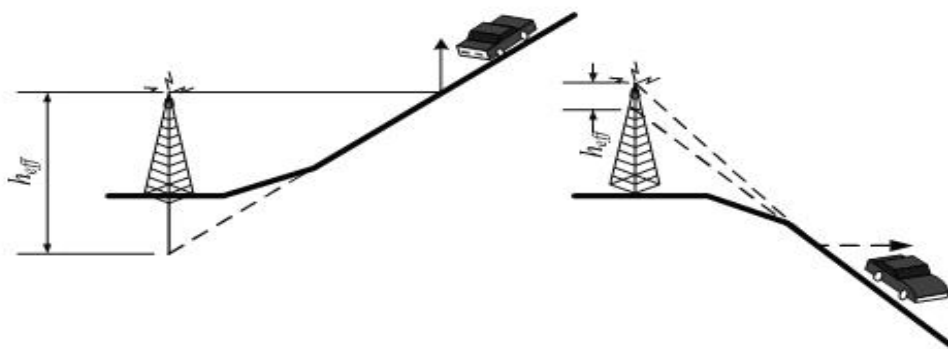
Медианные потери мощности в зависимости от частоты определяются коэффициентом $(f/f_0)^{-n}$ и его показателем степени n .

Для частот от 30МГц до 2ГГц и расстояний между подвижной и базовой станциями от 2 до 30км значение n лежит в диапазоне от 2 до 3.

Величина n также зависит от топографических особенностей местности. Для пригородных и сельских районов рекомендуется выбирать $n = 2$ при частотах ниже 450 МГц и $n = 3$ при частотах выше 450 МГц.

На пересеченной местности эффективная высота антенны может сильно отличаться от ее физической высоты.

Определение эффективной высоты антенны БС в холмистой местности.



Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 140
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Измерения, лежащие в основе эмпирических формул модели Ли, были проведены в системе со следующими параметрами:

- несущая частота f_c , МГц 900;
- высота антенны БС $h_{BS,eff}$, м 30;
- мощность передаваемого сигнала P_T , Вт 10;
- коэффициент усиления антенны БС относительно полуволнового

вibratorа G_T , дБд 6;

- высота антенны подвижной станции h_{MS} , м 3;
- коэффициент усиления антенны подвижной станции

относительно полуволнового vibratorа G_R , дБд 0;

Эти параметры отражены в формулах в виде коэффициентов $F_1 - F_5$.

Модель Окумуры

В основе модели Окумуры (англ. Okumura) также лежит множество измерений. Многочисленные измерения в частотном диапазоне от 150 до 1920 МГц проводились в Токио. Для описания зависимости медианных потерь $(L_{50})_{dB}$ от расстояния d до передающей антенны БС была предложена формула

$$(L_{50})_{dB} = L_S + A(f,d) + G(h_{BS,eff}) + G(h_{MS}); \quad (3)$$

$$L_S = \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2, \quad (4)$$

где L_S - потери при распространении в свободном пространстве; $A(f,d)$ - медианное значение потерь в городской среде с квазигладкой земной поверхностью по отношению к затуханию в свободном пространстве в случае, если эффективная высота антенны БС $h_{BS,eff} = 200$ м, а высота антенны подвижной станции $h_{MS} = 3$ м; $G(h_{BS,eff})$ - корректирующий коэффициент (в дБ), учитывающий отличие эффективной высоты антенны БС от 200 м; $G(h_{MS})$ - корректирующий коэффициент (в

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 141
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

дБ), зависящий от высоты антенны подвижной станции, если она отличается от 3 м.

Потери при распространении в свободном пространстве L_S вычисляются в логарифмическом масштабе.

Формула (4), совместно с полученными эмпирическими графиками, позволяет оценить затухание сигнала в условиях городской застройки на частотах от 150 до 2000 МГц, если расстояние между подвижной и базовой станциями составляет от 1 до 100 км, а эффективная высота антенны базовой станции лежит в диапазоне от 30 до 1000 м.

$$(L_{50})_{dB} = L_S + A(f,d) - G(h_{BS,eff}) - G(h_{MS}) - G_{AREA}.$$

В настоящее время предложены дополнительные корректирующие члены, позволяющие учесть наклон и неровности местности, а также ее тип.

$$G(h_{BS,eff}) = 20 \lg \left(\frac{h_{BS,eff}}{200} \right), \quad 10 < h_{BS,eff} < 1000 \text{ м};$$

В справочной литературе можно обнаружить другой вариант формулы, описывающей модель Окумуры. Она имеет вид

$$G(h_{MS}) = 10 \lg \left(\frac{h_{MS}}{3} \right), \quad h_{MS} \leq 3 \text{ м};$$

Параметр $A(f,d)$, как и ранее, берется из эмпирического графика, а корректирующие члены $G(h_{BS,eff})$ и $G(h_{MS})$ задаются выражениями

$$G(h_{MS}) = 20 \lg \left(\frac{h_{MS}}{3} \right), \quad 3 < h_{BS,eff} < 10 \text{ м}.$$

Поправочный коэффициент G_{AREA} , выраженный в дБ, зависит от типа местности и несущей частоты и также находится из эмпирических графиков.

Модель Окумуры очень проста и основана исключительно на экспериментальных данных, собранных в районе Токио.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 142
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Характеристики японской городской местности немного отличаются от характеристик городской местности в Европе или США.

Несмотря на это, модель Окумуры пользуется популярностью и считается наилучшей моделью для разработки сотовых и других систем наземной подвижной связи.

Основной недостаток модели Окумуры - медленная реакция на изменение типа местности. Эта модель лучше всего подходит для городских и пригородных районов и не очень эффективна для сельской местности.

Модель Хата. Модель Хата (англ. Hata) возникла в результате адаптации эмпирических формул к графикам, составленным Окумурой и его соавторами. Эти формулы хорошо аппроксимируют графики в определенных диапазонах несущих частот на квазигладкой земной поверхности. Для оценки затухания сигнала Хата предложил следующие эмпирические формулы:

$$(L_{50})_{dB}|_{\text{город}} = 69,55 + 26,16 \cdot \lg f - 13,83 \cdot \lg(h_{BS,eff}) - a(h_{MS}) + [44,9 - 6,55 \cdot \lg(h_{BS,eff})] \cdot \lg d ;$$

В городской местности в частотном диапазоне от 150 до 1500 МГц при эффективной высоте антенны БС $h_{BS,eff} =$ от 30 до 200 м имеем

$$a(h_{MS}) = (1,1 \cdot \lg f - 0,7) h_{MS} - 1,56 \cdot \lg f + 0,8 ,$$

где $a(h_{MS})$ - поправочный коэффициент, зависящий от высоты антенны подвижной станции и вычисляемый в диапазоне высот от 1 до 10 м.

$$a(h_{MS}) = 8,29(\lg 1,54 h_{MS})^2 - 1,1 \quad \text{для} \quad f \leq 400 \text{ МГц} ,$$

Для крупного города он задается выражениями (в дБ):

$$a(h_{MS}) = 3,2(\lg 11,75 h_{MS})^2 - 4,97 \quad \text{для} \quad f \geq 400 \text{ МГц} .$$

В пригородной местности потери при распространении сигнала можно описать формулой.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 143
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

$$(L_{50})_{dB} = (L_{50})_{dB} |_{\text{город}} - 2 \left[\lg \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4.$$

В условиях открытой местности потери описываются выражением

$$(L_{50})_{dB} = (L_{50})_{dB} |_{\text{город}} - 2 \left[\lg \left(\frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4.$$

Модели распространения:

Представленные выше модели распространения сигнала позволяют оценить зависимость потерь от несущей частоты, высоты антенн базовой и подвижной станций и типа местности.

Они неплохо отражают процессы распространения сигнала на расстояния, превышающие 1км, и лучше всего подходят для частот до 1,5 ГГц. Однако системы персональной связи работают в диапазоне от 1,8 до 2,0 ГГц. Примеры таких систем - это DCS 1800 и PCS 1900 - две версии системы GSM, функционирующие в Европе и США, соответственно.

В связи с этим, для создания моделей распространения сигнала в частотном диапазоне от 1,8 до 2,0 ГГц в условиях, характерных для систем PCS, были поставлены многочисленные эксперименты и проведено множество измерений.

По причине большего затухания сигнала в диапазоне 1,8ГГц в сравнении с диапазоном 900МГц, традиционно применяемым в сотовой телефонии, основное различие между системой PCS и традиционной сотовой системой заключается в уменьшении размера сот.

Исследования новых моделей распространения проводились в рамках проекта Европейского Союза COST#231.

В результате в справочной литературе представлены, по крайней мере, две известные модели распространения, разработанные в рамках проектов COST:

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 144
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

- модель COST231 - Хата;
- модель COST231- Уолфиш-Икегами.

Модель COST231-Хата

Могенсен (англ. Mogensen) с соавторами предложил расширить модели Окумуры и Хата на частотный диапазон от 1,5 до 2ГГц.

$$(L_{50})_{dB} = 46,3 + 33,9 \cdot \lg f - 13,82 \cdot \lg(h_{BS,eff}) - a(h_{MS}) + [44,9 - 6,55 \cdot \lg(h_{BS,eff})] \cdot \lg d + C$$

В этом диапазоне использование упомянутых моделей приводит к недооценке затухания сигнала.

Модель COST#231-Хата справедлива для несущих частот в диапазоне от 1,5 до 2ГГц, высоте антенны базовой станции от 30 до 200м, высоте антенны подвижной станции от 1 до 10м и расстоянию между ними от 1 до 20км.

Модель позволяет оценивать затухание по формуле

где С - постоянная: для средних городов и пригородных районов с умеренной растительностью С = 0 и для центров крупных городов С = 3.

Формально модели Окумуры, Хата и COST#231-Хата можно использовать только для высоты антенны базовой станции, превышающей 30м, однако их применение возможно и для более низких высот при условии, что соседние строения значительно ниже антенны.

Модель COST#231-Хата не подходит для оценки затухания сигнала при расстояниях между подвижной и базовой станциями менее 1км.

В этом случае затухание сильно зависит от топографии местности, в которой происходит распространение сигнала.

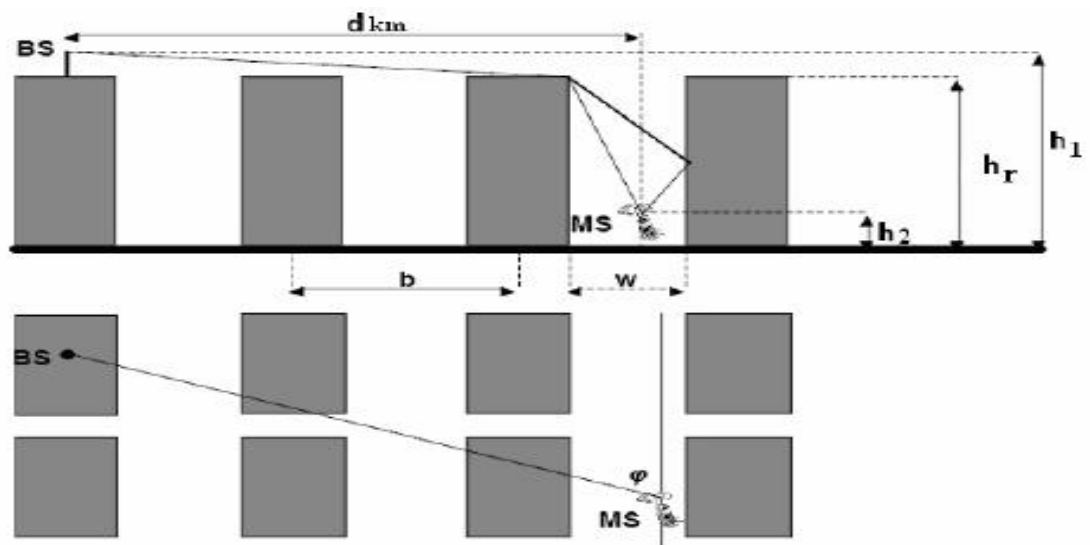
Эту модель также нельзя использовать для оценки распространения сигнала по улицам с высокими строениями (по так называемым уличным каньонам)

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 145
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Модель COST231-Уолфиш-Икегами. Модель COST#231-Уолфиш-Икегами (англ. Walfish-Ikegami), сокращенно WIM, может применяться в случаях, когда антенна базовой станции расположена как выше, так и ниже линии уровня крыш городской застройки. В совокупность эмпирических факторов, учтенных расчетной формулой входят высоты антенн базовой и подвижной станций, ширина улиц, расстояния между зданиями, высота зданий и ориентация улиц относительно направления распространения сигнала.

В общих чертах формула, описывающая потери сигнала, состоит из трех членов: потерь LS на распространение в свободном пространстве; потерь L_{rts} на дифракцию и рассеяние волн на крышах зданий; потерь L_{ms} , вызванных многократной дифракцией от рядов зданий.

Геометрия прохождения радиосигнала и параметры WIM



здесь h_1 , h_2 – высота подъема антенны БС и МС соответственно, м;
 d_{km} – расстояние по горизонтали между базовой и мобильной станциями, км;

h_r – средняя высота зданий, м;

b – среднее разнесение зданий, м;

w – средняя ширина улиц, м;

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 146
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

φ - угол на базовую станцию относительно продольного направления улиц,

град (от 0° до 90°).

Суммарные потери рассчитываются по формуле

$$(L_{50})_{dB} = L_S + L_{rts} + L_{ms}.$$

Данная модель широко используется Международным союзом электросвязи (ITU) в качестве стандартной модели для универсальной системы подвижной связи третьего поколения IMT-2000.

Ее можно применять в следующих диапазонах параметров:

- $800 < f_c < 2000$ МГц;
 - $4 < h_{BS} < 50$ м;
 - $1 < h_{MS} < 3$ м;
- $0,02 < d < 5$ км.

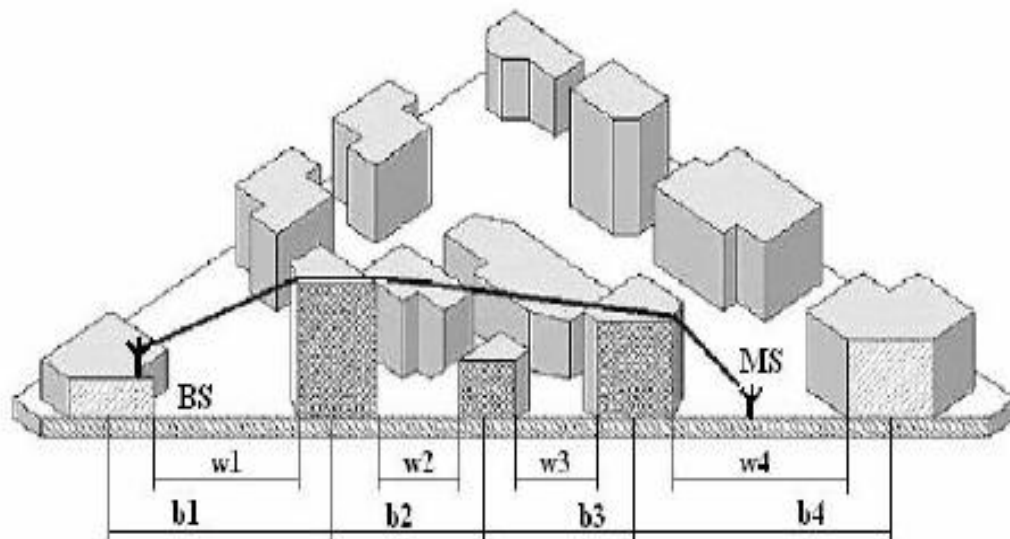
Часто параметры застройки выбираются в следующих пределах:

- высота зданий $h_f = 3 \cdot (\text{количество этажей}) + 3$ м (если крыша имеет скатную конструкцию);
- разнесение зданий $b = 20 \dots 50$ м
- ширина улицы $w = 0,5 \cdot b$.
- угол на базовую станцию относительно продольного направления улиц $\varphi = 90^\circ$

При нерегулярной застройке в качестве b , w , и h_f используют их средние значения, полученные для трассы распространения.

Определение параметров WIM для нерегулярной застройки

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 147
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		



Модель Уолфиша-Икегами позволяет рассчитать медианные потери мощности сигнала при распространении для двух противоположных случаев – при отсутствии и при наличии прямой видимости между БС и МС.

1. При отсутствии прямой видимости - NLOS основное выражение для медианных потерь имеет вид:

$$L_b = \begin{cases} L_0 + L_{rts} + L_{msd}, & L_{rts} + L_{msd} \geq 0 \\ L_0, & L_{rts} + L_{msd} < 0 \end{cases} \quad (5)$$

где L_0 - потери распространения в свободном пространстве,

L_{rts} - потери при распространении сигнала над крышами зданий за счет дифракции (roof-top-to-street diffraction loss),

L_{msd} - потери при множественном отражении сигнала от стен зданий (multiscreen diffraction loss).

Входящие в (5) компоненты определяются приведенными ниже математическими выражениями.

А) Потери распространения в свободном пространстве

$$L_0 = 32.45 + 20 \log d_{км} + 20 \log f_{МГц} \quad (6)$$

Б) Потери при распространении сигнала над крышами зданий за счет

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 148
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

дифракции:

$$L_{rtx} = -16.9 - 10 \log w + 10 \log f_{MHz} + 20 \log(h_r - h_2) + L_{ori} \quad (7)$$

где L_{ori} – потери из-за взаимной ориентации пути распространения сигнала и улиц,

$$L_{ori} = \begin{cases} -10 + 0.354\phi, & 0 \leq \phi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\phi - 35), & 35 \leq \phi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\phi - 55), & 55 \leq \phi \leq 90^\circ \end{cases} \quad (8)$$

(Замечание: При $\phi = 28,25^\circ$ значение $L_{ori} = 0$.)

В) Потери при множественном отражении сигнала от стен зданий:

$$L_{msd} = L_{bsh} + ka + kd \log d_{km} + kf \log f_{MHz} - 9 \log b \quad (9)$$

где L_{bsh} – компонент, учитывающий уменьшение потерь, если антенна БС расположена выше крыш зданий,

$$L_{bsh} = \begin{cases} -18 \log(1 + h_1 - h_r), & h_1 > h_r \\ 0, & h_1 \leq h_r \end{cases} \quad (10)$$

ka – коэффициент, учитывающий влияние расстояния (радиуса соты) d_{km} на потери L_{msd} ,

$$ka = \begin{cases} 54, & h_1 > h_r \\ 54 - 0,8(h_1 - h_r), & d_{km} \geq 0,5, \quad h_1 \leq h_r \\ 54 - 1,6d_{km}(h_1 - h_r), & d_{km} < 0,5, \quad h_1 \leq h_r \end{cases} \quad (11)$$

kd – коэффициент, учитывающий влияние подъема антенны БС выше или ниже крыш зданий на потери L_{msd} ,

$$kd = \begin{cases} 18, & h_1 > h_r \\ 18 - 15(h_1 - h_r)/h_r, & h_1 \leq h_r \end{cases} \quad (12)$$

k_f – коэффициент, учитывающий влияние на потери L_{msd} значения частоты сигнала и характера застройки,

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 149
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

$$kf = \begin{cases} -4 + 0,7(f_{MHz}/925 - 1), & \text{средние_города_и_пригороды} \\ -4 + 1,5(f_{MHz}/925 - 1), & \text{многоэтажные_центры} \end{cases} \quad (13)$$

2. В рамках модели Уолфиша-Икегами распространение по линии прямой видимости (The Walfisch-Ikegami Line-of-Sight (WIM-LOS)) предполагается при условии расположения антенны БС не выше крыш зданий и распространения вдоль уличного каньона или других открытых площадей.

При этом используется следующее выражение,

$$L_{WIM-LOS} = 42,64 + 26 \log d_{km} + 20 \log f_{MHz}, \quad d_{km} \geq 0,02 \quad (14)$$

Из (6) и (14) можно видеть, что

$$L_{WIM-LOS} = L_0 + 10,19 + 6 \log(d_{km}) = L_0 + 6 \log(49,93 d_{km}) \quad (15)$$

Или, с учетом приближения,

$$\Delta L_{WIM-LOS} \approx 6 \log(d_m / 20) \quad (16)$$

где d_m – расстояние между БС и МС в метрах.

Как следует из (15 - 16), при $d_m = 20$ м, модель Уолфиша-Икегами эквивалентна модели распространения в свободном пространстве.

При росте d_m эта модель дает около 6дВ на декаду по дистанции большее затухание, чем модель для свободного пространства.

Считается, что модель Уолфиша-Икегами имеет наибольшие погрешности для случая расположения антенн БС ниже уровня крыш зданий при заметной нерегулярности застройки.

Модель рассчитана на плоское основание города, из-за чего она не применима для городов с сильной неравномерностью рельефа.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 150
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

2.2. Методика расчета ослабления сигналов при распространении радиоволн из здания на улицу

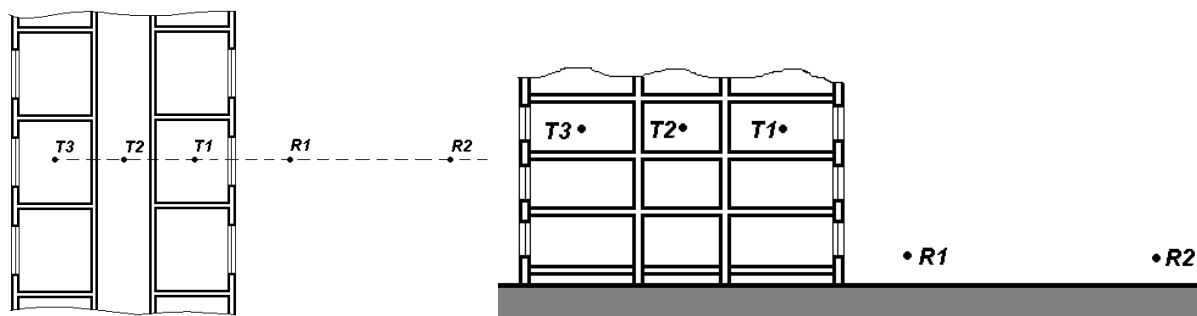
В настоящее время разработано достаточно много моделей распространения радиоволн и методик расчета уровней ослабления сигналов в условиях городской застройки. Как правило, такие модели можно разделить на три типа: модели распространения радиоволн в городских кварталах, модели распространения радиоволн внутри зданий и модели распространения радиоволн из здания и внутрь здания. При этом модели распространения радиоволн из здания и внутрь здания могут применяться как в виде самостоятельного аппарата прогнозирования, так и в виде связующего звена между моделями распространения в городе (вне зданий) и моделями распространения внутри здания..

Рассмотрим многоэтажное здание офисного типа в виде периодической структуры с ячейками из помещений и коридоров (рис. 2.1). В общем случае предполагаем, что помещения на каждом этаже имеют одинаковые размеры и соединены общим коридором. Приемная антенна может размещаться на различных удалениях от здания, например, в точках R1 и R2. Передающая антенна может размещаться в ближайшей к приемной антенне комнате (точка T1), в коридоре (точка T2) и в удаленной комнате (точка T3).

Для выявления наиболее общих закономерностей полагаем, что проекция линии, соединяющей точки T и R, на горизонтальную плоскость нормальна фронтальной стене здания (рис. 2.1a). Кроме того предполагается, что в комнатах здания отсутствует мебель.

В качестве передающей и приемной антенны рассмотрим дипольную антенну, удовлетворяющую условию $l \ll \lambda$, где l - длина антенны, λ - длина волны.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 151
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		



а) вид сверху

б) вид сбоку

Рис. 2.1. Схема многоэтажного здания и точек размещения передающей и приемной антенн.

Для расчета напряженности поля целесообразно использовать геометрическую теорию дифракции, отличающуюся простой математической записью выражений для коэффициентов дифракции и достаточно высокой точностью расчетов при размещении точки приема в зоне тени.

В качестве примера рассмотрим лучевую структуру поля для типовой ситуации размещения передающей антенны в комнате на первом этаже здания и приемной антенны – вблизи земли на некотором удалении от здания (рис. 2.2).

Для упрощения анализа предлагаемой модели распространения радиоволн все множество лучей в точке приема выделим в две группы.

Первая группа лучей образует дифракционную компоненту поля (рис. 2.2а). Для рассматриваемой трассы распространения радиоволн эту группу образуют дифракционные лучи на вертикальных и горизонтальных краях оконного проема (на рис. 2.2а цифрами 1-3 обозначены горизонтальные края оконного проема, освещенные первичным падающим полем). Кроме того, учитывается многократное отражение лучей от стен, пола и потолка комнаты.

Вторая группа лучей образует сквозную компоненту и представляет

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 152
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

собой лучи, проходящие через окно, стены и межэтажные перекрытия, а также сквозные лучи многократно переотразившиеся внутри комнаты (рис. 2.2б).

Кроме того, в каждой группе учитывается как прямой луч, так и луч, отраженный от земной поверхности.

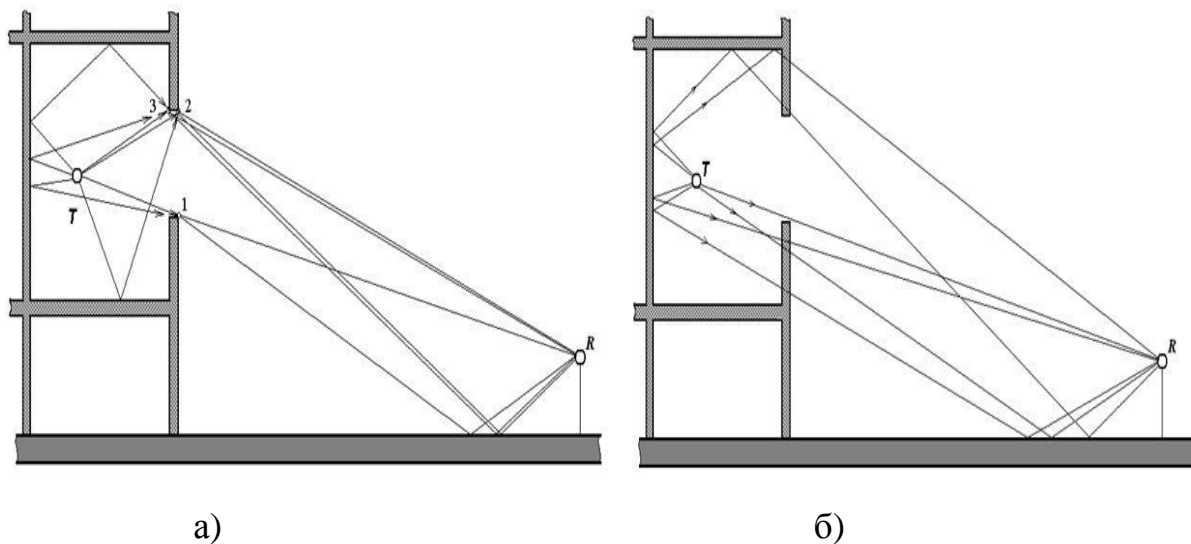


Рис. 2.2. Схема лучей дифракционной (а) и сквозной (б) компонент волны (вид сбоку)

При размещении передающей антенны на n -ом этаже дополнительный вклад в результирующий сигнал будут вносить волны дифракции на оконных проемах более низких этажей (рис. 2.3). Однако проведенные дополнительные расчеты показали, что вклад волн дифракции на более низких этажах существенно меньше вклада волн дифракции на оконном проеме этажа размещения передающей антенны вследствие существенного ослабления радиоволн межэтажными перекрытиями.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 153
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

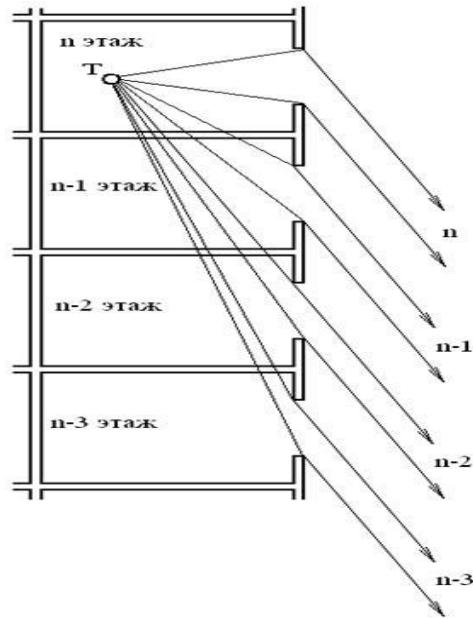


Рис. 2.3. Схема лучей дифракции на оконных проемах комнат различных этажей здания

Общая электродвижущая сила (ЭДС), наведенная в приемной антенне многолучевым полем, будет определяться суммой:

$$\xi_A = \sum_{i=1}^N \xi_i,$$

где $\xi_i = E_i l_d(\theta_i, \varphi_i)$ – ЭДС, наведенная полем i -го луча; E_i – напряженность поля i -го луча в точке приёма; θ_i, φ_i – угол места и азимут прихода луча;

$l_d(\theta_i, \varphi_i) = l_d(\theta_i) = l \cos(\theta_i)$ – действующая длина дипольной антенны.

Напряженность поля сквозной через препятствие волны можно записать в виде:

$$E_N = E_0 W A_N e^{-iks}$$

где E_0 – напряженность поля падающей волны, A_N – коэффициент, зависящий от геометрии трассы; W – коэффициент прозрачности препятствия; k – постоянная распространения в воздухе; s – расстояние от

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 154
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

точки выхода волны из стены до точки приема.

Коэффициент прозрачности может быть рассчитан как с учетом переотражений волны внутри слоя, так и приближенно через коэффициенты прохождения волны из воздуха в стену и из стены в воздух.

В первом случае коэффициент прозрачности равен

$$W = \frac{4Z_1Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2 e^{ik_2h} - (Z_1 - Z_2)^2 e^{-ik_2h}}$$

где $Z_{1,2}$ - импеданс воздуха и стены соответственно; k_2 - постоянная распространения в стене; h - толщина стены.

Во втором случае приближенное выражение для коэффициента прозрачности имеет вид

$$W = T_{1-2}T_{2-1}e^{-ik_2h_1}$$

где $T_{1-2,2-1}$ - коэффициент прохождения из воздуха в стену и из стены в воздух; h_1 - расстояние, проходимое волной в стене.

Напряженность поля отраженной от препятствия волны равна:

$$E_R = E_0 R A_R e^{-iks}$$

где A_R - коэффициент, зависящий от геометрии трассы; R - коэффициент отражения Френеля; s - расстояние между точкой отражения и точкой приёма.

Выражение для напряженности поля дифракционной волны имеет вид:

$$E_D = E_0 D A_D e^{-iks}$$

где A_D - коэффициент, зависящий от геометрии трассы, D - коэффициент дифракции; s - расстояние между точкой дифракции и точкой приёма.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 155
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

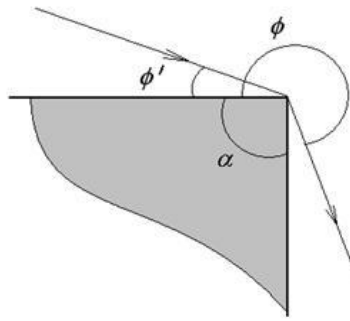


Рис. 2.4. Геометрия задачи дифракции на диэлектрическом клине

При нахождении коэффициента дифракции воспользуемся решением задачи дифракции плоской волны на диэлектрическом клине

$$D = D_1 + D_2 + R(\psi)(D_3 + D_4),$$

$$D_1 = -\frac{e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k}} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi + (\phi - \phi')}{2n} \right) \times F(kLa^+(\phi - \phi')),$$

$$D_2 = -\frac{e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k}} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi - (\phi - \phi')}{2n} \right) \times F(kLa^-(\phi - \phi')),$$

$$D_3 = -\frac{e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k}} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi + (\phi + \phi')}{2n} \right) \times F(kLa^+(\phi + \phi')),$$

$$D_4 = -\frac{e^{-j(\pi/4)}}{2n\sqrt{2\pi k}} \operatorname{ctg} \left(\frac{\pi - (\phi + \phi')}{2n} \right) \times F(kLa^-(\phi + \phi')),$$

$$F(x) = 2j\sqrt{x} \int_{\sqrt{x}}^{\infty} e^{-ju} du \quad \text{для } x > 0,$$

$$F(x) = F^*(|x|) \quad \text{для } x < 0,$$

$$a^{\pm}(\phi, \phi') = 2 \cos^2 \left(\frac{2\pi n N^{\pm} - (\phi \pm \phi')}{2} \right),$$

ϕ и ϕ' - угол дифракции и падения волны соответственно,

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 156
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

N^{\pm} - целое число, максимально удовлетворяющее двум уравнениям

$$2\pi n N^+ - (\phi \pm \phi') = \pi,$$

$$2\pi n N^- - (\phi \pm \phi') = -\pi,$$

$$n = \frac{2\pi - \alpha}{\pi}, \quad \alpha - \text{внутренний угол клина};$$

$R(\psi)$ - коэффициент отражения, $\psi = \psi(\phi)$ - угол между нормалью к грани клина и направлением дифракционного луча;

$$\psi(\phi) = 0,5\pi - n\pi + \phi, \quad \text{при } 0,75\pi \leq \phi < n\pi,$$

$$\psi(\phi) = 0,5\pi - \phi, \quad \text{при } 0 < \phi < 0,75\pi.$$

Результаты расчетов и их анализ.

Для проверки достоверности разработанной методики проведены сравнения результатов расчетов с результатами экспериментов, полученными в работе. Параметры трассы распространения приняты аналогичными представленным в виде:

- толщина фронтальной стены здания равна 0,4 м;
- передающая антенна размещается на удалении 3 м от окна на высоте 1 м над полом;
- высота подоконника – 1 м;
- пол первого этажа находится на высоте 1 м над землей;
- приемная антенна размещается на удалении 2 м и 14 м от здания на высоте 1 м над землей.

Необходимо отметить, что весьма важным является определение комплексной диэлектрической проницаемости стен и межэтажных перекрытий $\varepsilon = \varepsilon' - i\varepsilon''$, оказывающей существенное влияние на поглощение радиоволн в материале препятствия.

Наиболее достоверные результаты оценки поглощения радиоволн в

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 157
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

различных материалах могут быть получены на основе экспериментальных исследований. Анализ параметров влажной и сухой кирпичной стены (песка), показывает, что в рассматриваемом диапазоне частот вещественная часть диэлектрической проницаемости практически не зависит от частоты и может быть принята равной $\epsilon' = 5$.

На рис. 2.5 приведены обобщенные результаты измерений удельного затухания радиоволн в сухой и влажной кирпичной стене (песке). Сплошные кривые построены по данным, штриховые – по данным.

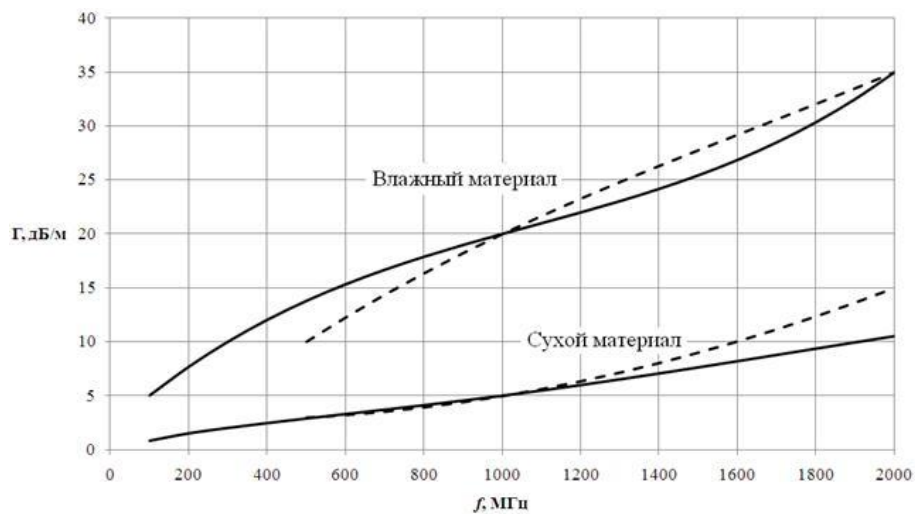


Рис. 2.5. Частотная зависимость удельного затухания в сухом и влажном материале

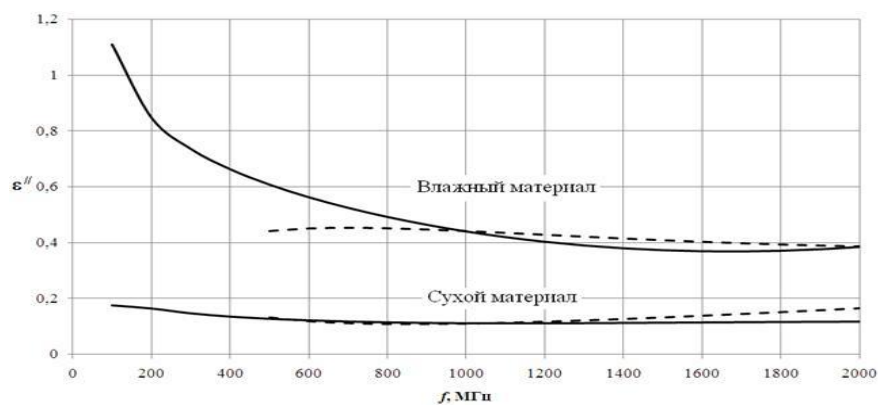


Рис. 2.6. Частотная зависимость мнимой части диэлектрической проницаемости для сухого и влажного материала

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 158
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

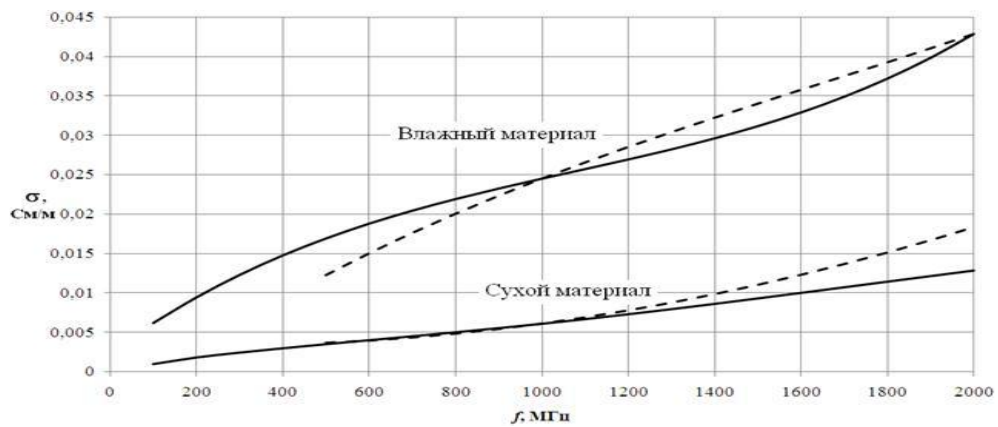


Рис. 2.7. Частотная зависимость проводимости для сухого и влажного материала

Диэлектрическая проницаемость межэтажных перекрытий может быть принята равной диэлектрической проницаемости внешней кирпичной стены.

На основе предлагаемой методики рассчитывался уровень сигнала в точке наблюдения относительно уровня сигнала в опорной точке, расположенной на удалении 1 м от передающей антенны (ослабление сигнала относительно сигнала в опорной точке):

$$K(f) = \frac{\xi_A(f)}{\xi_{A0}(f)},$$

где $\xi_A(f)$ - ЭДС в точке наблюдения; $\xi_{A0}(f)$ - ЭДС в опорной точке.

Для сравнения также были проведены расчеты относительного уровня сигнала (ослабления сигнала) K на основе модели COST 231:

$$K[\text{дБ}] = L_0[\text{дБ}] - L[\text{дБ}]$$

где L - потери на трассе распространения из здания на улицу; L_0 - потери в опорной точке на расстоянии 1 м от передающей антенны.

Согласно [1] L рассчитывается по формуле:

$$L[\text{дБ}] = 32,4 - 20 \log(f) + 20 \log(S+d) + W_s + W_G \left(1 - \frac{D}{S}\right)^2 + \max(\Gamma_1, \Gamma_2)$$

где S , D , d [м] - расстояния, определяемые из геометрии задачи (рис. 2.8),

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 159
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

f [ГГц] – частота сигнала; W_e - потери во внешней стене здания при нормальном падении волны на стену ($S=D$); WG_e - дополнительные потери при $D=0$.

$\Gamma_1 = W_{iP}$; $\Gamma_2 = \alpha(d-2)(1-D/S)^2$; W_i - потери во внутренней стене здания;

P - количество внутренних стен, пересекаемых линией d ; α - затухание внутри здания.

На основании анализа результатов многочисленных измерений в предлагаются следующие значения указанных параметров:

$W_e = 4..10$ дБ (среднее значение при стандартном окне – 7 дБ);

$W_i = 4..10$ дБ (среднее значение 7 дБ);

$WG_e = 20$ дБ;

$\alpha = 0,6$ дБ/м.

Поскольку опорная точка находится достаточно близко к передающей антенне, потери L_0 могут быть определены по формуле для свободного пространства:

$$L_0[\text{дБ}] = 32,4 + 20\log(f[\text{ГГц}]) + 20\log(r[\text{м}])$$

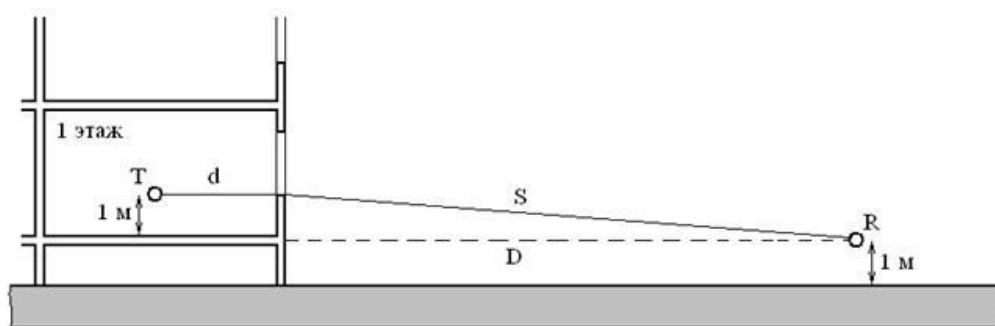


Рис. 2.8. Геометрия трассы распространения радиоволн с первого этажа здания

На рис. 2.9, 2.10 представлены значения ослабления сигналов при

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 160
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

удалении приемной антенны на расстояние 2 м (рис. 2.9) и 14 м (рис. 2.10) от здания, рассчитанные по предлагаемой методике (сплошная кривая), по методике COST (штриховая линия) и полученные экспериментально в работе (точки).

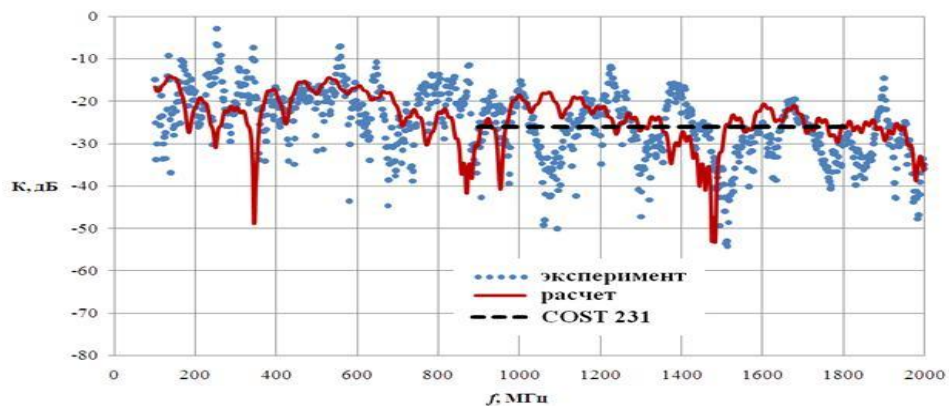


Рис. 2.9. Частотные зависимости ослабления сигнала относительно точки на расстоянии 1 м от передающей антенны при удалении приемной антенны на расстояние 2 м от здания.

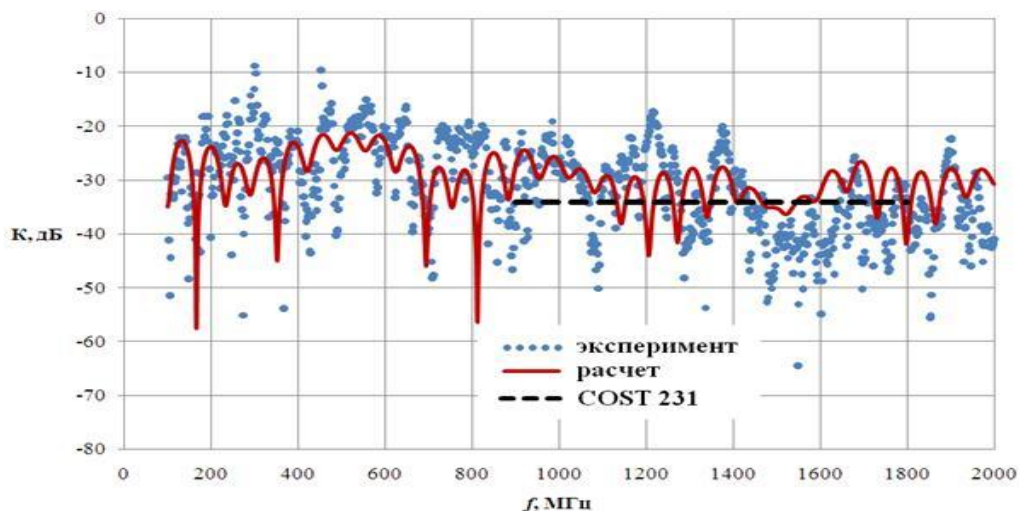


Рис. 2.10. Частотные зависимости ослабления сигнала относительно точки на расстоянии 1 м от передающей антенны при удалении приемной антенны на расстояние 14 м от здания.

Максимальная недооценка уровня сигнала при использовании модели COST 231 наблюдается при наличии прямой видимости между передающей и приемной антенной. Такая трасса может быть получена в

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 161
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

рассматриваемой геометрии задачи (рис. 2.8) при увеличении высоты передающей антенны над полом до 1,5 м (рис. 2.11).

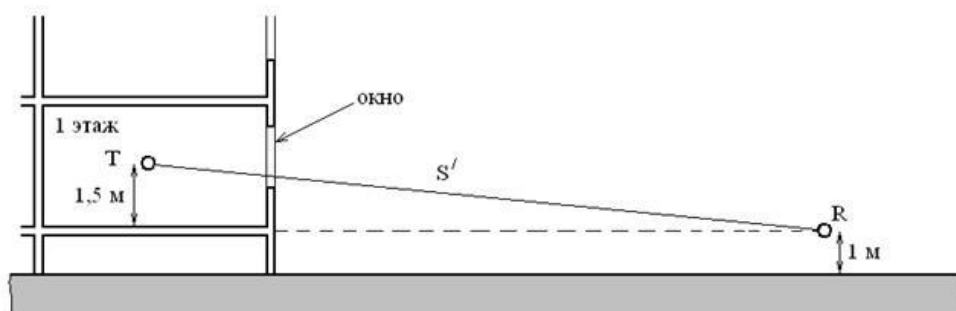


Рис. 2.11. Геометрия трассы распространения радиоволн с первого этажа здания (передающая и приемная антенны находятся на линии прямой видимости)

На рис. 2.12 представлены частотные зависимости ослабления при размещении передающей антенны на высоте 1,5 м над полом, рассчитанные по предлагаемой методике и по методике COST 231.

Из рис. 2.12 видно, что во всем диапазоне частот 900 – 1800 МГц средние значения K , полученные на основе COST 231, занижены на 8 - 14 дБ (уровень сигнала существенно недооценивается). Объясняется это возможно тем, что экспериментальные данные, на основе которых разработана модель COST231, были получены для различных трасс распространения радиоволн, причем большинство трасс существенно отличалось от линии прямой видимости между передающей и приемной антеннами, проходящей через окно.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 162
Проверил:	Бежиметов А.Ф.		

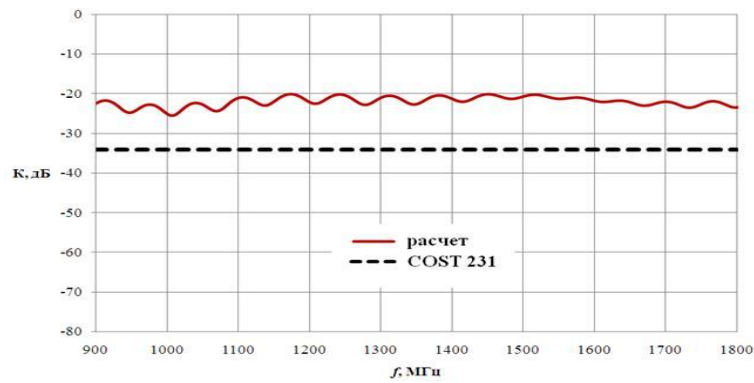


Рис. 2.12. Частотные зависимости ослабления сигнала при удалении приемной антенны на расстояние 14 м от здания (высота передающей антенны 1,5 м над уровнем пола)

При достаточно большом удалении приемной антенны от здания существенное влияние на уровень принимаемого сигнала может оказывать поверхность земли за счет интерференции в точке приема прямых и отраженных от земли лучей. На рис. 2.13 – 2.15 представлены рассчитанные частотные зависимости ослабления сигнала при размещении передающей антенны на высоте 1 м над уровнем пола на 1, 3 и 7 этажах и приемной антенны на удалении 100 м от здания. Также для сравнения представлены результаты расчетов ослабления при аналогичном размещении передающей антенны относительно поверхности земли, но в отсутствии здания и результаты расчетов на основе модели COST 231.

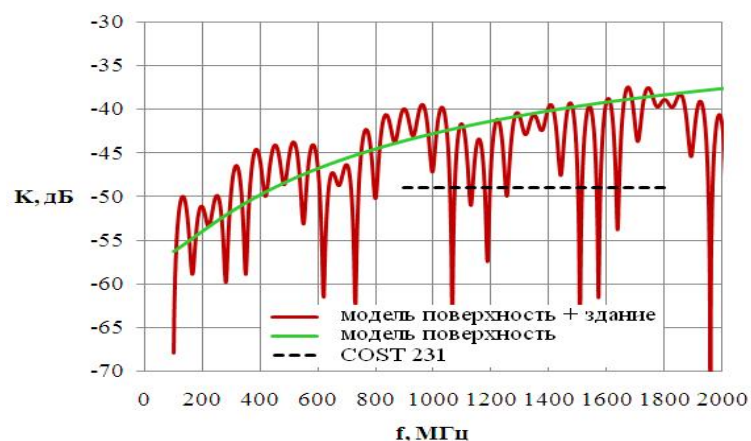


Рис. 2.13. Частотные зависимости ослабления сигнала при размещении передающей антенны на первом этаже здания

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 163
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

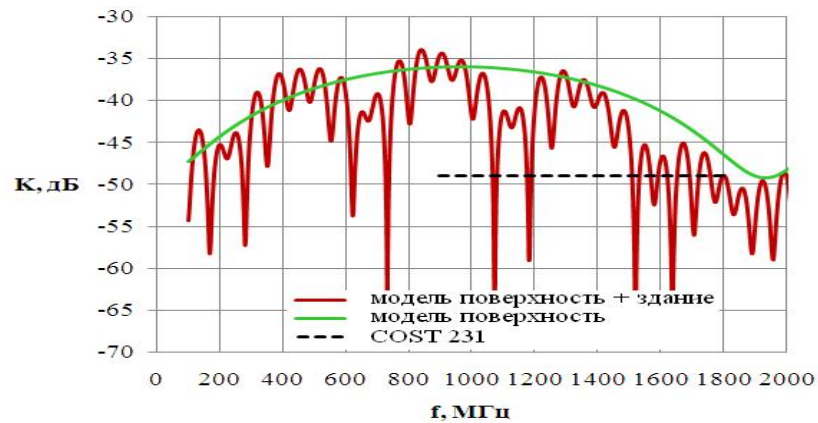


Рис. 2.14. Частотные зависимости ослабления сигнала при размещении передающей антенны на третьем этаже здания



Рис. 2.15. Частотные зависимости ослабления сигнала при размещении передающей антенны на 7-м этаже здания

Из анализа рис. 2.13 - 2.14 видно, что при размещении передающей антенны на нижних этажах здания влияние земли весьма существенно, средний уровень ослабления с учетом здания практически повторяет уровень ослабления, рассчитанного только с учетом поверхности. При перемещении передающей антенны с первого этажа на третий влияние земли уменьшается на частотах 100 – 800 МГц (средний уровень относительного сигнала увеличивается на 5 – 10 дБ), однако проявляется на частотах 1500 – 2000 МГц (средний уровень относительного сигнала уменьшается на 5 – 10 дБ).

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 164
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

2.3. Рассчитывается зона покрытия одной базовой станции разным методами.

В данной части рассчитывается зона покрытия одной базовой станции двумя методами – методом Окамуры-Хата и методом Волфиша-Икегами. В ходе расчетов будет доказано, что разница в расчетах данными методами невелика.

При выполнении работы требуется определить зону покрытия БС стандарта GSM, расположенной в соответствии с заданием в одном из районов г. Ташкент, используя два метода:

1. эмпирическую модель предсказания Окомура-Хата или COST231-Хата, указанные в задании;
2. модель Волфиша-Икегами (WIM).

Радиус зоны покрытия определяется в трех направлениях: север, юго-восток, юго-запад.

Необходимо также определить зону покрытия МС одним из предложенных методов (на выбор). Местоположение МС выбрать в направлении на север от БС на расстоянии 1,5 км от нее.

На чертеже указать конфигурации зон покрытия БС, полученные различными методами, а также зону покрытия МС.

Высота антенны мобильной станции (МС) принимается равной 1,5 м.

Таблица 1 – Высота подвеса антенны БС

Высота подъема антенны БС h_{BC} , м	40
Стандарт GSM	1800
Модели расчета	COST231- Хата

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 165
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Таблица 2 - Стандартные значения параметров БС и МС

Обозначение	Наименование и единица измерения	Значение
РПРД БС	Мощность передатчика БС, дБВт	13
ГПРД БС	К-т усиления передающей антенны БС, дБ	18
fПРД БС	Полоса рабочих частот передачи БС, МГц	935-960
РПРМ БС	Чувствительность приемника БС, дБВт	-138
ГПРМ БС	К-т усиления приемной антенны БС, дБ	18
fПРМ БС	Полоса рабочих частот приема БС, МГц	890-915
РПРД МС	Мощность передатчика МС, дБВт	-3
ГПРД МС	К-т усиления передающей антенны МС, дБ	0
fПРД МС	Полоса рабочих частот передачи МС, МГц	890-915
РПРМ МС	Чувствительность приемника МС, дБВт	-104
ГПРМ МС	К-т усиления приемной антенны МС, дБ	0
fПРМ МС	Полоса рабочих частот приема МС, МГц	935-960

Рельеф местности в зоне обслуживания $\Delta h_{БС}$ системы подвижной радиосвязи определяется по карте местности с учетом расположения трехсекторной антенны K730380 в месте расположения БС.

Коэффициент согласования антенны с радиосигналом по поляризации (для передатчика и приемника) принимается равным $\xi_{П} = \xi_{С} = 0,9$.

КПД передающего и приемного фидеров принимается равным $\eta_{ФПРД} = \eta_{ФПРМ} = 0,95$.

1. Определение зоны покрытия трехсекторной БС с помощью моделей предсказания, учет потерь при распространении радиоволн. Основу территориального планирования составляет энергетический расчет, в процессе которого определяется архитектура сети и ее пространственные координаты с учетом качества обслуживания и информационной нагрузки. Заданное качество принятого сигнала определяется чувствительностью приемника. В общем виде уравнение передачи может быть представлено как:

$$P_{ПРМ} = \frac{P_{ПРД} \cdot \eta_{ФПРД} \cdot G_{АПРД} \cdot \xi_{П} \cdot G_{АПРМ} \cdot \eta_{ФПРМ} \cdot \xi_{С}}{L_{\Sigma}} \quad (2.3.1)$$

где $P_{ПРМ}$ – мощность радиосигнала на входе приемника;

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 166
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

$P_{\text{ПРД}}$ – мощность передатчика;

$\eta_{\text{ФПРД}}, \eta_{\text{ФПРМ}}$ – КПД передающего и приемного фидеров;

$G_{\text{АПРД}}, G_{\text{АПРМ}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн;

$\xi_{\text{П}}, \xi_{\text{С}}$ – коэффициенты согласования антенн с радиосигналом по поляризации;

L_{Σ} – суммарное затухание радиоволн на трассе.

Значение мощности радиосигнала на входе приемника удобно выражать в децибелах относительно ватта. При этом уравнение (2.3.1) принимает вид:

$$P_{\text{ПРМ}}(\text{дБ}/\text{Вт}) = P_{\text{ПРД}}(\text{дБ}/\text{Вт}) + \eta_{\text{ФПРД}}(\text{дБ}) + G_{\text{АПРД}}(\text{дБ}) + \xi_{\text{П}}(\text{дБ}) + G_{\text{АПРМ}}(\text{дБ}) + \eta_{\text{ФПРМ}}(\text{дБ}) + \xi_{\text{С}}(\text{дБ}) - L_{\Sigma}(\text{дБ}) \quad (2.3.2)$$

По этой формуле несложно определить суммарные энергетические потери, возникающие на трассе распространения радиоволн:

$$L_{\Sigma}(\text{дБ}) = P_{\text{ПРД}} + \eta_{\text{ФПР}} + G_{\text{АПРД}} + \xi_{\text{П}} + G_{\text{АПРМ}} + \eta_{\text{ФПРМ}} + \xi_{\text{С}} - P_{\text{ПРМ}} \quad (2.3.3)$$

Для БС суммарное затухание радиоволн на трассе равно:

$$L_{\Sigma \text{ БС}}(\text{дБ}) = P_{\text{ПРД БС}} + \eta_{\text{ФПР БС}} + G_{\text{АПРД БС}} + \xi_{\text{П БС}} + G_{\text{АПРМ МС}} + \eta_{\text{ФПРМ МС}} + \xi_{\text{С МС}} - P_{\text{ПРМ МС}} = 13 + 0,95 + 18 + 0,9 + 0 + 0,95 + 0,9 + 104 = 138,7 \text{ дБ}$$

Для МС суммарное затухание радиоволн на трассе равно:

$$L_{\Sigma \text{ МС}}(\text{дБ}) = P_{\text{ПРД МС}} + \eta_{\text{ФПР МС}} + G_{\text{АПРД МС}} + \xi_{\text{П МС}} + G_{\text{АПРМ БС}} + \eta_{\text{ФПРМ БС}} + \xi_{\text{С БС}} - P_{\text{ПРМ БС}} = -3 + 0,95 + 0 + 0,9 + 18 + 0,95 + 0,9 + 138 = 156,7 \text{ дБ}$$

Определим суммарное затухание радиоволн как потери распространения для соответствующего типа местности $L_{\text{Р}}$ и поправки, учитывающей рельеф местности $L_{\text{РЕЛ}}$:

$$L_{\Sigma} = L_{\text{Р}} + L_{\text{РЕЛ}} \quad (2.3.4)$$

Определим поправку, учитывающей рельеф местности. Для этого в районе ориентировочного местоположения БС на карте города выбираем

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 167
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

место, которое будет удовлетворять одновременно следующим условиям:

- для размещения антенны БС в соответствующем районе имеется подходящее по условиям задания здание или опора, на которых можно арендовать площадь для размещения антенны БС;
- перед антенной БС на расстоянии приблизительно 5 км для GSM-900 и 3 км для GSM-1800 не должно быть значительных возвышенностей (экранов), желательно во всех трех направлениях, для которых производится расчет (север, юго-запад и юго-восток).

Рассчитаем высоту данного здания вместе с антенной:

$$h=9*3=27 \text{ м}$$

Вместе с антенной: $h=27+3=30$ метров.

Строим в трех направлениях рельеф местности. На рельефе указываем высоты для следующих точек местности: первая точка – точка расположения антенны БС; следующие точки выбираем через 5 км для стандарта GSM-900 в каждом направлении и через 3 км для стандарта GSM-1800 в каждом направлении. Получим по 6 точек в каждом направлении, соединив которые плавной линией, определим в соответствующем направлении рельеф местности.

В данной работе используется трехсекторная антенна, разделим местность на 3 сектора: сектор А - 0°, сектор В - 120°, сектор С - 240°.

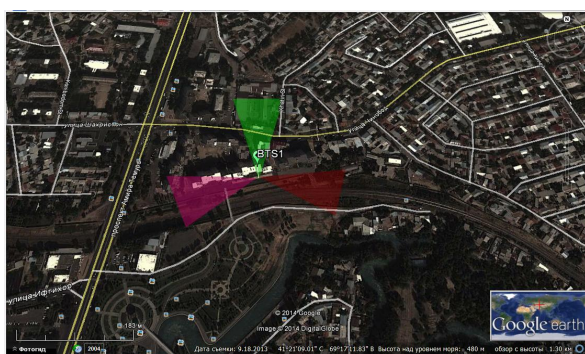


Рисунок 2.16 –
Три сектора местности



Рисунок 2.17 – Рельеф местности в
направлении к северу от БС

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 168
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

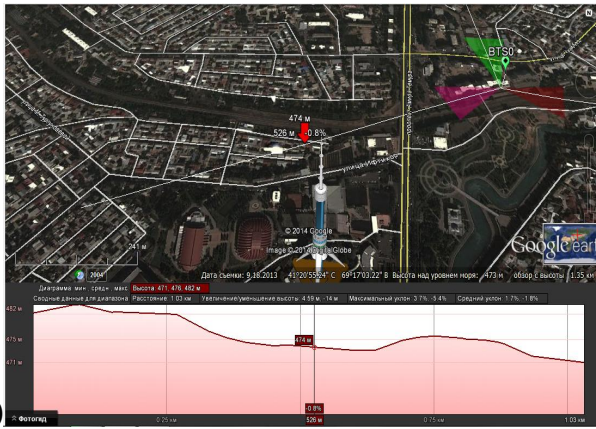


Рисунок 2.18 – Рельеф местности в направлении к юго-западу от БС

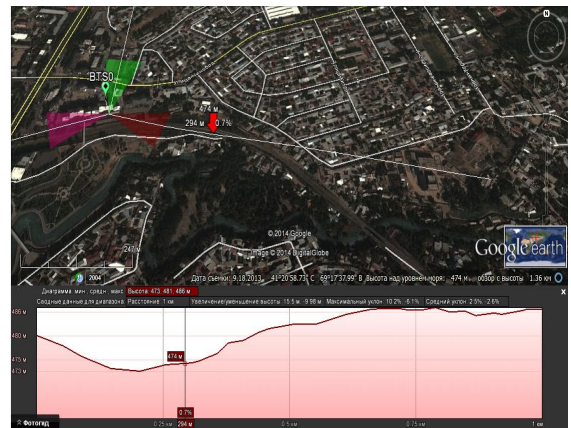


Рисунок 2.19 – Рельеф местности в направлении к юго-востоку от БС

Определим поправки, учитывающие рельеф местности для всех трех направлений. Коэффициент $L_{\text{рел}}$ определяем, интерполируя между графиками рисунка 2.18,2.19.

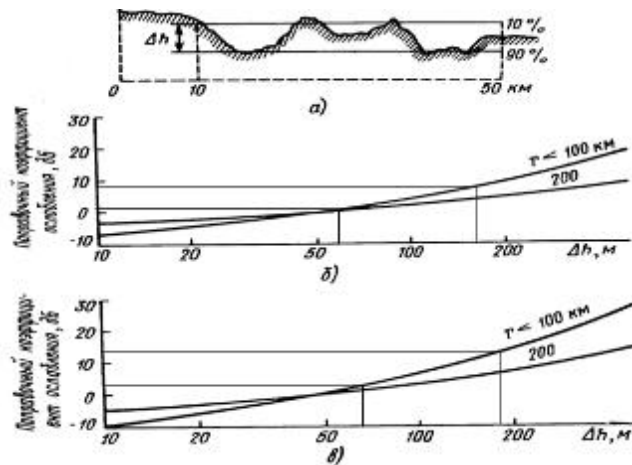


Рисунок 2.20 – График для определения поправки, учитывающей рельеф местности

$$\text{При } \Delta h = 64; L_{\text{РЕЛ}} = \frac{2+3}{2} = 2,5 \quad \text{дБ - сектор А - } 0^\circ$$

$$\text{При } \Delta h = 194; L_{\text{РЕЛ}} = \frac{8,5+12}{2} = 10,25 \quad \text{дБ - сектор В - } 120^\circ$$

$$\text{При } \Delta h = 8; L_{\text{РЕЛ}} = \frac{-4-12}{2} = -8 \quad \text{дБ - сектор С - } 240^\circ$$

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 169
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Определим потери распространения для соответствующего типа местности:

1. От БС к МС:

$$L_P = L_{\Sigma} - L_{PEЛ} = 138,7 - 2,5 = 136,2 \text{ дБ - сектор А - } 0^\circ$$

$$L_P = L_{\Sigma} - L_{PEЛ} = 138,7 - 10,25 = 128,45 \text{ дБ - сектор В - } 120^\circ$$

$$L_P = L_{\Sigma} - L_{PEЛ} = 138,7 + 8 = 146,7 \text{ дБ - сектор С - } 240^\circ$$

2. От МС к БС:

$$L_P = L_{\Sigma} - L_{PEЛ} = 156,7 - 2,5 = 154,2 \text{ дБ - сектор А - } 0^\circ$$

Определив из потери распространения для соответствующего типа местности L_P , можно приступить к определению радиуса зоны покрытия базовой станции с помощью эмпирических моделей Оокумура и Хата, Волфиша-Икегами (WIM).

2. Модель COST231-Хата. Могенсен с соавторами предложил расширить модели Оокумура и Хата на частотный диапазон от 1,5 до 2 ГГц. В этом диапазоне использование модели Оокумура и Хата приводит к недооценке затухания сигнала. Модель COST231-Хата справедлива для несущих частот в диапазоне от 1,5 до 2 ГГц, высоте антенны базовой станции от 30 до 200 м, высоте антенны подвижной станции от 1 до 10 м и расстоянию между ними от 1 до 20 км. Модель позволяет оценивать затухание по формуле

$$L_p = 46,3 + 33,9 \lg(f_0) - 13,83 \lg(h_b) - a(h_m) + [44,9 - 6,55 \lg(h_b)] \lg r + C, \quad (2.3.5)$$

Где C – постоянная: для средних городов и пригородных районов с умеренной растительностью $C = 0$ и для центров крупных городов $C = 3$.

Формально модели Оокумура и Хата и COST231-Хата можно использовать только для высоты антенны базовой станции, превышающей 30м, однако их применение возможно и для более низких высот при

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 170
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

условии, что соседние строения значительно ниже антенны.

Модель COST231-Хата не подходит для оценки затухания сигнала при расстояниях между подвижной и базовой станциями менее 1 км. В этом случае затухание сильно зависит от топографии местности, в которой происходит распространение сигнала. Эту модель также нельзя использовать для оценки распространения сигнала по улицам с высокими строениями (по так называемым уличным каньонам).

$$h_b = 30 \text{ м} \text{— Высота антенны базовой станции}$$

$$h_m = 1,7 \text{ м} \text{— Высота антенны мобильной станции}$$

1. От БСк МС:

$$f_0 = 1900 \text{ МГц}$$

$$a(h_m) = [1,1 \cdot \lg(f_0) - 0,7] \cdot h_m - [1,56 \cdot \lg(f_0) - 0,8]$$

$$a(h_m) = [1,1 \cdot \lg(1900) - 0,7] \cdot 1,7 - [1,56 \cdot \lg(1900) - 0,8] = 0,626$$

$$A = A(f_0, h_b, h_m) = 46,3 + 33,9 \cdot \lg(1900) - 13,83 \cdot \lg(30) - 0,626 = 136,39$$

$$B = B(h_b) = 44,9 - 6,55 \cdot \lg(30) = 35,22$$

$$L_P = A + B \cdot \lg(r)$$

$$r = 10^{\frac{L_P - A}{B}}$$

1.1. Сектор А - 0°:

$$r = 10^{\frac{L_P - A}{B}} = 10^{\frac{136,2 - 125,427}{35,22}} = 0,987 \text{ км}$$

1.2. Сектор В - 120°:

$$r = 10^{\frac{L_P - A}{B}} = 10^{\frac{128,45 - 136,39}{35,22}} = 0,594 \text{ км}$$

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 171
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

1.3. СЕКТОР С - 240°:

$$r = 10^{\frac{L_P - A}{B}} = 10^{\frac{146,7 - 136,39}{35,22}} = 1,962 \text{ км}$$

2. От МС к БС:

$$f_0 = 1750 \text{ МГц}$$

$$a(h_m) = [1,1 \cdot \lg(f_0) - 0,7] \cdot h_m - [1,56 \cdot \lg(f_0) - 0,8]$$

$$a(h_m) = [1,1 \cdot \lg(1750) - 0,7] \cdot 1,7 - [1,56 \cdot \lg(1750) - 0,8] = 0,614$$

$$A = A(f_0, h_b, h_m) = 46,3 + 33,9 \cdot \lg(1750) - 13,83 \cdot \lg(30) - 0,614 = 135,192$$

$$B = B(h_b) = 44,9 - 6,55 \cdot \lg(30) = 35,22$$

$$L_P = A + B \cdot \lg(r)$$

$$r = 10^{\frac{L_P - A}{B}}$$

2.1. СЕКТОР А - 0°:

$$r = 10^{\frac{L_P - A}{B}} = 10^{\frac{154,2 - 135,192}{35,22}} = 3,465 \text{ км}$$

Результаты расчета сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчётов модели Окомура и Хата

Направление сектора БС относительно СП, град.	Потери при распространении, LP, дБ		Ожидаемое расстояние между БС и МС, км			Ожидаемое расстояние между МС и БС, км		
	БС-МС	МС-БС	БС ₀	БС ₂	БС ₃	БС ₀	БС ₂	БС ₃
Сектор С	135,7	134,7	1,058			1,045		
Сектор Ю-3	130,2		0,732		0,727			2,434
Сектор Ю-В	131,7		0,809	0,473			2,887	

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 172
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

3. Модель Волфиша-Икегами (WIM). Потери распространения для соответствующего типа местности показывают, что уровень сигнала заметно флуктуирует из-за изменения высоты зданий, ширины улиц, характера местности. Поэтому, определив радиус зоны покрытия БС по модели, указанной в задании, необходимо повторить расчет радиуса зоны покрытия, используя модель Волфиша-Икегами (WIM), нашедшую еще более широкое применение в области мобильных технологий. Модель WIM используется при расчете затухания в городской среде.

В модели WIM различают два случая LOS (прямая видимость) и NLOS (non-line-of-sight, т.е. в случае не прямой видимости). В случае LOS, если на прямой распространения сигнала от передатчика и приемника нет заграждений, то WIM-модель описывается уравнением:

$$L_{LOS} = 42,64 + 26 \cdot \lg d_{km} + 20 \cdot \lg f_{MHz}, \quad d_{km} \geq 0,02 \quad (2.3.6)$$

Потери в свободном пространстве:

$$L_{fs} = 32,45 + 20 \cdot \lg d_{km} + 20 \cdot \lg f_{MHz} \quad (2.3.7)$$

$$L_{LOS} = L_{fs} + 10,19 + 6 \cdot \lg d_{km} = L_{fs} + 6 \cdot \lg(50 \cdot d_{km}) = L_{fs} + 6 \cdot \lg\left(\frac{d_{km}}{20}\right) \quad (2.3.8)$$

где d_m – расстояние в метрах.

Параметры, также используемые в NLOS WIM:

h_b - высота антенны базовой станции(40-50 м от земли);

h_m - высота антенны абонента (1-3 м от земли);

h_B - высота зданий;

$\Delta h_{\phi} = h_b - h_B$ – высота антенны базовой станции от уровня крыш;

b - расстояние между зданиями (20-50 м);

ω -ширина улиц (обычно $b/2$);

Теперь рассмотрим несколько вариантов в случае NLOS WIM.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 173
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

$$\Delta h_b > 0 :$$

$$L_{NLOS} = 69,55 + 38 \cdot \lg d_{km} + 26 \cdot \lg f_{MHz} - 10 \cdot \lg \omega - 9 \cdot \lg b + 20 \lg \Delta h_m - 18 \cdot \lg(1 + \Delta h_b) + L_{LOS} \quad (2.3.9)$$

$$\Delta h_b \leq 0, d_{km} \geq 0,5 :$$

$$L_{NLOS} = 69,55 + (38 + 15 \left| \frac{\Delta h_b}{h_b} \right|) \cdot \lg d_{km} + 26 \cdot \lg f_{MHz} - 10 \cdot \lg \omega - 9 \cdot \lg b + 20 \lg \Delta h_m + 0,8 \cdot \lg \left| \frac{\Delta h_b}{h_b} \right| + L_{LOS} \quad (2.3.10)$$

$$\Delta h_b \leq 0, d_{km} < 0,5 :$$

$$L_{NLOS} = 69,55 + (38 + 15 \left| \frac{\Delta h_b}{h_b} \right|) \cdot \lg d_{km} + 26 \cdot \lg f_{MHz} - 10 \cdot \lg \omega - 9 \cdot \lg b + 20 \lg \Delta h_m + 0,8 \cdot \lg \left| \frac{\Delta h_b}{h_b} \right| \cdot (d_{km} / 0,5) + L_{LOS} \quad (2.3.11)$$

Как правило, городские районы застроены разновысокими зданиями. Ширина улиц и расстояние между зданиями также колеблются в широких пределах. Поэтому при расчете по модели WIM принимаем несколько условий:

1. высота одного этажа в жилом здании принимается равной 3 м;
2. в одноэтажных жилых зданиях высота неплоской крыши принимается равной 2 м;
3. расстояние между одноэтажными зданиями не менее 5 м;
4. ширина улиц, застроенных одноэтажными домами не менее 10 м;
5. расстояние между многоэтажными зданиями принимается равной 20 м;
6. ширина улиц, застроенных многоэтажными зданиями принимается равной 20 м;
7. высота одного этажа в офисном учебном и т. п. помещении принимается равной 3,5 м;
8. высота одного этажа промышленного предприятия принимается

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 174
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

равной 7,5 м. Следовательно, необходимо знать процент застройки района, в котором размещается антенна БС, зданиями различного типа. На основании этого определяется средняя высота зданий, среднее расстояние между зданиями и средняя ширина улиц для всего района, определенного в задании.

Высоту здания, на котором будет размещена антенна БС, усреднять не рекомендуется. Зная высоту этого здания и высоту положения антенны БС в соответствии с заданием, можно определить Δh_b – высоту антенны базовой станции от уровня крыш.

$$h_b = 40 \text{ м}$$

$$h_m = 1,5 \text{ м}$$

$$h_B = \frac{14 + 14 + 17,5 + 17,5 + 30}{5} = 18,6 \text{ м}$$

$$\Delta h_b = h_b - h_B = 40 - 18,6 = 21,4 \text{ м}$$

$$b = 24 \text{ м}$$

$$\omega = 12 \text{ м}$$

LOS:

$$d_{km} = 10 \frac{L_P - 42,64 - 20 \cdot \lg f}{26}$$

NLOS:

$$d_{km} = 10 \frac{L_P - 69,55 - 26 \cdot \lg f + 10 \cdot \lg \omega + 9 \cdot \lg b - 20 \cdot \lg \Delta h_m + 18 \cdot \lg(1 + \Delta h_b)}{38}$$

1. От БС к МС:

$$f_0 = 1900 \text{ МГц}$$

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 175
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

1.1 Сектор А - 0°:

LOS:

$$d_{km} = 10 \frac{135,76 - 42,64 - 20 \cdot \lg 1900}{26} = 12,108 \text{ км}$$

NLOS:

$$d_{km} = 10 \frac{135,76 - 69,55 - 26 \lg(1900) + 10 \lg(12) + 9 \lg(24) - 20 \lg(2) + 18 \lg(1 + 21,4)}{38} = 3,957 \text{ км}$$

1.2 Сектор В - 120°:

$$\text{LOS: } d_{km} = 10 \frac{138,7 - 42,64 - 20 \cdot \lg 1900}{26} = 2,541 \text{ км}$$

NLOS:

$$d_{km} = 10 \frac{138,7 - 69,55 - 26 \lg(1900) + 10 \lg(12) + 9 \lg(24) - 20 \lg(2) + 18 \lg(1 + 21,4)}{38} = 4,297 \text{ км}$$

1.3 Сектор С - 240°:

LOS:

$$d_{km} = 10 \frac{146,7 - 42,64 - 20 \cdot \lg 1900}{26} = 30,685 \text{ км}$$

NLOS:

$$d_{km} = 10 \frac{146,7 - 69,55 - 26 \lg(1900) + 10 \lg(12) + 9 \lg(24) - 20 \lg(2) + 18 \lg(1 + 21,4)}{38} = 2,541 \text{ км}$$

2. От МС к БС:

$$f_0 = 1750 \text{ МГц}$$

2.1 Сектор А - 0°:

$$d_{km} = 10 \frac{136,2 - 69,55 - 26 \lg(1750) + 10 \lg(12) + 9 \lg(24) - 20 \lg(2) + 18 \lg(1 + 21,4)}{38} = 4,261 \text{ км}$$

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 176
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Результаты расчета сведом в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Результаты расчётов модели Волфиша-Икегами(WIM).

Направление сектора БС относительно СП, град.	Потери при распространении, LP, дБ		Ожидаемое расстояние между БС и МС, км			Ожидаемое расстояние между МС и БС, км		
	БС-МС	МС-БС	БС ₀	БС ₂	БС ₃	БС ₀	БС ₂	БС ₃
Сектор С	135,7	134,7	4,23 8			5,05 6		
Сектор Ю-3	130,2		3,02 2		7,1529 / 3,012			10, 721
Сектор Ю-В	1131,7		3,30 9	8,965 / 3,516			12,51 3	

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 177
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

ГЛАВА III. ОХРАНА ТРУДА И ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

3.1. Гигиеническая оценка и нормирование ЭМП в производственных условиях и на территории жилой застройки

В результате научно-технического прогресса широкое применение в промышленности, научной и бытовой сферах в последние десятилетия получила электромагнитные поля и излучения различных диапазонов частот. Так, излучения высоких (ВЧ) и ультравысоких радиочастот (УВЧ) широко применяются в радиосвязи, радиовещании, телевидении, в промышленных установках и технологических процессах для нагрева, закалки иковки металлов, термической обработки диэлектриков и полупроводников. Электромагнитные излучения сверхвысоких частот (СВЧ) получили широкое применение в радиолокации, радионавигации, радиоастрономии, радиоспектроскопии, ядерной физике, медицине, промышленности и быту. Кроме того, дальнейшее совершенствование новых типов СВЧ-генераторов позволит в ближайшем будущем применять энергию СВЧ-диапазона в радарных системах транспортных средств для предупреждения столкновений, в дорожных системах сигнализации, в мощных системах наземной и спутниковой связи и др.

В связи с этим значительное влияние на электромагнитный фон Земли, который ранее формировался главным образом за счёт естественных источников космического, земного и околоземного происхождения, стали оказывать искусственные источники электромагнитного поля (ЭМП). В результате уже в настоящее время практически всё население земного шара в большей или меньшей степени подвергается воздействию надфоновых уровней ЭМП.

В процессе эволюционного развития все живые существа на Земле приспособились к определённым изменениям природных электромагнитных полей и, по мнению большинства исследователей,

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 178
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

вынуждены были выработать по отношению к ним не только защитные механизмы, но и в какой-то степени включить их в свою жизнедеятельность. Поэтому увеличение или уменьшение параметров ЭМП, значительно отличающихся от адекватных, могут вызвать в организмах функциональные сдвиги, в ряде случаев перерастающие в патологические.

О биологической значимости ЭМП свидетельствуют как давние наблюдения, так и экспериментальные исследования последних лет на различном уровне организации биологических систем. При этом установлено, что воздействие искусственных ЭМП на биообъекты обусловлено не только энергетическими, но и информационными его характеристиками, вызывая тепловое и нетепловое действие.

Исследования по изучению влияния ЭМП радиочастотного диапазона на организм человека выявили определенные функциональные сдвиги со стороны нервной, сердечно-сосудистой и дыхательной систем, изменения показателей крови, обмена веществ и некоторых функций эндокринных желез. При обследовании большого контингента людей в производственных условиях установлено, что количество и частота жалоб на ухудшение самочувствия возрастают с увеличением профессионального стажа, причём при хроническом облучении более ранние и более выраженные реакции обнаруживаются со стороны нервной системы. Психоневрологические симптомы появляются в виде постоянной головной боли, повышенной утомляемости, слабости, нарушения сна, повышенной раздражительности, ослаблении памяти и внимания. Иногда наблюдаются приступообразная головная боль, побледнение кожных покровов, адинамия и обморочные состояния. При длительном воздействии электромагнитных излучений могут иметь место изменения в крови, помутнение хрусталика глаза. Таким образом,

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 179
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

признанная биологическая значимость ЭМП, всё возрастающая роль искусственных источников ЭМП в формировании электромагнитной обстановки в производственной и окружающей среде являются важной предпосылкой для освоения будущими специалистами и руководителями производств методик гигиенической оценки и прогнозирования электромагнитных полей в рабочей зоне и жилой территории, определения санитарно-защитных зон и применения других инженерно-технических способов и средств по снижению негативного воздействия ЭМП на организм человека.

Гигиеническая оценка электромагнитного поля заключается в измерении или расчете (при прогнозировании) ожидаемых уровней нормируемых энергетических характеристик поля: напряженностей электрической E , В/м, и магнитной H , А/м, составляющих в диапазонах высоких (30 кГц – 30 МГц) и ультравысоких (30 – 300 МГц) частот и плотности потока энергии (ППЭ), Вт/м² (мкВт/см²), в диапазоне сверхвысоких частот (300 МГц – 300 ГГц) и сравнении их фактических значений на рабочих местах (в рабочей зоне) или на территории жилой застройки с предельно допустимыми $E_{\text{пд}}$, $H_{\text{пд}}$, ППЭ_{пд} в зависимости от продолжительности воздействия.

Достоверная оценка опасности и вредности электромагнитного поля на производстве или в жилой зоне позволяет определить необходимость проведения профилактических мероприятий против их вредного воздействия на организм людей и применения способов и средств защиты.

Рассчитанные значения нормируемых энергетических характеристик поля допускается использовать для гигиенической оценки его на планируемых производствах или объектах с источниками электромагнитных излучений, то есть для прогнозирования электромагнитной обстановки в том или ином производственном

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 180
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

помещении или на территории жилых застроек.

Расчетные формулы для определения Е, Н и ППЭ представлены в таб. 3.1.

Таблица 3.1. Расчетные формулы.

Частота ЭМП	Формулы для расчета нормируемых параметров	Обозначения
от 30 кГц до 300 МГц	$E = \frac{I \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon \cdot \omega \cdot r^3}, \text{ В/м}$ $H = \frac{I \cdot L}{4 \cdot \pi \cdot r^2}, \text{ А/м}$	I – ток в проводнике (антенне), А L – длина проводника (антенны), м ε – диэлектрическая проницаемость среды, Ф/м ω – круговая частота поля, рад/с
от 300 МГц до 300 ГГц	$ППЭ \approx \frac{P_{\text{изл}}}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \Phi_3, \text{ Вт/м}$ $ППЭ \approx \frac{P_{\text{изл}} \cdot g}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \Phi_3, \text{ Вт/м}$	P _{изл} – излучаемая мощность, Вт r – расстояние до излучателя, м g – коэффициент усиления антенны Φ ₃ – фактор земли, зависящий от типа передатчика и характеристики трассы

В диапазоне частот 300 Гц – 30 кГц устанавливаются фиксированные значения предельно допустимых уровней, равные их электрической составляющей 1000 В/м (для условий шахт – 500 В/м), по магнитной составляющей – 25 А/м.

Для персонала предельно допустимое значение Е и Н в диапазоне частот 30 кГц – 300 МГц на рабочем месте следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки и времени воздействия по формулам:

$$E_{\text{пд}} = \sqrt{\frac{\text{ЭН}_{E_{\text{пд}}}}{T}}, \quad H_{\text{пд}} = \sqrt{\frac{\text{ЭН}_{H_{\text{пд}}}}{T}}, \text{ где } T \text{ – время воздействия, ч;}$$

ЭН_{Е_{пд}} и ЭН_{Н_{пд}} – предельно допустимое значение энергетической нагрузки в течение рабочего дня, соответственно в (В/м)²·ч и (А/м)²·ч (табл. 3.2).

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 181
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Одновременное воздействие электрического и магнитного полей в диапазоне от 0,03 до 3,0 МГц следует считать допустимыми при условии:

$$\frac{\mathcal{E}H_E}{\mathcal{E}H_{E_{\text{пд}}}} + \frac{\mathcal{E}H_H}{\mathcal{E}H_{H_{\text{пд}}}} \leq 1$$

Таблица 3.2. Предельно допустимые значения энергетической нагрузки

Параметр	Предельные значения в диапазоне частот, МГц		
	от 0,03 до 3,0	свыше 3 до 30	свыше 30 до 300
$\mathcal{E}H_{E_{\text{пд}}}, (\text{В/м})^2 \cdot \text{ч}$	20 000	7 000	800
$\mathcal{E}H_{H_{\text{пд}}}, (\text{А/м})^2 \cdot \text{ч}$	200	–	–

Предельно допустимые значения ППЭ в диапазоне частот 300 МГц – 300 ГГц следует определять исходя из допустимой энергетической нагрузки ($\mathcal{E}H_{\text{ППЭпд}}$), равной 2 Вт·ч/м² или 200 мкВт·ч/см², и времени воздействия (Т, ч) по формуле:

$$\text{ППЭ}_{\text{пд}} = K \frac{\mathcal{E}H_{\text{ППЭпд}}}{T},$$

где К – коэффициент ослабления биологической активности, равный 1 (единице) для всех случаев воздействия, исключая облучение от вращающихся и сканирующих антенн, и 10 (десяти) – для случаев облучения от вращающихся и сканирующих антенн с частотой вращения или сканирования не более 1 Гц и скважностью не менее 50.

Для жилой территории предельно допустимые уровни (ПДУ) распространяются на диапазон частот 30 кГц – 300 ГГц.

ПДУ ЭМП для населения при круглосуточном непрерывном излучении в диапазоне частот 30 кГц – 30 ГГц указаны в табл. 3.3.

Таблица 3.3. ПДУ ЭМП для населения.

№ диапазона	Частоты	Длина волны	ПДУ
5	30 – 300 кГц	10 – 1 км	25 В/м
6	0,3 – 3 МГц	1 – 0,1 км	15 В/м

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 182
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

7	3 – 30 МГц	100 – 10 м	10 В/м
8	30 – 300 МГц	10 – 1 м	3 В/м
9	300 – 3000 МГц	1 – 0,1 м	10 мкВт/см ²
10	3 – 30 ГГц	10 – 1 см	10 мкВт/см ²

Уровни ЭМП в 9 – 11 диапазонах при импульсном излучении на жилой территории в районах, действующих, проектируемых и реконструируемых РЛС, а также на территории, предназначенной для перспективного градостроительного освоения в районе действующих РЛС, не должны превышать ПДУ, указанных табл. 3.4.

Таблица 3.4. Предельно допустимые уровни электромагнитных полей (ЭМП) для радиолокационных станций (РЛС).

Назначение РЛС	№ диапазона	Длина волны, см	Режим работы		Отношение продолжительности работы на излучение к общему времени работы в сутки	ПДУ, мкВт/см ²
			Частота сканирования антенны, Гц	Время облучения с однопорядковой интенсивностью		
Метеорологические РЛС и другие им подобные по режиму работы при общей продолжительности работы 12 ч/сут	11	0,8 ± 15%	≤ 0,1	≤ 0,03 периода сканирования	0,5	140
			0	≤ 12 часов в сутки		10
	10	3 ± 20%	≤ 0,1	≤ 0,04 периода сканирования	0,5	60
			0	≤ 12 часов в сутки		10
9	10 ± 15%	0	≤ 12 часов в сутки	0,5	20	
9	17 ± 15%	0,25	≤ 0,05 периода сканирования	1	15	

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 183
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Обзорные РЛС гражданской авиации и другие им подобные по режиму работы	9	$10 \pm 20\%$	$\leq 0,250$	$\leq 0,05$ периода сканирования	1	15
	9	$23 \pm 15\%$	$\leq 0,250$	$\leq 0,02$ периода сканирования	1	20
	9	$35 \pm 15\%$	$0 \leq 0,250$	$\leq 0,02$ периода сканирования	1	20

При расчете электромагнитной обстановки в связи с тем, что РЛС и объект облучения (контрольная точка) могут находиться на различных уровнях земли, необходимо учитывать понижение $h_{\text{ПОН}}$ или повышение $h_{\text{ПОВ}}$ расположения контрольной точки по отношению к расположению антенны излучения (рис. 3.1) Повышение или понижение определяется с помощью теодолитов или других аналогичных приборов.

Для прогнозирования и определения существующей электромагнитной обстановки в районе размещения РЛС могут также использоваться заранее построенные для той или иной РЛС так называемые вертикальные диаграммы излучения (ВДИ).

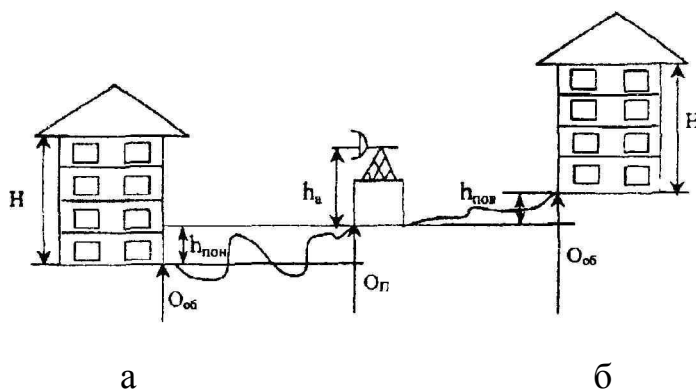


Рис. 3.1. К расчету превышения: а – для $\bar{h} = h_a + h_{\text{ПОН}} - H$; б – для $\bar{h} = h_a - h_{\text{ПОВ}} - H$.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 184
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

Они представляют собой совокупность кривых в вертикальной плоскости, каждая из которых имеет постоянное значение ППЭ, построенных в прямоугольной системе координат r и \bar{h} .

Кроме кривых равных плотностей, на графике ВДИ наносятся линии максимального излучения антенны по углу места ϵ_0 (рис. 3.2).

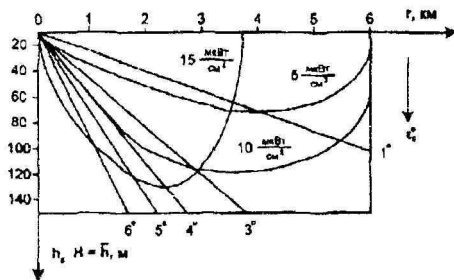


Рис 3.2. Вертикальная диаграмма направленности, построенная в координатах r и \bar{h} (5, 10, 15 – ППЭ_{ПД}, мкВт/см²)

Зная расстояние (r) до контрольной точки (объекта), превышение \bar{h} , угол места ϵ_0 , по ВДИ можно определить, какой интенсивности электромагнитного облучения подвергаются жители данного района, санитарно-защитную зону объекта излучения (РЛС), необходимое удаление жилой зоны от расположения объекта, а также предельную этажность строительства проектируемой застройки в районе действия РЛС.

На рис. 3.3 – 3.8 представлены вертикальные диаграммы излучения, некоторых радиолокаторов гражданской авиации и метеослужбы.

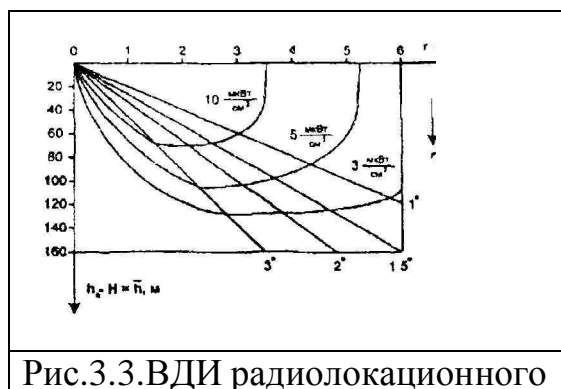


Рис.3.3.ВДИ радиолокационного

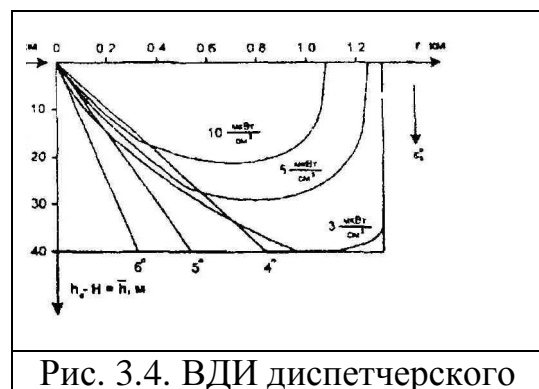


Рис. 3.4. ВДИ диспетчерского

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 185
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

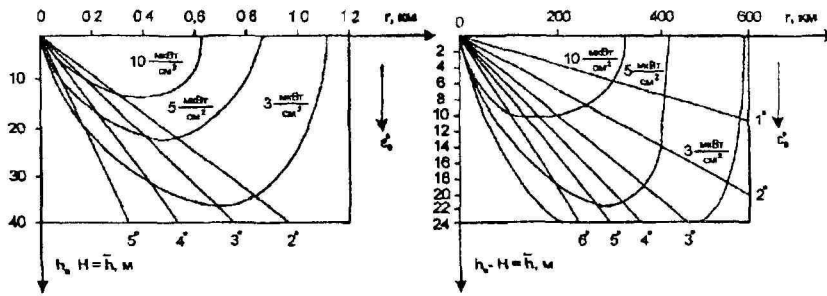


Рис. 3.5. ВДИ диспетчерского радиолокатора ДРАС-А

Рис. 3.6. ВДИ диспетчерского радиолокатора типа ДРЛ

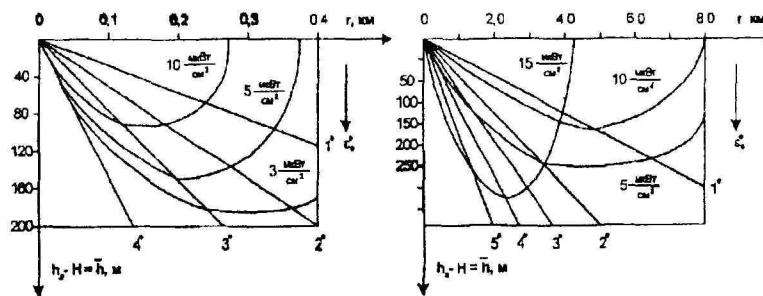


Рис. 3.7. ВДИ метеорологических комплексов ТРАК-1.0 («Скала»)

Рис. 3.8. ВДИ радиолокационных радиолокаторов типа МРЛ-1-2-4

3.2. Способы и средства защиты от электромагнитных полей.

При выборе защиты персонала или населения от электромагнитных излучений необходимо учитывать особенности производства, условия эксплуатации оборудования, рабочий диапазон частот, характер выполняемых работ, интенсивность поля, продолжительность облучения и др.

Для снижения интенсивности поля в рабочей или жилой зоне рекомендуется применять различные инженерно-технические способы и средства, а также организационные и лечебно-профилактические мероприятия.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 186
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

В качестве инженерно-технических методов и средств защиты применяются: экранирование излучателей, помещений или рабочих мест; уменьшение напряженности и плотности потока энергии в рабочей или жилой зоне за счет уменьшения мощности источника (если позволяют технические условия) и использование ослабителей (аттенюаторов) мощности и согласованных нагрузок (например, эквивалентов антенн); применение средств индивидуальной защиты.

При экранировании используются такие явления как поглощение электромагнитной энергии материалом экрана и её отражение от поверхности экрана. Поглощение ЭМП обуславливается тепловыми потерями в толще материала за счет индукционных токов и зависит от электромагнитных свойств материала экрана (электрической проводимости, магнитной проницаемости и др.). Отражение обуславливается несоответствием электромагнитных свойств воздуха (или другой среды, в которой распространяется электромагнитная энергия) и материала экрана (главным образом, волновых сопротивлений).

Для изготовления экранов применяют либо тонкие металлические (сталь, алюминий, медь, сплавы) листы, либо металлические сетки, т. к. металлы, являясь хорошими проводниками, реализуют оба явления, используемые при экранировании.

Толщина экрана (d) из металлического листа выбирается исходя из соображений механической прочности, но не менее 0,5 мм, и должна быть больше глубины проникновения ЭМ волны в толщу экрана:

$$d \geq r = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega \cdot \mu \cdot \sigma}{2}}} \geq 0,5 \text{ мм}$$

где r – глубина проникновения поля в проводящую среду, определяемая

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 187
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

$$r = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega \cdot \mu \cdot \sigma}{2}}}$$

как величина, обратная коэффициенту затухания $\omega = 2\pi f$, где f – частота, Гц; μ – магнитная проницаемость материала, Гн/м; σ – электрическая проводимость материала.

Большая отражательная способность металлов, обусловленная значительным несоответствием волновых сопротивлений воздуха и металла, в ряде случаев может оказаться нежелательной, т. к. может увеличивать интенсивность поля в рабочей зоне и влиять на режим работы генератора (излучателя). Поэтому в подобных случаях следует применять экраны, преимущественно с малым коэффициентом отражения и большим коэффициентом поглощения. В табл. 3.5 приведены некоторые радиопоглощающие материалы и их основные характеристики.

Требуемое ослабление поля ($L_{\text{ТР}}$) и эффективность экранирования ($\mathcal{E}_{\text{ЭКР}}$) определяются по формулам:

$$L_{\text{ТР}} = \frac{E_{\text{Р}}}{E_{\text{ДОП}}} = \frac{H_{\text{Р}}}{H_{\text{ДОП}}},$$

$$\mathcal{E}_{\text{ЭКР}} = \left| \frac{E_2}{E_1} \right|, \quad \mathcal{E}_{\text{Н}} = \left| \frac{H_2}{H_1} \right|, \quad \mathcal{E}_{\text{Н}} = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}, \text{ дБ},$$

где $E_{\text{Р}}$, $E_{\text{ДОП}}$, $H_{\text{Р}}$, $H_{\text{ДОП}}$ – соответственно напряженность электрического и магнитного поля на рабочем месте (или жилой зоне) и предельно допустимые их значения;

Таблица 3.5. Основные характеристики некоторых радиопоглощающих материалов.

Материал	Марка, тип	Диапазон, см	Коэффициент отражения по мощности, %
Поглощающие покрытия на основе поролона	«Болото»	0,8 и более	2 – 3
Поглощающие пластины	«Луч»	0,3 и	1 – 3

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 188
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

на основе древесины		более	
Текстолит графитированный	369 – 61	1 – 50	до 50
Краска	НТСООЗМ – 003	0,8 – 16	до 50
Резиновые коврики	В2Ф–2; В2Ф–3; ВКФ–4	0,8 – 4,0	2
Магнитодиэлектрические пластины	ХВ–0,8; ХВ– 20; ХВ–3,3; ХВ– 4,4; ХВ–6,2; ХВ– 6,5; ХВ–10,6	0,8 – 4,0	2
Ферритовые пластины	СВЧ–0,68	15 – 200	3,4
Поглощающий материал	ВТУ–0,8; ВТУ–1–66	0,8 – 20	3

E_1, E_2, H_1, H_2 –соответственно напряженность электрического и магнитного поля после и до экранирования;

Π_1, Π_2 – плотность потока энергии до и после применения экрана.

Металлические экраны за счет отражения и поглощения практически непроницаемы для ЭМ энергии радиочастотного диапазона при их толщине $d > \lambda$, где λ – длина волны.

Применение поглощающих нагрузок и аттенюаторов позволяет ослабить интенсивность излучения электромагнитной энергии в окружающее пространство на 60 дБ и более.

Для защиты от ЭМП при работе в антенном поле, проведении испытательных и регулировочных работ на объектах, устранении аварийных ситуаций и ремонте рекомендуется использование индивидуальных средств защиты. Для защиты всего тела применяются комбинезоны, халаты и капюшоны. Их изготавливают из трёх слоев

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 189
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

ткани. Внутренний и наружный слои делают из хлопчатобумажной ткани (диагональ, ситец), а средний, защитный слой – из радиотехнической ткани, имеющей проводящую сетку. Для защиты глаз используются специальные радиозащитные очки из стекла, покрытого полупроводниковым оловом. Эффективность таких очков составляет 20 - 22 дБ.

Организационные мероприятия включают в себя, требования к персоналу (возраст, медицинское освидетельствование, обучение, инструктаж и т. п.), выбор рационального взаимного размещения в рабочем помещении оборудования, излучающего ЭМ энергию, и рабочих мест; установление рациональных режимов работы оборудования и обслуживающего персонала; ограничение работы оборудования во времени (например, за счёт сокращения времени на проведение наладочных и ремонтных работ), защита расстоянием (удаление рабочего места от источника ЭМП, когда имеется возможность использовать дистанционное управление оборудованием); применение средств предупреждающей сигнализации (световой, звуковой и т. п.) и др.

Лечебно-профилактические мероприятия направлены на предупреждение заболевания, которое может быть вызвано воздействием ЭМП, а также на своевременное лечение работающих при обнаружении заболевания.

Для предупреждения профессиональных заболеваний у лиц, работающих в условиях ЭМП, применяются такие меры, как предварительный (для поступающих на работу) и периодический (не реже одного раза в год) медицинский контроль за состоянием здоровья, а также ряд мер, способствующих повышению устойчивости организма человека к действию ЭМП.

Медицинский контроль позволяет выявить людей с такими

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 190
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

патологическими изменениями в организме, при которых работа в условиях облучения ЭМП противопоказана, и определить необходимость проведения лечения.

К мероприятиям, способствующим повышению резистентности организма к ЭМП, могут быть отнесены регулярные физические упражнения, рационализация времени труда и отдыха, а также использование некоторых лекарственных препаратов и общеукрепляющих витаминных комплексов.

3.3. Расчет параметров устройств защиты от электромагнитных излучений.

Расчет и определение минимальной толщины экрана и длины трубки, в трубчатом волноводе при помощи которой выводят ручку управления из экранирующей камеры, обеспечивающих необходимую мощность облучения, с учетом требований по защите обслуживающего персонала от воздействия ЭМИ.

Действие электромагнитных полей высокой частоты на организм человека может вызвать тяжелые заболевания. Превышение определенных уровней облучения приводят к расстройству нервной и сердечно-сосудистой системы. Защита человека от вредного действия ионизирующих излучений сводится к защите от внешнего и внутреннего облучений. Защита осуществляется комплексом следующих мероприятий:

Установление предельно допустимых доз облучения (внешнего и внутреннего);

Применение технических средств защиты, которые наряду с нормированием рабочего времени снижают интенсивность облучения;

Осуществление дозиметрического контроля и периодического медицинского контроля.

Электромагнитные волны лишь частично поглощаются тканями

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 191
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

биологического объекта, поэтому биологический эффект зависит от физических параметров ЭМП радиочастот: длины волны (частоты колебаний), интенсивности и режима излучения (непрерывный, прерывистый, импульсно-модулированный), продолжительности и характера облучения организма (постоянное, интермиттирующее), а также от площади облучаемой поверхности и анатомического строения органа или ткани. Степень поглощения энергии тканями зависит от их способности к ее отражению на границах раздела, определяемой содержанием воды в тканях и другими их особенностями. При воздействии ЭМП на биологический объект происходит преобразование электромагнитной энергии внешнего поля в тепловую, что сопровождается повышением температуры тела или локальным избирательным нагревом тканей, органов, клеток, особенно с плохой терморегуляцией (хрусталик, стекловидное тело, семенники, и др.). Тепловой эффект зависит от интенсивности и продолжительности облучения.

Действие ЭМИ радиочастот на центральную нервную систему при плотности потока энергии (ППЭ) более 1 мВт/см² свидетельствует о ее высокой чувствительности к электромагнитным излучениям.

Изменения в крови наблюдаются, как правило, при ППЭ выше 10 мВт/см³. При меньших уровнях воздействия наблюдаются фазовые изменения количества лейкоцитов, эритроцитов и гемоглобина (чаще лейкоцитоз, повышение эритроцитов и гемоглобина). При длительном воздействии ЭМП происходит физиологическая адаптация или ослабление иммунологических реакций.

Поражение глаз в виде помутнения хрусталика - катаракты является одним из наиболее характерных специфических последствий воздействия ЭМП в условиях производства. Помимо этого следует иметь в виду и возможность неблагоприятного воздействия ЭМП облучения на сетчатку

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 192
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

и другие анатомические образования зрительного анализатора.

Таблица 3.6

W	I, А	f,Гц	T, ч	D, m	R, m	г, м
12	350	3108	4	110-2	3	2,510-1

Таблица 3.7

μ	$\mu_a, \text{Гн/м}$	$\gamma, \text{I/Ом}\cdot\text{м}$	ϵ
200	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^7$	7

Для решения задач по созданию безопасных условий работы с источниками ионизирующих излучений необходимо изучить основные величины, от которых зависят дозы облучения и единицы их измерения, уяснив принципы действия приборов дозиметрического контроля.

В СВЧ передатчике имеется выходной кондуктор, содержащий катушку с переменной индуктивностью. Радиус катушки равен r , число витков W , сила тока в катушки и его частота равны I и f соответственно. В течении рабочего дня суммарное время регулировок с помощью ручки управления не превышает T часов.

Схема для расчёта толщины экрана и длинны трубки, приведена на рисунке 3.9.

При решении задачи можно воспользоваться приведенной ниже методикой. Напряжённость магнитной составляющей поля катушки H . На расстоянии R от нее (без экрана) может быть рассчитана:

$$H = \frac{w \cdot I \cdot r^2}{4 \cdot R^3} \beta_m, \text{A/м}, (3.1)$$

где β_m - коэффициент, определяемый соотношением R/r . ($R/r > 10$ значение $\beta_m = 1$). Если R удовлетворяет условиям

$$R \gg \lambda / 2\pi, R \gg r^2 / \lambda, (3.2)$$

$$\lambda = c / f$$

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 193
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

где λ - длина волны, м, то имеет место волновая зона, оценку эффективности поля в которой производят по плотности потока энергии (ППЭ) излучения

$$\delta = 377 \cdot H^2 / 2, \text{Вт} / \text{м}^2, (3.3)$$

Допустимая величина ППЭ определяется по формуле

$$\delta_{\text{дон}} = N / T, (3.4)$$

где $N = 2 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$; T - время облучения, ч.

Требуемое ослабление электромагнитного поля L можно определить по формуле:

$$L = \delta / \delta_{\text{дон}}, (3.5)$$

Зная характеристики металла (см. таблица 3.7), можно рассчитать толщину экрана δ обеспечивающую заданное ослабление электромагнитного поля L

$$\delta = \frac{LnL}{2\sqrt{\omega\mu_a\gamma/2}}, (3.6)$$

$$\omega = (2 \cdot \pi \cdot f)$$

где ω - угловая частота, $1/\text{с}$; μ_a - абсолютная магнитная проницаемость, $\text{Гн}/\text{м}$; γ - электрическая проводимость, $\text{А}/\text{Ом} \cdot \text{м}$;

$$\mu_a = \mu_0 \cdot \mu, (3.7)$$

где $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн}/\text{м}$ - магнитная постоянная; μ - относительная магнитная проницаемость среды.

Ручки управления выводят через стенки экранирующей камеры при помощи трубок, впаянных в стенки и представляющих собой волноводные (при диэлектрическом стержне) или коаксиальные (при металлическом стержне) линии. На рис. 3.10 показан вывод ручки управления, насаженной на диэлектрический стержень 1, который

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 194
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

находится внутри металлической трубки 2. Такая конструкция может рассматриваться как волноводная линия.

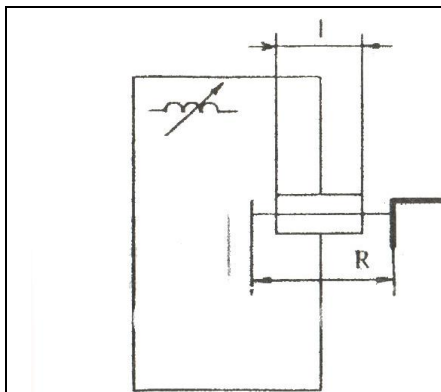


Рис. 3.9 Схема толщины экрана и длины ручки

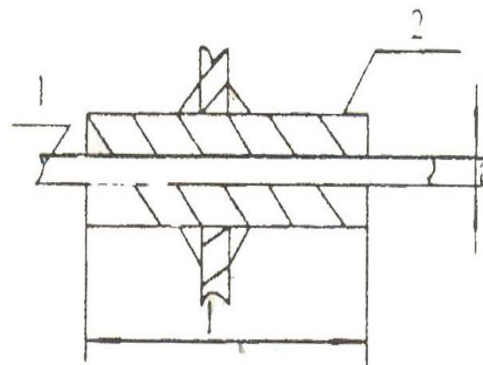


Рис.3.10 Вывод ручки управления

Ослабление энергии в трубке - волноводе на 1 м длины определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{32}{D\sqrt{\epsilon}}, \text{дБ/м}, (3.8)$$

где D - диаметр, м; ϵ - относительная диэлектрическая постоянная стержня.

Материал экрана: сталь $\mu = 200$; медь $\mu = 1$; материал стержня: гетинакс $\epsilon = 7$; текстолит $\epsilon = 8$; эбонит $\epsilon = 3$; стекло текстолит $\epsilon = 7,5$

Требуемую длину трубки можно определить по формуле

$$l = \frac{10 \lg \cdot L}{\alpha}, \text{м}, (3.9)$$

Заключение

В ходе выполнения данной работы мной была определена зона покрытия БС стандарта GSM, расположенной в центральном районе города Ташкент, эмпирическим методом. Также было рассчитано покрытие МС

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 195
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		

двумя методами.

Модель Окумуры-Хаты – наиболее известная и используемая модель предсказания, позволяет оценить размер зон обслуживания соты системы подвижной связи по уровню затухания сигнала, но не проводит оценку зависимости уровня сигнала от рельефа местности, погодных условий, времени суток, уровня помех.

Модель Волфиша-Икегами рассчитана на плоское основание города, из-за чего она не применима для городов с сильной неравномерностью рельефа. Модель может применяться в случаях, когда антенна базовой станции расположена как выше, так и ниже линии уровня крыш городской застройки. В совокупность эмпирических факторов, учтенных расчетной формулой входят высоты антенн базовой и подвижной станций, ширина улиц, расстояния между зданиями, высота зданий и ориентация улиц относительно направления распространения сигнала.

По полученным вычислениям видно, что результаты расчетов зон покрытия базовой и мобильной станции двумя методами приблизительно одинаковы, что подтверждает справедливость использования двух рассмотренных методов.

Выполнил:	Матназаров М. О.		Лист 196
Проверил:	Бекиметов А.Ф.		