

В учебном пособии изложены основные принципы построения современных систем связи подвижной службы общего пользования.

С общих позиций рассмотрены теоретические основы построения мобильных систем связи как двухуровневых систем телекоммуникации.

Основное внимание уделено каналам мобильной радиосвязи, определяющим общее качество работы составных телекоммуникационных систем. В учебном пособии раскрыты основные функции ССПС, определяющие способность автоматизации процессов каналообразования и адресного установления связи, автоматической перестройки и адаптации к помеховой обстановке, поиска движущихся абонентов.

Раскрыты структурные и функциональные схемы аппаратуры сотовых и транкинговых систем, систем радиопоисковой связи и спутниковых систем связи. Даются технические характеристики наиболее широко используемых цифровых и аналоговых стандартов мобильных систем связи.

Учебное пособие содержит описание практических и лабораторных занятий.

Пособие предназначено для высших учебных заведений, где изучается предмет *Системы связи подвижной службы*. Материал пособия может быть использован специалистами, связанными с эксплуатацией систем мобильной связи.

Рекомендовано к печати ученым советом Киевского института связи Государственной Академии Связи им. А.С.Попова в качестве учебного пособия для высших учебных заведений II-IV уровня аккредитации

Рецензенты:

доктор технических наук профессор Доровских А.В.
кандидат технических наук доцент Урывский Л.А.

Авторы благодарны к.т.н. доценту Брагину А.С. за существенную помощь информационным материалом и советами по методике его изложения.

ISBN 966-7742-10-5



© Мухин А.М., Чайников Л.С.

© Світ знань (оригинал-макет, обложка), 2001

(044) 229-04-18, 246-40-18,

ВВЕДЕНИЕ

1. Понятие системы связи подвижной службы общего пользования. 6
2. Виды систем связи подвижной службы. Принципы и способы организации связи в различных ССПС 9

Глава I. Теоретические основы построения и функционирования ССПС 15

1. Особенности радиоканалов мобильных систем связи 15
2. Затухание, дифракция и отражение радиоволн при работе наземной мобильной связи 18
3. Энергетические соотношения в каналах наземной мобильной связи. Условие связности в системе. 27
4. Организация телетрафика в системах наземной мобильной связи 33
 - 4.1. Формирование зон обслуживания в системах наземной мобильной связи 33
 - 4.2. Оценка качества обслуживания в системе 40

Глава II. Адресное установление связи в ССП 46

1. Формы адресных сигналов 46
2. Синхронизация и фазирование при обработке адресных кодовграмм 55
3. Помехоустойчивость приема в каналах систем мобильной связи 59
4. Математическое представление (модель) дискретного составного канала ССПС 61

Глава III. Мобильные территориальные (сотовые) системы связи стандартов NMT-450i (NMT 900) 66

1. Общая характеристика сотовых мобильных систем связи стандартов NMT-450i (NMT-900) 66
2. Структурное построение ССПС стандартов NMT-450i (NMT-900) 69
3. Режимы работы ССПС стандартов NMT-450i (NMT-900) 72
 - 3.1. Роуминг в пределах "домашнего" ЦКПС 73
 - 3.2. Роуминг в пределах "посещаемого" ЦКПС 74
 - 3.3. Установление связи между абонентами ССПС 74
 - 3.4. Режим трафика в системе. Автоматическая оценка качества канала. Скип-коммутация и процедура HENDOVER 76
4. Нумерация и маршрутизация в мобильных системах стандартов 77

NMT-450i (NMT-900)

- 4.1. Виды управляющих сигналов 77
- 4.2. Структура адресных кодограмм 79
- 4.3. Типы кадров управления 81
- 4.4. Кадры технического обслуживания и аварийные кадры 84
- 5. Центр коммутации подвижной службы ДХ-200 (МТХ) ССПС стандартов NMT-450i (NMT-900) 85

- 5.1. Структурная схема ЦКПС ДХ-200 (МТХ). Назначение функциональных групп 85
- 5.2. Последовательность работы функциональных узлов ДХ-200 (МТХ) при установлении связи 90
- 5.3. Последовательность работы функциональных узлов ДХ-200 (МТХ) при роуминговых вызовах 92

- 6. Базовая станция ВД-28N ССПС стандарта NMT-450i 93

- 6.1. Структурная схема и конструкция базовой станции ВД-28N 93
- 6.2. Функциональная схема базовой станции ВД-28N. Работа станции в различных режимах 102

- 7. Мобильная станция ССПС стандарта NMT-450i 106

- 7.1. Структурная схема мобильной радиостанции. Назначение элементов 109
- 7.2. Функциональная схема мобильной станции ССПС стандарта NMT-450i 111
- 7.3. Работа станций ССПС стандарта NMT-450i в различных режимах 115

Глава IV. Особенности построения сетовых ССПС стандартов GSM-900 (DCS-1800) 120

- 1. Структурное построение ССПС GSM-900 (DCS-1800) 120
- 2. Особенности формирования радиоканалов в стандартах GSM-900 (DCS-1800) 122
- 3. Особенности формирования цифровых кадров в стандартах GSM-900 (DCS-1800) 125

Глава V. Мобильные системы транкинговой радиосвязи 128

- 1. Принципы построения транкинговых радиосистем 128
- 2. Структурное построение транкинговых радиосистем 130
- 3. Адресация и управление в аналоговых системах транкинговой связи 132
- 4. Аппаратура аналоговых систем транкинговой связи. Основные технические характеристики 137

- 5. Особенности построения цифровых транкинговых ССПС 140

- 5.1. Структурное построение цифровых транкинговых ССПС 140
- 5.2. Особенности построения цифровых многоадресных ССПС 144
- 5.3. Структурная схема и особенности функционирования мобильной станции цифровой технологии ASTRO 146
- 5.4. Технические характеристики и конструкция портативных и бортовых радиостанций технологии ASTRO 153

Глава VI. Мобильные системы персонального радиовызова (СПРВ) 158

- 1. Принципы построения мобильных СПРВ 158
- 2. Мобильные СПРВ с многоадресным комбинаторным и линейным бинарным кодированием 159
- 3. Особенности построения СПРВ различных стандартов 171

Глава VII. Глобальные системы связи подвижной службы 177

- 1. Особенности построения спутниковых ССПС 177
- 2. Спутниковая ССПС Iridium 178
- 3. Спутниковые ССПС Globalstar и СИГНАЛ 182
- 4. Спутниковая ССПС ODYSSEY 184

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Особенности и перспективы развития ССПС 186

ЛИТЕРАТУРА 193

ПРИЛОЖЕНИЯ 196

- 1. Практическое занятие №1: Моделирование зоны обслуживания ССПС в условиях среднепересеченной местности 196
- 2. Практическое занятие №2: Моделирование зоны обслуживания ССПС в условиях сильнопересеченной местности 200
- 3. Приложение 3 203
- 4. Приложение 4 204
- 5. Приложение 5 205

ВВЕДЕНИЕ

Современная жизнь характеризуется повышенной деловой активностью населения. Любая, сколь угодно полезная информация не может быть использована, если отсутствуют каналы связи для ее передачи и приема. Сама по себе информация не имеет ценности, если ею нельзя воспользоваться. Бурное развитие современных технологий не в последнюю очередь обусловлено совершенствованием средств связи. Необходимость обладания информацией в определенное время, увеличение объема этой информации или уменьшение сроков доставки ее до адресата, возможность ее оперативной передачи и приема делают мобильную связь неотъемлемым атрибутом деятельности. Сегодня стало актуально и экономически выгодно пользоваться пейджером, мобильным телефоном или спутниковым терминалом. Для предоставления современных услуг связи деловым потребителям уже недостаточно сети обычной телефонной связи. Особую актуальность использование средств мобильной связи имеет в районах, где стоимость прокладки новых проводных линий слишком высока.

Любая связь в начале XXI века представляет собой наиболее динамический и быстрорастущий сектор рынка телекоммуникаций. Сотовый телефон становится во многих странах товаром широкого потребления. Ожидается, что до 2002 г. численность абонентов сотовой связи достигнет 600 миллионов. Это означает, что примерно 10% населения Земли будет пользоваться сотовой связью, стоимость услуг которой уже сейчас приближается к цене телефонного звонка по обычному проводному телефону.

Кроме того, по некоторым оценкам, к 2010 г. число мобильных терминалов, находящихся у пользователей, будет превышать число обычных телефонов. Все эти данные свидетельствуют о больших перспективах сотовой связи в информационных технологиях будущего.

1. Понятие системы связи подвижной службы

Система связи подвижной службы (ССПС) общего пользования [1] является двухуровневой составной телекоммуникационной сетью, включающей систему мобильной радиосвязи (первый уровень) и телефонную сеть общего пользования - ТФОП (второй уровень).

Двухуровневая телекоммуникационная сеть (рис. В1) обеспечивает функции коммутации и распределения информации в каждой из составных частей.

Участки (1) составной сети являются радиопередающими, образованными между мобильными станциями (MS) и базовыми станциями (BS). Участки (2) сети представляют многоканальные соединительные линии (СЛ) между BS и центром коммутации подвижной службы (ЦКПС). Участки (3) сети являются магистральными соединительными линиями (МСЛ) между радиоуровнем и фиксированной сетью ТФОП. Множество BS, размещаемых по всей зоне обслу-

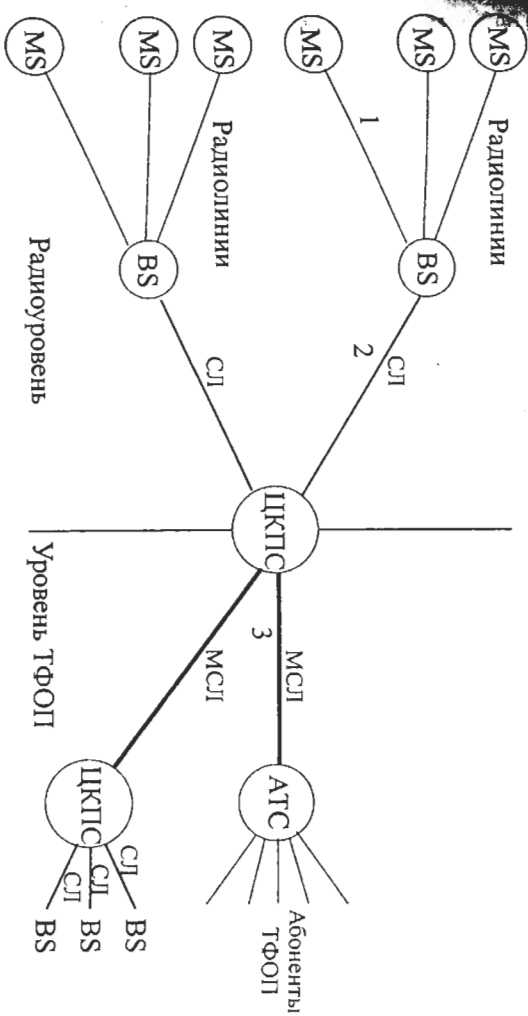


Рис. В1. Составная двухуровневая телекоммуникационная сеть

живания (ЗО) системы, позволяет обеспечивать устойчивую радиосвязь любого мобильного абонента радиоуровня в какой бы точке ЗО он не находился с другим мобильным абонентом или с абонентом фиксированной сети ТФОП через ЦКПС. Таким образом ЦКПС выполняет роль автоматического радиокросса, обеспечивающего коммутацию различных MS между собой в ЗО, коммутацию MS с абонентскими телефонными аппаратами сети ТФОП, а также выход на другие ЦКПС.

Увеличение плотности размещения BS в зоне обслуживания позволяет сократить протяженность линий мобильной радиосвязи между MS и BS. Это, однако, не гарантирует получение высококачественной радиосвязи в течении длительного времени из-за экранирования антенн MS и BS при работе в движении, особенно в условиях сильнопересеченной местности и воздействия помех. Поэтому участки (1) составной сети (первичный пучок линий) могут рассматриваться как линии с кратковременным занятием [48]. Такие линии в процессе установления связи могут вести себя как исправные, но из-за переходов в состояние плохого качества они не могут использоваться для дальнейшего обслуживания вызовов. Переходы линий в различные состояния эквивалентны потерям вызовов.

Участки (2) составной сети могут строиться на основе линий радиорелейной связи (РРС), волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) и кабельных линий связи (КЛС). Процессы коммутации и распределения каналов связи на участках (1) и (2) могут рассматриваться как процессы установления транзитной связи между MS и ЦКПС через BS.

Участки (3) составной сети формируются на основе выделенных каналов фиксированной сети ТФОП. Процессы распределения каналов в МСЛ рассматриваются как предоставление свободных линий связи для обслуживания

транзитных разговоров между абонентами MS и абонентами сети ТФОП в требуемые моменты времени.

Таким образом, каналы ССПС являются составными каналами объединяющими радиорусловь и уровень фиксированной сети (ТФОП) телекоммуникационной системы.

Процесс интеграции мобильной радиосвязи в сеть ТФОП происходил постепенно по мере совершенствования технологии построения MS, создания многоканальных радиотрансляторов (BS), разработки программного обеспечения процессами оценки качества составных каналов и автоматического контроля местоположения движущихся MS.

Первые ССПС как автоматизированные системы массового обслуживания появились в конце 60-х годов в результате непрерывных поисков путей максимального сокращения времени доставки информации постоянно передвигающимся (мобильным) абонентам. Структурное построение таких систем ограничивалось только радиорусловьем и системы предназначались только для обеспечения связи между MS. В ведущих государствах мира разрабатывались различные мобильные автоматизированные системы радиосвязи военного назначения. В отличие от традиционных средств мобильной связи такие системы обеспечивали гарантированную доставку информации абонентам находящимся в движении в любой момент времени. Радиосредства мобильных систем связи включали специальные автоматизированные адаптивные радиостанции, позволяющие организовать радиосвязь по принципу Радио - АТС. Процесс установления связи осуществлялся автоматически с автовыбором требуемого абонента. Функционирование мобильных радиосистем обеспечивалось по специальным программам, вводным в бортовые компьютеры радиостанций.

Положительные качества мобильных систем, очень скоро были оценены предпринимателями, поскольку принцип "время-деньги" является одним из основных в бизнесе. В результате автоматизированные мобильные радиосистемы быстрыми темпами стали внедряться сначала в ведомственные фиксированные сети связи и затем в телефонные сети общего пользования (AMPS - США, NCS - Япония, Алтай - СССР). Включение мобильных систем связи в государственные телефонные сети связи обеспечивало существенное увеличение сервисных услуг, значительную интенсификацию потока сообщений и значительное увеличение количества абонентов.

Статистика развития сетей связи общего пользования в наиболее развитых странах мира показывает, что количество абонентов стационарных сетей стабилизируется, а количество мобильных абонентов интенсивно возрастает [19]. Так в США уже в 1990 г. 16% всех телефонных сообщений передавались по каналам мобильной связи. В Японии к 2000 году количество абонентов мобильной связи превысило количество абонентов сети ТФОП.

Дальнейшее внедрение систем мобильной радиосвязи в сети ТФОП ведет к созданию единой интегральной телекоммуникационной системы, позволяющей применять различные информационные технологии и формы представления информации (телефон, передача данных, факс и др.)

2. Виды систем связи подвижной службы. Принципы и способы организации связи в разноточных ССПС

В настоящее время в различных странах мира применяются различные виды ССПС, которые обеспечивают информационные потребности экономики этих стран.

Деление ССПС на виды определяется структурным построением радиорусловья [7]. К основным видам ССПС относятся:

- региональные мобильные системы наземной связи;
 - глобальные мобильные системы спутниковой связи;
 - системы персонального радиовызова (СПРВ).
- Региональные ССПС различаются по способам организации радиосвязи. К ним относятся:

- транкинговые (*touchtone*) системы связи;
- территориальные (*сотовые*) системы связи;
- линейные системы индивидуальной связи.

Глобальные мобильные системы связи в зависимости от способа соединения разноточных зон обслуживания делятся на:

- системы со спутниковой ретрансляцией сигналов;
- системы с наземной ретрансляцией сигналов.

Системы персонального радиовызова различаются по способам организации радиовызовов:

- прямого вызова;
- репитерного вызова.

вызова через спутниковый ретранслятор.

ТРАНКИНГОВЫЕ (ПУЧКОВЫЕ) мобильные радиосистемы строятся на основе использования базовых радиоретрансляционных управляющих пунктов (сайтов), размещаемых в определенных точках территорий с целью обеспечения электромагнитного покрытия зоны обслуживания (рис. В2, 6).

Максимальные расстояния связи (радиусы) между сайтом и MS должны обеспечивать уверенную связь в зоне обслуживания. Сайтовый ретранслятор по заявке MS предоставляет ей голосовой канала (рабочую частоту). Заявки на радиосвязь могут поступать одновременно от нескольких MS поэтому сайтовый ретранслятор включает несколько (пучек) свободнодоступных радиоканалов (рабочих частот), составляющих канальную базу (*пучок*) системы. Основным принципом организации связи в транкинговых системах является создание радиосетей или *разговорных групп* (РГ). Разговорные группы формируются по принципу общей заинтересованности пользователей в поступающей информации. Таким образом разговор одной пары абонентов слышат все абоненты этой радиосети. Это позволяет существенно сократить расход рабочих частот.

Принцип транкинговой связи очень удобен в ведомственных системах (Воинские подразделения, пожарная служба, скорая помощь, милиция и т.д.).

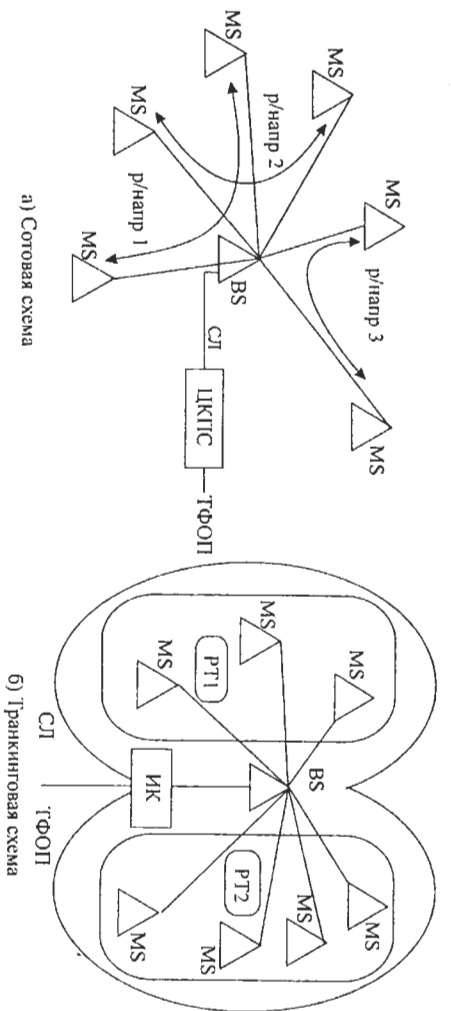


Рис. В2. Организация связи в транкинговой и сотовой ССПС.

При нарушении связи в РТ вследствие воздействия помехи разговорный канал автоматически заменяется на новый. Это обуславливает необходимость введения быстрой электронной перестройки MS. Для вызова требуемого абонента используются специальные адресные сигналы (цифровые последовательности) которые передаются по управляющему каналу.

Достоинствами транкинговой радиосвязи является охват больших зон обслуживания путем формирования многосайтовых систем. К недостаткам транкинговой связи относится несистематическая связь с абонентами из-за наличия теневых участков в зоне электромагнитного покрытия.

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ (СОТОВЫЕ) системы мобильной связи явились результатом дальнейшего развития транкинговых систем. Главное внимание уделялось обеспечению индивидуального вызова любого подвижного абонента ретрансляцией сигналов) и возможности работы с абонентами стационарной телефонной сети связи (рис. В2., а). Основным способом улучшения качества радиоканалов явилось устранение теневых зон путем деление всей зоны обслуживания на более мелкие субзоны (рис. В3).

Для централизованного управления системой все базовые станции субзон соединяются с помощью линий связи со специальной диспетчерской станцией, называемой центром коммутации подвижной службы (ЦКПС). Каждая субзона обслуживает свою территорию, поэтому такие системы называются *территориальными*. Зона обслуживания системы представляет мозаичную картину, составленную из субзон и напоминает сотовую структуру, поэтому территориальные мобильные системы часто называются *сотовыми* системами. Нарращивание количества сот позволяет теоретически неограниченно расширять площадь зоны обслуживания, при этом качество радиоканалов будет высоким,

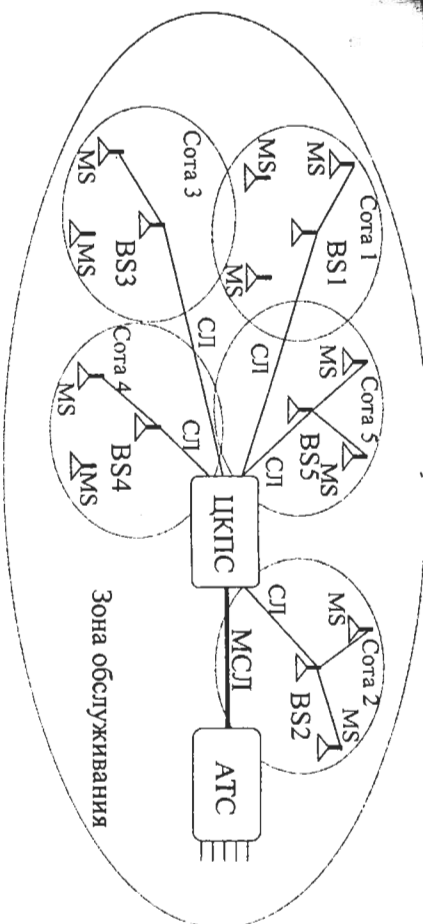


Рис. В3. Построение сотовой ССПС.

независимо от расположения MS в любой точке зоны. В пределах каждой соты облюдается принцип связности, т.е. каждая BS устанавливается в месте, обеспечивающем устойчивую связь с любой MS, находящейся в пределах площади соты. Достоинствами сотовой системы мобильной связи являются высокое качество каналов с мобильными абонентами, независимо от того в какой точке территории они находятся, а также возможность создания больших зон обслуживания.

К недостаткам сотовых систем относятся: существенное увеличение количества каналов радиосвязи (рабочих частот) и сложности построения инфраструктуры, обеспечивающей связь радиорунья системы со стационарной сетью телефонной связи. Поскольку все коммутации в сотовой системе связи обеспечиваются с помощью ЦКПС, то надежность его работы будет определять надежность работы всей системы.

ЛИНЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ индивидуальной радиотелефонной связи создавались как средство повышения сервисных услуг телефонной сети. При наличии *базового* телефонного аппарата, являющегося неподвижной радиостанцией, подключаемой к линии телефонной связи, система позволяет формировать дуплексный радиоканал при перемещении мобильного телефонного аппарата в пределах ограниченного расстояния.

Таким образом, базу *линейной* системы составляет дуплексная пара рабочих частот (дуплексный канал), обеспечивающий связь мобильного терминала (MT) абонента с базовым терминалом (BT), соединенным с линией телефонной связи (рис. В4,а). Другим вариантом использования линейных мобильных систем является организация радиоканала с MS при выезде абонента из подвижного объекта (рис. В4,б).

Линейные системы могут использоваться также для телефонизации удаленных объектов (отдельные дома, хутора и т.д), кабельные соединительные линии к которым прокладываются целесообразно или невозможно.

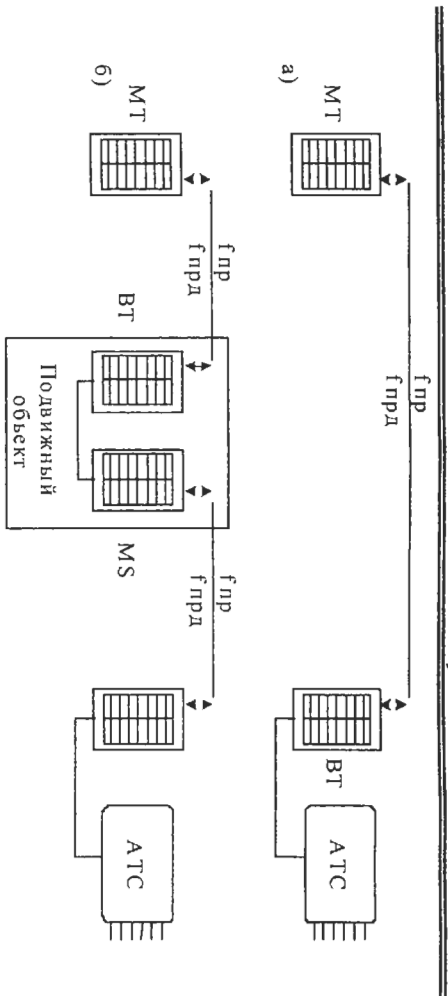


Рис. В4. Организация линейной ССПС

Таким образом, линейные ССПС позволяют с помощью радиоканалов обеспечивать как бы удлинение кабеля телефонной трубки. Поэтому такие системы часто называются *радиодлинными*. На бытовом уровне подобные системы широко используются в квартирных телефонных аппаратах.

Достоинствами линейных систем мобильной связи являются удобство эксплуатации, возможность более эффективного использования стационарной телефонной сети. К недостаткам систем относятся ограниченные расстояния радиолинии, а также возможность несанкционированного использования абонентского телефонного аппарата.

ГЛОБАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ спутниковой радиотелефонной связи по принципам организации связи не отличаются от наземных систем мобильной связи. Отличие состоит в том, что в качестве BS применяются бортовые радиостанции (BS6) искусственных спутников земли (ИСЗ), находящиеся на низких орбитах вращения (рис. В5).

Система управляемых антенно-фидерных устройств (АФУ) BS6 позволяет обеспечивать высокий энергетический потенциал радиолинии в любой точке зоны обслуживания на земле и использовать слаборазвернутые антенны MS для непосредственной связи с BS6.

Для связи мобильного абонента с любым мобильным или стационарным абонентом бортовая BS6 имеет специальный радиоканал со станцией сопряжения, т.е. наземной базовой станцией (BSн), которая с помощью коммутационного оборудования (КО) соединяется с АТС. Ретрансляция сообщений может осуществляться двумя способами. Первый способ предусматривает организацию специальных радиоканалов между BS6 ИСЗ (ретрансляция в космосе). Второй способ предусматривает организацию ретрансляции с помощью BSн (ретрансляция на земле).

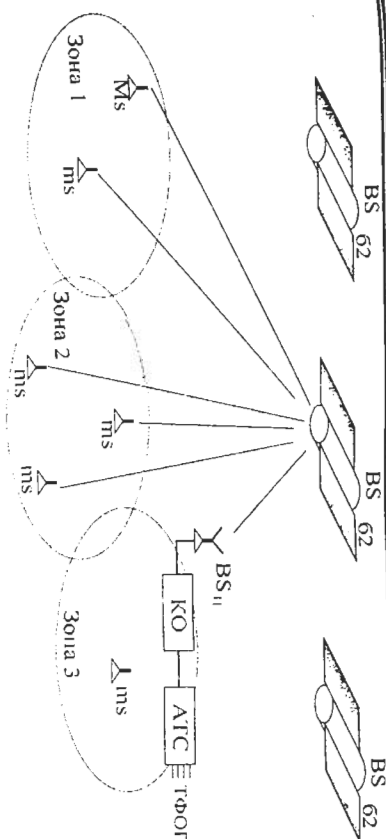


Рис. В5. Организация спутниковой ССПС

Системы спутниковой радиотелефонной связи позволяют обеспечивать связь между мобильными абонентами различных континентов, поэтому такие системы часто называются *глобальными* системами мобильной связи.

СИСТЕМЫ ПЕРСОНАЛЬНОГО РАДИОВЫЗОВА (СПРВ) являются радиальными системами с односторонней связью, в которых радиосообщения передаются мобильному абоненту в виде коротких формализованных команд. Вызывные сообщения поступают на базовый передатчик через специальную контрольно-диспетчерскую (КДС) или контрольно-оконечную станцию (КОС), связанную со стационарной сетью телефонной связи (рис. В6).

Форма радиосообщений может быть цифровой и аналоговой. Сообщения отражаются на дисплее приемного терминала или излучаются в виде звуковых сигналов (*блин-блин* – поэтому такие системы иногда называют *блиновыми* системами связи). Аналоговые сообщения принимаются в виде коротких фраз или слов.

Приемные терминалы позволяют представлять собой миниатюрные радиоприемные устройства, которые заранее настраиваются на общую рабочую частоту базового радиопередатчика.

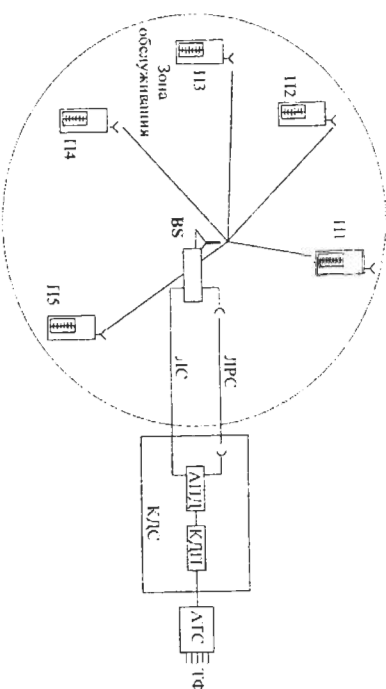


Рис. В6. Организация связи СПРВ

Поскольку основной задачей системы является поиск (paging) подвижного абонента и передача команды оповещения, то такие системы часто называются *нейджинговыми*, а приемные терминалы пользователей - *нейджеррами*. Нейджер может хранить в своей памяти несколько сообщений и извещать о них не только звуком и отображением, но и дрожанием (*vibrate* из *кармана*). Увеличение зоны обслуживания системы обеспечивается путем использования достаточно мощных передатчиков базовых станций, вынесенных территориально ретрансляторов (репитеров) и размещения антенн на значительных высотах, а также на ИСЗ.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ И ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ СВЯЗИ ПОДВИЖНОЙ СЛУЖБЫ

1. Особенности радиоканалов мобильной связи

Система связи подвижной службы (СПС) вне зависимости от ее вида и назначения должна иметь возможность включения в другую систему в общей иерархии систем связи, использующих Единую Национальную Сеть Связи (ЕНСС). Это накладывает жесткие требования на условия сопряжения систем, следовательно, и на каналы мобильной радиосвязи. Так, количество каналов радиосвязи должно удовлетворять возможности массового обслуживания абонентов. Каналы радиосвязи должны иметь полосы частот, обеспечивающие передачу стандартных сигналов.

Помехи и искажения в радиоканалах не должны ухудшать качество составных каналов при сопряжении различных систем связи. Входные и выходные уровни радиосистемы должны обеспечивать стандартный интерфейс между каналами различных систем.

Выполнение указанных требований встречает серьезные трудности, связанные с существенным отличием каналов подвижной радиосвязи от каналов стационарных систем, обусловленные особенностями линий радиосвязи и спецификой работы мобильных радиостанций.

Каналы подвижной радиосвязи представляют совокупность технических устройств (терминалов) и линий радиосвязи, обеспечивающих передачу (прием) сообщений от источников к получателям посредством распространения электромагнитной энергии в пространстве.

Терминалы системы включают радиопередатчики, радиоприемники и антенно-фидерные устройства (рис. 1.1).

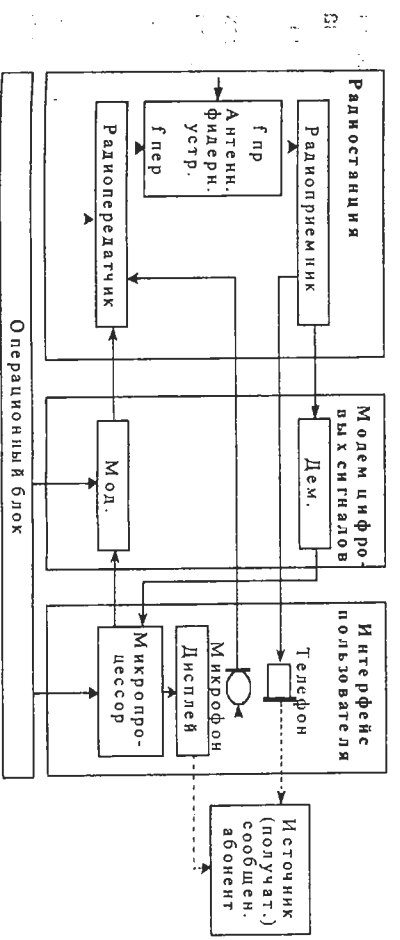


Рис 1.1. Структурная схема терминала мобильной связи

Радиопередатчики обеспечивают преобразование сообщений в радиосигналы. *Радиоприемники* осуществляют обратное преобразование радиосигналов в сообщения. Антенные устройства (АУ) преобразуют радиосигналы электрической цепи в форму электромагнитного поля. Антенные устройства могут быть приемными, передающими и приемно-передающими. С выходом передатчика (выходом приемника) АУ соединяются с помощью фидерных линий (фидерных устройств). Совокупность радиопередатчика, радиоприемника и антенно-фидерного устройства (АФУ) составляет *радиостанцию*.

Источником (получателем) сообщений может быть абонент, осуществляющий радиотелефонную связь, или оконечное устройство - цифровой автомат (микропроцессор, ЭВМ), осуществляющий обработку дискретной информации. При передаче телефонных сообщений первичные электрические сигналы от микрофона интерфейса пользователя поступают на радиопередатчик. При приеме телефонных сообщений первичные электрические сигналы с выхода радиоприемника поступают на телефон интерфейс пользователя. При телекодовой радиосвязи цифровые последовательности от ЭВМ поступают на радиостанцию через модем, который обеспечивает их преобразование в помехоустойчивую форму с требуемой скоростью передачи. В некоторых мобильных системах, например, в сотовой системе связи, ЭВМ и блок логики объединяются в единое устройство, входящее совместно с радиостанцией в состав мобильных станций (MS). В состав MS входят также оконечные устройства (микрофон, телефон, операционный блок управления).

В зависимости от типа и назначения мобильной системы связи каналы могут быть *симплексными* и *дуплексными*. При использовании симплексных каналов радиосвязь организуется на одной рабочей частоте, на которую настраивается радиоприемник и радиопередатчик MS. Сообщения передаются попеременно то в одну, то в другую сторону. Системы, использующие симплексные радиоканалы, как правило являются локальными (автономными). Каналы симплексных систем не могут сопрягаться со стандартными каналами стационарных сетей ТФОП. Наиболее часто симплексный принцип обмена сообщениями применяется в транкинговых системах радиосвязи диапазона дециметровых волн (ДКМ).

Дуплексные радиоканалы используются в мобильных системах радиотелефонной связи общего пользования (сотовой и спутниковой) мобильной системе связи), а также в радиодуплинителях. Радиосвязь между радиостанциями организуется на двух рабочих частотах - частоте передачи $f_{\text{рад}}$ и приема $f_{\text{пр}}$.

В качестве *линии связи* любого радиоканала используется естественная среда распространения радиоволн, то есть пространство между передающими и приемными антеннами радиостанций. Поскольку местоположение подвижных терминалов в пространстве постоянно меняется, то это приводит к

неопределенности оценки направления радиосвязи и обуславливает необходимость использования малозеркативных антенн с круговой диаграммой направленности.

При формировании радиолиний в системах мобильной связи используется, как правило, диапазон ультракоротких волн (УКВ), включающий *сверхвысокие частоты* - УВЧ) и сантиметровые волны (сверхвысокие частоты \times СВЧ). Радиоволны этих диапазонов не имеют свойств ионосферного отражения [7]. Механизмом передачи энергии сигналов является электромагнитное поле, распространяющееся прямолинейно. При связи между наземными объектами радиоволны распространяются вдоль поверхности земли (земные волны) [33]. При связи между наземной станцией и спутниковой станцией радиоволны распространяются в тропосфере и ионосфере. Виду непосредственного приближения антенн к земле в наземных терминалах средней распространения радиоволн служит нижняя часть атмосферы земли - *тропосфера*. Тропосфера в непосредственной близости от земли отличается постоянством параметров диэлектрической проницаемости ϵ_r и удельной проводимости σ_r , причем, ϵ_r в нижнем слое, непосредственно примыкающем к земле, приближается к диэлектрической проницаемости свободного пространства (вакуума) $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ [ф/м]. Это обуславливает постоянство коэффициента преломления радиоволн в тропосфере на протяжении трассы радиосвязи $n_{\text{тр}} \cong \sqrt{\epsilon_3 / \epsilon_0} \cong 1,003$. Таким образом, приземный слой тропосферы практически не оказывает влияния на прямолинейность траекторий трасс радиосвязи.

Достоинствами используемых для мобильной радиосвязи диапазонов волн являются:

- большая частотная емкость, позволяющая создавать значительное количество каналов радиосвязи с достаточно широкими полосами частот $N_f = (f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}) / \Delta f_c$, где N_f - количество рабочих частот (каналов радиосвязи), $f_{\text{макс}}$, $f_{\text{мин}}$ - максимальная и минимальная частоты используемого диапазона, Δf_c - ширина полосы частот, выделяемая на один канал радиосвязи;
- возможность применения стандартных помехоустойчивых видов связи (телефон, передача данных, телеметрия) с классами сигналов F3 (частотная модуляция), F1 (частотная манипуляция), F9 (относительно-фазовая манипуляция), что позволяет передавать телефонные и телеграфные сообщения со скоростью $V = (1200 \dots 3600) \text{бит/с}$;
- отсутствие влияния атмосферных помех и аддитивных сосредоточенных помех дальних УКВ радиостанций.

К недостаткам используемых диапазонов волн следует отнести:

Классификация радиосвязи

- Большие затухания сигналов на трассах радиосвязи, достигающие (140...160)дБ;
 - значительные колебания уровней радиосигналов при движении объектов с глубиной замираний (100...120)дБ;
 - воздействие взаимных помех, создаваемых радиостанциями мобильной системы связи, при одновременной работе в ограниченном объеме пространства [18];
 - воздействие сосредоточенных помех других связанных излучающих систем, работающих в ближней зоне электромагнитного взаимодействия (радиорелейные, радиолокационные, телевизионные станции), а также не связанных излучающих объектов (рентгеновские аппараты, сварочные аппараты и др.).
- Характерные особенности радиолиний учитываются при анализе физических процессов, протекающих в каналах мобильных систем радиосвязи.

2. Затухание, дифракция и отражение радиоволн при работе наземной мобильной связи

При распространении радиоволн в свободном пространстве амплитудное значение напряженности электрического поля сигнала $E_{мсв}$ на расстоянии r от передающей антенны определяется выражением [22]:

$$E_{мсв} = \frac{\sqrt{60R_{\Sigma}} D_{прд}}{r} F(\phi, \theta) \quad (1.1)$$

где R_{Σ} - излучаемая мощность радиопередаточного устройства;

$D_{прд}$ - коэффициент направленного действия передающей антенны;

$F(\phi, \theta)$ - характеристика направленности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскости.

Выражение (1.1) показывает, что напряженность поля сигнала в месте приема уменьшается обратно пропорционально расстоянию связи r вследствие *померы передачи* в свободном пространстве.

При распространении радиоволн в тропосфере потери напряженности поля будут определяться *тангенсом угла померь* $tg \delta = 60 \sigma_{тр} \lambda / \epsilon_{тр}$, где $\sigma_{тр}$, $\epsilon_{тр}$ - соответственно удельная проводимость и диэлектрическая проницаемость тропосферы, а λ - длина волны. Дисперсионные свойства приземного слоя тропосферы (до $h \approx 8$ км) определяются ее газовым составом, температурой, давлением и влажностью.

Нормальная тропосфера [4] с параметрами $T=288^{\circ}K$, $p=0,1013$ кПа и влажностью 60% для диапазона УКВ является диэлектриком ($tg \delta \ll 1$), в норм радиоволны распространяются практически без потерь. Однако, в тропосфере имеются водяные пары (гуман, дождь) или взвешенные частицы (дым, пыль). Это обуславливает уменьшение напряженности поля из-за тепловых потерь на движение молекул газа. Величина поглощения *вдвигается* коэффициентом потерь в зоне неоднородности $\xi_{зн}$:

$$\xi_{зн} = e^{-\alpha \cdot r_{зн}} \quad (1.2)$$

где $\xi_{зн}$ - коэффициент ослабления напряженности поля сигнала в зоне неоднородности;

α - постоянная затухания напряженности поля;

$r_{зн}$ - протяженность зоны неоднородности.

С увеличением протяженности зоны неоднородности $r_{зн}$ поглощение энергии радиосигнала увеличивается. Особенно ощутимы потери для диапазонов УВЧ и СВЧ (рис. 1.2).

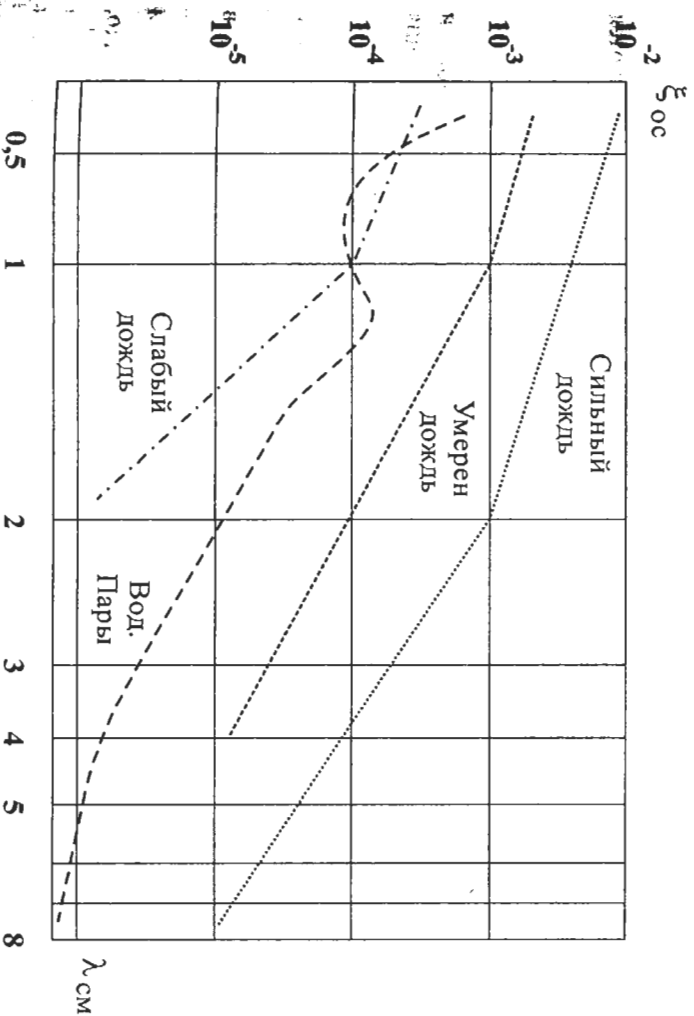


Рис. 1.2. Влияние неоднородности среды распространения радиоволн.

Воздействие тропосферы на распространение радиоволн оказывается не основным. Более существенное влияние оказывает подстилающая поверхность трассы радиосвязи (земля). Почва земли включает сухой грунт и водные растворы солей, которые определяют существенные разбросы дисперсионных параметров ϵ_3 - диэлектрической проницаемости и σ_3 - удельной проводимости земли. Вследствие этого на трассе радиосвязи могут проявляться эффекты отражения и поглощения радиоволн. Условия распространения радиоволн определяются тангенсом угла потерь в земле $tg\delta = 60\sigma_3\lambda/\epsilon_3$ [4].

При $tg\delta > 1$ преобладающим оказывается *ток проводимости* и земля проявляет свойства отражения радиоволн.

При $tg\delta < 1$ в подстилающей поверхности трассы радиосвязи преобладающим оказывается *ток смещения*. Часть энергии электромагнитного поля сигнала под углом преломления распространяется вглубь земли и поглощается в виде тепловых потерь на движение молекул.

При низко поднятых антеннах поглощение энергии электромагнитного поля в земле увеличивается. Коэффициент тепловых потерь в земле ξ_3 определяется коэффициентом Ван-дер Поля [14]:

$$\xi_3 = \frac{\rho}{r}, \quad \text{где } \rho = \frac{\sqrt{2}\lambda\epsilon_3^2(1+tg^2\delta)}{\pi\sqrt{(\epsilon_3-1)^2+(\epsilon_3tg\delta)^2}} \quad (1.3)$$

При высоко поднятых антеннах потери в земле оцениваются коэффициентом А.Б.Введенского [4]:

$$\xi_3 = \frac{\rho}{r}, \quad \text{где } \rho = \frac{4\pi h_{np}d^2 h_{pr}}{\lambda} \quad (1.4)$$

С учетом влияния неоднородной среды распространения радиоволн и подстилающей поверхности (земли) выражение амплитудного значения напряженности поля сигнала в месте приема принимает вид:

$$E_m = \frac{\sqrt{60P_s D_{npd}}}{r} \xi_{3m} \xi_3 F(\phi, \theta) \quad (1.5)$$

Из-за влияния коэффициентов ξ_3, ξ_{3m} напряженность поля сигнала в месте приема по мере распространения радиоволн существенно снижается.

Реально трассы радиосвязи мобильных систем имеют участки подстилающей поверхности с различными значениями σ_3, ϵ_3 . Однако, вследствие сравнительно небольших дальностей мобильной радиосвязи значения параметров может братья усредненными. Обычно берутся значения σ_3, ϵ_3 , соответствующие параметрам "влажной почвы" $\sigma_3 \approx (0,1...0,01)$, $\epsilon_3 \approx (15...30)$.

Таким образом, подстилающая поверхность трасс мобильной радиосвязи диапазона СВЧ является полупроводником, а для диапазона СВЧ приближается к диэлектрику.

Причинами потерь напряженности поля радиосигналов в месте приема являются также рельеф местности. Поскольку антенны радиостанций находятся в непосредственной близости от земли, то на трассах радиосвязи выявляются крупномасштабные объекты, которые экранируют приемные антенны от передающих, затрудняя или полностью исключая условия прямой видимости. Чем больше нересеченность местности, тем большее влияние она оказывает на условия прямой видимости станций. Ослабление поля сигнала при этом зависит от величины просвета трассы радиосвязи и расстояния до экранирующего объекта (рис.1.3, а).

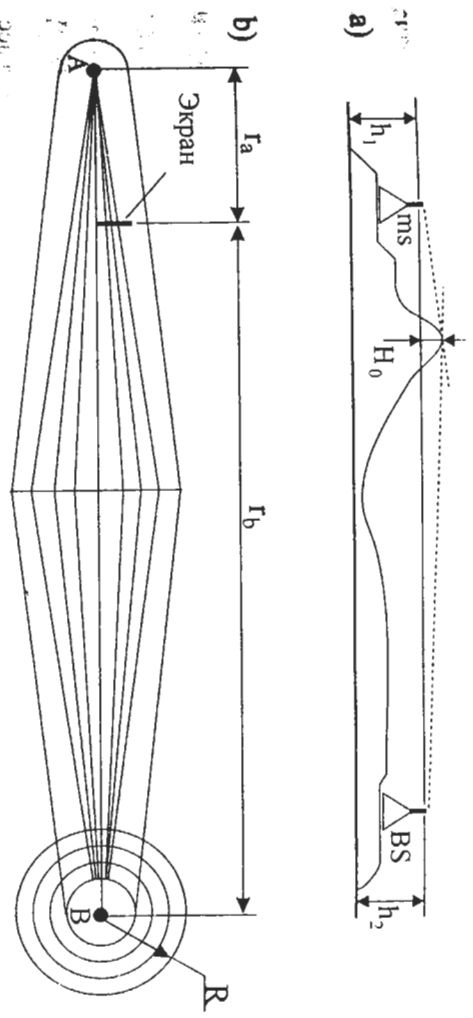


Рис.1.3. Экранирование MS на трассе радиосвязи

Параметры трассы радиосвязи H_0, r_a, r_b , а также длина волны λ определяют значение обобщенного параметра d:

$$d = H_0 \sqrt{\frac{2(r_a + r_b)}{r_a r_b \lambda}} \quad (1.6)$$

Обобщенный параметр d определяет размеры той части пространства между радиостанциями А и В, в которой распространяется основная доля энергии электромагнитного поля, называемой *областью существования при радиосвязи радиус Р первой зоны Френеля* (рис.1.3 б), то напряженность поля сигнала в месте приема будет практически соответствовать напряженности поля при открытой трассе. Если же величина экрана будет больше радиуса первой зоны

Френеля, то, несмотря на формально закрытую трассу, ослабление напряженности поля сигнала будет определяться в зависимости от дифракционного параметра d (эффект *дифракции* — отблание радиоволнами крупных экранирующих объектов).

При расчете неподвижных (стационарных) линий УКВ радиосвязи дифракционное ослабление напряженности поля сигнала удобно учитывать с помощью коэффициента дифракционных потерь $\xi_{дп}$, определяемого как функцию параметра d графическим путем (рис. 1.4).

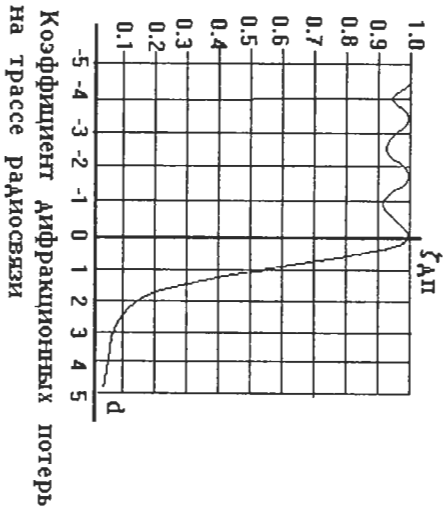


Рис. 1.4. Определение коэффициента дифракционных потерь. $\xi_{дп}$ в стационарных линиях радиосвязи

В мобильных системах связи в процессе движения MS параметры трасс радиосвязи r_a, r_b, H_0 постоянно изменяются. Графический способ оценки коэффициента $\xi_{дп}$ оказывается непригоден. Для подвижной системы коэффициент дифракционных потерь оценивается экспоненциальной зависимостью:

$$\xi_{дп} = e^{-\beta_{дп}}, \quad (1.7)$$

где $\beta_{дп} = Zr_3$ - показатель дифракционных потерь;

$$Z = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{\frac{\epsilon}{3}} \sqrt{1 + tg^2 \delta} - 1$$

- постоянная затухания экрана;

ϵ_3 - диэлектрическая проницаемость экрана;

r_3 - протяженность экрана;

f - частота излучения;

c - скорость света.

Показатель дифракционных потерь $\beta_{дп}$ в разнородной трассе определяется путем ее деления на множество участков Δr_i в пределах каждого из которых условия экранирования могут считаться постоянными. В этом случае выражение показателя дифракционных потерь $\beta_{дп}$ записывается в виде:

$$\beta_{дп} = \sum_{i=1}^n z_i \Delta r_i; \quad (1.8)$$

где z_i - постоянная затухания i -го участка трассы;

Δr_i - протяженность экрана i -го участка трассы;

n - количество дифракционных участков трассы.

С учетом коэффициента $\xi_{дп}$ амплитудное значение напряженности поля сигнала в месте приема (1.5) примет вид:

$$E_m = \frac{\sqrt{60 P_{\Sigma} D_{прд}}}{r} \xi_{зн} \xi_3 \xi_{дп} F(\phi, \theta) \quad (1.9)$$

Мощность сигнала на входе радиоприемника $P_{пр}$ при максимальной направленности передающей антенны $F(\phi, \theta) = 1$, выражаемая через эффективную площадь приемной антенны $A_{эф} = D_{пр} \lambda^2 / 4\pi$ и мощность сигнала в точке приема, удаленной на расстояние r от передающей антенны определяется как:

$$P_{пр} = A_{эф} P_c = \frac{P_{\Sigma} D_{прд} D_{пр} \lambda^2}{(4\pi r)^2} \xi_{зн} \cdot \xi_3 \cdot \xi_{дп} \quad (1.10)$$

Отношение $P_{пр} / P_{\Sigma}$, полученное из выражения (1.10), является коэффициентом передачи канала $P_{пр} / P_{\Sigma} = \mu \cdot e^{-2\beta_{дп}}$, где μ - коэффициент передачи канала. В соответствии с суммированием MS является случайной величиной, формируемой суммированием независимых случайных величин Z_i и Δr_i . В соответствии с центральной предельной теоремой [21] плотность вероятности случайной величины $\beta_{дп}$ будет иметь нормальный закон распределения:

$$W(\beta_{дп}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{\beta_{дп}}} \exp \left[-\frac{(\beta_{дп} - m_{\beta_{дп}})^2}{2\sigma_{\beta_{дп}}^2} \right], \quad (1.11)$$

Где $\sigma_{\text{дн}} \cdot \sigma_{\text{дн}} \cdot \sigma_{\text{дн}}$ - соответственно дисперсия и математическое ожидание показателя $\beta_{\text{дн}}$.

Соответственно плотность коэффициента передачи канала будет иметь логарифмически - нормальный закон распределения:

$$W(|K|) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\ln k}} \exp\left[-\frac{(\ln|K| - m_{\ln k})^2}{2\sigma_{\ln k}^2}\right], \quad (1.12)$$

где $|K| = |P_{\text{пр}} / P_{\Sigma}|$ - модуль коэффициента передачи канала;

$\sigma_{\ln k}, m_{\ln k}$ - соответственно дисперсия и математическое ожидание $\ln|K|$.

Поскольку значение излучаемой мощности радиостанций мобильной системы является постоянной величиной $P_{\Sigma} = \text{const}$, то дисперсия и математическое ожидание в выражении (1.12) относятся к колебаниям мощности сигнала на входе приемника $P_{\text{пр}}$.

Таким образом, мощность сигнала в месте приема, формируемая регулярным лучем, при движении MS будет изменяться по логарифмически - нормальному закону, определяя общие медленные замирания всех частотных составляющих радиосигнала, относительно его медианного значения [13].

Статистические исследования трасс мобильной радиосвязи [7] в диапазонах УКВ показывают, что отражающими объектами могут быть отдельные участки земли, а также отдельные объекты, для которых выполняется условие $\text{tg } \beta > 1$. Отражающие объекты играют роль вторичных (пассивных) излучателей (рис.1.5).

Отраженные лучи при этом будут иметь различные разности хода, так как расстояние от вторичных излучателей до приемной радиостанции будут различными. Таким образом, на входе радиоприемника даже при экранировании регулярного луча появится радиосигнал образованный путем интерференционного сложения отраженных лучей. Поскольку в процессе функционирования системы MS постоянно перемещаются, то изменяется и количество отражающих объектов с различной эффективностью отражения и разностью хода лучей. Вследствие этого отраженный сигнал на входе радиоприемника будет постоянно колебаться (флуктуировать). Мощность сигнала на входе радиоприемника, создаваемая путем интерференционного сложения мощностей отраженных лучей, является флуктуирующей мощностью $P_{\text{фл}}$:

$$P_{\text{фл}} : P_{\text{фл}} = \sum_{i=1}^Z P_{\text{отпр}} \quad (1.13)$$

где $P_{\text{отпр}}$ - мощность сигнала, формируемая в месте приема i -м отраженным лучом;
 Z - количество отраженных лучей.

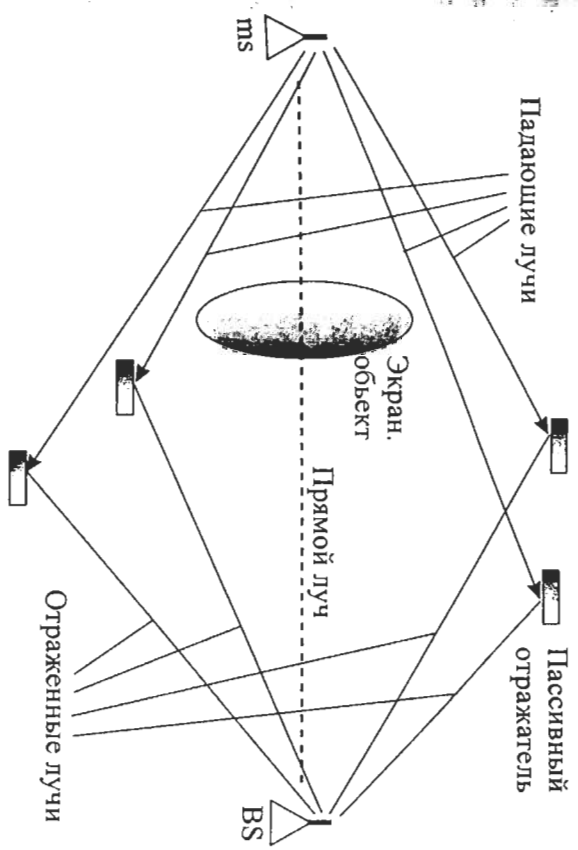


Рис.1.5 Отражение радиоволн на трассе радиосвязи

При наличии только флуктуирующей мощности в месте приема плотность распределения модуля коэффициента передачи канала будет определяться законом Релея [15]:

$$W(|K|) = \frac{|K|}{\sigma_k^2} \exp\left(-\frac{K^2}{2\sigma_k^2}\right), \quad (1.14)$$

где $|K| = |P_{\text{пр}} / P_{\Sigma}|$ - модуль коэффициента передачи канала;

σ_k - дисперсия модуля коэффициента передачи канала.

Колебания флуктуирующей мощности в отличие от дифракционных помеханий регулярной мощности имеют существенно меньший период и выявляются при передаче цифровых кадров.

Интерференционные замирания сигнала могут возникать также вследствие перемещения объектов с различной скоростью, в результате явления доплеровского сдвига частоты Δf_d [19]:

$$\Delta f_d = \pm \sqrt{\epsilon_{\text{тр}}} V_r / c, \quad (1.15)$$

где $\epsilon_{\text{тр}}$ - диэлектрическая проницаемость среды распространения радиоволн (тропосферы);

V_r - радиальная составляющая скорости перемещения объекта;
 c - скорость распространения радиоволн.

Величина Δf_d зависит от угла между направлением передачи и вектором радиальной составляющей скорости перемещения объекта. В результате доплеровского сдвига несущей частоты сдвигается весь спектр частот передаваемого сигнала или его часть. Частота флукутаций уровня сигнала при движении объектов особенно проявляется в условиях города $f_{\phi d} = (1 \dots 2) v / \lambda$. При скорости $v = (60 \dots 80)$ км/ч периоды флукутаций составляют $T_{\phi d} = (0,4 \dots 0,8) \lambda$. При увеличении скорости перемещения терминалов спектр сигнала, сдвигаясь по оси частот, может не совпадать с полосой частот основной избирательности радиоприемника. Особенно чувствительными к доплеровским искажениям оказываются сигналы с угловой модуляцией. При построении приемопередающей аппаратуры мобильной радиосвязи этот недостаток устраняется с помощью системы автоматической подстройки частоты и введением эквалайзеров при обработке сигналов. При энергетических расчетах каналов мобильной системы связи быстрее замирания учитываются через коэффициент интерференционных замираний $\xi_{из}$.

Таким образом, при отсутствии эффекта полного экранирования трассы радиосвязи и наличии в месте приема отражающих объектов образуется результирующая мощность сигнала как результират наличия регулярной $P_{рез}$ и флукутирующей $P_{\phi d}$ мощностей:

$$P_{рез} = P_{рез} \pm P_{\phi d} \quad (1.16)$$

Поскольку энергетический потенциал радиолиний мобильной связи ограничен (малыми мощностями и малозффективными антеннами MS), то отражение радиоволн от пассивных излучателей будет наблюдаться в ограниченной зоне. Малые геометрические размеры области отражения обуславливают и малые разности хода отраженных лучей. Это означает сильную коррелированность суперпозиции отраженных лучей с регулярным лучом. При этом мощности $P_{\phi d}$, $P_{рез}$ могут складываться не только в фазе, но и в противофазе, определяя увеличение или уменьшение результирующей мощности $P_{рез}$.

Наличие дифракционных логарифмически - нормальных замираний составляющей $P_{рез}$ и интерференционных (Релеевских) замираний составляющей $P_{\phi d}$ определяют условие локальной стационарности канала как отношение мощностей $q^2 = P_{рез} / P_{\phi d}$ [15].

Практика показывает [18], что уже при $q^2 \geq 10$ интерференционные замирания как результират наличия отраженных лучей, практически не ощутимы и проявляются только вследствие доплеровского сдвига частоты при движении MS. Результирующая мощность формируется в основном за счет наличия

дного луча, обеспечивая условия локальной стационарности канала. В других системах это достигается путем использования стационарных станций (BS), которые размещаются на площадях функционирования системы в таких местах, чтобы до минимума снизить возможность замирания трассы радиосвязи. Каждая из BS обеспечивает требуемую мощность $P_{рез}$ в своей зоне обслуживания (соте). Следует, однако, иметь в виду, что, в условиях сильно пересеченной местности (город, гористая местность) радиочастоты BS не исключают появление в месте приема мощностей $P_{\phi d}$ и отсутствие мощностей $P_{рез}$.

При определении зоны покрытия должны учитываться все особенности пересеченной местности с целью максимального исключения теневых участков возможных трасс радиосвязи. В зоне покрытия радиосвязь должна обеспечиваться практически из любой точки нахождения MS. Это достигается только координатным размещением BS, но и выбором высот их положения, предоставляющих для данной местности и учитывающих основные направления трасс радиосвязи. Использование антенн направленного действия, диаграммы направленности которых частично перекрываются, позволяет формировать круговую диаграмму направленности BS. Кроме того, предусматривается возможность изменения излучаемой мощности и её автоматическую регулировку в каждом отдельном субканале.

1.2. Энергетические соотношения в радиоканалах наземной мобильной связи. Условие связности в системе.

Пусть на площади (в пространстве) работает группа мобильных станций (MS), обслуживаемых одной базовой станцией (BS) - ретранслятором. Организационное построение такой группы может соответствовать соте или сети мобильной радиосистемы (рис. 1.6).

Радиосвязь в группе может организовываться по принципу *каждый с каждым* (радионаправлений) или *один со многими* (радиосети). В первом случае формируются радионаправления через BS между любыми MS, или MS и абонентами сети ТФОП (PSTN). Для этого BS выделяет рабочие частоты $f_{рд}$ и для формирования направлений радиосвязи между абонентами. Во втором случае BS выделяет пару рабочих частот для рабочего ансамбля станций на которых осуществляется радиосвязь вызывающего абонента с группой обслуживаемых абонентов. При этом частота передачи может занимать каждой MS попеременно. После передачи информации передатчик станции должен исключаться. Такой режим работы характерен для организации радиосети при использовании частотно-модулированных сигналов. Расстояние радиосвязи r между MS и BS в процессе перемещения постоянно изменяется ($r = v \cdot t$). Моменты установления радиосвязи в группе при работе системы могут падать на случайными и независимыми событиями.

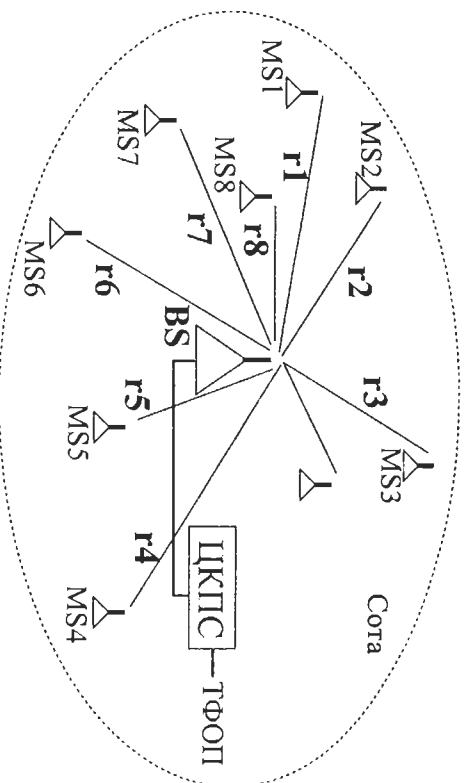


Рис. 1.6. Обеспечение связи в группе мобильных станций

В процессе работы на входах радиоприемных устройств MS присутствуют не только полезные сигналы, но и сигналы мешающих источников излучения (сигналы помех). Таким образом, радиосвязь между BS и любой MS в случайный момент времени будет обеспечена в случае, если энергия полезных сигналов в местах приема, будет превышать энергию помех. Условие *связности* в группе MS может быть записано в виде энергетического соотношения [35,36]:

$$P_{npi} \cdot t_{cv} > \nu^2 \left(\sum_{i=1}^n P_{ni} \cdot t_n \right), \quad (1.17)$$

где P_{npi} - мощность полезного сигнала на входе приемника i -й MS;

P_{ni} - мощность помехи на входе приемника i -й MS;

t_{cv} - время ведения радиосвязи;

t_n - время воздействия помехи;

n - количество групп мешающих источников излучения;

ν^2 - коэффициент превышения энергии полезного сигнала над суммарной энергией помех.

Поскольку время воздействия помех в канале учитывается только в периоды установления и ведения связи $t_{cv} = t_n$, то в условии (1.17) время можно упустить не нарушая строгости неравенства. Рассмотрим каждую из частей неравенства (1.17).

Левая часть неравенства (1.17) представляет энергию полезного сигнала в точке приема, образованную j -го передатчиком мобильной системы, удаленным от i приемника на расстояние r_{ij} . Используя (1.10), запишем выражение мощности сигнала на входе i приемника P_{npi} в виде:

$$P_{npi} = \frac{P_{\Sigma j} D_{nrdj} D_{nri} \lambda^2}{(4\pi r_{ij})^2 \xi_{ij}}, \quad (1.18)$$

где $P_{\Sigma j}$ - излучаемая мощность j -го передатчика;

D_{nrdj} , D_{nri} - коэффициенты направленного действия i -го приемника и передающей антенны j -го передатчика;

ξ_{ij} - общий коэффициент потерь и замирания сигнала ij трассы радиосвязи;

r_{ij} - расстояние между i и j радиостанциями.

Правая часть выражения (1.17) представляет суммарную мощность электромагнитных излучений, создаваемых различными группами источников помех. Для мобильных систем радиосвязи характерны три группы мешающих источников излучений. Первую группу составляют источники излучения своего ансамбля радиосредств, работающих на ограниченной площади. Несмотря на то, что радиостанции работают на различных частотах передачи и приема, в результате внеполосных излучений передатчиков, наличия побочных каналов приема приемников и повторения рабочих частот, возникают мешающие уровни излучений, суммарная мощность которых воздействует на приемники системы. Эта мощность классифицируется как мощность взаимных помех $P_{nвз}$:

$$P_{nвз} = \sum_{k=1}^L \frac{P_{\Sigma k} D_{nri} D_{nrk} \lambda^2}{(4\pi r_{ik})^2} \cdot \xi_{ik}, \quad (1.19)$$

где $P_{\Sigma k}$ - мощность сигнала k -го передатчика мобильной системы;

D_{nri} , D_{nrk} - коэффициенты направленного действия приемной антенны i -й радиостанции и передающей антенны k -й радиостанции;

r_{ik} - расстояние между i -й и k -й радиостанциями;

L - количество мешающих радиостанций;

ξ_{ik} - коэффициент потерь и замирания ik трассы.

Таким образом, мощность $P_{nвз}$ является суммарной мощностью помех ансамблю радиостанций своей системы, работающих на передачу.

Вторую группу помех составляют излучения источников других систем радиосвязи, а также не связанных излучателей электромагнитного поля. Эти

помехи классифицируются как внешние помехи, мощность которых $P_{\text{вн}}$ определяется выражением:

$$P_{\text{вн}} = \frac{E^2 \lambda^2 \Delta F_{\text{эф}} \psi D_{\text{пр}}}{(30\pi)^2}, \quad (1.20)$$

где E^2 - квадрат напряженности поля, создаваемого суммарным воздействием внешних помех;

λ - длина волны;

$\Delta F_{\text{эф}}$ - эффективная полоса частот сигнала помех;

ψ - коэффициент несопадения полосы частот тракта приема с полосой частот помехи;

$D_{\text{пр}}$ - коэффициент направленного действия приемной антенны.

Третью группу помех определяют внутриканальные помехи, основу которых составляют внутренние шумы трактов приема. Любой радиоприемник может быть представлен последовательностью пассивных и активных четырехполюсников каждый из которых имеет собственные шумы. Общие шумовые свойства приемного тракта, характеризующие его чувствительность, определяются коэффициентом шума $N_{\text{ш}}$ и коэффициентом передачи по мощности K_p . Мощности шума, действующего на входе приемного тракта, определяется также внешними и внутренними шумами антенны [22].

Внешние шумы антенны обусловлены шумами космоса, атмосферы и земли. Величина внешних шумов определяется относительной шумовой температурой антенны $t_a = T_a / T_0$, где $T_a = T_{\Sigma} \eta_a + (1 - \eta_a) T_0$, $T_{\Sigma} = T_{\text{косм}} + T_{\text{атм}}$ - температура излучения антенны.

Внутренние шумы антенны определяются ее шумовыми свойствами как $R_{\text{швн}} = k \cdot T_0 \cdot \Delta F_{\text{эф}} / 4R_{\Sigma}$, где k - постоянная Больцмана ($k=1,38 \cdot 10^{-23}$), $T_0=290$ К - абсолютная шумовая температура антенны, $\Delta F_{\text{эф}}$ - эффективная шумовая полоса тракта приема, R_{Σ} - сопротивление излучения антенны.

Таким образом, мощность шума на входе приемного тракта с учетом шумов антенны и собственных шумов тракта приема, приведенных к его входу, определяется как:

$$P_{\text{ш}} = \frac{k \cdot T_0 \cdot \Delta F_{\text{эф}} [t_a + K_p (N_{\text{ш}} - 1)]}{4R_{\Sigma}} \quad (1.21)$$

Выражение (1.21) показывает, что мощность $P_{\text{ш}}$ зависит от вида модулирующего сигнала. Наибольшая мощность шумов характерна для приемных трактов с широкой полосой частот $\Delta F_{\text{эф}}$ (например для трактов с угловой модуляцией).

С учетом изложенного условие связности (1.17) между станциями в мобильной системе может быть записано в виде:

$$P_{\Sigma_i} \eta_{ij}^2 = v^2 \left[\sum_{k=1}^L \frac{P_{\Sigma_k} \eta_{ik}^2}{(4\pi r_{ik})^2 \cdot \Delta F_s} + \frac{E_{\text{вн}}^2 \lambda^2 \psi D_{\text{пр}}}{(30\pi)^2 \Delta F_s} + \frac{4kT_0 \eta}{R_{\Sigma}} \right], \quad (1.22)$$

где $\eta = D_{\text{пр}} \cdot D_{\text{пр}0}$, $n = t_a + (N_{\text{ш}} - 1) K_p$;

ψ - коэффициент несопадения полос частот помехи и тракта приема; L - количество мешающих станций системы.

Выражение (1.22) является развернутым уравнением i радиолинии мобильной системы радиосвязи. Составляющие уравнения тракта приема (передачи) мобильной системы. Левая часть уравнения представляет полезный потенциал радиолинии (мощность, приходящаяся на 1 Гц полосы частот). Правая часть - потенциал мешающих источников излучений (помех) в месте приема. Присутствием в левой и правой частях уравнения коэффициентов ξ_{ij} , ξ_{in} , определяющих колебания энергетических потенциалов, показывает, что условие связности мобильных станций может быть выполнено, если коэффициент v^2 не будет снижаться меньше определенного порогового значения $v^2 \geq v^2_{\text{пор}}$.

Таким образом, коэффициент v^2 может трактоваться как энергетический параметр, определяющий связность радиолинии. Параметр связности v^2 позволяет оценивать надежность радиосвязи как вероятность связи с требуемым качеством в течении заданного времени работы радиолинии (сеанса связи) $P_{\text{св}} (v^2 \geq v^2_{\text{пор}}) = t_{\text{ис}} / T_p$. Поскольку условие $v^2 \geq v^2_{\text{пор}}$ при длительных сеансах связи не выполняется (рис.1.7), то общее время работы $T_p = \sum t_{\text{ис}} + \sum t_{\text{ос}}$ формируется из отрезков времени наличия связи $\sum t_{\text{ис}}$ и отсутствия связи $\sum t_{\text{ос}}$. При снижении параметра v^2 ниже порогового уровня в процессе веления связи в мобильной системе предусматривается автоматический переход на другой канал в котором выполняется условие $v^2 \geq v^2_{\text{пор}}$. Это обуславливает необходимость использования группы нескольких свободнодоступных каналов (рабочих частот).

Автоматический переход радиостанций мобильной системы на свободные частоты при увеличении уровней помех для сохранения заданного качества радиосвязи называется частотной адаптацией. В мобильных системах связи этот процесс называется СКИП-коммутацией.

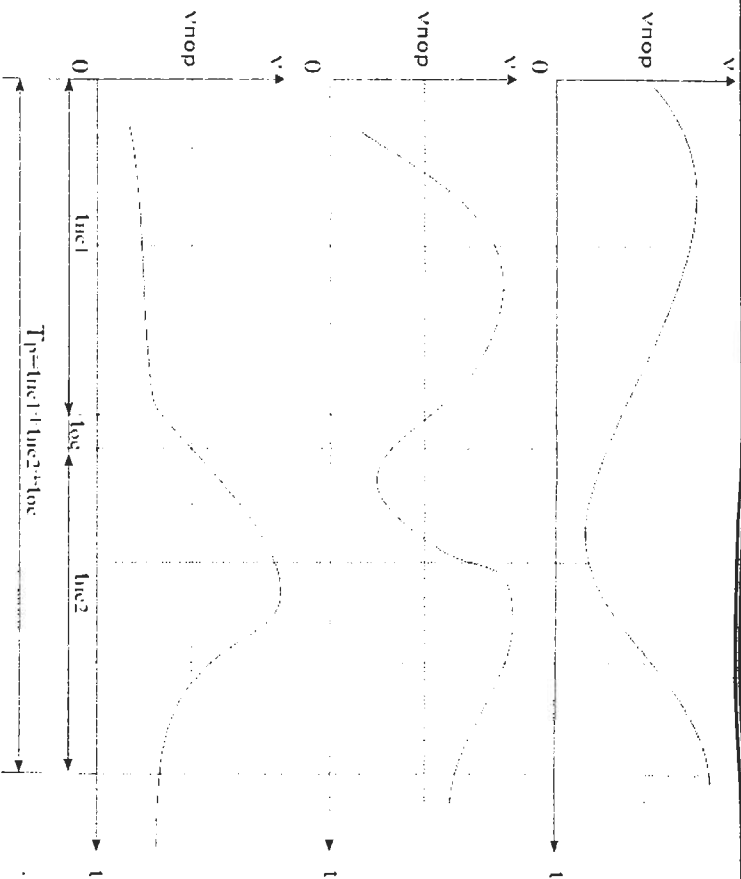


Рис. 1.7. Колебания параметра связности в каналах мобильной связи

4. Организация телеграфика в системах наземной мобильной связи

4.1. Формирование зон обслуживания в системах наземной мобильной связи.

При выборе стандарта ССПС и построении зон обслуживания основной целью является обеспечение максимально возможной телекоммуникационной нагрузки (телеграфика). Практическое развертывание системы на местности предусматривает:

- охват системой максимальной площади покрытия;
- качественное обслуживание возможно большего числа абонентов.

В зависимости от типа и назначения ССПС методика решения задачи организации телеграфика будет различной. Однако основные принципы построения являются общими для любой системы. Так, основу трафика транкинговой мобильной системы составляет нагрузка, формируемая элементарной телекоммуникационной ячейкой (ТЯ). Величина нагрузки определяется интенсивностью вызовов и количеством мобильных станций, обслуживаемых базовой станцией (BS). Для территориальной радиосистемы такой телекоммуникационной ячейкой является сота. Границы каждой ТЯ определяются электромагнитным взаимодействием между BS и группой MS, обеспечивающим выполнение условия связности (1.22).

Зона обслуживания (ЗО) системы формируется как совокупность нескольких ТЯ, граничащих одна с другой, создавая общую площадь покрытия. Качество обслуживания в мобильной системе связи обеспечивается при достаточном количестве каналов радиосвязи (рабочих частот) и возможностью их быстрой замены при снижении надежности радиосвязи в процессе движения MS. Однако, проектирование больших ЗО при ограниченном радиочастотном спектре, выделяемом мобильной системе, возможно только при повторном (неоднократном) использовании одинаковых рабочих частот. Это обуславливает появление значительных уровней взаимных помех между радиостанциями. Обеспечение связности в ЗО оказывается возможным только при правильном пространственном разnose ТЯ с повторяющимися рабочими частотами.

Существуют статистический и детерминированный способы формирования ЗО. Статистический способ основан на определении площадей ТЯ и расстояний между BS путем использования статистических данных среды распространения радиоволн, параметров каналов и электрических характеристик используемой аппаратуры. Детерминированный способ использует инструментальную оценку напряженности электромагнитного поля на конкретной местности с учетом ее рельефа и определение местоположения BS на основе конкретных данных уровней сигналов и помех.

Методика статистического способа разnosa ТЯ с повторяющимися рабочими частотами состоит в следующем. Пусть ТЯ обслуживается базовой

станции BS1, а BS2с повторяющимися рабочими частотами удалены от BS1 на расстояние R+r (рис.1.8).

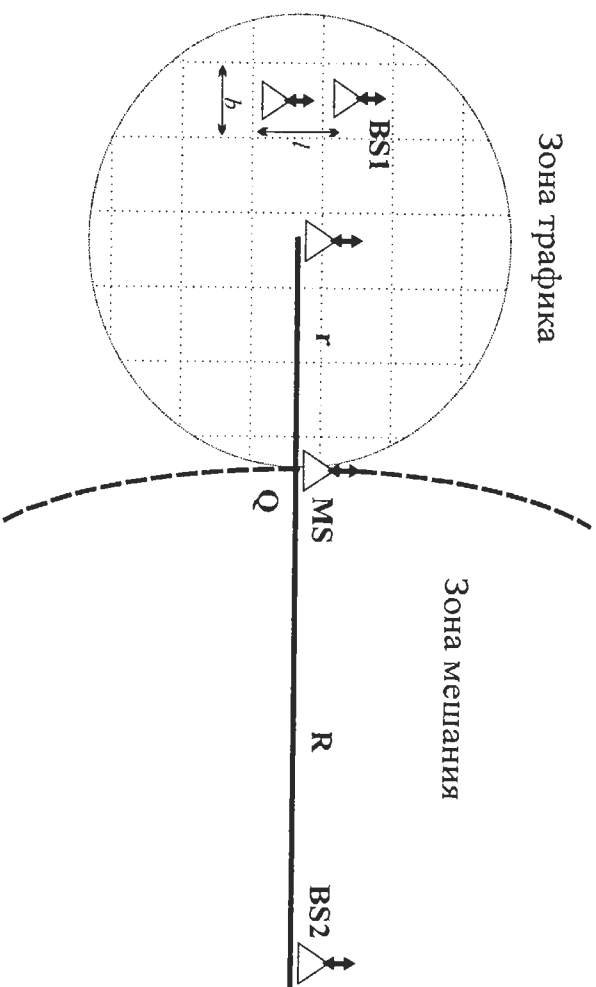


Рис.1.8. Пространственный разнос телекоммуникационных ячеек с повторяющимися рабочими частотами.

Расстояние R является радиусом зоны помех (зоны мешания), создаваемой BS2, ближайшей из группы мешающих базовых станций, а расстояние r - радиусом зоны покрытия, создаваемой BS1.

Радиусы зон электромагнитного взаимодействия R и r определяются из уравнения радиолинии мобильной системы (1.22). Для удобства анализа выразим уравнение радиолинии через напряженность поля сигнала и помех:

$$E_Q \cdot \xi_{ij} \geq \nu \cdot \left(\sum_{i=1}^L E_{\text{вз}} \cdot \xi_{ik} + E_{\text{вн}} + E_{\text{ш}} \right), \quad (1.23)$$

где E_Q - напряженность поля сигнала в точке Q;

$E_{\text{вз}}$ - напряженность поля взаимных помех в точке Q;

$E_{\text{вн}}$ - напряженность поля внешних помех в точке Q;

$E_{\text{ш}}$ - напряженность поля внутренних помех (шумов).

ξ_{ij} , ξ_{jk} - коэффициенты потерь и замираний сигнала и помех ij трассы радиосвязи.

При определении площади зоны покрытия (радиуса r) учитываются технические характеристики аппаратуры мобильной связи и особенности местности на которой развертывается ТЯ. Местность определяет параметры подстилающей поверхности (земли) трасс радиосвязи и определяет

местоположение BS1. Для среднеевропейских широт параметры земли характеризуются параметрами *влагойной почвы* ($\sigma_s = 0,1...0,01$, $\epsilon_s = 20...30$) [4]. При развертывании системы в условиях среднепересеченной местности считается, что излучающие антенны базовых и мобильных станций являются низкоподнятыми $D_{BS} \geq 10, h_{BS} = 30...50, D_{MS} \approx 1,5, h_{MS} \leq 1,5$.

Экранируемыми объектами на трассах радиосвязи являются естественные возвышения и холмы. Интерференционные замирания сигналов в этих условиях выражены слабо ($q^2 \gg 10, \xi_{ij} \approx 1$). Для большинства мобильных систем характерно использование направленных антенн базовых станций и не направленных антенн мобильных станций.

С учетом изложенного выражение напряженности поля полезного сигнала в точке Q, на границе зоны покрытия BS1 записывается в виде:

$$E_Q \geq \frac{P \sqrt{60 P_{BS1}} D_{BS1}}{r^2} e^{-\gamma r^2},$$

$$\text{где } \rho = \frac{\sqrt{2} \lambda \epsilon_s^2 (1 + i g^2 \delta)}{\pi \sqrt{(\epsilon_s - 1)^2 + (\epsilon_s^2 i g^2 \delta)}} \quad (1.24)$$

Решение выражения (1.24) относительно параметра r имеет вид:

$$r \leq \sqrt{\frac{P \sqrt{P_{BS1}} D_{BS1}}{E_Q} e^{\gamma r^2}} \quad (1.25)$$

Минимальное значение напряженности поля E_Q , при котором еще обеспечивается связность, должно учитывать не только реальную чувствительность радиоприемника (минимальную ЭДС сигнала на входе приемного тракта, при которой окончание устройство работает устойчиво), но и шумы антенны.

Отсюда минимальное значение E_Q определяется из (1.21) как:

$$E_Q \geq E_{\text{ш}} / h_d = \sqrt{4kT_0 \Delta F_{\text{эф}}} R_{\Sigma} [T_a + K_p (N_{\text{ш}} - 1)] / (2 \sqrt{D_{\text{пр}}} R_{\Sigma} / 11\pi),$$

где h_d действующая высота приемной антенны.

Оценка зоны мешания, создаваемой BS2, проводится по такой же методике. При этом решается уравнение относительно радиуса R зоны мешания. $R \leq \sqrt{\rho \sqrt{60 P_{BS2}} D_{BS2}} / E_{\text{вз}} e^{\gamma r^2}$.

Напряженность поля взаимных помех, создаваемая ближайшей мешающей базовой станцией BS2, определяется как:

$$E_{\text{вз}} = E_Q / \nu^2$$

Радиусы зон мешания определяются по методике (рис.1.9) как

$$R_1 = R, R_2 = R_3 = \sqrt{(R_{2,3} + r)^2 + r^2}, R_4 = R + 2r.$$

При оценке суммарной напряженности поля помех в точке Q учитывается воздействие всех ближайших BS, расположенных симметрично относительно BS₁.

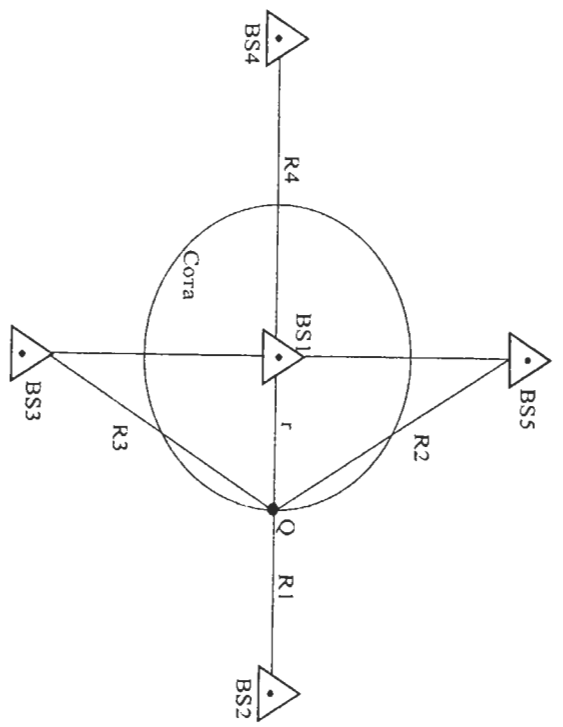


Рис 1.9 Определение радиуса зоны мешания

При оценке радиусов зоны мешания учитывается также напряженность поля шумов на входе тракта радиочастоты приемника по выражению (1.21). Абсолютная шумовая температура антенны определяется из графика (рис.1.10).

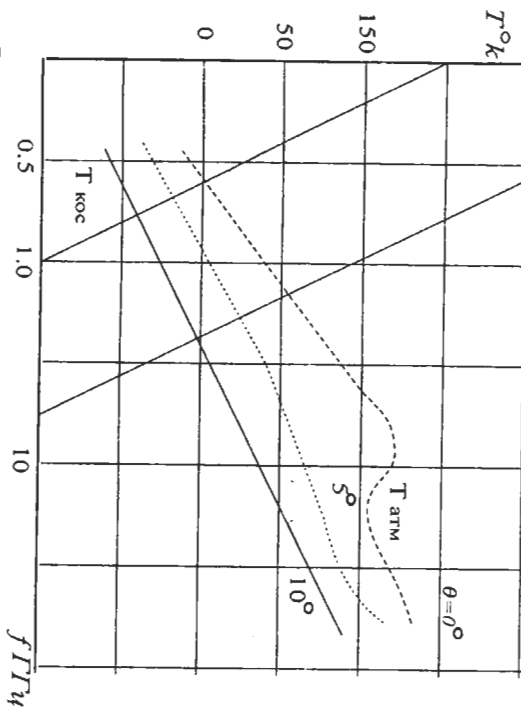


Рис. 1.10. Определение шумовой температуры антенн

Воздействием внешних помех на напряженность поля в точке Q можно пренебречь, поскольку при установлении связи процедура вызов предшествует процедуре анализа качества рабочих частот из группы выделенных и предоставляемые рабочей частоты, на которой уровень внешней помехи пренебрежимо мал.

Таким образом, при формировании ЗО интервал повторения ТЯ с одинаковыми рабочими частотами определяется как $\Delta = (R + r)/2r$.

Более сложная задача обеспечения связности решается при организации ЗО в условиях сильнопересеченной местности (крупные города с интенсивной многоэтажной застройкой). Обеспечение связности требует увеличения энергетики сигналов в местах приема как для MS, движущихся по улицам, так и MS находившихся в зданиях, особенно на первых этажах и подвальных помещениях.

Дополнительными данными для формирования ЗО в условиях города являются:

- средняя ширина улиц города - а;
- средняя высота застройки - h_{ср};
- скорость движения MS - V.

При многоэтажной застройке важное значение имеет высота поднятия антенн базовых станций. Напряженность поля сигнала в точке Q на расстоянии r, создаваемого передатчиком BS1 с учетом особенностей инфраструктуры города, определяется модифицированной формулой Б.А.Введенского [9]:

$$E_{\varphi} = \sqrt{60 \frac{P_{BS1} D_{BS1}}{r^2}} \xi_{\varphi} \quad (1.26)$$

где $\xi_{\varphi} = \frac{\rho}{r} = 0,019 \sqrt{\frac{\lambda}{h} F h'}$ - коэффициент потерь в земле;

$h' = h_{BS1} - h_{ср}$ - высота поднятия антенны BS₁ над средним уровнем застройки;

$F = f(h'/0,5a)$ - множитель ослабления поля сигнала, определяемый инфраструктурой города (рис.1.11).

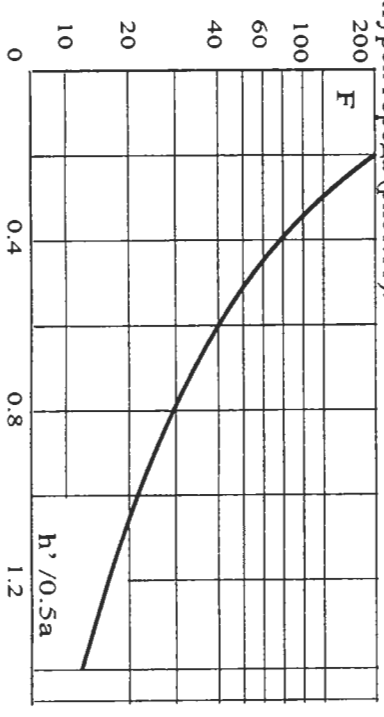


Рис.1.11. Множитель ослабления поля сигнала F, определяемый инфраструктурой города

Коэффициенты дифракционных и интерференционных замираний сигнала в условиях крупного города существенно отличаются от этих показателей для слабонепересеченной местности. Это обусловлено близким расположением отражающих и экранирующих объектов на трассах радиосвязи, приводящим к скачкообразному изменению дисперсии колебаний уровней сигнала.

Для практических расчетов в условиях города используется параметр ΔE_z , определяющий суммарное отклонение напряженности поля при совместном воздействии различных замираний. Параметр ΔE_z определяется на основе статистических методов для различной надежности установления связи, измеряемой в процентах, при размещении MS на улицах города (рис. 1.12 а) или внутри зданий (рис. 1.12 б). Дополнительное ослабление поля при его проникновении внутрь зданий Δ (дБ) определяет затухание сигнала в зависимости от этажного местоположения MS для различных вариантов надежности установления связи (%). При изменении уровня сигнала на улицах города считается, что параметр $\Delta=0$.

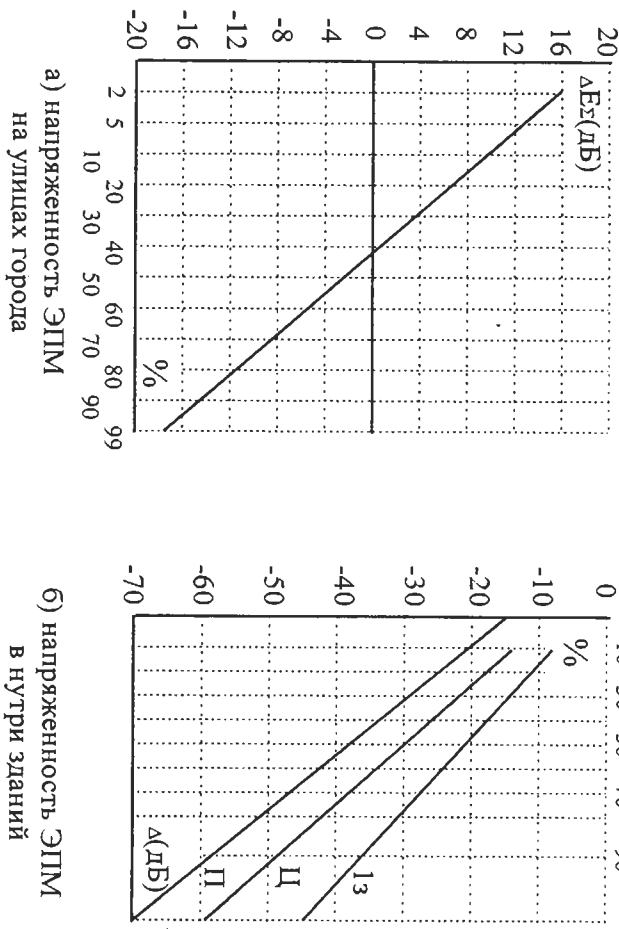


Рис. 1.12. Суммарное отклонение напряженности поля при воздействии замираний в условиях города

Таким образом, напряженность поля сигнала в точке Q (EQ), создаваемого передатчиком BS1, с учетом особенностей инфраструктуры города, измеряемое в единицах дБмкВ/м, записывается в виде:

$$20 \lg E_Q = 20 \lg \left(\frac{\sqrt{60 P_{BS1}} D_{BS1}}{r^2} \cdot 0,019 \sqrt{\frac{\lambda}{4\pi r}} \right) + \Delta E_z - \Delta \quad (1.27)$$

Статистический способ формирования ЗО позволяет использовать различные формы ТЯ. Наибольшая плотность заполнения ЗО достигается при использовании форм ячеек (рис. 1.13) в виде равносторонних треугольников (а), квадратов (б) и правильных шестиугольников (в).

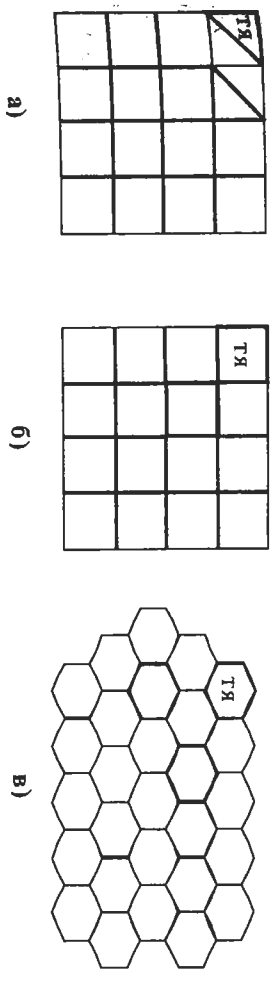


Рис. 1.13. Формы телекоммуникационных ячеек

Зона обслуживания при этом имеет вид мозаики, каждый элемент которой является телекоммуникационной ячейкой.

Детерминированный способ формирования ЗО использует результаты инструментальных измерений уровней сигналов и помех в условиях изменяющегося рельефа местности и различных вариантов размещения BS. При этом уточняется конфигурация ячеек, выявляются теневые участки и границы зон покрытия, варьируются различные типы направленных антенн BS для устранения теневых зон. Детерминированный способ приводит к существенному усложнению мозаичной картины зоны обслуживания поскольку формы коммуникационных ячеек могут значительно отличаться от расчетных и иметь различные размеры.

Наибольший эффект от применения детерминированного способа разнота достигается при современных методах автоматического измерения уровней путем анализа измерительного сигнала (пилот-тона), излучаемого BS и принимаемого мобильной измерительной станцией. Результаты измерений уровней сигналов в характерных точках зоны обслуживания запоминаются в памяти ЭВМ. При этом создается банк данных, используемый при уточнении конфигурации телекоммуникационных ячеек. Этот же способ используется в готовой системе стандарта NMT-450i в динамике работы когда выбор наилучшей BS по условию связи осуществляется путем сравнения результатов измерений нескольких BS, принимающих измерительный сигнал от одной контролируемой MS.

Детерминированный способ позволяет минимизировать количество ячеек в зоне обслуживания и наилучшим образом разносить ячейки с повторяющимися рабочими частотами. Детерминированный способ наиболее целесообразно применять в дополнение к статистическому с целью уточнения формы мозаики зоны обслуживания.

4.2. Оценка качества обслуживания в системе

При планировании телеграфика в пределах ЗО проводится предварительная оценка качества обслуживания абонентов. Под качеством обслуживания понимается своевременное предоставление каналов абонентам при обеспечении достоверности приема информации не ниже заданной.

Мобильные системы связи относятся к *системам массового обслуживания* [5], поскольку они представляют совокупность большого числа равноправных элементов. Процессы, протекающие в системах, также представляют массу однородных случайных явлений и их закономерности определяются не характеристиками отдельных элементов, а массовым характером явлений в системе.

Модель процесса установления связи в мобильной системе может быть описана следующим образом. Пусть на вход обслуживающего устройства (например ВS) поступает поток вызовов от мобильных станций или телефонных аппаратов сети ТФОП. Поток вызовов в системе имеет случайный характер, то есть каждый из вызовов может поступить в любой случайный момент времени. Время обслуживания также имеет случайный характер, из-за различной длительности разговоров. Если в определенный момент времени число поступающих вызовов (заявок на обслуживание) Z превышает число обслуживателей N (например, каналов на ВS), то обслуживание будет задержано ("ожидание") или вообще сорвано ("отказ"). Возникновение ситуаций "ожидания" или "отказа" зависит от обслуживающего устройства. Обслуживающие устройства могут быть *однофазовыми* и *многофазовыми*. Примером однофазового обслуживающего устройства может служить пейджинговая система с централизованным диспетчированием, в которой контрольно-оконечная (базовая) станция обслуживается одним оператором (диспетчером). Диспетчер осуществляет прием данных по вызовам из телефонной сети и их ввод в блок памяти для последующей передачи по каналу радиосвязи.

В многофазовых устройствах (например ЦКПС) один вызов обрабатывается несколькими обслуживателями.

Вызовы, поступающие на обслуживающее устройство, могут обслуживаться в порядке очереди, в случайном порядке, а также с преимущественным обслуживанием (приоритеты).

Если поступающие вызовы обслуживаются любой из свободных коммутационных ячеек, то обслуживающее устройство является *неупорядоченным*. Примером неупорядоченного устройства может служить коммутационное поле электронной АТС.

Если последующие вызовы обслуживаются иерархической системой коммутационных ячеек (декадно-шаговые АТС), то обслуживающее устройство является *упорядоченным*. Примером упорядоченного обслуживающего устройства является коммутационное поле декадно-шаговой АТС.

Основными параметрами оценки качества обслуживания мобильной системы связи как системы массового обслуживания являются параметры входящего потока вызовов.

Входящий поток вызовов. Поскольку моменты поступления вызовов в системе связи определяются периодичностью поступления информации, являющейся случайной величиной, то весь процесс поступления вызовов *считается случайным процессом*.

Случайными величинами ξ такого потока вызовов являются, количество вызовов, поступающих в единицу времени (интенсивность вызовов) λ , и время обслуживания одного вызова t .

Закон распределения вызовов как случайный процесс описывается *функцией распределения и плотностью распределения* случайной величины [25].

Функцией распределения вероятностей случайной величины ξ потока вызовов является вероятность того, что эта величина примет значение меньшее, чем X :

$$F\xi(x) = P(\xi < x) \quad (1.31)$$

Плотностью распределения W непрерывной случайной величины ξ является функция $f\xi$, для которой при всех значениях X выполняется условие:

$$W\xi(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f\xi(z) dz \quad (1.32)$$

Параметры входящего потока вызовов могут иметь дискретный и непрерывный характер распределения. Характер распределения потока вызовов будет *дискретным*, если случайной величиной ξ является количество вызовов. Характер распределения потока обслуживания вызовов будет *непрерывным*, если случайной величиной ξ является время обслуживания вызова $T+t$.

Если случайный процесс является дискретным, то он характеризуется свойствами *стационарности, последовательности и ординарности*.

Стационарность дискретного процесса означает, что для любой группы из числа различных отрезков времени вероятность поступления определенного числа Z вызовов на протяжении $T+t$ каждого из отрезков зависит только от Z и $T+t$, но не изменяется от сдвига всех временных отрезков на одну и ту же величину Δt .

Отсутствие последовательности означает, что вероятность поступления Z вызовов в течение отрезка времени $T+t$ не зависит от того, сколько раз и как поступали вызовы ранее (взаимную независимость появления количества вызовов в различных отрезках времени).

Ординарность дискретного процесса является условием того, что вероятность поступления двух или нескольких вызовов за сколь угодно малый отрезок времени бесконечно мала.

Таким образом, если входящий дискретный поток вызовов в мобильной системе связи обладает стационарностью, отсутствием последовательности и ординарностью, то он является *простейшим* или *Пуассоновским*. Для такого потока, вероятность поступления Z вызовов за время t определяется как:

$$P(z) = \frac{(\lambda t)^z}{z!} e^{-\lambda t}, \quad (1.33)$$

где λ - интенсивность потока вызовов (математическое ожидание числа вызовов z за единицу времени t).

Для Пуассоновского потока вызовов выполняется условие равенства математического ожидания m и дисперсии σ процесса ($m=\sigma$). Вероятность поступления z вызовов P(z) в течение промежутка времени t достигает наибольшего значения при $t=Z/\lambda$ ($Z=0, 1, 2, \dots$). Она может рассматриваться как вероятность одновременного занятия Z коммутационных ячеек (например каналов BS), через которые проходит вызовы с интенсивностью λ и средней продолжительностью обслуживания t каждого вызова. Выражение (1.33) определяет вероятность поступления Z вызовов за время t равное средней продолжительности обслуживания одного вызова t_{cp} . Для определения вероятности P(z) простейшего потока необходимо только знание одного параметра - λ . Простейший поток вызовов и его закономерности справедливы только для однофазовых систем обслуживания.

В *многофазовых системах* обслуживания наблюдаются ординарные потоки вызовов с *ограниченными последствиями*. В таких системах параметр $\lambda \neq m$. Интенсивность потока с ограниченным последствием $\lambda_{оп}$ определяется как [48]:

$$\lambda_{оп} = \frac{P(t)}{\int_0^t \phi_0(x) dx} \quad (1.34)$$

где $\phi_0(t) = \lim_{t \rightarrow 0} [P(\tau, t)/P(\tau)]$ - функция Пальма, определяющая предел вероятности отсутствия вызовов за время t при условии, что за промежуток времени τ поступит хотя бы один вызов;

t - промежуток времени предшествующий времени t.

Потоком вызовов с *простыми последствиями* называется ординарный поток, для которого в любой момент времени T отсутствует условный параметр, зависящий только от состояния системы обслуживания в момент T и от характеристик вызова. Такой поток не является *стационарным*.

Если параметр потока вызовов с простыми последствиями зависит только от числа вызовов Z, обслуживаемых в данный момент, то такой поток называется *симметричным потоком*. В симметричном простейшем потоке вызовов параметр λ пропорционален числу независимых и свободных в данный момент вызывающих источников N.

Время обслуживания. Параметр системы массового обслуживания, являющийся непрерывную случайную величину случайного потока, являющаяся временем обслуживания t поступившего вызова. Время обслуживания описывается показательным законом, определяющим вероятность того, что продолжительность обслуживания вызова не превышает заданное время t: $P(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ (1.35)

где t t_{cp} - среднее время обслуживания вызова.

Оценку качества мобильной системы удобно проводить не по количеству обслуживаемых вызовов, а по количеству отказов как $1 - P(t) = 1 - e^{-\lambda t}$.

Плотность показателяного распределения является функцией, представляющей вероятность того, что случайная величина промежутка времени между двумя соседними вызовами не превышает время t.

$$F(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (1.36)$$

Расчетные формулы для оценки качества мобильной системы связи, характеризующейся Пуассоновским потоком вызовов и показательным законом распределения времени обслуживания, являются функциями Эрланга [48]. Функция Эрланга B оценивает качество системы с "*отказами*", функция Эрланга C оценивает качество системы с "*ожиданием*".

В общем виде функция Эрланга имеет вид:

$$F(N) = \frac{(\lambda t)^N}{N!} \cdot P_0 \quad (1.37),$$

где F(N) - вероятность занятия всех N коммутационных ячеек (вероятность отказа в обслуживании);

P_0 - вероятность того, что все коммутационные ячейки свободны.

Для системы с отказами параметр P_0 определяется выражением:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^N \frac{\lambda^k}{k!}}, \quad \lambda = \lambda/\mu, \quad k=0, 1, 2, \dots \quad (1.38)$$

Формула Эрланга B при этом принимает вид: $V(N) = \frac{(\lambda \cdot t)^N}{N!} \cdot \frac{1}{\sum_{k=1}^N \frac{(\lambda \cdot t)^k}{k!}} \quad (1.39)$

где $V(N)$ - вероятность занятия N коммутационных ячеек.

Выражение (1.39) показывает, что отказы появляются, если число одновременно поступающих вызовов Z будет превосходить количество коммутационных ячеек (каналов) N.

Для системы с ожиданиями параметр P_0 определяется как:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^{N-1} \frac{(\lambda t)^k}{k!} + \frac{(\lambda t)^N}{N!(1-\lambda t)}} \quad (1.40)$$

Формула Эрланга (1.30) при этом принимает вид:

$$C(N) = \frac{(\lambda t)^z}{z!} \cdot \frac{\sum_{k=0}^{N-1} \frac{(\lambda t)^k}{k!} + \frac{(\lambda t)^N}{N!(1-\lambda t)}}{z!} \quad (1.41)$$

Выражение (1.41) определяет вероятность задержки обслуживания вызова при установлении абонентов в очередь.

Использование аппарата теории массового обслуживания применительно к оценке качества обслуживания мобильной системы связи позволяет прогнозировать ее частные параметры качества такие как:

- предполагаемый трафик радиосообщений в ТЯ - Нтя;
- требуемое число каналов BS - N;
- вероятность отказов в обслуживании - V(N).

Прогнозируемая оценка предполагаемого трафика сообщений требует знания среднего количества MS в ТЯ. При построении ЗО обычно задаются средним (максимальным) количеством MS.

При оценке количества MS, устанавливаемых в подвижных объектах, в крупных городах иногда используют методику, предложенную в [19].

Пусть ТЯ круговой формы имеет параметры:

- радиус площади покрытия $r = 1$ км;
- расстояние между улицами $b = 100$ м;
- средняя ширина улицы $= 30$ м;
- взаимные удаления между MS $MSI = 50$ м;
- интенсивность вызовов на одну MS $\lambda_{MS} = 0,02$ выз./мин;
- средняя продолжительность сеансов связи $T = 3$ мин.
- скорость движения MS $V \leq 60$ км/ч.
- средняя высота застройки $h_{cp} = 30$ м;

При двухстороннем движении и равномерном размещении MS по всей площади покрытия их общее количество составляет $n = 4\pi r^2 / a_l$.

Предполагаемый трафик сообщений $N_{я}$ в пределах ТЯ определяется суммарной интенсивностью вызовов всех MS ($\lambda_{я}$) и временем занятости канала t каждой MS:

$$N_{я} = \lambda_{я} \cdot t = \lambda_{MS} \cdot t \cdot (4\pi r^2 / b_l) \quad \lambda_{я} = \lambda_{MS} \cdot n = \lambda_{MS} (4\pi r^2 / b_l) \quad (1.28)$$

где λ_{MS} - интенсивность вызовов одной MS;
 n - количество MS в ячейке.

Телекоммуникационной нагрузкой зоны обслуживания $N_{зо}$ мобильной системы является произведение интенсивности вызовов в каждой ячейке $N_{я}$ и количества ячеек в зоне $N_{зо}$

$$N_{зо} = N_{я} \cdot N_{зо} = \lambda_{MS} \cdot t \cdot N_{зо} (4\pi r^2 / b_l) \quad (1.29)$$

При указанных выше ограничениях предлагаемый трафик радиосообщений ТЯ в соответствии с (1.29) составит

$$N_{зо} = \lambda_{MS} \cdot t = (4\pi r^2 / b \cdot l) \cdot t \cdot \lambda_{MS} \approx 150,72 \text{ Эрл.}$$

При определении зависимости числа каналов трафика N от размеров площади ТЯ (радиуса r) при различных потерях в обслуживании используются формулы телетрафика.

Для мобильной системы связи с отказами функция $N = f(r)$, определяется по формуле Эрланга В. Зависимость вероятности отказов в обслуживании $V(N)$ от числа каналов и радиуса r телекоммуникационной ячейки показана на рис.1.14.

Используя рассмотренную методику оценки можно показать, что для BS готовой системы стандарта NMT-450i, включающей $N = 40$ радиоканалов с равномерной интенсивностью $\lambda_{MS} \approx 0,02$ Эрл количество обслуживаемых MS в ТЯ составит $Z_n \approx 3100$.

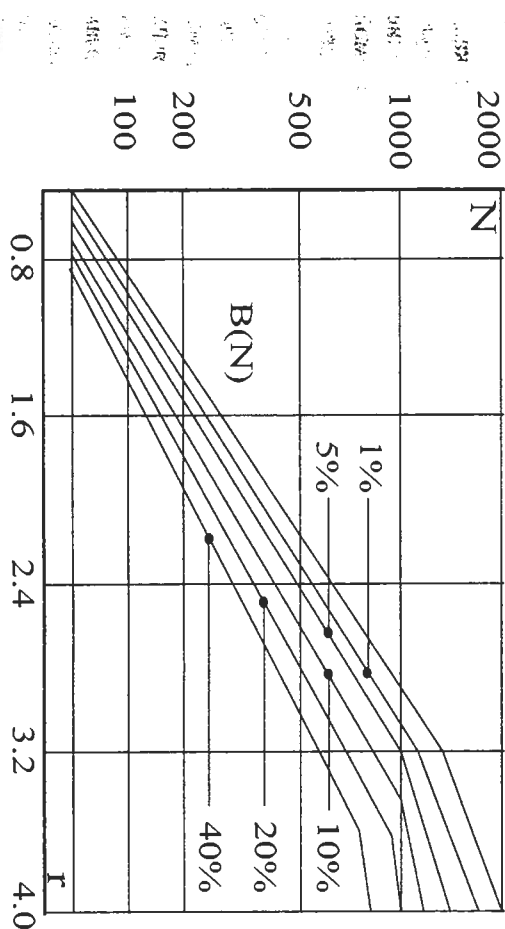


рис.1.14. Зависимости вероятности отказов в обслуживании $V(N)$ от числа каналов и радиуса r телекоммуникационной ячейки.

АДРЕСНОЕ УСТАНОВЛЕНИЕ СВЯЗИ В ССПС

2.1. Формы адресных сигналов

Система связи подвижной службы, развернутая на реальной местности, может считаться оптимальной, если в любой момент времени обеспечивается решение задачи связности для абсолютного большинства MS. Выражение (1.22) показывает, что связность элементов системы (например MS - BS - ЦКПС) определяется характеристиками канала радиосвязи. Формирование каналов связи осуществляется путем взаимного обмена кодограммами, включаемыми адресные сигналы и служебные команды. В качестве адресных сигналов в мобильных системах используются специальные кодовые последовательности. Применение различных дискретных форм сигналов и команд позволяет достаточно просто решить задачу взаимного распознавания элементов системы и обеспечивает ее функционирование в соответствии с заданным алгоритмом. В цифровых системах мобильной связи вся информация как служебная так и рабочая передается в цифровой форме в виде дискретных последовательностей (цифровых кадров). Цифровая форма сигналов позволяет обеспечивать их декорреляцию, уменьшает вероятность ложных вызовов и обеспечивает устойчивость к воздействию помех.

Выбор наилучшей формы адресных сигналов и определение порядка и последовательности их передачи при вызове, представляет сложную инженерно-техническую задачу. Важно при этом обеспечить согласование формы сигналов с характеристиками канала для достижения требуемой помехоустойчивости и максимального сокращения времени передачи кодограмм (времени установления связи).

Естественно предположить, что для мобильных систем различного предназначения форма дискретных сигналов будет различна.

Таким образом, условия связности элементов мобильной системы должно учитывать не только параметры адресных сигналов, но и условия их согласования с параметрами каналов связи.

Выбор наилучшей формы цифровых сигналов в мобильных системах связи можно рассматривать как задачу минимизации целевой функции [37]:

$$P(m, n) \geq f(\vec{y}, \vec{L}) \quad (2.1)$$

где $P(m, n)$ - вероятность приема адресной n -значной дискретной последовательности с m -ошибками;

\vec{y} - вектор параметров канала;

\vec{L} - вектор параметров сигнала.

Из (1.22) следует, что параметрами канала являются:

P_c - мощность полезного сигнала в месте приема;

P_n - мощность аддитивных помех в месте приема;

ξ_{ij} - коэффициент потерь и замираний ij трассы;

P_r - излучаемая мощность радиопередающего устройства;

$P_{ш}$ - мощность шума на входе приемного тракта;

f_c - частота излучения;

F_s - эффективная полоса частот тракта приема (передачи).

K - параметрам сигнала относятся:

• структура цифровых последовательностей;

• вид модуляции сигналов.

Структура цифровых последовательностей включает следующие элементы:

n - общее количество символов в кодовой комбинации;

k - количество информационных символов;

d - кодовое расстояние;

$\psi(\tau)$ - автокорреляционную функцию;

b - позиционность кода.

Таким образом, вероятность установления радиосвязи в мобильной системе определяется как вероятность приема адресной кодограммы, представляющей набор отличительных признаков, относящихся к вызываемой и вызываемой радиостанции. Эта вероятность зависит от параметров канала и структуры адресных сигналов.

Повышение адресной емкости системы необходимо не только для наращивания количества абонентов, но также для обеспечения максимального удобства (сервиса) обслуживания. Например, система должна включать кроме индивидуальных адресов также адреса привилегированного (приоритетного) звонка, передачу специальных команд управления, информации и сообщений. Поэтому реальные мобильные системы имеют объем адресного словаря M_a значительно превышающий количество мобильных станций M_{ms} ($M_a \gg M_{ms}$).

Рассмотрим различные формы дискретных сигналов и их влияние на основные параметры системы - адресную емкость и пропускную способность.

Наиболее простые формы дискретных сигналов основаны на использовании математической комбинаторики [25]. К ним относятся комбинации *соединений*, формируемые путем *перестановок*, *размещений* и *сочетаний*. В процессе элементов соединений часто используются отрезки гармонических *длительностью* t , частоты которых размещаются в полосе частот *длительностью* T тракта передатчиков. Составные сигналы, формируемые методами комбинаторики, называются *многочастотными кодовыми комбинациями* (МЧКК). Их использование удобно тем, что система радиосвязи не будет синхронизации кодирующего и декодирующего устройств соответственно передающей и приемной стороне. Кодеки мобильных станций используют *технологически обработанные* элементы: кварцевые генераторы с делителем *временного коэффициента деления* (ДПКД), аналого-цифровые преобразователи (АП) и цифровые фильтры (ЦФ).

При использовании метода *перестановок* общее количество кодовых последовательностей (адресов) M_a определяется выражением:

$$M_a = 1 \cdot 2 \cdot 3 \dots (b-1) \cdot b = b!$$

где b - количество отрезков гармонических колебаний (позиционность системы).

Каждая кодовая последовательность (адрес) в этом случае представляет комбинацию из b элементарных тональных сигналов, следующие один за другим в процессе модуляции передатчика (система "мелодия"). Декодеры приемников мобильных радиостанций осуществляют регистрацию каждой позиции и порядок их следования поскольку регистрация позиций определяет отличие одной дискретной последовательности от другой. Длительность передачи кодовой последовательности (адреса) T_a определяется выражением $T_a = b \cdot t$.

При использовании метода размещений общее количество кодовых (адресных) последовательностей M_a определяется выражением:

$$M_a = A_b^r = (b-1)(b-2) \dots [b-(r-1)] \quad (2.3)$$

где b - позиционность системы;

r - количество позиций, составляющих дискретную последовательность.

Каждая кодовая последовательность (адрес) при этом представляет комбинацию из " r " элементарных сигналов передаваемых один за другим. Декодеры приемников мобильных станций осуществляют регистрацию позиций, а также их расстановку для определения адреса данной станции. Длительность передачи адреса T_a определяется длительностью передачи одного элементарного сигнала (позиции) и количеством позиций в последовательности $T_a = r \cdot t$.

При использовании метода сочетаний общее количество кодовых (адресных) сигналов M_a определяется выражением:

$$M_a = C_r^b = \frac{b!}{r!(b-r)!} \quad (2.4)$$

где b - позиционность системы;

r - количество одновременно передаваемых позиций.

Каждый кодовый сигнал (адрес) при этом представляет комбинацию из " r " одновременно передаваемых тональных сигналов (система "аккорд"). Декодеры приемников мобильных станций осуществляют одновременную регистрацию группы элементарных сигналов, определяющих отличие одной группы от другой. Длительность передачи кодового сигнала (адреса) будет соответствовать в этом случае длительности одного элементарного сигнала (позиции) т.е. $T_a = t$.

При использовании смешанного метода соединений, включающего размещения и сочетания элементарных сигналов, общее количество кодовых последовательностей M_a будет определяться выражением:

$$M_a = A_b^r \cdot C_r^b = C_b^r (C_b^r - 1)(C_b^r - 2) \dots [C_b^r - (l-1)] \quad (2.5)$$

где C_b^r - число сочетаний из b позиций по r ;

l - количество позиций, составляющих дискретную последовательность. Кодовая последовательность (адрес) при этом представляет комбинацию знаков, каждый из которых включает " r " одновременно передаваемых позиций (смешанная система "мелодия-аккорд"). Декодеры приемников мобильных станций осуществляют одновременную регистрацию " r " позиций, а также последовательную расстановку каждой группы из " r " позиций. При использовании смешанного метода длительность передачи кодовой последовательности (адреса) будет определяться выражением $T_a = l \cdot t$.

Каждый из рассмотренных методов кодирования отличается один от другого не только количеством кодовых комбинаций (адресной емкостью), но и пропускной способностью системы C (количеством информации, передаваемой в единицу времени).

Относительная пропускная способность (количество информации, передаваемой в единицу времени, приходящейся на 1Гц полосы частот канала), определяется [45]:

$$C = \frac{R}{\Delta F} \quad (2.6)$$

где $R = \frac{I_a}{T_a} = \log_2 M$ - информационная скорость передачи;

ΔF - эффективная полоса частот канала (модуляционного тракта).

Информационная скорость передачи в канале системы определяется количеством информации адресной комбинации l_a и временем ее передачи T_a .

Количество модуляционных частот b , применяемых для формирования частот модуляционного тракта канала передатчика, а также эффективность фильтрации элементарных сигналов в демодуляторах приемника. Система МЧКК может считаться идеальной, если все модулирующие сигналы (позиции) будут ортогональны относительно друг друга. В демодуляторе приемника это обеспечивается при выполнении условия:

$$\Delta F_s \geq \frac{b+1}{T} \quad (2.7)$$

где b - позиционность системы (количество ортогональных модулирующих сигналов);

T - длительность передачи элементарного сигнала (позиции).

С учетом (2.7) выражение (2.6) записывается в виде:

$$C = \log_2 M_a \frac{(b+1)}{T} \quad (2.8)$$

Сравнение различных форм адресных сигналов, использующих МЧКК, должно проводиться при выполнении условий:

- обеспечения заданной адресной емкости системы $M_a \geq M_{\text{зад}}$;

- одинаковых полос частот модуляционных трактов передачи ДФ;

Поскольку современные мобильные станции используют как правило узкополосные модемы, то полосы частот модуляционных трактов соответствуют полосе стандартного ТЧ канала, $F_{\text{ТЧ}} = F_{\text{мин}} \dots F_{\text{макс}} = (0,3 \dots 3,4) \text{ кГц}$.

Таким образом, при использовании МЧКК при формировании адресных сигналов с фиксированным значением адресной емкости M_a и одинаковых полосах модуляционных трактов $F_{\text{ТЧ}}$, значение пропускной способности C будет зависеть от позиционности системы b и способа кодирования.

Используя (2.8), сравним различные формы адресных сигналов для системы с $M_{\text{зад}} \geq 5 \cdot 10^3$ адресов.

При кодировании методом *перестановок* $b=7$ пропускная способность системы составит $C_{\text{П}} = \frac{\log_2 M}{(b+1)r} \approx 0,214 \text{ [бит/с]}$

При кодировании методом *размещения* $b=10$, $r=4$ пропускная способность составит $C_{\text{Р}} = \frac{\log_2 M}{(b+1)r} \approx 0,273 \text{ [бит/с]}$

При кодировании методом *сочетаний* $b=32$, $r=3$ пропускная способность составит $C_{\text{С}} = \frac{\log_2 M}{b+1} \approx 0,364 \text{ [бит/с]}$

При кодировании *смешанным* методом $b=5$, $r=3$, $l=4$ пропускная способность составит $C_{\text{см}} = \frac{\log_2 M}{(b+1)l} \approx 0,833 \text{ [бит/с]}$.

Сравнение методов формирования адресных сигналов на основе МЧКК показывает, что при одинаковых адресных емкостях и одинаковых параметрах трактов приема и передачи лучшая пропускная способность оказывается у системы со смешанным методом кодирования.

Требование существенного увеличения адресной емкости мобильной системы связи привело к использованию сигналов на основе линейного бинарного кодирования. В качестве адресных форм используются дискретные последовательности, каждая из которых является ортогональной цифровой выборкой, формируемой на основе *двоичного цифрового кодирования* (ДЦК). Каждая адресная последовательность характеризуется количеством информационных символов k и позиционностью $b=2$. Системы кодирования, использующие принцип ДЦК, часто называются системами "мультитон" [5,27].

В системах "мультитон" с позиционностью $b=2$ количество адресных комбинаций (адресная емкость) определяется как $M=b^k$. Например, восьмизначный ($k=8$) бинарный ($b=2$) код образует группу кодовых комбинаций в количестве $M=2^8$ - $l=255$ последовательностей. Из общего

кода комбинаций $M=256$ исключается нулевая комбинация некая информация, в которой все символы являются нулями.

№ комбинации	$k=8$
0	00000000
1	00000001
2	00000010
3	00000011
4	00000100
...
255	11111111

(2.9)

В цифровых системах передачи в качестве адресных сигналов часто используются блочные равномерные коды, то есть коды в которых каждая кодовая комбинация (блок) состоит из одинакового количества разрядов (символов). Такие коды легко реализуются с помощью простейших регистров сдвига. Равномерность кода предполагает также, что каждый разряд, преобразованный передатчиком в элементарный сигнал, будет иметь одинаковую длительность импульса $t_{\text{и}} = \text{const}$. В этом случае будет обеспечиваться одинаковая вероятность приема каждого из элементарных сигналов.

Показанный в (2.9) блочный равномерный код является безызбыточным примитивным кодом [5], который не может быть использован в реальной радиосистеме. Дело в том, что каждая выборка (блок) отгибается от любой другой на единицу (при сложении по модулю два). При обработке такой комбинации приемное цифровое устройство может "ошибиться", так как в результате помех в канале возможна трансформация (инверсия) любого символа из 1 в 0 или из 0 в 1. В результате на вызов могут откликнуться одна или несколько других радиостанций системы, которые зафиксируют ложный вызов. Другими словами помехоустойчивость такой системы будет очень низкой. Особенно это актуально для радиоканалов мобильной радиосвязи, в которых наблюдаются замирания и значительные уровни помех.

Применение передатчиков мобильных систем, способных создавать полезный энергетический потенциал радиолинии, значительно превышающий потенциал помех в любых условиях связи, потребует значительных мощностей излучения, что ведет к резкому увеличению массогабаритных показателей мобильных станций и практически нереализуемо.

Реальным путем существенного повышения помехоустойчивости является введение в адресные сигналы так называемой информационной избыточности [30]. При этом каждый блок кода будет содержать не только k информационных символов, но также r дополнительных символов, которые называются *проверочными* и служат для обнаружения и исправления ошибок.

Код (2.10) называется блочным избыточным или систематическим (n, k) кодом, состоящим из $n=k+r$ символов. Объем адресного словаря при использовании такого кода не будет увеличиваться, т.к. проверочные символы

не несет информацию, а используются только для увеличения различности каждого блока. Параметром различимости в теории кодирования используется кодовое расстояние - d .

№ комбинации	кг
0	00000000 000000
1	00000001 10101
2	00000010 01010
3	00000011 11001
4	00000100 00111
...
255	11111111 11011

(2.10)

Кодовое расстояние определяется как сумма (по модулю два) любой пары реализации кода. Например, в (2.10) 1 и 2 блоки имеют кодовое расстояние $d=7$, а 1 и 3 блоки имеют $d=3$. Общая помехоустойчивость такого кода будет оцениваться минимальным значением кодового расстояния $d_{\min}=3$. Чем больше значение d_{\min} , тем выше помехоустойчивость системы. Так как помехоустойчивость в избыточных кодах определяется количеством проверочных элементов r , то с повышением помехоустойчивости будет увеличиваться и время обработки сигналов (время установления адресной связи). Поэтому при выборе систематических блочных кодов необходимо применять такое правило формирования избыточности, при котором в проверочной части сосредотачивается наибольшее количество единичных символов (*максимальный вес кода*).

Кодирование может быть линейным и нелинейным. При линейном кодировании формирование проверочной части блока r осуществляется путем линейных операций над элементами информационной части k . В этом случае сумма (по модулю два) любых двух разрешенных кодовых комбинаций является разрешенной кодовой комбинацией. При нелинейном кодировании это правило не выполняется. Избыточность кода при нелинейном кодировании может также входить в состав информационной части. В этом случае код будет несистематическим. Коды, в которых значение d одинаково и максимально для любой пары блоков, называются *экидистантными* кодами [5]. В таких кодах максимальное число обнаруживаемых ошибок определяется как $q_0 = d_{\min} - 1$, а исправляемых ошибок $q_i = \frac{d_{\min} - 1}{2}$ при нечетном d_{\min} и $q_i = \frac{d_{\min}}{2} - 1$ при четном d_{\min} . Если декодер приемной части обнаруживает и исправляет ошибки, то общее их число определяется из условия $q_0 + q_i < d_{\min}$ ($q_0 \geq q_i$).

Обнаружение и исправление ошибок осуществляется декодером приемной станции. При линейном кодировании это осуществляется путем попарного сложения (по модулю два) элементов проверочной части r принятой из канала в составе адреса и проверочной части r' , сформированной из принятой информации части k блока.

Бинарное число, полученное на выходе сумматора по модулю два, называется *ломом* $S(b) = r'$. Если все r' элементов синдрома будут равны нулю, то исправляемые комбинации совпадают. Это говорит об отсутствии искажений адреса *блока* $S(b) = r \oplus r' = 0$ (*нулевой синдром*). Иногда в каналах с параметрами $S(b)$ к стационарным применением кодов с большой избыточностью $S(b)$ возможно применение простейшей процедуры контроля правильности *приема* - проверки принятых частей на четность. Количество избыточных символов при этом уменьшается до $r=1$, то есть к блоку информационной части из k символов *примитивного* кода добавляется один проверочный символ. Если при этом сложить *два* любые комбинации, то при отсутствии искажений в канале получим $d_{\min} = 2$. **Значение синдрома при проверке на четность будет равно $S(b) = 1$ - наличие ошибки и $S(b) = 0$ - отсутствие ошибки.**

В системах формирования адресной информации кроме систематических блочных кодов часто используются непрерывные (рекуррентные) коды, позволяющие эффективно обнаруживать и исправлять группы (паучки) ошибок. Особенно это актуально для каналов мобильных систем радиосвязи, в которых *наблюдаются* значительные колебания уровней сигналов. Искажения дискретных *последовательностей*, передаваемых в таких каналах, проявляются уже не в *единичных*, а групповых ошибках (ошибках кратности Δ).

Ошибкой кратности Δ называется группа искаженных элементарных *символов* значностью Δ , следующих один за другим в n -значной дискретной *последовательности*.

Чем больше кратность ошибки Δ , тем сложнее ее обнаруживать и *исправлять*. Так как обнаружение и исправление ошибок в линейном коде зависит от величины информационной избыточности, то для исправления групповых *ошибок* требуются коды с большой информационной избыточностью, *превышающей* кратность ошибки Δ , то есть $r \geq \Delta$.

Если систематические коды с ограниченной информационной частью k и *значительной* избыточной частью r использовать в качестве адресных сигналов, то *эффективность* такой системы окажется низкой вследствие низкой относительной *скорости* передачи кода, определяемой как k/n . Особенно это проявляется когда z *адресных* сигналов и команд, предназначенных для формирования одной адресной *кодировки*, передаются один за другим в виде nz - значной дискретной *последовательности* (рис. 2.1, а).

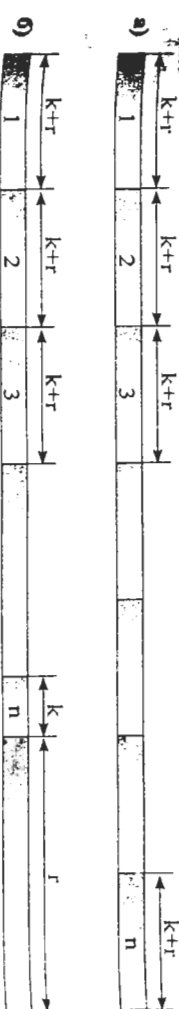


Рис. 2.1. Построение адресных кодировок в виде последовательности кодовых полей.

В этом случае суммарная избыточность кодограммы $R = \sum_{i=1}^Z r_i$ будет

значительно превышать суммарную информационную часть $K = \sum_{i=1}^Z k_i$ и временные затраты на обработку такой кодограммы будут в основном использоваться на анализ избыточной части не несущей информации, увеличивая время установления связи. Целесообразнее кодограммы строить в виде информационного кадра в котором первые Z адресных полей представляют k -значные последовательности адресов, а избыточная часть сосредотачивается в конце кодограммы (рис. 2.1,6).

При такой структуре вызывной кодограммы представляется возможность формировать одну проверочную часть более рациональным способом, позволяющим реализовать требуемые корректирующие способности кода при меньшей значности r проверочной части (то есть реализовать большую скорость передачи k/n). Обработка таких последовательностей осуществляется непрерывно без разделения на блоки.

Из непрерывных кодов широко применение нашли так называемые *сверточные коды*, которые достаточно просто реализуются и обеспечивают исправление ошибок большой кратности Δ . Сверточные коды очень удобны при формировании адресных кодограмм программными методами в процессорах радиостанций мобильной связи. В основу сверточного кодирования положен принцип формирования проверочной последовательности r на основе линейной комбинации элементов информационнои части, непрерывно поступающей на вход кодера. Кодер сверточного кода имеет k -значный входной регистр и линейный многотактный фильтр, содержащий коммутатор, сумматор по модулю два и выходной r -значный регистр проверочных разрядов.

Процедура формирования проверочных разрядов на основе линейных комбинаций информационных разрядов в поле $GF(2^r)$ называется сверткой [5].

Свертка происходит путем суммирования по модулю два каждого информационного разряда с некоторым набором предыдущих информационных разрядов. Такое правило соответствует выражению $V(x) = A(x) \cdot G(x)$, где $V(x)$ - полином проверочной последовательности, $A(x)$ - полином информационной последовательности, а $G(x)$ - образующий полином.

При поступлении на вход кодера информационной последовательности $A(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_kx^k$ и использовании образующего полинома $G(x) = g_0 + g_1x + g_2x^2 + \dots + g_r x^r$ на выходе кодера будут последовательно формироваться разряды проверочного полинома $V(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_nx^n$

- где $b_0 = g_0a_0$;
- $b_1 = g_0a_1 + g_1a_0$;
- $b_2 = g_0a_2 + g_1a_1 + g_2a_0$;
- $b_3 = g_0a_3 + g_1a_2 + g_2a_1 + g_3a_0$;
-
- $b_r = g_0a_r + g_1a_{r-1} + g_2a_{r-2} + g_3a_{r-3} + \dots + g_r a_0$.

Корректирующие свойства сверточного кода оцениваются величиной *шага ограничения*, определяемого как $m = N \cdot (r+1)$. Общее число m кодовых полиномов в сверточном коде равно $N \cdot k$. Декодирование кодового кода осуществляется путем кодирования принятой N - значной последовательности информационных символов и затем сложением по модулю два принятой проверочной части и полученной путем кодирования.

Корректирующие свойства сверточного кода зависят от *шага сложности* L . Шаг сложности определяет величину пачки ошибок $t_{п.ш} = 2L$. Исправляющая способность будет реализована, если каждый проверочный элемент перед передачей в канал связи поддерживается на время $t \cdot t_0$, а пачки ошибок разделены одна от другой защитным интервалом T не содержащим ошибок. Например $T = 6L + 1, t = (3L+1) \cdot t_0$, где t_0 - длительность элементарного сигнала. Изменяя шаг сложности можно выбирать величину кодового ограничения для согласования со статистикой ошибок в канале.

2.2. Синхронизация и фазирование при обработке адресных кодограмм

При обработке адресных кодограмм (кадров) возникает задача определения моментов начала (конца) элементарных сигналов (фронтос импульсов), поступающих из канала (тактовая синхронизация) и определения начала информационного кадра (фазирование).

При прохождении элементарных сигналов по реальному каналу вследствие помех и искажений форма импульса на приемной стороне может быть существенно искажена. В этом случае демодулятор приемной станции будет работать неустойчиво. Устойчивость работы демодулятора в общем случае будет зависеть от параметра связности дискретного канала (1.22). При $\nu = h^2$ дисперсионная последовательности параметр связности $\nu = h^2$ должен превышать некоторое пороговое значение. В этом случае регистрация кадров будет осуществляться без искажений:

$$h^2 \text{ пор} = \frac{E_c}{G_{ш}} = \frac{P_{ш}}{P_{ш}} \cdot \frac{t_{и}}{\xi_a} \cdot F_{эф} \quad (2.11)$$

где $P_{ш}$ - среднее значение мощности элементарного сигнала вместе с помехами;

$t_{и}$ - длительность элементарного сигнала (импульса);

$G_{ш}$ - спектральная плотность мощности аддитивных помех (шума) на входе демодулятора;

$F_{эф}$ - эффективная плотность частот сигнала;

ξ_a - коэффициент асинхронизма.

Неидеальность тактовой синхронизации приводит к уменьшению параметра h^2 . Анализ показывает [34], что среднеквадратичное значение

раскогласования фронтов передаваемого и принимаемого импульсов равно $\Delta t_n \leq 0,05 t_0$ наступает уже при значении коэффициента асинхронизма $\xi_a = 1,3 \dots 1,5$.

В цифровых системах передачи тактовой синхронизация обеспечивается путем формирования в демодуляторе так называемых стробирующих импульсов следующих один за другим через периоды $T_{стр} = t_n$, временное положение которых соответствует положению фронтов поступающих импульсов (рис.2.2).

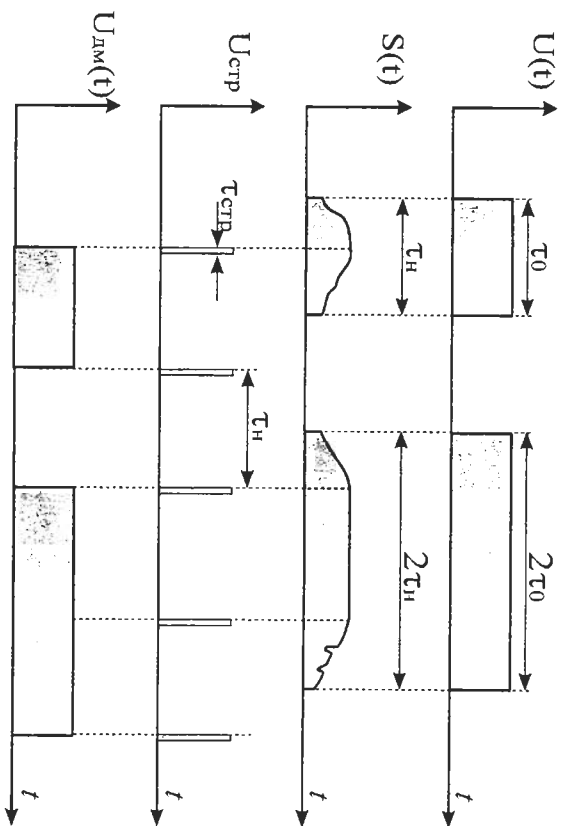


Рис.2.2. Стробирование при приеме элементарных сигналов

Длительность стробирующих импульсов $t_{стр}$ значительно меньше длительности информационных импульсов $t_{стр} \ll t_n$, что соответствует синхронизации по принципу *жороченного контакта* [21]. Это позволяет устанавливать фронты стробирующих импульсов в моменты максимальных амплитуд огибающей сигнала символов $S(t)$, поступающих из канала. По статистике эти моменты соответствуют средней части t_n . Для проведения такой операции генератор стробирующих импульсов должен иметь возможность их автоматического сдвига. Информации по установлению тактовой синхронизации поступает из канала связи. Для этого вначале каждой адресной кодограммы (кадра) передается последовательность единиц и нулей (точки), позволяющая корректировать фазу генератора стробов на опережение или отставание. После окончания процесса стробирования демодулятор приемной радиостанции считается засинхронизованным с модулятором передающей радиостанции.

Устройство тактовой синхронизации работает по функциональной схеме (рис.2.3).

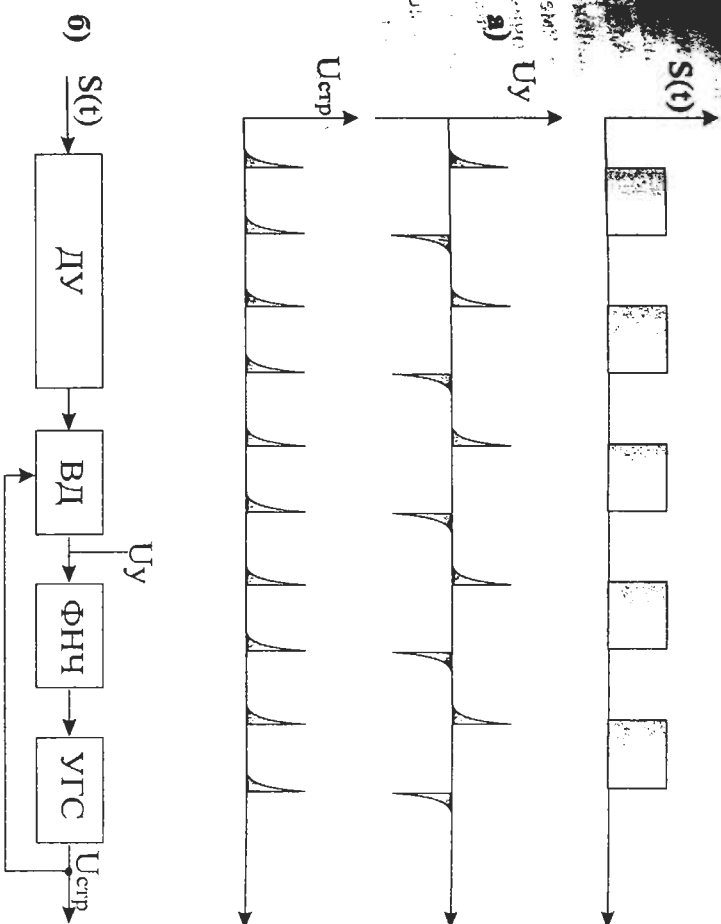


Рис.2.3. Принцип работы устройства тактовой синхронизации

На вход дифференцирующего устройства (ДУ) поступают сигналы тактовой последовательности (точки). На выходе ДУ формируется последовательность коротких импульсов. Временной дискриминатор (ВД) вырабатывает управляющее напряжение $U_y(t)$ пропорциональное временному раскогласованию коротких импульсов с импульсами, поступающими с выхода управляемого генератора стробов (УГС). Напряжение $U_y(t)$ через фильтр нижних частот (ФНЧ) поступает на вход УГС и изменяет частоту следования опорных стробов. Временное раскогласование входной и выходной последовательностей уменьшается до минимума $\Delta t_{н.мин}$.

Фазирование (цикловая синхронизация) в системе адресного установления радиосвязи предназначено для определения начала адресной кодограммы (кадра). В асинхронных адресных системах это необходимо выполнять при каждом сеансе установления связи, так как моменты вхождения в связь являются неопределенными. Определение начала кодограммы может осуществляться стартовыми и синхронным методом. Стартовая система формирует после окончания сеанса радиосвязи так называемый стоповый сигнал, который постоянно поступает в канал. В момент установления адресной связи излучается стартовый сигнал, означающий начало передачи кадра. Такая система проста в реализации, но не пригодна для работы в каналах радиосвязи, так как канал (рабочая частота) оказывается постоянно занятым

стоповым сигналом и не может быть использован другой парой радиостанций. Существенным недостатком такого метода является также низкая помехоустойчивость. В синхронных адресных системах синхронизация поддерживается постоянно независимо от того осуществляется обновление связи или нет. Существо метода синхронизации состоит в формировании и передаче специальной синхронизирующей последовательности которая имеет специальные отличительные признаки по сравнению с рабочими информационными последовательностями (адресами). Важным требованием, предъявляемым к синхронизирующему сигналу, является его высокая помехоустойчивость к воздействию внешних и внутрисистемных помех. Другими словами корреляция синхронизирующего сигнала с сигналами адресов и помех должна быть минимальной.

В качестве сигналов фазирования часто используются специальные цифровые сигналы, называемые M-последовательностями [24].

Функция автокорреляции $\psi_m(\tau)$ M-последовательности длительности τ определяется выражением:

$$\psi_m(\tau) = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} S(t) \cdot S(t + \tau) dt \quad (2.12)$$

где $S(t) = S_0 \sum_{i=0}^{M-1} (-1)^{s_i} \text{rect}(T - \tau_i)$ - сигнал M-последовательности;

$\text{rect}(T - \tau_i)$ - прямоугольная отгибающая сигнала.

Из (2.12) видно, что функция автокорреляции имеет вид ломаной линии, изменяющей свой наклон в точках $T = kT_n$. В точке $T=0$ функция имеет максимальное значение, а в точках $T = kT_n$ (k-нечетное) функция равна нулю (рис.2.4).

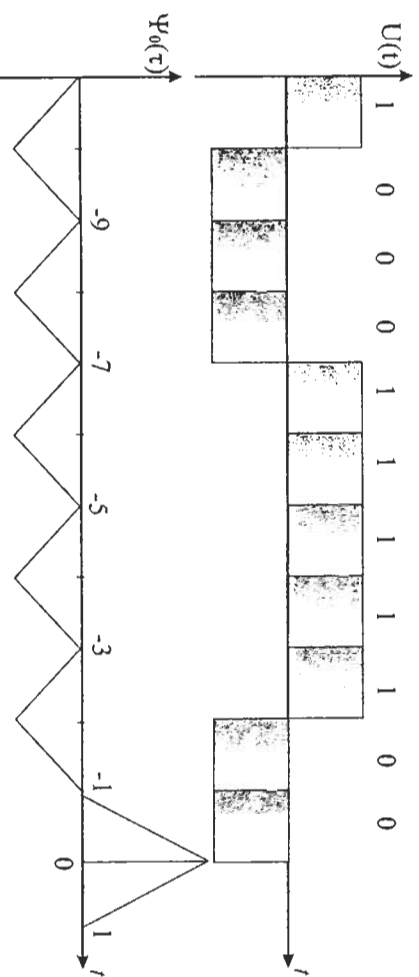


Рис.2.4. Автокорреляционная функция фазированного сигнала

Коэффициент взаимной корреляции между двумя M-последовательностями равен -1, то есть обеспечивается максимальная различимость и помехоустойчивость цифровых сигналов.

Принцип обработки цифрового сигнала (M-последовательность в виде элементарного кода Уилларда) для реализации фазового запятого на функциональной схеме (рис.2.5).

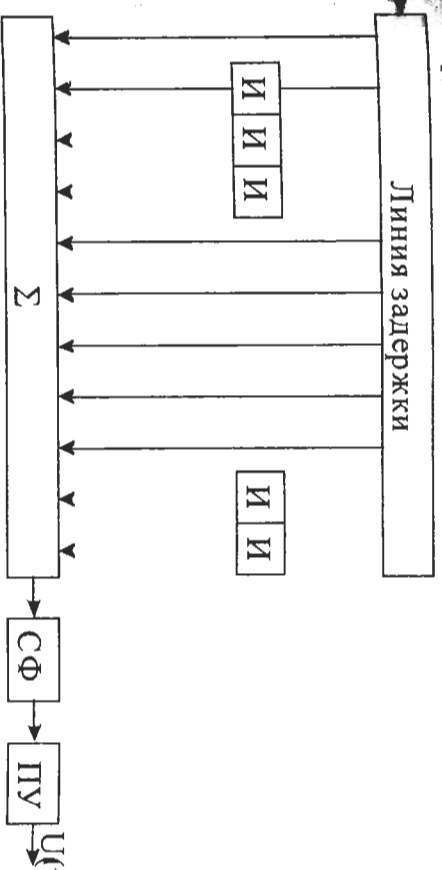


Рис.2.5. Принцип регистрации сигнала фазового запятого.

Синхронизирующая последовательность с выхода демодулятора поступает на вход линии задержки (ЛЗ), которая имеет 11 отводов выделения каждого элементарного импульса t_n . Инверторы (И) на 2,3,4,1 выходящих ЛЗ изменяют полярность поступающих элементов. Таким образом происходит синхронное накопление энергии сложного сигнала в сумматоре (Σ). Фильтр на выходе сумматора согласован с видеосигналом длительностью t_n . В момент окончания 11-го импульса на выходе образуется импульс значительной амплитуды $U_s(t)$ соответствующую центральному пику автокорреляционной функции $\psi_0(\tau)$. Пороговое устройство (ПУ) обеспечивает выделение максимального импульса и подавление других импульсов. Таким образом обеспечивается высокая точность регистрации адреса кодограммы при вхождении в связь. В реальных ССПС м используются другие M последовательности, например 7-элементный Баркера. Функция $\psi_0(\tau)$ такого сигнала ниже, но уменьшается также и в синхронизации.

2.3. Помехоустойчивость приема в каналах мобильной связи

После окончания процедуры тактовой синхронизации и фазиров осуществляется регистрация информационно-адресных кодограмм.

Каждый из элементарных сигналов, поступающих из канала обрабатывается и принимается решение о его правильном или ошибочном приеме. Количественной величиной (параметром) помехоустойчивости является вероятность ошибочного приема элементарного сигнала $P_{ош}$.

При оценке помехоустойчивости связанных систем чаще всего используют критерий максимальной правдоподобия, определяющий максимум апостериорной вероятности передачи элементарного сигнала b_i при условии, что принят сигнал $S(t)$ $\text{Max}[P(b_i/S)]$ [8]. Условная плотность распределения вероятности $[S(b_i)]$ является функцией правдоподобия гипотезы передачи символа b_i при реализации принимаемого сигнала $S(t)$. Принятый сигнал считается более правдоподобным, если выполняется условие $\text{max}[W(S(b_i))]$ и $\text{max}[\ln W(S(b_i))]$.

Для бинарных систем с активной паузой и неопределенной фазе сигнала (например для системы мобильной связи стандарта NMT-450)) критерий максимального правдоподобия записывается в виде $\text{Max}[k\sqrt{E_i}]$, где k коэффициент передачи канала, а E_i - энергия i -го элементарного сигнала на выходе передатчика. Данный критерий позволяет применять выражение вероятности ошибочного приема элементарного сигнала для бинарной системы с частотной манипуляцией [15]:

$$P_{\text{ош}}(q^2, h^2) = \exp\left\{-\frac{2q^2 h^2}{2[2(1+q^2) + h^2]}\right\} \left[1 + \frac{h^2}{2(1+q^2)}\right] \quad (2.13)$$

где $q^2 = \frac{P_{\text{рег}}}{P_{\text{фл}}}$ - отношение средних мощностей регулярированной

флуктуирующей составляющих сигнала;

$h^2 = \frac{E_s}{G_{\text{ш}}}$ - энергетический параметр канала (отношение энергии

элементарного сигнала к спектральной плотности мощности шума в месте приема).

При $q^2 = \infty$ (канал с регулярированной мощностью в котором сигнал формируется только за счет регулярированной составляющей, т.е. при отсутствии эффекта экранирования антенн) из 2.13 следует результат:

$$P_{\text{ош}}(q^2, h^2) = 0,5 \exp\left(-\frac{h^2}{2}\right) \quad (2.14)$$

При $q^2 = 0$ (канал с флуктуирующей мощностью, в котором сигнал формируется только за счет интерференции отраженных лучей) из 2.13 следует результат: $P_{\text{ош}}(q^2, h^2) = 1/(2 + h^2)$ (2.15)

Зависимость изменения параметра $P_{\text{ош}}$ от значений параметров h^2 , q^2 показана на рис.2.6.

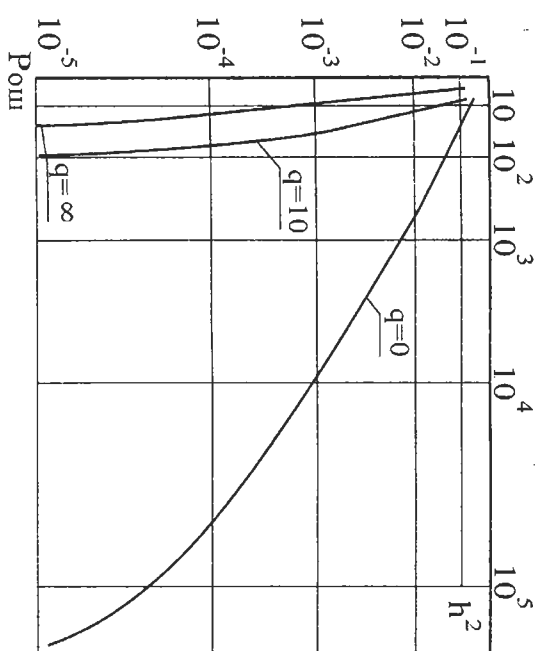


Рис.2.6. Вероятность приема элементарного сигнала при различной стационарности канала

2.4. Математическое представление (модель) дискретного составного канала ССПС

Уравнение радиолинии (1.22) показывает, что каналы ССПС являются каналами с переменными параметрами. Это обуславливает вероятностный характер установления адресной связи. Возникает задача определения условий, при которых каналы приближаются к состояниям локальной стационарности, обеспечивающей безусловное установление радиосвязи.

Условия локальной стационарности каналов мобильной системы с достаточной точностью оцениваются моделью, связывающей параметры сигнала с параметрами системы (2.1), следовательно и обобщенная модель дискретного канала мобильной системы может трактоваться как условие, функционально связывающее параметры системы и параметры дискретного сигнала:

$$P(m, n) = f(h^2, m, n) \quad (2.16)$$

где h^2 - энергетический параметр канала;

m - количество ошибок, зарегистрированных в адресной кодотграмме;

n - общее количество элементарных сигналов в адресной кодотграмме.

Статистические исследования каналов мобильной системы связи диапазона ОВЧ [40], проводимые в различных условиях (прямая видимость, слабопересеченная местность, город, различная скорость перемещения

станций), подтвердили линейную зависимость группирования ошибок, выявленную в [31]:

$$P(\geq 1, n) = n \cdot P_{\text{ош}} / n^\alpha \quad (2.17)$$

где $P(\geq 1, n)$ - вероятность приема n - значной цифровой комбинации с одной и более ошибок;

n - количество знаков в цифровой последовательности;

$P_{\text{ош}}$ - среднее значение вероятности искажения одного знака;

α - показатель группирования искаженных знаков.

На рис.2.7 показатель α количественно определяет крутизну (угол) нарастания функции произвольной кратности ошибок $P(\geq 1, n)$.

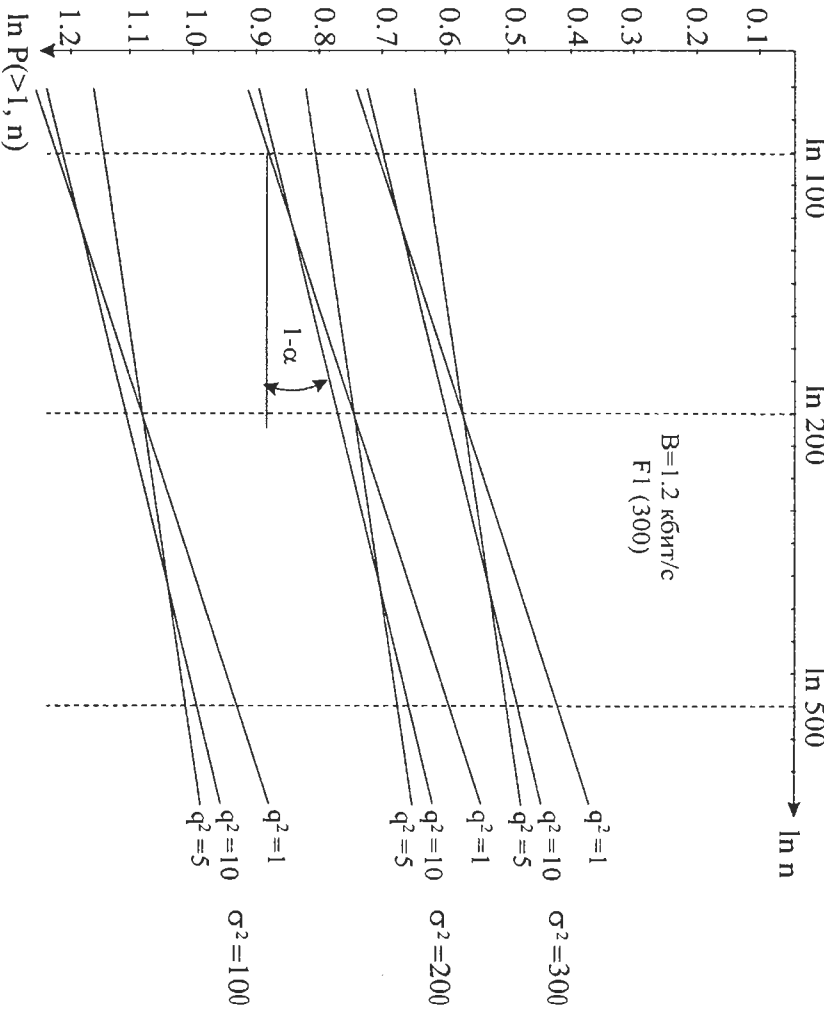


Рис.2.7. Зависимость показателя группирования ошибок α от значности n цифровой последовательности

В отличие от радиоканалов стационарных систем связи, работающих в том же частотном диапазоне, показатель α в каналах ССПС изменяет свое значение в зависимости от условий распространения радиоволн на трассе радиосвязи. Величина показателя α изменяется в пределах $0 < \alpha < 1$, не

значений $\alpha=0$ и $\alpha=1$. Это говорит о том, что радиоканал ССПС не описывается гауссовской моделью $P(\geq 1, n) = n \cdot P_{\text{ош}}$ также как и гауссовской моделью $P(\geq 1, n) = P_{\text{ош}}$ характерной для каналов с помехами (каналов сети ТФОП) [11,12]. Из-за существенного разброса значений параметра α в радиоканалах ССПС использование статистической модели канала (2.17) для инженерных расчетов оказывается неудобным. Группирование ошибок в каналах подвижных систем является результатом измененный параметров, приводящим к изменению значения $P_{\text{ош}}$.

При работе на среднепересеченной местности изменяющиеся условия экранирования трасс радиосвязи при движении MS приводят к медленным изменениям параметра h^2 . Наличие достаточного количества BS в зоне обслуживания и правильное их размещение на местности обеспечивает поддержание параметра h^2 на требуемом на уровне за счет регулярной мощности сигнала в месте приема $P_{\text{реп}}$. Отражение радиоволн, определяющее появление флуктуирующей мощности в месте приема, практически не оказывается на общем уровне сигнала, т.е. выполняется условие $P_{\text{реп}} > P_{\text{фн}}$. и параметр $q^2 = P_{\text{реп}} / P_{\text{фн}}$ имеет величину порядка $q^2 \geq 10$ (в условиях города значение параметра q^2 может существенно изменяться и иметь значительно меньшую величину).

Действие медленных замираний сигнала из-за экранирования трасс радиосвязи проявляется на длительных временных отрезках и проявляется при больших значностях колдограмм (кадров) n , или при медленной передаче сигналов.

При скоростях передачи $V \geq 1200$ бит/с явление замираний наблюдаются только во время быстрого перемещения MS по сильно пересеченной местности в условиях города.

При скоростях движения $v \leq 60$ км/час состояния каналов в различных отрезках времени декоррелированы и могут рассматриваться как отдельные реализации локальной стационарности каналов.

Используя выражение 1.12, представим плотность распределения модуля параметра h^2 для каналов ССПС:

$$W(h^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(\ln h^2 - m)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.18)$$

где m — соответственно математическое ожидание и дисперсия модуля параметра $\ln h^2$.

Модель канала ССПС, для условий среднепересеченной местности, учитывающая физические процессы колебаний параметров каналов и связывающая их с параметрами цифровых последовательностей, выражается как интегральная функция кратности [50]:

$$P(m,n) = \frac{C_m}{\sqrt{2\pi\sigma}} \int_0^{h^2} \frac{P_{0ш}(h^2)}{h^2} [1 - P_{0ш}(h^2)]^{n-m} \exp\left[-\frac{(\ln h^2 - m)^2}{2\sigma^2} \frac{1}{\ln h^2}\right] dh^2 \quad (2.19)$$

где $m_{\ln h^2} = \ln m - 0,5 \ln(1 + \frac{\sigma^2}{m \ln h^2})$, $\sigma^2 = \ln(1 + \frac{\sigma^2}{m})$

Выражение (2.19) является математическим представлением (моделью) составного канала ССПС, включавшего каналы радиорулевого и фиксированной сети ТФОП. Выражение (2.19) позволяет связать энергетический параметр канала h^2 и информационные параметры цифровой системы передачи с учетом колебаний параметров q^2, σ^2 в зависимости от помеховой обстановки и особенностей трасс радиосвязи.

Использование моделей (2.17 и 2.19) позволяет получить выражение показателя группирования ошибок и выявить закономерности группирования ошибок при различных локально-стационарных состояниях составных каналов ССПС:

$$\alpha = 1 - \frac{\ln P(\geq 1, n) - \ln P(\geq 1, n_2)}{\ln n_2 - \ln n_1} \quad (2.20)$$

где $P(\geq 1, n) = 1 - P(n, m)$, при $m=0$.

Моделирование различных состояний локальной стационарности составных каналов при различных значениях параметров h^2, q^2, σ^2 позволяет выявить закономерности изменения параметра α (рис.2.8).

Работа составных каналов мобильных систем связи и сетей ТФОП характеризуется тремя состояниями локальной стационарности.

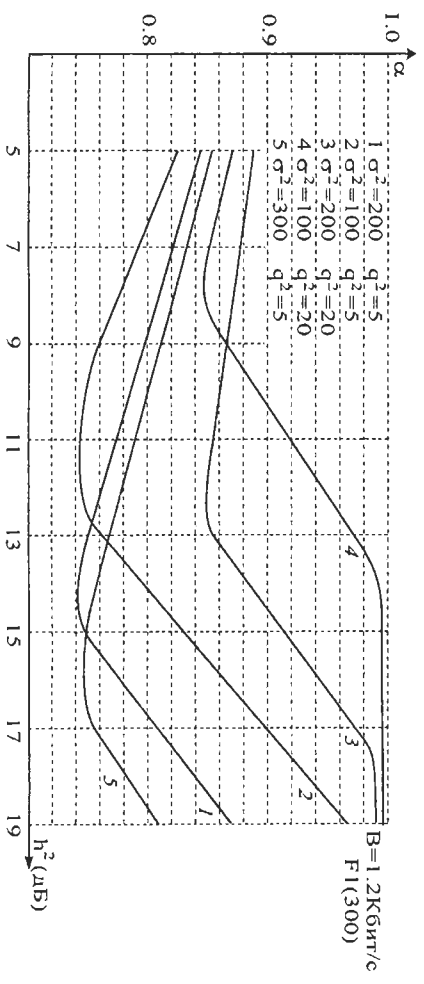


Рис.2.8. Зависимость показателя группирования ошибок α в каналах ССПС

Левые ветви графиков показывают состояния каналов при малых значениях параметра h^2 . Значительное группирование ошибок в начальной части спектра наблюдается в результате воздействия аддитивных помех. Это характерно для радиосети MS на предельных расстояниях от BS когда в радиоканалах преобладают шумовые помехи, а мощность сигнала в месте приема недостаточна. С ростом мощности сигнала в месте приема P_c (приближением MS к зоне уверенного приема) показатель группирования α уменьшается. Наличие дифракционных (σ^2) и интерференционных (q^2) колебаний параметра h^2 в этой области приводит к незначительным изменениям показателя группирования ошибок.

В средней части графиков воздействие аддитивных и мультипликативных помех на показатель группирования ошибок оказывается примерно равноценным. Средние значения графиков характеризуют область наименьшего группирования ошибок. Однако, группирование ошибок не снижается менее величины $\alpha = 0,4$. Нахождение системы в данной области ограничено ее малыми границами.

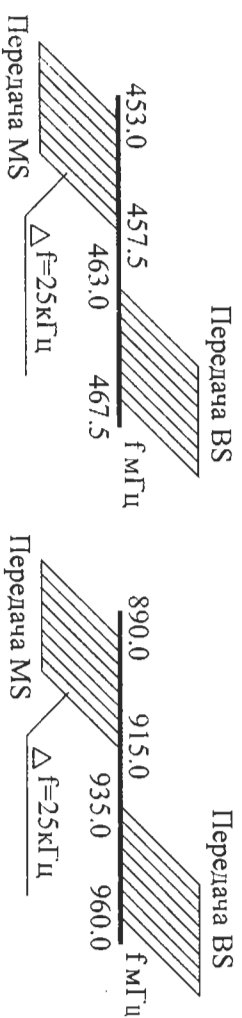
Правые ветви графиков характеризуют состояния составных каналов при больших значениях параметра h^2 . Это характерно для работы MS в пределах зон покрытия электромагнитным полем. В этой области воздействие мультипликативных параметров q^2, σ^2 , определяющих энергетические состояния канала, резко сказывается на группировании ошибок. Параметры каналов мобильной радиосвязи в этой области приближаются к параметрам каналов фиксированной сети ТФОП и характеризуется двумя состояниями - высокое качество либо плохое качество. При наличии табулированных данных по значениям показателя группирования ошибок α можно использовать формулу (2.19) для определения вероятности установления связи в составных каналах наземных ССПС.

Следует учитывать, что рассматриваемая модель успешно работает только на ограниченных периодах использования составных каналов [46]. При увеличении времени занятия каналов справедливость модели нарушается так как увеличивается вероятность переходных состояний канала. В существующих наземных ССПС это корректируется следующим образом. В сотовых системах стандарта NMT-450i (900) и системах транкинговой связи при увеличении мощности помех в местах приема осуществляется автоматическая смена канала (скип-коммутиция) [32,42]. При уменьшении мощности полезного сигнала осуществляется автоматическое увеличение выходной мощности передатчика BS, а также эстафетная передача MS от одной BS к другой при ее перемещении в зоне обслуживания (процедура HANDOVER). В системе стандарта GSM и спутниковой мобильной связи эта проблема решается с помощью частотной декорреляции состояний каналов методом медленной ШПРЧ (псевдослучайные прыжки рабочих частот) в процессе сеанса радиосвязи. В мобильных системах с кодовым разделением каналов и системах пейджинговой связи [45] декорреляция состояний канала осуществляется путем скремблирования (раздельной обработки нулей и единиц кадров) и временного разноса кадров (многократным повторением вызовов).

МОБИЛЬНЫЕ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ (СОТОВЫЕ) СИСТЕМЫ СВЯЗИ СТАНДАРТОВ NMT-450 I (NMT-900)

1. Общая характеристика сотовых мобильных систем связи стандартов NMT-450i (NMT-900).

Сотовые системы мобильной связи NMT-450, NMT-900 (Nordic mobile Group System Description) разработаны Ведомством Скандинавских почт и связи и корпорацией Эрикссон [42]. Стандарт NMT-450 разработан в 80-х, а NMT-900 - в 90-х годах, при этом принципы функционирования системы остались прежними. Усложнилось лишь структурное построение и существенно возросли технические возможности по расширению зон обслуживания. Обе системы успешно работают во многих странах мира. В Украине в настоящее время развернута усовершенствованная система NMT-450i. Мобильные системы стандартов NMT-450 и NMT-900 работают в диапазоне ОВЧ и занимают самостоятельные частотные участки (рис. 3.1).



$$N_f = \frac{f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}}{\Delta f} = 180$$

$$N_f = \frac{f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}}{\Delta f} = 1000$$

Рис.3.1. План частот ССПС стандартов NMT-450i (900)

Для создания дуплексных радиоканалов и обеспечения максимальной развязки между каналами приема и передачи частотные участки систем поделены на 2 части, нижний частотный участок используется для формирования каналов передачи мобильных станций (MS), а верхний участок - для формирования каналов передачи базовых станций (BS). Такое разделение обеспечивает частотный разнос между каналами передачи и приема в каждом канале $\Delta f_p = 10$ МГц для системы NMT-450i и $\Delta f_p = 34,5$ МГц для системы NMT-900. Общее количество дуплексных каналов определяется как:

$$N_f = (f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}) / \Delta f_p \quad (3.1)$$

где $f_{\text{макс}}$, $f_{\text{мин}}$ - соответственно максимальная и минимальная частоты участка передачи (приема);

Δf_p - полосу частот, выделяемая на канал передачи (приема).

Для системы NMT-450i при $\Delta f_p = 25$ кГц общее количество дуплексных каналов составляет $N_f = 180$, а для системы NMT-900 - $N_f = 1000$. Особенностью стандарта NMT-900 является то, что из общего количества дуплексных каналов NMT-900 используются только $N_{\text{оп}} = 304$ канала, которые занимают основную часть частот. Мобильные станции ведут поиск каналов трафика только в пределах основной полосы частот. Остальные каналы используются как резерв для расширения системы по команде ЦКПС. Другой особенностью стандарта NMT-900 является наличие дополнительных служебных каналов. Кроме каналов вызова, трафика и доступа в стандарте NMT-900 выделен также канал *выборочного доступа*, позволяющий обеспечивать ускоренный процесс установления радиосвязи, а также канал тестирования трафика. Стандарты NMT-900 и NMT-450i обеспечивают преобразование любого канала в другой, требуемый для системы. Это осуществляется путем перепрограммирования. Наличие резерва каналов позволяет в системе NMT-900 создавать кроме больших и малых сот также микросоты и зонтичные соты (в стандарте NMT-450i используются только большие и малые соты). Количество каналов может быть увеличено путем сужения полосы частот, выделяемой на канал до $\Delta f_p = 20$ кГц. В мобильной системе NMT-450i при этом создаются $N_f = 225$, а в системе NMT-900 $N_f = 1250$ дуплексных каналов радиосвязи.

Пропускная способность систем обеспечивается пропускной способностью ЦКПС и пропускной способностью радиорунья зоны обслуживания. Центр коммутации подвижной службы (далее коммутационный центр - КЦ) в стандартах NMT-450i (NMT-900) может одновременно контролировать до 64 зон обслуживания. Каждая зона обслуживания может включать до 16 телекоммуникационных ячеек (ТЯ). Таким образом, максимальное количество контролируемых ТЯ одним КЦ составляет 1024. Модульная конструкция КЦ обеспечивает поэтапное расширение его абонентской емкости.

Пропускная способность радиорунья в зоне обслуживания определяется:

- количеством телекоммуникационных ячеек (сот);
 - канальной емкостью BS;
 - количеством вызовов и длительностью переговоров.
- Пропускная способность ТЯ определяется не только пропускной способностью каналов *трафика*, но и пропускной способностью каналов *вызова*. Поскольку сигналы вызова параллельно передаются по всем BS в пределах зоны обслуживания, а время занятия канала вызова составляет $t_{\text{зак}} + t_{\text{ком}} = 250$ мс, то максимальное количество вызовов в зоне обслуживания составляет $Z_g = 14 \cdot 10^3$ в час. При использовании BS, включающих несколько *мобильных модулей*, при условии равномерного распределения нагрузки на каждый модуль, количество вызовов может достигать $Z_g = 25 \cdot 10^3$ в час.

Передача служебной информации по каналам радиорунья осуществляется способом узкополосной частотной манипуляции. Частоты манипуляции соответствуют при передаче "1" $f = 1,2$ кГц, при передаче "0"

$f_2=1,8$ кГц. Частотный спектр и фаза модулирующего сигнала при передаче цифровой информации показаны на рис. 3.2.

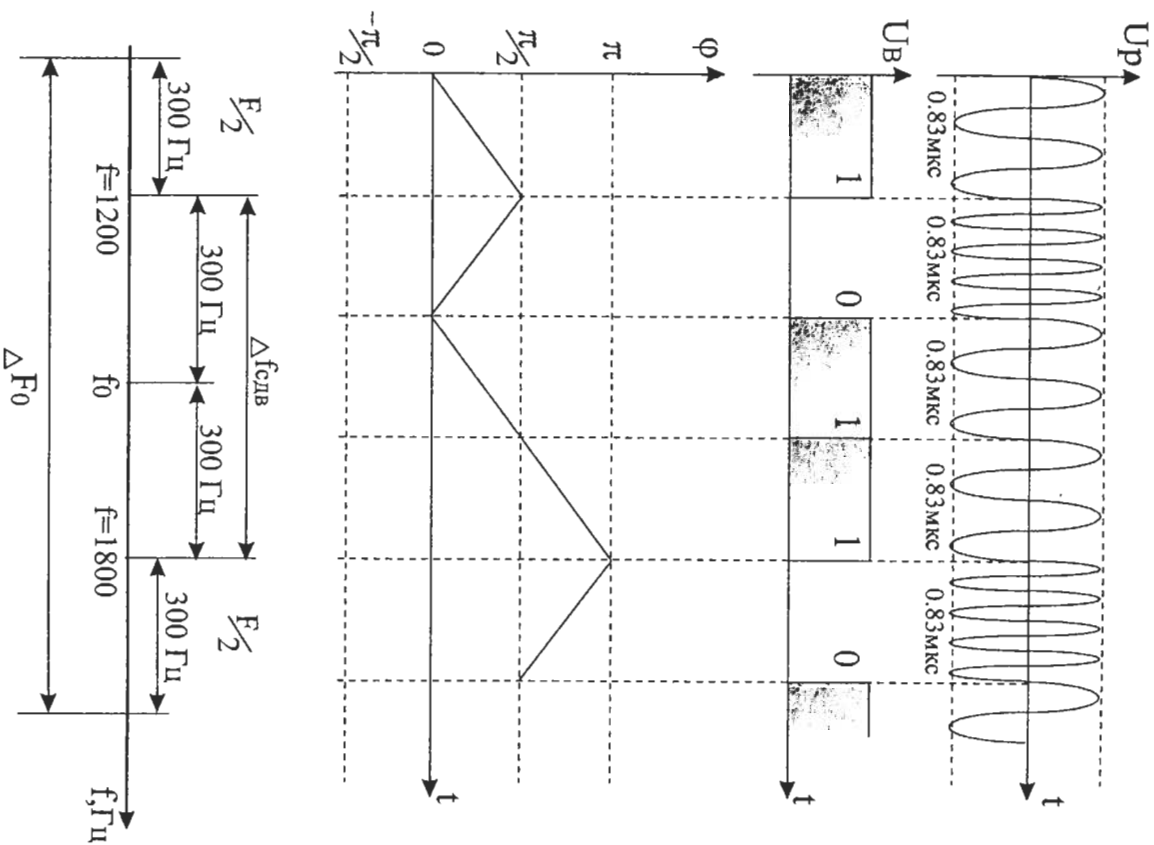


Рис.3.2. Частотный спектр и фаза FFSK сигналов при передаче цифровой последовательности.

Используемый класс бинарных сигналов F1-600 со сдвигом $\Delta f_{slav}=600$ Гц при выбранной скорости передачи $V=1200$ бит/с определяет систему передачи как систему с минимальным сдвигом частоты в которой используются бинарные сигналы с частотами f_r+300 Гц и f_r-300 Гц с частотой манипуляции равной $F_m=\beta/2=600$ Гц. Способ узкополосной частотной манипуляции

делает систему передачи к ортогональной в усиленном смысле [15]. При достаточно просто решается инженерно-техническая задача доставки сигналов в приемных трактах MS и BS с помощью частотных фильтров. Спектральная плотность мощности элементарных сигналов является достаточной для их различения (ортогональности). Это обеспечивает устойчивую работу модемов преобразующих ЧМ сигналы в ФМ (GMSK) сигналы при приеме цифровых последовательностей.

2. Структурное построение ССПС стандартов NMT-450i (NMT-900)

Структура ССПС, используемой стандарт NMT-450i (NMT-900), показана на рис. 3.3.

Мобильная система является двухуровневой иерархической системой связи с централизованным автоматическим диспетчированием. Первый уровень системы (радиуровень) представляет мобильную часть в которой каналы связи формируются с помощью радиотрактов MS и BS.

Второй уровень системы представляет стационарную часть в которой каналы связи формируются с помощью коммутируемых соединительных линий. Соединение первого и второго уровня осуществляется с помощью специального унифицированного интерфейса (стыка), роль которого играет ЦКПС. Это обеспечивает возможность использования различной аппаратуры первого уровня с фиксированной сетью общего пользования (ТФОП).

Коммутационный центр представляет собой цифровую телефонную станцию, в состав которой входят интерфейсы со стационарной сетью проводной телефонной связи и мобильной сетью радиотелефонной связи. Основное назначение КЦ состоит в каналообразовании и организации трафика в одной или нескольких выделенных зонах обслуживания (зонах трафика). Каждая BS в зоне обслуживания является интерфейсом между радиотрактами и КЦ. Основным назначением BS является формирование радиоканалов с мобильными станциями (MS) и ретрансляция передач на КЦ. Для одновременного обслуживания нескольких MS каждая BS использует несколько дуплексных радиоканалов. Таким образом, BS является многоканальной приемопередающей радиостанцией, выполняющей роль радиокросса (узла радиоканалов) и ретранслятора сигналов. Выходы (входы) дуплексных каналов BS через интерфейс транзитом подаются на КЦ. Современные BS строятся по принципу модульной конструкции. Одна стойка (модуль) BS имеет 8 (ВД-28N) или 16 (ВД-34N) дуплексных радиоканалов. Для наращивания пропускной способности BS может включаться несколько типовых модулей.

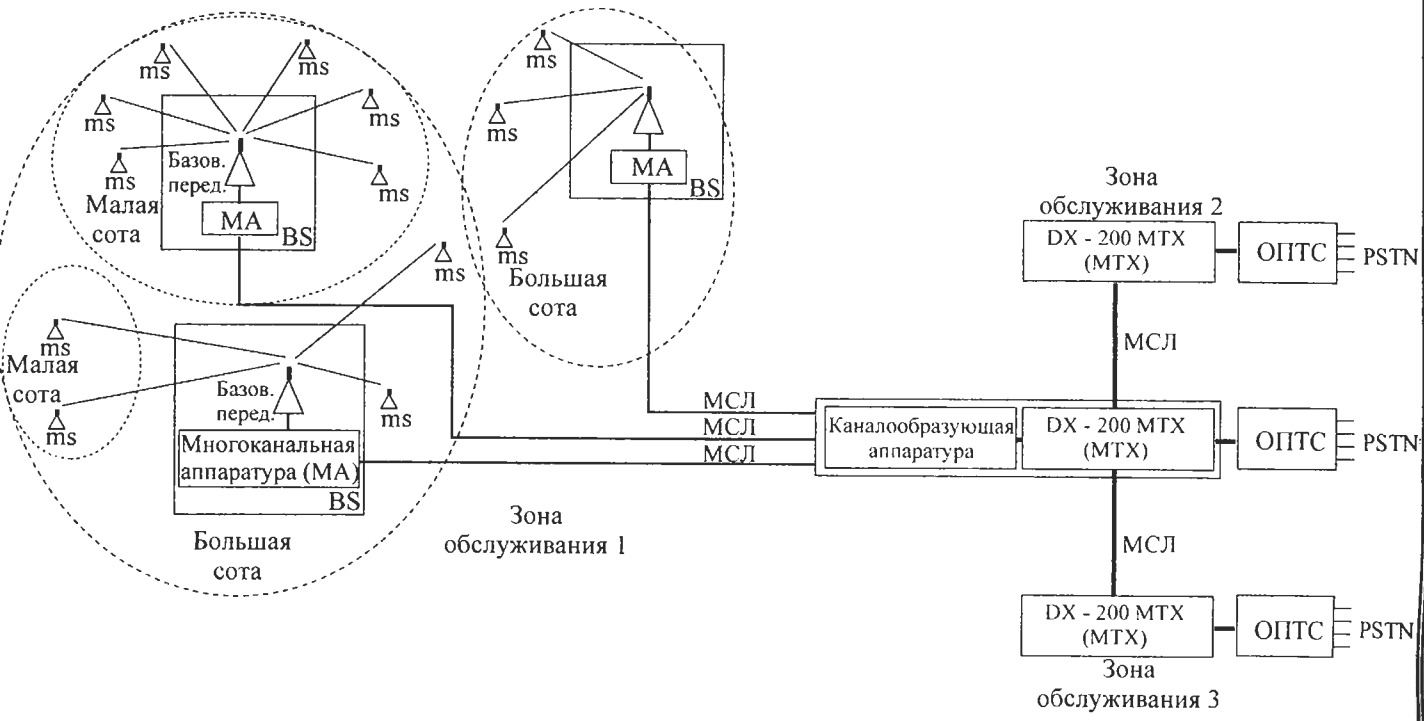


Рис. 3.3. Структурное построение СПС стандарта NMT-450i (NMT-900).

построении системы на пересеченной местности ТД могут иметь различные размеры. Деление зоны обслуживания на ТД осуществляется по плану комбинации различных сот. Большие и зонтичные соты имеют зону обслуживания $R_{зо} = 5 \dots 20$ км. Излучаемые мощности бортовых MS $P_z \approx 6$ Вт, а носимых MS - $P_z = 1$ Вт. Малые соты имеют радиус зон обслуживания $R_{зо} = 2 \dots 6$ км. Излучаемые мощности бортовых и носимых MS $P_z = 0,1$ Вт. Микросоты имеют радиус зон обслуживания $R_{зо} = 0,5 \dots 2$ км. Наличие зонтичных сот позволяет реализовать принцип организации "сота в соте". Это существенно повышает надежность установления связи в сложных условиях пересеченной местности. Например, если MS выходит из территориального пространства микросоты в зонтичную соту, то она автоматически обслуживается BS зонтичной соты.

Деление зоны обслуживания на отдельные территории кроме обеспечения требуемых уровней сигналов в местах приема позволяет также существенно ускорить процессы коммутации (образования каналов), что увеличивает пропускную способность системы. Для уменьшения уровня радиальных помех и устранения перегрузки радиоприемных трактов при сближении MS и BS, а также при переходе из зонтичной соты в микросоту выделяемая мощность MS и BS может автоматически изменяться по команде КД после оценки качества канала по параметру соотношения сигнал/помеха (SNR). Время, затрачиваемое на коммутацию каналов существующей аппаратурой, составляет:

- при вызове от MS - 4 с;
- при вызове от сети ТФОП - 2 с;
- время освобождения канала - 0,75 с.

Организацией радиосвязи в зоне трафика предусматривается использование нескольких каналов, отличающихся только по принципу пользования:

- канал вызова (данных);
- канал трафика (разговора);
- канал доступа (оценки качества радиолинии).

Канал вызова используется только для передачи вызывных кодов программ со стороны КД к MS. Канал доступа используется только для передачи вызывных кодов программ со стороны MS к КД. Каналы трафика используются для организации разговоров после обмена вызывных кодов программ по каналам вызова (доступа). В некоторых случаях программой предусматривается использование каналов трафика MS для вызова КД.

Обычно в одной стойке BS BD-28N назначается 1 канал вызова, 1 канал доступа и 6 каналов трафика. Номера каналов и номиналы частот приема и передачи могут быть любыми из общего диапазона частот стандарта. Закрепление каналов за ТД осуществляется только путем программирования BS. Поскольку полосы частот приема и передачи каждой стойки (модуля) BS различны, то каждая стойка имеет свой блок антенно-фидерного оборудования. В качестве антенных устройств BS могут входить ненаправленные антенны

типа "шттырь" и направленные антенны типа ЛПА (логотериодическая антенна). Использование антенн направленного действия позволяет создавать значительные площади зон обслуживания BS (площади зон покрытия).

3. Режимы работы СПС стандартов NMT-450i (NMT-900i).

Мобильная сотовая система связи в процессе функционирования может условно находиться в трех состояниях (режимах работы):

- дежурный прием (прием и передача служебных кодограмм);
- установление связи (прием и передача кодограмм вызова);
- ведение связи (трафик).

Режим дежурного приема соответствует состоянию системы когда заявки на разговоры от пользователей не поступают, но между элементами системы периодически осуществляется обмен служебной цифровой информацией. Служебная информация циркулирует между MS и КЦ через BS, а также между BS и КЦ. Инициатором обмена служебной информацией может быть любой элемент системы.

Основной целью обмена служебной информацией является актуализация данных о местоположении MS в зонах обслуживания (роуминг) и контроль состояния системы.

Процесс определения координат местоположения мобильной станции в зонах обслуживания называется роумингом.

Процедура роуминга осуществляется в автоматическом режиме. Команды на роуминг могут вырабатываться аппаратурой, а также подаваться принудительно пользователем.

Поскольку MS систематически и произвольным образом перемещаются по территории (зоне) обслуживания, то каждая из них может оказаться в зоне действия любой BS, обслуживаемой одним КЦ, и в зоне действия BS, обслуживаемой другим КЦ, а также в зонах обслуживания других государств. В любой момент времени функционирования КЦ должен "знать" какие MS находятся в его зоне трафика и какой конкретно BS они обслуживаются. Кроме того КЦ должен без ошибки идентифицировать любую MS, вошедшую в его зону обслуживания.

Процесс выявления полных данных о MS и ее функциональных возможностях называется идентификацией MS.

Поскольку количество MS в системе связи велико, то общий объем информации о всех MS требует очень большой "памяти" каждого КЦ. Такой возможностью существующая аппаратура КЦ не обладает. Поэтому в системе предусматривается использование так называемых "домашних" КЦ к каждому из которых прицепляется (присплавывается по административному признаку) определенная группа MS.

В соответствии с этим все КЦ системы могут считаться "домашними" для своих MS и "гостевыми" (гостевыми) для чужих MS. Объем памяти каждого КЦ в этом случае позволяет хранить только данные о "домашних" MS. Если число MS увеличивается, то это ведет к необходимости увеличения количества КЦ в регионе.

3.1. Роуминг в пределах "домашнего" КЦ

Если MS в процессе перемещения вышла из зоны действия одной BS и вошла в зону действия другой BS, причем обе BS обслуживаются одним КЦ, алгоритм работы MS предусматривает автоматический переход с BS в зону действия другой BS и переходе в режим дежурного приема. В зависимости от режима трафика) и переходе в режим дежурного приема. В зависимости от емкости каждой BS может иметь один или несколько каналов обслуживания роуминга, причем кодограммы отличаются только зоной обслуживания (адресами BS). Кроме этого кодограммы содержат данные о номере зоны обслуживания (адрес КЦ), выделяемой рабочей полосе частот (трафик) (доступа). Если MS принимает подряд две кодограммы роуминга с адресом новой BS, то это является для MS сигналом вхождения в новую ТД, то есть, в зону действия другой BS. После этого MS по обратному каналу вызова передает кодограмму-квитанцию в адресных полях которой содержится адрес BS, адрес новой ТД и адрес зоны обслуживания. Базовая станция, обслуживающая ТД, транзитом передает кодограмму-квитанцию на КЦ. Таким образом, КЦ путем систематического опроса по зонам трафика всех подчиненных BS, систематически обновляет данные о наличии и местоположении MS в своей зоне обслуживания. Чем сложнее структура мобильной системы (чем больше сот различного назначения), тем чаще осуществляются процессы автоматического роуминга. Если MS по каким либо причинам не получает кодограмму роуминга, то MS периодически делает запрос на роуминг на канал трафика или доступа. В этих случаях MS сама является инициатором роуминга с целью актуализации данных о ТД и зоне обслуживания в пределах которых она вошла в процессе перемещения. В противном случае MS не может сделать вызов в случае заявки на связь пользователем так, как не "знает" кому адресовать свои данные. Запрос на роуминг может быть сделан и пользователем MS. Информация о необходимости обновления данных индицируется на устройстве отображения интерфейса пользователя.

При приеме кодограммы роумингового вызова от MS базовая станция, ретранслирует ее на КЦ, который сопоставляет данные полученные от MS с хранящимися в его памяти сведениями:

- категории абонента (MS);
 - лимиты связи;
 - зональной информации;
 - информации о занятости (незанятости) линии.
- После анализа сведений о MS КЦ формирует кодограмму-квитанцию.

3.2. Роуминг в пределах "посещаемого" ЦКПС

Пусть MS в процессе перемещения вышла из зоны обслуживания своего домашнего КЦ и вошла в зону обслуживания другого посещаемого КЦ. Процедура приема кодограммы роуминга по каналу вызова остается при этом без изменения. Кодограмма будет содержать новые данные о зоне трафика (новой зоне обслуживания). Процедура передачи кодограммы-квитанции роуминга т. е. ответа на полученную кодограмму будет проводиться в таком же порядке.

Посещаемый КЦ, приняв квитанционную кодограмму, идентифицирует данные гостевой MS и по ним выявляет адрес ее домашнего КЦ. После этого посещаемый КЦ обращается с запросом к домашнему КЦ данной MS по каналам МСЛ. Скорость передачи данных в МСЛ, соединяющих КЦ разных зон обслуживания, значительно превосходит скорость передачи данных в радиоканалах.

В кадре запроса передаются данные о новых координатах местонахождения MS (новой ТЯ и зоне обслуживания). В ответном кадре домашний КЦ передает полные данные о данной MS включающие:

- категорию абонента;
- лимиты связи;
- зональную информацию;
- информацию о занятости (незанятости) линии.

Обмен данными о MS между "гостевым" и "домашним" коммуникационными центрами называется роуминговым буфером.

После получения полных данных о гостевой MS посещаемый КЦ берет эту MS на обслуживание в своей зоне трафика и присваивает ей временный ("блуждающий") адрес.

При выходе гостевой MS из зоны обслуживания посещаемого КЦ и входе в зону обслуживания другого посещаемого КЦ процедура роуминга и роумингового буфера с домашним КЦ происходит по такому же алгоритму. Домашний КЦ кроме этого посылает кодограммы управления на предыдущий посещаемый КЦ для стирания данных о гостевой MS из его памяти.

3.3. Установление связи между абонентами ССПС

Режим *установления связи* определяет состояние системы, когда мобильные и стационарные абоненты делают заявки на организацию связи (посылают вызовы абонентам).

В случае, если запросы на разговор исходят от MS, то осуществляются следующие процедуры. Абонент MS набирает номер (адрес) требуемого абонента. Мобильная станция перестраивается с канала вызова на свободный канал доступа или трафика (в зависимости от стандарта сотовой системы) и передает кодограмму вызова. Кодограмма вызова включает адрес канала

трафика), адрес своей станции, зоную информацию, адрес абонента и различную дополнительную информацию. Базовая станция передает вызов на КЦ. Если до вызова процедура роуминга не проводилась на канале вызова, то КЦ в режиме роумингового буфера обращается к домашнему КЦ этой MS. При получении данных о гостевой MS посещаемый КЦ передает кодограмму-квитанцию по обратному каналу доступа (трафика) в которой даны данные о рабочем канале трафика.

Мобильная станция перестраивается на предложенный рабочий канал трафика и принимает измерительный сигнал, называемый пилот-тоном или пилот-сигналом, с частотой $f_{п} \approx 4$ кГц от BS и измеряет его уровень. Далее пилот-сигналу ретранслируется MS по обратному каналу трафика на BS, которая по этому сигналу оценивает качество выделенного канала по параметру χ и передает данные измерения на КЦ. В случае положительного результата этот канал трафика закрепляется за MS. Одновременно КЦ посылает вызывной сигнал на АТС (МТС) с номером вызываемого стационарного абонента.

Если вызывающая MS обслуживается домашним КЦ или до заявки на вызов гостевая MS осуществляла роуминг с посещаемым КЦ, то процедура роумингового буфера не проводится.

После вызова стационарного абонента через АТС (МТС) стационарный центр обеспечивает его переключение на радиоканал мобильного абонента. Аппаратура сигнализирует о наличии разговорного свободного канала на обоих концах линии связи.

Если заявка на вызов поступает от абонента стационарной сети, то при этом осуществляется следующая процедура.

Абонент стационарной сети набирает номер мобильного абонента, который содержит адрес доступа к мобильной службе (КЦ) и адрес вызываемой MS. Адрес доступа включает данные о домашнем КЦ вызываемой MS. По адресу доступа АТС обращается к домашнему КЦ, который осуществляет анализ последних данных роумингового буфера и определяет:

- присутствие или отсутствие MS в своей зоне обслуживания;
- категорию абонента;
- правильность номера.

Если вызываемая MS присутствует в зоне обслуживания домашнего КЦ, то последний передает кодограмму избирательного вызова, которая излучается по каналам вызова всех подчиненных BS. В кодограмме вызова указывается адрес рабочего канала трафика. Вызываемая MS, получившая кодограмму вызова, передает ответную кодограмму-квитанцию по обратному каналу вызова и перестраивается на предложенную ей частоту рабочего канала трафика. Базовая станция, обслуживающая ТЯ, в пределах которой в данное время находится MS, транзитом передает кодограмму-квитанцию на КЦ и предоставляет рабочий канал трафика для ведения переговоров. Одновременно BS коммутирует на этот канал трафика измерительный сигнал $f_{п} \approx 4$ кГц. Мобильная станция получает этот сигнал и по обратному каналу передает его

на BS которая оценивает качество канала трафика по критерию связности. Данные измерения передаются на КЦ, который закрепляет или не закрепляет этот радиоканал за линией связи. Дальнейшая коммутация со стационарным абонентом осуществляется по установленному алгоритму через АТС (МТС).

Если вызываемая MS находится в зоне обслуживания посещаемого КЦ то домашний КЦ передает данные вызываемой MS и номер вызывающего абонента (А) на посещаемый КЦ. Одновременно передается кодграмма АТС (МТС) о переключении стационарного абонента на посещаемый КЦ. Далее процедура назначения и оценки качества канала трафика организуется посещаемым КЦ.

Кроме состояния дежурного приема и обновления связи роуминговые буфер автоматически проводится в случаях:

- заполнение роумингового буфера;
- достижение заданной задержки времени таймера $t_{зд} = 5$ мин.

3.4. Режим трафика в системе. Автоматическая оценка качества канала. СКИП – коммутация и процедура HENDOVER

Режим трафика соответствует обмену информацией между абонентом MS и абонентом (А) стационарной системы телефонной связи (либо абонентом другой MS). Этот режим осуществляется только после процедуры роуминга. В процессе ведения разговора мобильная станция может выйти из зоны действия одной BS в зону действия другой BS, а также из зоны обслуживания домашнего КЦ в зону обслуживания посещаемого КЦ. В процессе ведения разговора до его окончания система не осуществляет процедуру роуминга даже если MS входит в зону действия другой BS.

Процесс коммутации рабочего канала трафика на другой рабочий канал трафика во время ведения разговора называется СКИПом или скип-коммутацией.

Однако система в процессе разговора осуществляет автоматический контроль за качеством канала трафика и при необходимости заменяет непригодный канал на качественный. Текущий контроль осуществляется путем постоянной передачи по разговорному каналу (одновременно с передачей информации) измерительного сигнала (пилот-тона) $f_{п} = 4$ кГц. Если MS в процессе разговора оказывается в зоне влияния двух соседних BS, то КЦ осуществляет выбор наилучшей BS с точки зрения параметра v . Для этого все BS своими измерительными приемниками по команде КЦ принимают ретранслируемый измерительный сигнал от MS в канале трафика и определяют параметр v . После анализа данных КЦ закрепляет за рабочим каналом трафика ту BS для которой качество канала трафика наилучшее. Переключение каналов трафика с одной BS на другую BS осуществляется автоматически, причем практически незаметно для абонентов. Если на новой BS нет ни одного свободного разговорного канала, то MS ставится в скиповую очередь. Переключение каналов трафика может также осуществляться и в пределах

от одной BS, когда в работающем канале увеличивается уровень

во время ведения разговора и ухудшается параметр v .

В процессе организации скиповой очереди в МГХ предусмотрены также:

• очередь MS с приоритетом;

• очередь абонентов В;

• очередь абонентов с передачей данных;

• очередь на переключение полосы частот.

В МГХ предусмотрена очередь с приоритетом, организуется для группы

применяемых MS в случае отсутствия свободного качественного

разговорного канала в момент вызова.

Очередь каналов не пригоден для организации трафика.

Очередь абонентов А и В организуется для MS оснащенных

аппаратурой ПД.

4. Нумерация и маршрутизация в мобильных системах стандартов NMT-450i (900)

4.1. Виды управляющих сигналов

При рассмотрении принципов адресного установления связи в мобильных радиосистемах отмечалось, что адресные сигналы в системе используются не только для распознавания мобильных станций, но также для обеспечения самоорганизации и адаптации системы.

Мобильная готовая система связи является двухуровневой телекоммуникационной системой общего пользования. Наличие двух уровней организации - подвижной радиосети и стационарной телефонной сети обуславливают особенности нумерации (адресования). Стационарная телефонная сеть использует стандартные каналы тональной частоты (ТЧ). Переходу в качестве служебной информации в ней применяются тональные сигналы. Служебная информация по характеру и структуре делится на линейную (командную) и межрегистровую (адресную) сигнализацию.

Линейная сигнализация использует тональные импульсы (ТИ), при передаче которых обеспечивается:

- занятие и удержание линии;
- ответ;
- отбой со стороны вызывающего абонента;
- отбой со стороны вызываемого абонента;
- повторный ответ;
- блокировка;
- передача тарифных импульсов.

Межрестрировая сигнализация использует совокупность многочастотных тональных импульсов (многочастотное кодирование - МЧК) при передаче которых обеспечивается:

- формирование номеров вызывающего и вызываемого абонентов;
- формирование сигналов, управляющих потоком информации.

Подвижная радиосистема использует форму линейной (ТИ) и межрегистровой (МЧК) сигнализации только на участке магистральной линии, ТАТС (МАТС). На участках радиолиний MS-BS и магистральных линий BS-Ц Ц-КЦ применяется специальная форма сигналов служебной связи, основанная на бинарных дискретных последовательностях и линейном кодировании. Это обусловлено требованием высокой помехоустойчивости приема в реальных радиоканалах подвижной системы связи. Применение бинарной формы с основанием кода $b=2$ при большом объеме адресного словаря системы M определяет значительную длительность (значность) адресного сигнала, поскольку $n = \ln M / \ln b$.

Поскольку MS в системе постоянно перемещаются по зонам трафика, а радиоканалы являются свободно-доступными для полезного использования и создания помех, то в коммутационном центре должна непрерывно отслеживаться каждая MS и состояния рабочих частот. Это возможно только при систематическом обмене информацией между MS и КЦ. Кроме этих данных в КЦ должна также систематически обновляться информация о качестве каналов, режимах работы, тарифных возможностях, приоритетах различных MS и т. д. В соответствии с этим в процессе каждого сеанса передачи служебной информации в каналах радиосистемы формируется не одна команда (адрес), а формат сообщения, содержащий несколько команд (дискретных выборов) различного назначения. Такой формат сообщения называется *адресным кадром*. При передаче адресного кадра к нему добавляются дополнительные биты данных для обеспечения помехоустойчивости и синхронизации. Таким образом, в каналах связи радиосистемы циркулируют адресные кодограммы.

В сетях мобильной радиосистемы применяются также специальные тональные сигналы управления и сигнализации, обеспечивающие работу системы в различных режимах.

Кроме задачи определения и обновления данных об элементах системы КЦ решает также задачу маршрутизации.

Маршрутизация в системе - это определение наиболее целесообразных (оптимальных) путей соединения абонентов в телекоммуникационных сетях, включающих совокупность коммутационных центров, базовых станций осевых и рокадных линий инфраструктуры с различной аппаратурой каналаообразования. Маршрутизация на радиосистеме MS-BS-КЦ решает задачи определения местоположения каждой мобильной станции в зоне трафика в процессе их перемещения и выбор наиболее короткого канала связи в магистральных линиях и линиях стационарной телефонной сети.

Формирование и передача сигналов и команд в сотовой системе связи на уровне и уровне стационарной сети осуществляется системой АХЕ-10, действующей в КЦ, который представляет специальную автоматическую станцию ДХ-200 (МТХ). Система АХЕ-10 позволяет стыковать различные формы сигнализации радиосистемы и стационарной телефонной сети.

4.2. Структура адресных кодограмм

Адресные кодограммы сотовой системы связи представляют дискретные последовательности сообщений, передаваемых в процессе роуминга и установления связи. Адресная кодограмма включает несколько кодовых полей (рис. 3.4 а).

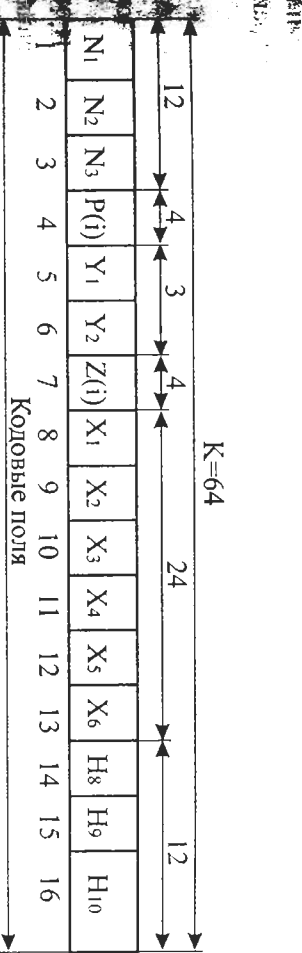
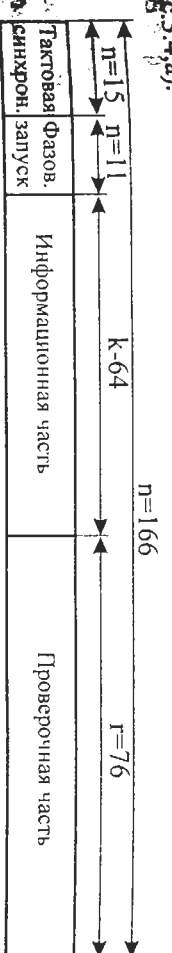


Рис.3.4. Структура адресных кодограмм в стандарте NMT-450i (NMT-900).

Первое кодовое поле представляет 15-ти разрядную последовательность единиц и нулей (точек). Она предназначена для осуществления тактовой синхронизации при приеме кодограммы.

Второе кодовое поле представляет 11-ти разрядную последовательность (код Уилларда). Она предназначена для осуществления фазового запуска приемного распределителя в процессе радиостанции (формирования момента начала регистрации служебной информации).

Последующие 64 разряда являются информационная часть сообщения (информационным кадром), а 76 разрядов - проверочной частью. Проверочная часть сообщения формируется по методу линейного кодирования при использовании сверточного кода Хагелбергера.

Таким образом, адресные кодограммы, циркулирующие в каналах радиосистемы, представляют дискретные последовательности значностью $n=166$ бит с канальной скоростью $V_k=1200$ бит/с. Наличие в

кодотраммах битов на несущих инфомации приводит к уменьшению инфомационной скорости передачи, которая составляет $V_n = 450$ бит/с.

Структура инфомационной части формата сообщения представляется последовательностью из 16 кодовых полей (рис.3.4,б).

Каждое кодовое поле инфомационной части кодотраммы (кадр) представляет четырехзначную бинарную выборку, имеющую свое буквенное цифровое обозначение.

Первые три цифры N_1, N_2, N_3 составляют адрес используемого канала (вызова, доступа, трафика).

Четвертая цифра $P(i)$ является префиксом, обозначающим назначение кадра. В системе используется 15 префиксов от $P(0)$ до $P(15)$. Обозначение префиксов дано в приложении 1.

Пятая и шестая цифры U_1, U_2 составляют номер зоны трафика (адрес BS), седьмая цифра $Z(i)$ обозначает:

- при $i=5,6,7,8, \dots$ - национальный код абонента; Национальный код абонента не набирается абонентом. Для вызова направленного мобильного абоненту цифра $Z(5 \dots 8)$ добавляется к номеру абонента в его домашнем МТХ. При вызове со стороны MS национальный код добавляется станционной логикой MS. Национальный код Украины соответствует цифре $Z(7)$.
- при $i=0,1,4$ - дополнительную инфомацию;
- при $i=15$ - направление инфомации на BS.

Группа цифр $8 \dots 13$ соответственно $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ составляет номер (адрес) абонентских станций.

Группа цифр 14, 15, 16 может обозначаться различными буквами H, N, K, L с дополнительными индексами. В зависимости от назначения и направления адресного кадра она определяет дополнительную инфомацию.

В зависимости от инфомационного направления MS-МТХ, МТХ-MS МТХ-BS и назначения кадров их структура может изменяться. Могут использоваться укороченные и обычные кадры. Кроме этого кадры различаются по типам:

- кадры управления;
- кадры технического обслуживания;
- аварийные кадры.

Кадры управления обеспечивают формирование каналов трафика выделенные каналы вызова и доступа, перевод станции в различные режимы работы. Кадры технического обслуживания обеспечивают контроль технического состояния элементов системы, включение и регулировку трафика. Аварийные кадры формируются в системе при нарушениях режимов работы возникновения опасности компрометации алгоритма работы несанкционированных вскрытых аппаратуры и пожара.

4.3. Типы кадров управления

Кадры управления на инфомационном направлении МТХ-MS

Коды индикации канала вызова

$N_1N_2N_3, P(12) U_1U_2, H_1H_2H_3H_4H_5H_6H_7H_8H_9H_{10}$

Группа $N_1N_2N_3$ составляет номер (адрес) используемого канала вызова. В ней содержится также дополнительная инфомация. В цифре N_1 2-й и 3-й биты четырехразрядного слова несут инфомацию об уровне мощности BS. Биты 11, 10 определяют высокий уровень, 01 - средний уровень, 00 - низкий уровень. В этих же битах заложена инфомация о типе BS, обслуживающей зону трафика. Цифро $P(12)$ составляет префикс, определяющий назначение кадра - канал вызова (приложение 1).

Группа U_1U_2 составляет номер зоны трафика (адрес BS). В ней также содержится дополнительная инфомация. В цифре U_1 старший бит четырехразрядного слова $a_3a_2a_1a_0$ несет данные о нормальном и межчастотном канале. Если старший бит $a_3=1$, то канал межчастотный, при $a_3=0$, канал обычный.

Основная инфомация кадра заложена в группе цифр $H_1 \dots H_{10}$. Каждая пара цифр несет свои данные. Кроме того цифры H_1H_2 имеют добавочные индексы: $i - H_1(i)H_2(i)$. В зависимости от значения индекса добавочная инфомация изменяется.

Группа $H_1(0)H_2(0)$ является командной инфомацией, что каналы находятся в основной полосе частот от $f_{мин} = N(x)N(x)N(x)$ до $f_{макс} = N(y)N(y)N(y)$, заранее записанной в ППЗУ радиостанции. Просмотр полосы частот осуществляется с шагом $\Delta f_{ш} = 12,5$ кГц от случайной исходной частоты.

Группа $H_1(14)H_2(0)$ является адресом полосы частот каналов вызова (трафика).

Группа $H_1(14)H_2(12)$ является командной инфомацией о том, что даются данные о позициях полосы частот каналов вызова (доступа).

Группа H_3H_4, H_5H_6 определяет значение начальной и конечной точки полосы частот канала вызова по номеру канала $N_aN_bN_c = a_1a_0a_9a_8a_7a_6a_5a_4a_3a_2a_1a_0$. При $a_0a_1a_0=0$ пределы полосы частот будут изменяться с шагом $\Delta f_{ш} = 100$ кГц. Если $H_3H_4=H_5H_6=0$, то полоса частот канала вызова (доступа) не выделяется. Поиск канала вызова осуществляется только в основной полосе частот $f_{мин} \dots f_{макс}$.

Группа H_7H_8, H_9H_{10} определяет значение начальной и конечной точки полосы частот канала трафика по номеру канала $N_aN_bN_c$. Если $H_7H_8=H_9H_{10}=0$, то полоса частот канала трафика (доступа) не выделяется. Поиск канала трафика осуществляется только в основной полосе частот $f_{мин} \dots f_{макс}$. При индикации комбинированного канала вызова/трафика кадры индикации будут отличаться только префиксом $P(4)$.

Коды вызова MS по каналу вызова

$N_1N_2N_3, P(12) U_1U_2, Z, X_1X_2X_3X_4X_5X_6, H_8H_9H_{10}$

Группа $N_8N_9N_{10}$ является фиктивным номером канала ш. Фиктивный номер канала может быть адресом зоны обслуживания или командой управления.

При $N_8N_9N_{10}=ch. 1011$ - зона №1

ch. 1012 - зона №2

ch. 1013 - зона №3

ch. 1014 - зона №4

В кадре поиска канала трафика по каналу вызова фиктивный номер $N_8N_9N_{10}=ch 1010$ является командой на поиск канала.

В кадре установки MS в очередь на обслуживание фиктивный номер $N_8N_9N_{10}=ch 1008$ соответствует команде для обычной MS, а $N_8N_9N_{10}=ch. 1009$. приоритетной MS.

Кадр распределения каналов трафика по каналу вызова.

$N_1N_2N_3$ R(12) Z X₁X₂X₃X₄X₅X₆ N_aN_bN_c

Группа $N_aN_bN_c$ определяет данные о номере канала трафика, выделяемого для вызова или для изменений.

$N_aN_bN_c$ 0000 0000 0001 канал 1 (f_0)

0011 1110 1000 канал 1000 ($f_0+24.975$ кГц)

0100 0000 0001 канал 1025 ($f_0+12.5$ кГц)

0111 1110 0111 канал 2023 ($f_0+24.962,5$ кГц)

Кадры распределения каналов трафика по каналу трафика или каналу доступа будут отличаться только префиксами соответственно P(5) или P(7).

Кадр линейный сигнал

$N_1N_2N_3$ R(6) Y₁Y₂ Z X₁X₂X₃X₄X₅X₆ L(n)L(n)L(n)

P(6) - префикс, определяющий назначение кадра (линейный сигнал) табл. 3.4.1.

L(n)L(n)L(n) - информация определяет данные номера линейного сигнала в соответствии со значением индекса n. В системе используется пятнадцать индексов L(0)...L(15) табл. 3.4.2.

Кадр линейный ответ таксофону

$N_1N_2N_3$ R(6) Y₁Y₂ Z X₁X₂X₃X₄X₅X₆ L(0) Q₁Q.

Число L(0) - является линейной командой ответа таксофону (приложение 2).

Группа Q₁Q₂ - определяет тарифные данные о MS.

Кадр ожидания

jjj P(0) jj jjjjjj jjj

Цифра j - определяет команду "ожидание" соответствующую бинарному коду 0000.

Кадры управления на информационном направлении MS-MTX.

Кадр подтверждения вызова по комбинированному каналу

вызова/трафика

$N1N2N3$ R(10) Z X₁X₂X₃X₄X₅X₆ T j j j j

P(10) - префикс, определяющий назначение кадра-подтверждение вызова (приложение 1).

T=TTT2T3T4 - зонавая информация, полученная от МТХ.

Старшие биты

$N_8N_9N_{10}$.

T1T2 = 01

T1T2 = 10

T1T2 = 11

T1T2 = 00

Зона №1

Зона №2

Зона №3

Зона №4

kkkkjjjj - команда "ожидание".

Кадр занятия канала трафика и идентификации MS

$N1N2N3$ R(1) Z X₁X₂X₃X₄X₅X₆ TУ2 K1K2K3

TУ2 - зонавая информация, полученная от МТХ.

Старшие биты T1T2 несут данные о зоне обслуживания. Младшие биты T3T4 повторяют данные двух последних бит цифр Y₁, полученный от МТХ.

Цифра Y₂ - повторяет значение цифры Y₂, полученной от МТХ.

K1K2K3 - адрес - пароль MS.

При роуминговом вызове кадр занятия канала трафика и идентификации MS будет отличаться только префиксом P (14).

При занятии и идентификации с таксофона по каналу трафика кадр будет ~~отличаться~~ префикс P(11).

Кадр - линейный сигнал

$N1N2N3$ R(8) Z X₁X₂X₃X₄X₅X₆ L(u) L(u) L(u) L(u) L(u).

Цифры L(n) - определяет данные номера сигнала (приложение 2).

Кадр-линейный сигнал: подтверждение ответа, поступившего с таксофона

$N1N2N3$ R(8) Z X₁X₂X₃X₄X₅X₆ L(2) L(2) L(2) Q1 Q2.

Цифра L(2) - определяется данные о подтвержденных ответа (табл.3.4.2)

Цифры Q1Q2 - составляют тарифные данные MS.

Кадр - сигналы знаков

При вызове абонента пользователь MS набирает номер вызываемой MS (таксофона) нажатием клавиш на клавиатуре интерфейса пользователя. Каждая клавиша клавиатуры имеет свой номер и бинарный код. В соответствии с этим формируется кадр передачи сигналов знаков.

$N1N2N3$ R(7) Z X₁X₂X₃X₄X₅X₆ S(i) S(i) S(n) S(n) S(n).

При i=0 цифры S(0)S(0) - определяют данные индикации нечетных позиций

При i=15 цифры S(15)S(15) - определяют данные индикации четных позиций

Цифры S(u)S(u)S(u) - определяют номера клавиш в зависимости от индекса n.

S(1) - клавиша 1 код 0001

S(2) - клавиша 2 код 0010

S(9) - клавиша 9 код 1001

S(10) - клавиша 0 код 1010

S(11) - клавиша * код 1011

S(12) - клавиша # код 1100
 S(13) - клавиша A код 1101
 S(14) - клавиша B код 1110
 S(15) - клавиша C код 1111

Специальными кадрами управления на информационном направлении МТХ-MS являются кадры экономии аккумуляторных батарей, направляемые к группам носимых MS. Информации об экономии батарей закладывается в числа N1(14) и N2(11). Для выявления носимых MS все MS делится на группы. Данные номера группы закладываются в числе N7. Команда принимается к исполнению если N7 = X6 в принимаемом кадре.

Период экономии батарей начинается с приема сигнала и продолжается в течение отрезков времени задаваемых в числе N3 и контролируемыми таймером MS (приложение 3).

Величина N3 может задаваться вручную или автоматически на МТХ.

4.4. Кадры технического обслуживания и аварийные кадры

Кадры технического обслуживания используются только между МТХ и BS. К ним относятся:

Кадр (команда) активации канала

N1N2N3	P(15)	Y1Y2	Z(15)	V1V2V3	A(3)	f0 f0 f0 f0
N1N2N3	P(15)	Y1Y2	Z(15)	V1V2V3	A(14)	П П П П f0 f0
N1N2N3	P(15)	Y1Y2	Z(15)	V1V2V3	A(15)	П П П П j j
N1N2N3	P(15)	Y1Y2	Z(15)	V1V2V3	A(0,1,2,4-13)	jjjj

Кадр (команда) измерения силы сигнала по каналу данных или каналу в состоянии ожидания или по свободному каналу трафика

N1N2N3 P(15) Y1Y2 Z(15) V1V2V3 V(15) j f0 NaNbNc

V(n) - данные операций технического обслуживания.
Кадр (команда) на измерение силы сигнала по используемому каналу трафика

N1N2N3 P(5) Y1Y2 Z(15) V1V2V3 V(15) j f0 NaNbNc

Z(15) - указывает направление информации на BS;
 V1V2V3 - данные идентификации BS;
 j - данные "ожидание";

П - нижний предел силы сигнала;
 П - верхний предел силы сигнала.

NaNbNc - номер канала трафика для ввода и измерений.

A(3) f0 f0 f0 f0 - данные, определяющие порядок действий, в которых цифра A(3) является командой активации канала и данные, определяющие состояние канала;

f0 = f00 f01 f02 f03 f04 - данные кодирования четырех частот сигнала контроля качества речи

f00 - 01001 - сигнал 0 искажен

f01 - 0011 - сигнал 0 частоты 1
 f02 - 1100 - сигнал 0 частоты 2
 f03 - 1001 - сигнал 0 частоты 3
 f04 - 0110 - сигнал 0 частоты 4

Кадр (команда) ожидания

jjj P(0) jj jjjjjj jjj

Кадры информации о состоянии канала

N1 N2 N3 P(9) Z(15) jj A(2,6,14) jjj to JH JL jj
 N1 N2 N3 P(9) Z(15) jj A(0,1,3-5,7-13,15) jjjjjjjj

Информация A(n) - данные активации канала (приложение 3).

Кадр результата измерения силы сигнала

N1 N2 N3 P(9) Z(15) j to NA NB NC R(n1) R(n2) R(n1) R(n2) R(n1)

Информация R(n1) R(n2) - данные результата измерения.

Кадр информации о техническом обслуживании, поступающая с BS

N1 N2 N3 P(13) Z(15) jj V1 V2 V3 V4 jjjjj
 Число V1 V2 V3 V4 - определяет данные операции технического обслуживания.

Аварийные кадры, поступающие с BS подразделяются на три класса:

1 класс - аварийные сигналы об отказе аппаратуры.

2 класс - охранные сигналы, подаваемые BS при пожаре и при несанкционированном вскрытии.

3 класс - внешние аварийные сигналы, использующие систему сигнализации для передачи аварийной информации. 5. Центр коммутации подвижной службы ДХ-200 (МТХ) ССПС стандартов NMT-450 (900)

5.1. Структурная схема ЦКПС ДХ-200 (МТХ). Назначение функциональных групп

Центр коммутации подвижной службы сотовой системы связи стандарта NMT-450i (NMT-900) базируется на цифровой телефонной станции общего пользования, отличающейся от типовых станций наличием дополнительной системы телефонной связи с мобильными абонентами МТС.

К основным функциональным группам, входящим в состав ДХ-200 (МТХ) относятся [43]:

- группа технической эксплуатации;
- группа периферийного оборудования;
- группа связи с MS - MTS;
- блок групповой коммутации - GSW;
- группа магистральных линий и сигнализации - TSS;
- группа вспомогательного оборудования;

Работа ДХ-200 (МТХ) основана на использовании унифицированного программного обеспечения АХЕ-10 [43], позволяющего систематизировать функции подсистем в масштабе реального времени. Управление КЦ

осуществляется с помощью функциональной группы технической эксплуатации включаемой:

- ЭВМ технической эксплуатации - OMS;
- коммутатор сообщений - MSW.

Блок OMS является функциональной ЭВМ коммутационного центра. Он включает рабочий и эксплуатационный компьютеры. Рабочий компьютер OMS осуществляет контроль коэффициента ошибок в РСМ каналах.

Для снятия данных он подключается к блоку оперативной коммутации GSW через 2 Мбит/с внутреннюю линию связи. К шине сообщений рабочий компьютер подключается с помощью сигнализационного интерфейса (коммутатора сообщений - MSW).

Эксплуатационный компьютер OMS обеспечивает с помощью ручного модуля управления корректировку и восстановление файлов блока центральной памяти, тестирование подсистем, измерение трафика и сигнализацию процесса коммутации, а также активацию диагностических программ. К блоку GSW эксплуатационный компьютер подключается с помощью 64 кбит/с интерфейса.

Для управления коммутаторами нескольких МТХ используются специальные интерфейсы и каналы связи ССПТ №7. Таким образом, OMS может выполнять роль операционного центра управления нескольких зон обслуживания (принцип звездной архитектуры мобильной системы связи).

Функциональная группа периферийного оборудования включает следующие функциональные узлы:

- блок центральной памяти - СМ;
- блок расширения памяти - ССМ;
- блок статистики - STU;
- блок идентификации сигнала вызова - SISU.

Периферийное оборудование подключается к компьютерам функциональных узлов МТХ и OMS через коммутатор MSW и шину сообщений.

Блок центральной памяти СМ включает микрокомпьютер и пакет шин интерфейса. Центральная память содержит файлы данных MS, инсталлированных в систему, файлы трафика, файлы сигналов ССПТ №7 (МККТТ) [8] общего канала, сигналов FFSK и файлы данных гостей MS, а также файлы конфигурации каналов. Региональные компьютеры других узлов запрашивают у СМ необходимые данные для процесса коммутации. Центральная память также включает два винчестера (по 70 Мбайт), связанные через внутреннюю шину и канал ССПТ №7, накопители на магнитных лентах с объемом памяти 4 Мбайта. Это обеспечивает работу системы с объемом 40000 абонентов.

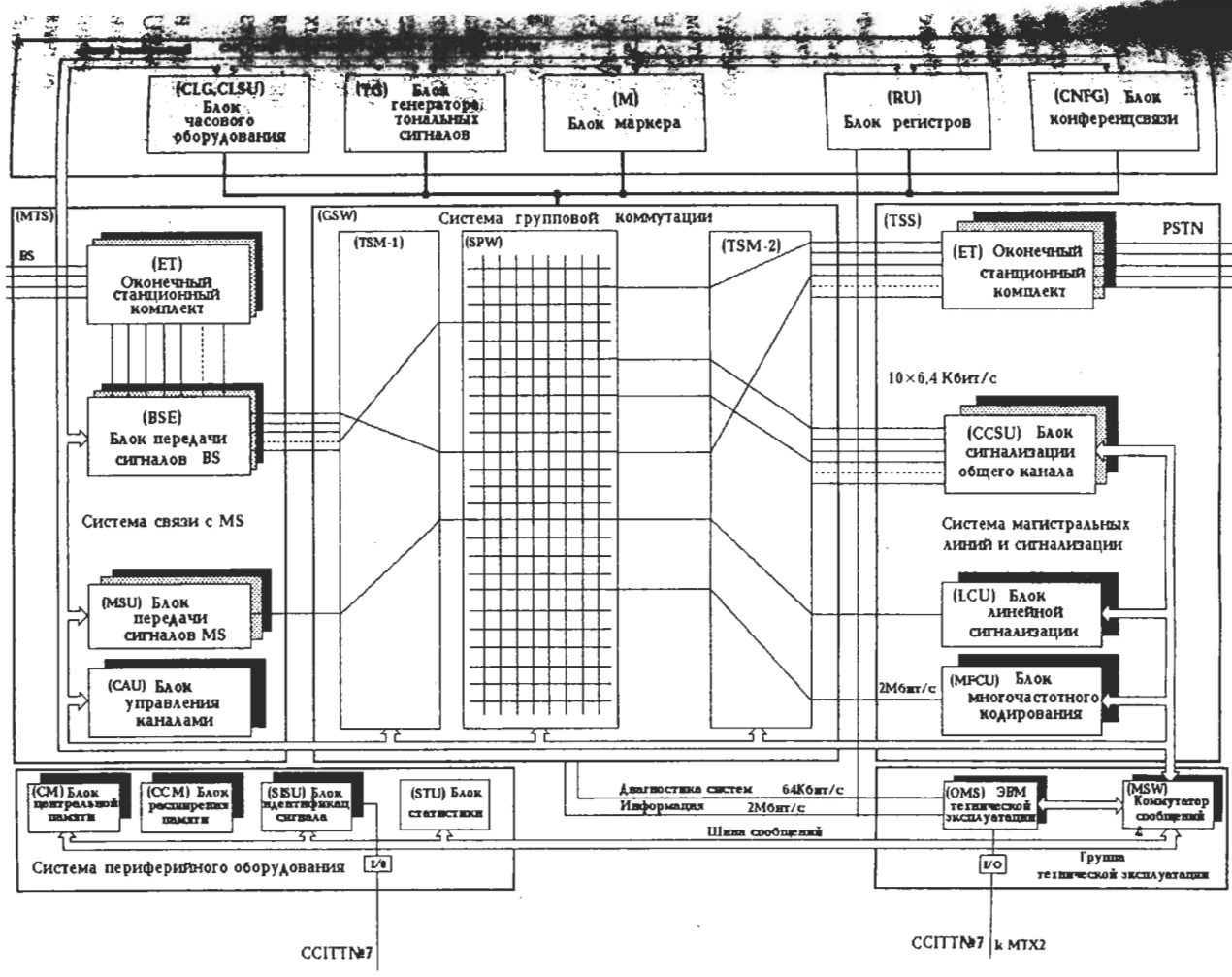


Рис. 3.5. Структурная схема ЦКТС ДХ-200 (МТХ)

Блок расширения центральной памяти ССМ используется для увеличения базы данных по абонентам PSTN и сигналам ССПТ №7. В малых МТХ блок ССМ выполняет функции блоков СМ и STU. Структура блоков СМ и ССМ одинакова.

Блок статистики STU обеспечивает сбор и хранение данных измерения трафика системы, контроль нагрузки, определение интенсивности вызовов абонентов PSTN и мобильных станций в час наибольшей нагрузки (ЧНН). Блок STU обслуживает блок регистров RU. Структура блока STU соответствует блокам SM (SSM).

Блок идентификации сигнала вызова SISU выполняет задачу контроля структуры вызывных сигналов, поступающих по каналам радиосистемы и STN. Это исключает возможность несанкционированного использования системы и позволяет выявлять несанкционированную работу утерянных пользователей MS. Функциональная группа связи MS - MTS включает следующие функциональные узлы:

- оконечный станционный комплект - ET;
- блок сигнализации базовых станций - BSE;
- блок сигнализации мобильных станций - MSU;
- блок управления каналами - CAU.

Оконечный станционный комплект - блок ET обеспечивает подключение MTX к аппаратуре РСМ (ИКМ) каналов, связывающих BS с MTX. При этом обеспечивается сопряжение каналаобразующей аппаратуры и блоков BSE коммутационного центра по уровням. Количество блоков ET может быть различным и определяется количеством BS, подключаемых к MTX. Максимальное число блоков ET составляет 40.

Блок сигнализации - BSE обеспечивает стыковку ET блоков с коммутатором GSW, осуществляет быструю обработку сигналов FFSK служебной информации, поступающих от BS. Быстрая обработка осуществляется блок-процессорами в составе BSE (управляющими микрокомпьютерами). После обработки цифровой информации через коммутатор GSW и 2 Мбит/с линию поступает в центральный процессор OMS и далее в блоки STU и SISU периферийного оборудования. Для параллельной обработки кадров в различных каналах блок BSE содержит 30 сигнальных блок-процессоров. При выходе из строя блоков ET и BSE теряется трафик. Для исключения этого каждая BS подключается к нескольким блокам BSE через различные блоки ET.

Блок передачи сигналов MS - MSU обеспечивает формирование и передачу FFSK последовательностей к MS. Кроме этого блок MSU осуществляет контроль нахождения MS в соответствующих сотах и переключение вызовов MS с одного канала на другой (скип-коммутация). Один блок MSU контролирует 8 блоков BSE (240 каналов BS). Для обеспечения функциональной надежности работы количество блоков MSU резервируется по принципу n+1.

Блок управления каналами радиоуровня - CAU обеспечивает изменение конфигурации радиосети при вызовах и организации роуминга, осуществляет контроль качества радиоканалов и передает данные в OMS. Для повышения функциональной надежности работы блок CAU дублирован.

Функциональная группа магистральных линий и сигнализации - TSS

дет:
• оконечный станционный комплект ET;
• блок многочастотного кодирования - MFCU;
• блок сигнализации общего канала - CSSU;

• блок линейной сигнализации LCU.
Станционные блоки ET обеспечивают сопряжение со стационарной телефонной сетью PSTN и магистральными линиями связи. Количество ET определяется емкостью PSTN сети и количеством MTX станций других систем обслуживания, подключаемых к данной MTX.

Блок многочастотного кодирования MFCU обеспечивает преобразование двучастотных сигналов в многочастотные последовательности регистровые МЧК сигналы, передаваемые по каналам стационарной телефонной сети. Один MFCU осуществляет одновременное преобразование каналов в 16 каналах. Количество MFCU блоков определяется емкостью PSTN и количеством ET блоков. Один блок MFCU является резервным (принцип n+1).

Блок сигнализации общего канала -- CSSU обеспечивает обработку каналов стандарта CCITT №7, циркулирующих в общем канале магистральных линий связи и PSTN (каналы ИКМ). Один сигнальный канал CCITT позволяет обрабатывать 64кбит/с канал и обеспечивать пропускную способность до 1000 линий ТЧ. В комплект MTX входит три рабочих и один резервный блок CSSU (принцип n+1).

Блок линейной сигнализации LCU обеспечивает обработку линейных каналов в каналах телефонной сети MTX - PSTN. Блок LCU осуществляет временное обслуживание 16 РСМ каналов. При отсутствии блока CSSU LCU обрабатывает контрольные сигналы по выделенному каналу.

Функциональная группа вспомогательного оборудования включает следующие функциональные узлы:

- блок часового оборудования - CLG;
- блок генератора тональных сигналов - TG;
- блок маркера - M;
- блок регистров - RU;
- блок конференц-связи - CNFG.

Блок часового оборудования CLG обеспечивает внутреннюю синхронизацию работ всех функциональных групп и узлов MTX, включая OMS. Для получения требуемых временных традаций блок CLG использует генераторное оборудование с частотами 16384 кГц, 500 Гц, 8192 кГц, 8 кГц. Точность сигналов синхронизации обеспечивается термостабирированными кварцевым генератором, работающим на частоте 16 (8) МГц. Функции блока могут быть реализованы блоком CLSU (тактовой синхронизации).

Блок генератора тональных сигналов TG формирует совокупность тональных сигналов звуковой частоты, используемых при формировании регистровых (мультичастотных) последовательностей и сигналов ТЧ, а также сигналов конференц-связи.

Блок маркера M обеспечивает процесс управления блоком коммутации GSW. С помощью блока M осуществляется процедура поиска, соединения и замыкания различных входов и выходов электронных коммутаторов TSM1, TSM2 при формировании траектории коммутационной схемы. Основой блока M является микрокомпьютер. Через интерфейс и шину сообщений он читает содержание требуемого соединения в файле центральной памяти CM, обменивается данными с компьютерами других блоков, участвующих в процессе коммутации и управляет работой блоков ТГ и СЛГ. Устойчивость функционирования обеспечивается использованием принципа дублирования и резервирования (n+1).

Блок регистров RU работает совместно с блоком маркера M и управляет им, обеспечивая последовательную коммутацию блоков BSE, MSU, LCU, MFCU в соответствии с набранным номером абонента. Блок RU обеспечивает одновременное управление 16 цепей коммутации. Функциональная устойчивость работы блока RU обеспечивается резервированием по принципу n+1.

Блок конфигури-связи CNFC осуществляет одновременную мульти-абонентскую связь с количеством абонентов от 3 до 32. Для формирования сети циркулярной связи используются наборы тональных сигналов, составляемые по принципу комбинаторики.

5.2. Последовательность работы функциональных узлов ДХ-200 (МТХ) при установлении связи

Коммутационные процессы, проходящие в МТХ, осуществляются на основе циркуляции служебной информации между элементами системы MS - BS - МТХ - PSTN. Служебная информация сосредоточена в вызывных кадрах, кадрах управления и аварийных кадрах.

Рассмотрим работу функциональных узлов МТХ при передаче вызывных кодограмм. Различаются следующие виды вызовов:

- входящие вызовы, поступающие от MS, абонентов PSTN или от МТХ других зон трафика;
- исходящие вызовы, направляемые к MS, абонентам PSTN или к МТХ других зон трафика;
- роуминговые вызовы и оценка качества каналов радиосвязи.

Путь по одному из каналов вызова (трафика) BS поступает входящий вызов от MS. Поток битов в виде FFSK последовательности через ET блок поступает в блок сигнализации BSE. В блоке BSE с помощью блок-процессора осуществляется быстрая обработка кодограммы вызова, включающая тактовую синхронизацию, фазирование, коррекцию ошибок и выделение информационной части кадра. Информационная часть кадра в цифровой форме имеет вид $N_1 N_2 N_3 P(7) Z X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 S(u)S(u)S(u)S(u)$, где каждый знак представляет четырехразрядный бинарный код. После обработки кодограммы блок BSE по шине сообщений активизирует блоки M и OMS. Блок маркера M коммутирует выход блока BSE через GSW и 2 мбит/с линию на

Далее данные информационного кадра через MSW коммутатор попадают в блоки SISU и STU периферийного оборудования. В блоке SISU осуществляется идентификация кодовых полей информационной части. По трем кодовым полям $N_1 N_2 N_3$ определяется номер канала трафика, по тому кодовому полю (префиксу P(7)) определяется назначение кадра (Z, X₁, X₂, X₃, X₄, X₅, X₆). По кодовым полям последовательности Z, X₁, X₂, X₃, X₄, X₅, X₆ определяется позывной (адрес) вызывающей MS. Последняя группа 5 кодовых полей по внутренней 2 мбит/с линии поступает в блок RU. В блоке STU определяется адрес и время вызова MS. Блок регистров RU по команде OMS направляет к блоку центральной памяти CM и считывает файл данных, относящийся к вызываемому номеру. По файлу данных определяется принадлежность вызываемого абонента (MS, посещаемая MS, абонент PSTN, MS или абонент PSTN другой зоны трафика) и его трафиковые возможности.

MS формируются процессы выходящих вызовов.

Если вызываемым абонентом является MS своей зоны трафика, то OMS направляет блоки MSU и CAU. Блок управления CHU подключает к GSW блок BSE, который соединяется с BS в зоне трафика которой находится посещаемая MS. В блоке MSU формируется FFSK номер вызываемой MS. Блок маркера M обеспечивает коммутацию выхода блока MSU на вход канала блока BSE. От ЦКПС на BS поступает выходящий вызов структуры $N_1 N_2 N_3 P(12) Y_1 Y_2 Z X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 H_8 H_9 H_{10}$, который далее транслируется по радиоканалу на MS. Группа знаков кадра вызова $N_1 N_2 N_3$ вызываемой MS означает номер канала трафика на который должна быть направлена информация разговора с вызывающей MS, а также необходимый уровень мощности и тип BS, которая обслуживает MS. Префикс P(12) для MS определяет назначение кодограммы (вызов). Группа знаков $Y_1 Y_2$ определяет данные радиоканала (межчастотный или обычный). Группа знаков $Z X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6$ определяет адрес вызывающей MS. Группа знаков $H_8 H_9 H_{10}$ определяет номер зоны трафика.

Вызываемая MS после обработки кадра вызова передает в МТХ ответную кодограмму - квитацию и автоматически переходит на указанный ей канал трафика. Обработка кодограммы - квитации в МТХ будет происходить в том же порядке, что и кодограммы вызова. После окончания обработки блок маркера M под контролем блока регистров RU коммутирует в блоке GSW вход соответствующей линии блока BSE и обеспечивает соединение между собой. После окончания процесса коммутации вызывающая MS излучает звуковую мелодию, сигнализирующую о вызове абонента. Ведения разговора между абонентами MS регистрируется в блоке STU и фиксируется.

Если вызываемым абонентом является абонент сети PSTN, то процедура формирования и передачи исходящего вызова будет состоять в следующем. Регистров RU после записи номера абонента активизирует блоки LCU и STU. В блоке MFCU формируется многочастотный межрегистровый сигнал,

который по 2 Мбит/с линии внутренней связи поступает на схему коммутации GSW. Блок маркера M обеспечивает последовательную коммутацию блоков LCU и MFCU на вход блока ET.

По линии PSTN подается тональная последовательность линейного и междрегистрового сигналов вызова группы А. Сигнал вызова будет передаваться до тех пор, пока узел связи сети PSTN не обеспечит коммутацию вызываемого абонента и по обратному каналу не поступит междрегистровый сигнал группы В, подтверждающий прохождение вызова (принцип "челнок"). После получения обратного сигнала блок маркера M под контролем блока регистров RU обеспечивает коммутацию линии связи блока ET (TSS) и блока BSE (MTS) и по шине сообщений активизирует блок STU для регистрации и тарификации разговора.

Если вызываемым абонентом является MS или абонент PSTN другого города, то передача исходящего вызова будет организована по магистральной линии МТХ - МТХ, соединяющей OMS разных городов.

Блок маркера M обеспечивает последовательную коммутацию блоков LCU и MFCU через коммутационную систему GSW на OMS МТХ. Рабочий компьютер OMS через шину периферийного интерфейса подключается к магистральной линии МТХ - МТХ, обеспечивающей передачу сигналов ССПТ №7. Высокоскоростная магистральная линия позволяет передавать линейные и междрегистровые сигналы на МТХ другого города и по обратному каналу получать сигналы подтверждения.

Таким образом, процедура вызова между МТХ различных городов будет также осуществляться по принципу "челнок" путем обмена линейных междрегистровых сигналов группы А и В.В остальном коммутационные процессы между функциональными узлами ДХ-200 МТХ будут идентичны. Блок статистики STU будет фиксировать междугородные разговоры в соответствии с установленным тарифом.

5.3. Последовательность работы функциональных узлов ДХ-200 (МТХ) при роуминговых вызовах.

Инициатором роумингового вызова может быть как MS так и МТХ. Коммутационный центр МТХ формирует роуминговый вызов в случае "старения" файла данных MS, записанного в блоке центральной памяти СМ. Рабочий компьютер OMS формирует информационный кадр "линейный сигнал" в направлении МТХ - MS. Структура кадра имеет вид $N_1, N_2, N_3, P(6), Y_1, Y_2, Z, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, L(3), L(3), L(3)$. Кодовые поля знаков N_1, N_2, N_3 составляют номер канала вызова. Кодовое поле префикса P(6) определяет тип вызова (линейный сигнал). Кодовые поля знаков Y_1, Y_2 определяют номер зоны трафика и данные радиоканала (межчастотный или обычный).

Кодовые поля знаков $Z, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6$ определяют номер (адрес) MS, от которой требуется актуализация данных ее местоположения в зоне

ка. Кодовые поля знаков $L(3), L(3), L(3)$ определяют запрос на разрешение роумингового вызова со стороны вызываемой MS. По блоку OMS активизируются блоки CAU, MSU, BSE и M. Блок управления M подключает к GSW входы каналов вызова всех блоков BSE. Блок маркера M обеспечивает коммутацию линии 2 Мбит/с OMS через GSW на блок BSE. Блок MSU по информационному кадру линейный сигнал формирует последовательность FFSK сигналов.

Блоки BSE формируют полную кодограмму вызов, добавляя к информационной части биты тактовой и цикловой синхронизации, а также биты информационной избыточности кода. Процесс передачи сигнала «линейный вызов» регистрируется в блоке статистики STU, но не влияет тарификации. Роуминговый вызов передается по каналам вызова в BS зоны трафика.

При принятии кодограммы роумингового вызова MS в ответной программе - квитанции актуализирует свое присутствие в зоне трафика. Структура информационной части кодограммы имеет вид $N_1, N_2, N_3, P(8), Z, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, L(14), L(14), L(14), L(14)$. Кодовое поле префикса P(8) определяет назначение ответного кадра (линейный сигнал). Кодовое поле знаков $L(14)$ определяет смысл информации (цвет). Последовательность обработки ответной кодограммы «линейный вызов» в МТХ аналогична обработке сигнала входящего вызова от MS.

Организация роумингового вызова гостевой MS практически всегда начинается по инициативе MS, вошедшей в зону обслуживания обслуживаемой МТХ. Актуализация данных гостевой MS происходит в такой последовательности как и для домашней MS. При этом добавляется процедура обмена данными между МТХД и МТХП по магистральной линии связи. При этом осуществляется "роуминговый буфер" и запись данных о гостевой MS в центральную память СМ.

6. Базовая станция VD-28N ССПС стандарта NMT-450i

6.1. Структурная схема и конструкция базовой станции VD-28N.

Базовая станция в мобильной системе связи стандарта NMT-450i выполняет роль интерфейса, обеспечивающего стык между MS и ЦКПС [55]. Структуру каждой BS обеспечивает обслуживание группы MS, находящаяся в зоне электромагнитного покрытия, то основной функцией BS является трансляция сигналов (сообщений) от MS к коммутационному центру и обратно. Требование ретрансляции сообщений одновременно от нескольких BS обуславливает необходимость наличия в BS нескольких дуплексных каналов. Таким образом BS представляет собой многоканальную мультиплексированную радиостанцию (радиоретранслятор), управляемую коммутационным центром (МТХ) мобильной системы.

Структурная схема базовой станции ВД-28N показана на рис.3.6.

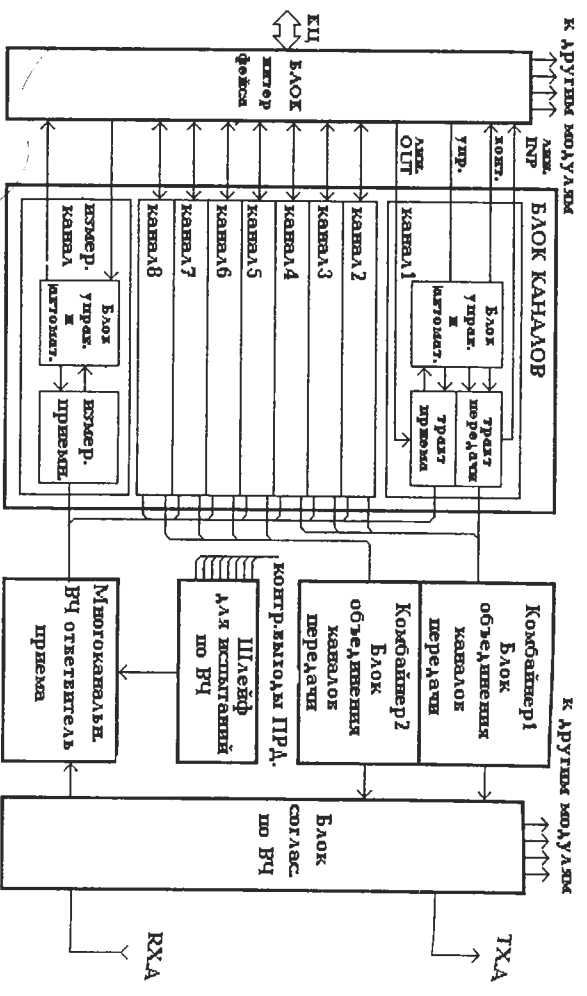


Рис.3.6. Структурная схема базовой станции ВД-28N

- Основными элементами ВS являются:
- Блок каналов;
 - блоки объединения ВЧ каналов передачи (комбайнеры);
 - многоканальный ВЧ ответвитель приема;
 - шлейф для испытаний по ВЧ;
 - блок согласования по ВЧ;
 - блок интерфейса.

Блок каналов ВS включает 8 дуплексных радиоканалов и 1 приемный измерительный радиоканал. Тракты приема в дуплексных радиоканалах являются классическими супергеродинными радиопримемниками с двойным преобразованием частоты, возможностью автоматической перестройки в диапазоне частот (453,0...457,5)МГц с шагом сетки частот $\Delta f_c = 25\text{кГц}$ (20кГц). Настройка трактов приема осуществляется с помощью блоков управления и автоматикки, входящих в каждый дуплексный радиоканал. При подготовке к работе каждый тракт приема настраивается на "свою" рабочую частоту $f_{пр}$ прием частоты приема соседних трактов должны отстоять одна от другой не менее чем на $(4...7)\Delta f_c = (100...175)\text{кГц}$. Приемный измерительный радиоканал включает блок управления и автоматикки и измерительный радиоприемник. Он используется для измерения уровня контрольного пилот-сигнала (0-сигнала - FFSK) и помехи на любой из 8 рабочих частот приема ВS, а также на частотах приема других ВS системы, по командам управления, поступающим из коммутационного центра МТХ. Таким образом измерительный приемник может автоматически перестраиваться на любую из 180 частот в диапазоне 453,0...457,5МГц.

Тракты передачи в дуплексных радиоканалах являются типовыми передатчиками, работающими в диапазоне частот (463,0...467,5)МГц, с электрической дискретной регулировкой выходной мощности $P_{вых}$ от 0,75 до 10 Вт. Установка восьми рабочих частот передачи $f_{прд}$ осуществляется с помощью соответствующих блоков управления и автоматикки. Кроме этого блок частоты передачи ("настройка") осуществляется в блоках объединения ВЧ каналов передачи (комбайнерах). Тракты приема и передачи в дуплексном радиоканале настраиваются с разностью $\Delta f_p = 10\text{МГц}$.

Первый дуплексный радиоканал ВS в соответствии с организацией связи и требованиями является каналом "вызова", предназначенным только для вызовов дальних станций со стороны ВS и ответа на вызовы. Последующие каналы являются радиоканалами 2...8 являются каналами "трафика", предназначенными для использования при организации разговоров между абонентами.

Блок объединения ВЧ каналов передачи (комбайнер) является резонансной узкой трактов передачи. Один комбайнер объединяет выходы четырех трактов передачи. С помощью органов настройки и циркуляторов достигается развязка по высокой частоте (ВЧ) трактов передачи между собой и работа на одну нагрузку. Требуемая расфилтровка достигается при условии, что частоты $f_{прд}$ отстоят одна от другой на величину разности $\Delta f_p = (4...7)\Delta f_c$.

Многоканальный ВЧ-ответвитель приема (усилитель-распределитель) обеспечивает объединение входов девяти трактов приема блока каналов при работе на одну антенну.

Шлейф для испытания дуплексных радиоканалов по ВЧ обеспечивает возможность подключения измерительных выходов трактов передачи к входам соответствующих трактов приема составляющих дуплексные пары, и создания таким образом, измерительного шлейфа без выхода в "эфир".

Блок согласования по ВЧ обеспечивает возможность работы радиоканальной ВS на одну передающую антенну (ПРДА) и одну приемную антенну (ПРА). Блок согласования по ВЧ позволяет также объединять антенны для нескольких ВS, включенных параллельно для увеличения числа рабочих радиоканалов. Конструкция базовой станции показана на рис.3.7.

Базовая станция ВД-28N сотовой системы связи стандарта NMT-450 строится по модульному принципу. Один модуль имеет вид прямоугольной платы (шкафа) размерами 200×600×225см. Модуль ВS представляет функционально законченное устройство, обеспечивающее выполнение всех функций в соответствии с алгоритмом работы системы. Внутри стойки устанавливаются субблоки, соединенные между собой по цепям электропитания, управления, контроля и высокочастотным выходам (выходам).

На верхней стенке стойки размещается блок согласования по ВЧ (блок СОА ОЗ), включающий ВЧ коммутаторы и разъемы приемных и передающих антенн. Коммутатор приемных антенн с помощью разъемов NPT обеспечивает подключение общей приемной антенны (ПРА) или 9 индивидуальной антенн к многоканальному ВЧ ответвителю.

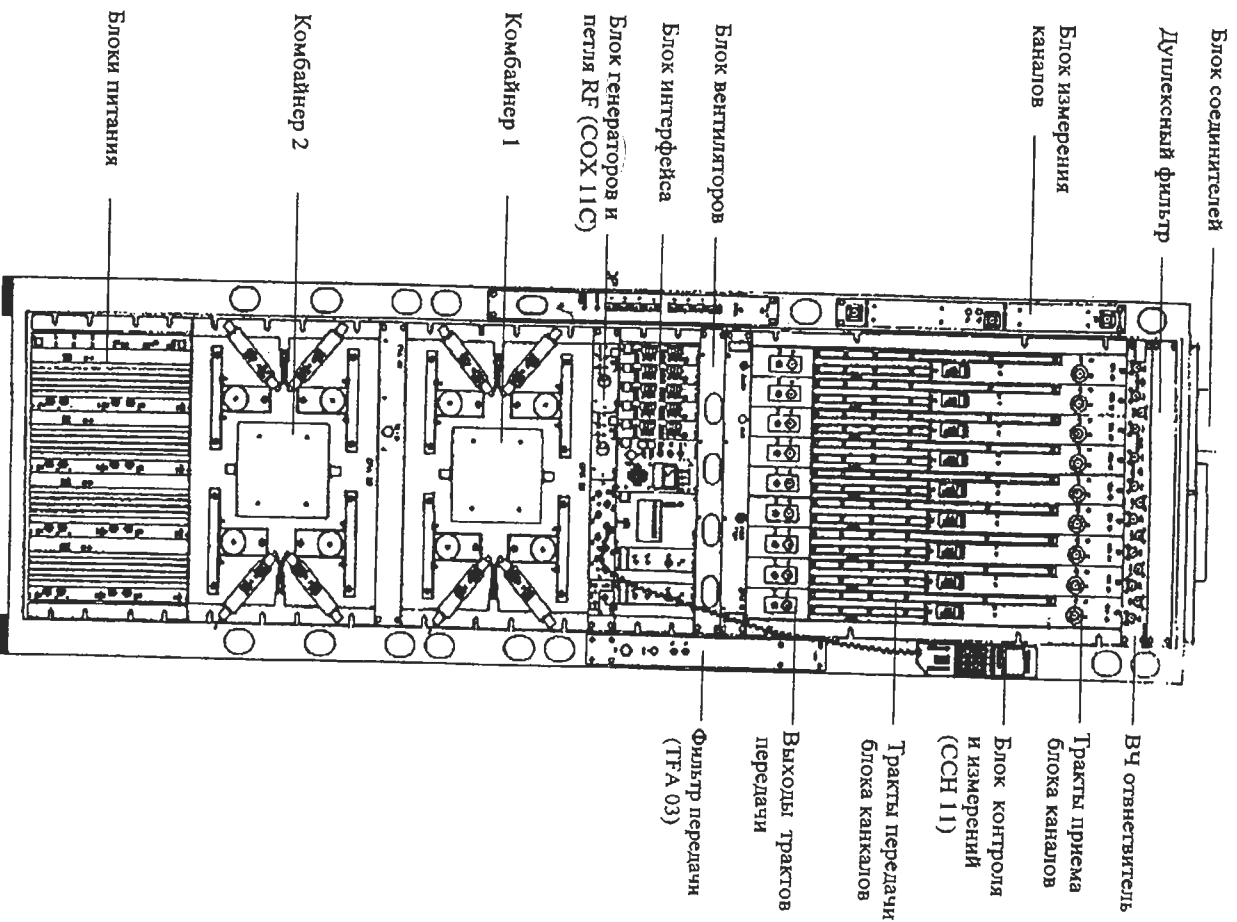


Рис. 3.7. Конструкция базовой станции ВД-28N

При параллельном включении 5-ти модулей BS разъемы RXANT1...RXANT5 объединяются и позволяют работать на одну антенну 40 трактам приема. Коммутатор передающих антенн с помощью разъема TXANT1 позволяет подключать к выходам комбайнеров от 1 до 16 передающих антенн.

Приемный усилитель-распределитель (многоканальный ВЧ-твиттер) размещается в верхней части модуля. Девять выходов емного усилителя-распределителя с помощью коротких коаксиальных слей соединяются с ВЧ разъемами трактов приема. Контроль и измерение параметров трактов приема осуществляется с помощью блока контроля, размещающегося на левой вертикальной стенке модуля. Восемь субблоков трактов передачи размещаются в блоке каналов под радиоприменными устройствами. Выходы передатчиков с помощью коаксиальных кабелей соединяются со входами соответствующих комбайнеров. Измерительные выходы передатчиков размещаются под основными выходами. С помощью коаксиальных кабелей они соединяются с соответствующими входами шлейфа для испытания по ВЧ, размещенного в блоке генератора. Контроль работоспособности блока каналов осуществляется с помощью контрольного блока, размещенного в верхней части левой стенки модуля.

Блок интерфейса находится под блоком каналов и отделяется от него блоком вентилятора. Блок интерфейса обеспечивает подключение модуля к МТХ с помощью многоканальной линии связи и параллельное включение модулей для увеличения канальной емкости BS (рис.3.8).

Блок интерфейса обеспечивает также контроль и измерение состояния различных функциональных узлов BS. В состав блока интерфейса входит несколько субблоков (рис.3.9).

Левые пять субблоков СЛ1 11 являются линиями интерфейса. Они обеспечивают соединение сигнальных, генераторных мультиплексных и аудио-выходов модуля с другими модулями.

Субблок контроля и измерений МУА 03 размещается справа от субблоков СЛ1 11. Он обеспечивает контроль и регулировку в цепях звуковых частот BS. Измерительный блок имеет выход напряжения с частотой $f_{из} = 1 \text{ кГц}$, уровень которого регулируется потенциометром на панели управления в пределах (+6...-30)дБ. Контроль осуществляется с помощью индикатора.

Субблок СЛС 12, размещенный справа от субблока МУА 03, является локальным блоком контроля. Он обеспечивает операционный контроль работоспособности BS. Субблок СЛС 12 связан с блоками контроля и логики СД дуплексных радиоканалов общей серийной шиной. Команды контроля передаются на уровне TTL-логики. Информация контроля отображается на буквенно-цифровом жидкокристаллическом дисплее субблока ССН 11, имеющего вид радиотелефонной трубки, который кабелем соединяется с субблоком СЛС 12. Субблок ССН 11 имеет также светодиодную и звуковую индикацию. Документирование информации контроля осуществляется с помощью встроенного принтера, входящего в состав субблока СЛС 12. Локальный контрольный блок с помощью стыка RS 232 может соединяться с ЭВМ. Два правых субблока СМУ 11 в блоке интерфейса являются антенными измерительными блоками. Субблок СОХ 11С является блоком генератора RF-теста. Он включает опорный кварцевый автогенератор, работающий на частоте $f_{кв} = 6,4 \text{ МГц}$. Опорная частота подается в синтезаторы трактов приема и

передачи блока каналов Совместно с субблоком СОХ 11 размещаются устройства формирования петли RF-теста (субблоки RLA 01, RLB 01).

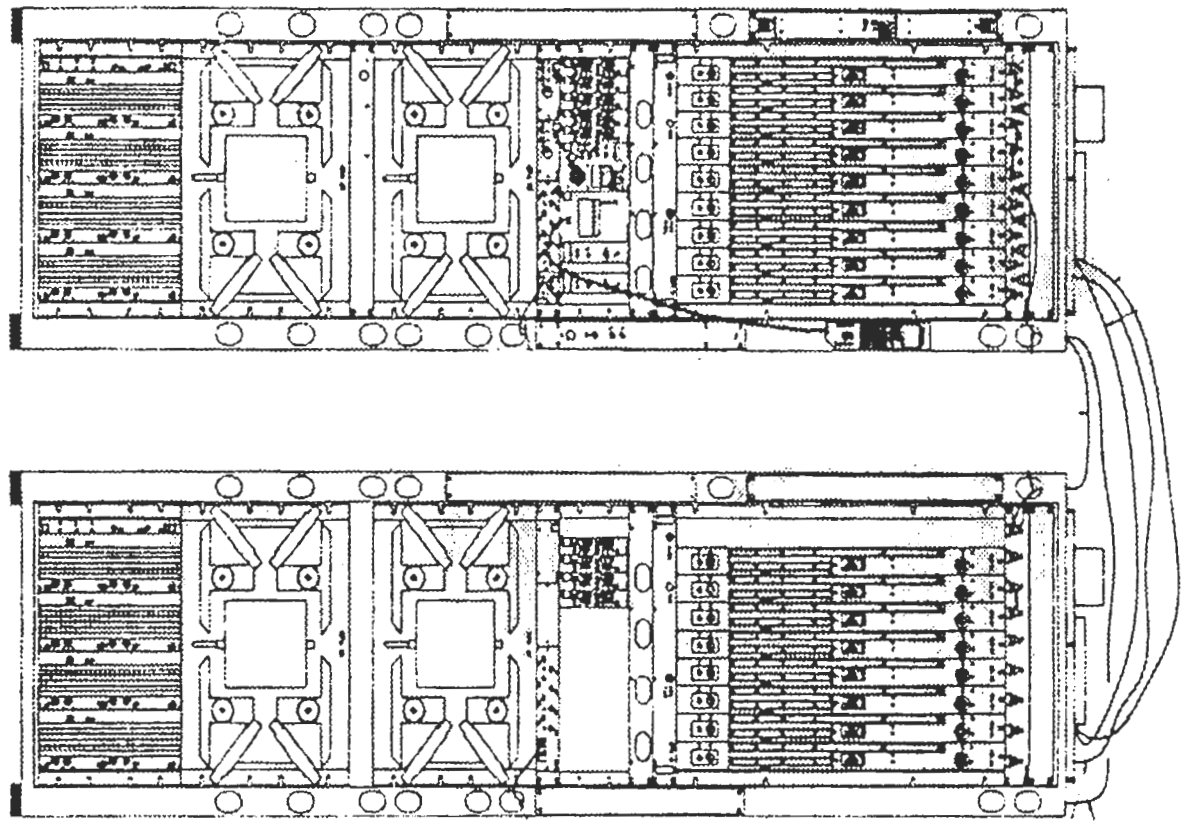


Рис.3.8. Параллельное включение модулей базовой станции VD-28N

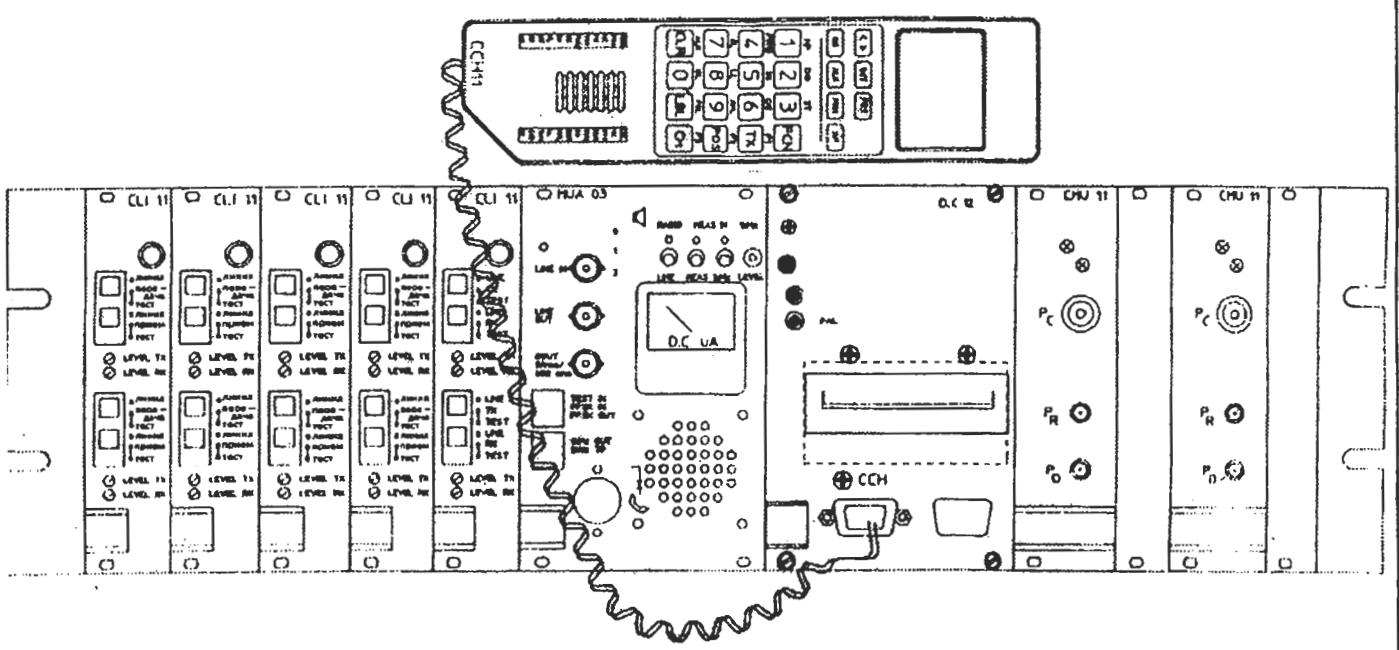


Рис.3.9. Состав блока интерфейса базовой станции VD-28N

Блоки объединения ВЧ каналов передачи СГА 03, СГА 04 (комбайнеры) размещаются в стойке BS под блоком интерфейса СЛ1 и отделены от него блоком генератора (субблок, СОХ 11С). Верхний комбайнер СГА 03/04 отделен от нижнего комбайнера СГА 03/04 субблоком циркулятора СГА 03. Работоспособность блоков объединения ВЧ каналов передачи контролируется с помощью блока сигнализации, размещенного в средней части контролируемого модуля. Выход комбайнера связан с блоком согласования по ВЧ через фильтр передачи ТГА 03, размещенный на правой стенке модуля. Блок питания BS (субблок АРА 01) размещается в нижней части модуля. Он обеспечивает получение стабилизированных питающих напряжений 24, 12, 9, 5 Вольт. Блок питания выполнен в виде двух стоек. Первая стойка формирует напряжение 24, 9, 5 В, вторая - 12 В. Контрольный блок в составе блока питания имеет программируемую логику, обеспечивающую оперативный контроль работоспособности системы электрооборудования, защиту от перенапряжения в различных цепях питания, сигнализацию работы блока. Сигнализация работы осуществляется сигнальными лампами, размещенными на передней панели блока и контролирующими: наличие входного напряжения - желтый цвет; наличие низковольтного напряжения - красный цвет; наличие ошибки в работе схемы - красный цвет.

Структурная схема дуплексного радиоканала BS показана на рис. 3.10.

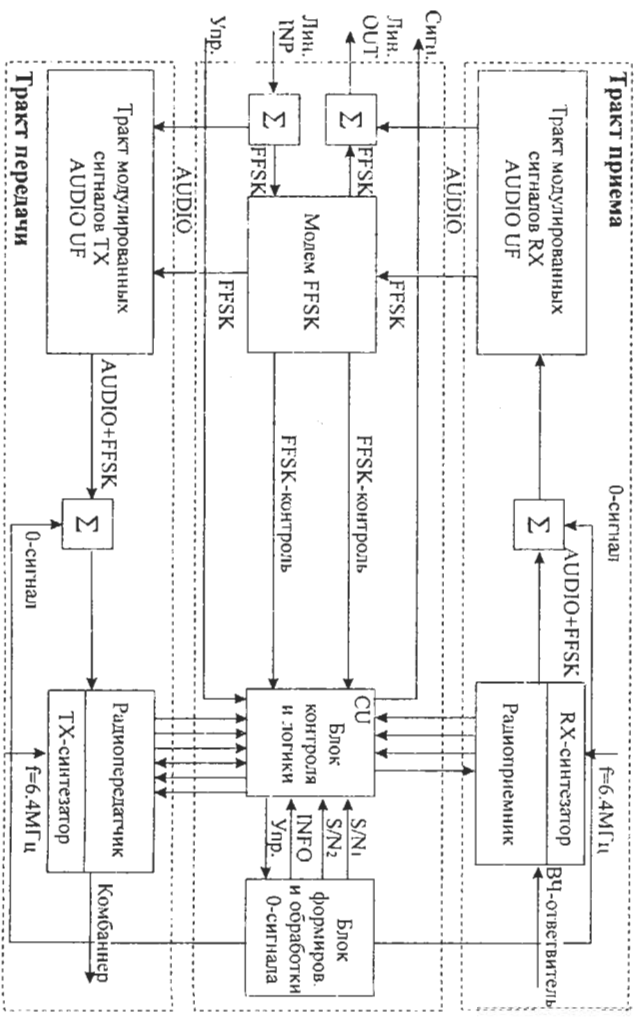


Рис. 3.10. Структурная схема дуплексного радиоканала BS ВД-28N

Основными функциональными блоками дуплексного радиоканала являются тракт приема, тракт передачи, блок управления и автоматика.

Функциональная группа приема включает радиоприменник с RX-синтезатором и тракт модулированных сигналов RX AUDIO UF (низкочастотный комбайнер). Функциональная группа тракта передачи включает радиопередатчик с синтезатором и тракт модулирующих сигналов TX AUDIO UF (низкочастотный комбайнер). Функциональная группа блока управления и автоматика включает блок контроля и логики, блок формирования и обработки измерительного сигнала (0-сигнала), модем цифровых сигналов (FFSK).

Низкочастотные входы (выходы) дуплексного радиоканала соединяются с интерфейсной линией, высокочастотные входы соединяются с многоканальным ВЧ-интерфейсом, а высокочастотный выход со входом одного из комбайнеров BS. Измерительные входы дуплексного радиоканала соединяются с контрольным блоком и блоком локального контроля BS (на структурной схеме не показаны). Блок контроля и логики соединяется с другими элементами BS по серийной шине адресованных (на структурной схеме не показаны).

Блок формирования и обработки 0-сигнала формирует 4 варианта критических сигналов с частотами (3955, 3985, 4015, 4045) Гц. Выбор частоты 0-сигнала осуществляется командой управления (УТР), поступающей из блока контроля и логики (различные частоты измерительных сигналов назначаются для BS, которые обслуживают кластеры с повторяющейся группой рабочих частот (кварца)). Частоты 0-сигнала формируются делением частоты кварцевого генератора. При обработке 0-сигнала тракт анализа разделяется на две ветви. В первой ветви измеряется уровень сигнала, во второй - уровень шума ($f_m \approx \pm 100 \Gamma \text{ц}$). Блок обработки позволяет получить два варианта сравнения уровней $s/\text{ш} = 10 \text{ дБ}$ (S/N_1) и $s/\text{ш} = -5 + 10 \text{ дБ}$ (S/N_2). Данные сравнения посылаются в МТХ для принятия решения.

Тракт приема дуплексного радиоканала обеспечивает прием радио-сигнала от BS на фиксированной рабочей частоте. На выходе радиоприменника измерительный сигнал поступает в блок обработки 0-сигнала. Аналоговые (AUDIO) сигналы и цифровые (FFSK) сигналы поступают в тракт модулированных сигналов, где делаются. Цифровые сигналы поступают на демодулятор FFSK, а AUDIO сигналы - на схему сложения. Схема сложения исключает шумитрование выходов блоков RX AUDIO и модема при подключении к одной линии интерфейса. Тракт передачи дуплексного радиоканала обеспечивает передачу AUDIO, FFSK и измерительных низкочастотных сигналов по каналу радиосвязи. Информационные (AUDIO) и цифровые (FFSK) сигналы поступают с линии интерфейса на модулирующую схему, где разделяются. Сигналы FFSK поступают на модулятор FFSK, а AUDIO сигналы - в тракт модулирующих сигналов. На выходе тракта TX AUDIO UF эти сигналы объединяются и поступают на схему суммирования, на вход радиопередатчика для модуляции несущей.

Блок контроля и управления (СУ) обеспечивает контроль процессов происходящих в трактах приема и передачи сигналов.

Канальный фильтр (КФ) выделяет сигнал в полосе частот 0,3...3,4 кГц. Фильтр - корректор (ФК) ослабляет частоты сигнала ниже 150 Гц на 12 дБ/октаву, а выше 3,4 кГц - на 18 дБ/октаву, обеспечивая подавление шумов вне основной полосы канала. Эспандер (Э) обеспечивает растяжение сигнала 1:2 (для расширения динамического диапазона). Регулируемый усилитель на выходе тракта позволяет установить требуемый уровень АУДИО сигнала. Коммутатор канала (КК2) позволяет исключить эспандер из тракта по сигналу управления ($U_{упр}$) поступающему из блока логики. Коммутатор канала (КК1) позволяет отключать канал от линии связи с МТХ при появлении шумов на выходе тракта приема по сигналу RSSI, поступающему из радиоприемника (КК1 работает как шумоподавитель). Тракт выделения сигналов FFSK включает усилитель, детектор уровня (ДУ) и схемы коррекции длительности (КДИ) и формы (КФИ) импульсов.

7. Мобильная станция ССПС стандарта NMT-450i

Стандарт NMT-450i включает различные типы MS. К наиболее широко используемым типам MS относятся Delta Benefon, Sigma Benefon, Forte Benefon, Class Ultra Benefon производства фирмы BENEFOLOGY и 440 Nokia, 450i Nokia, 720 Nokia производства фирмы Nokia. Используемые MS различаются по месту применения (носовые, офисные, бортовые), выходной мощности передатчиков и конструктивному исполнению, однако имеют общие технические характеристики и функциональные особенности, определяемые их системным использованием.

Особенности технических характеристик мобильных станций:

- групповое использование свободнодоступных частот при формировании каналов радиосвязи;
- автоматическая (электронная) перестройка на любую из частот выделенного диапазона;
- наличие дуплексного радиоканала, гарантирующего устранение взаимного влияния трактов передачи и приема при работе на одно антенно-фидерное устройство (АФУ);
- автоматическая регулировка выходной мощности передатчика в процессе ведения связи;
- использование фазовой модуляции при передаче аналоговых сигналов и узкополосной частотной манипуляции при передаче цифровых сигналов;
- наличие многофункционального интерфейса пользователя, обеспечивающего контроль качества канала связи, контроль работы функциональных узлов MS, ввод и вывод аудио и цифровой информации.

Функциональные особенности мобильных станций:

- работа MS в активном режиме (обмен служебной информацией) независимо от того разговаривает абонент или не разговаривает;
- непрерывный автоматический анализ уровней сигналов и по каналах приема и передачи;
- автоматическая защита от шумов в тракте приема при замирании сигнала;
- автоматический переход на свободный канал при возмездных помехах;
- автоматическая передача MS на обслуживание различных БС при перемещении из соты в соту;
- автоматический переход в режим экономии батарей при снижении уровня сигнала ниже порогового.

Рассмотрим более детально технические характеристики функциональные особенности MS. При формировании каналов радиосотовая система связи стандарта NMT-450i использует диапазон ультракоротких волн $Df = 0,3...3,0$ ГГц и занимает участок частотного спектра 453,0...467,5 МГц.

Планом частот определяется использование используемого спектра частот. Нижняя часть спектра 453,0...457,5 МГц используется для формирования каналов передачи, а верхняя часть спектра 463,0...467,5 МГц для формирования каналов приема MS. Между нижним и верхним частотными участками существует защитный интервал $\Delta f_3 = 457,5...463,0$ МГц. В каждом из частотных участков приема и передачи формируется фиксированный частот с разностью $\Delta f_c = 25$ кГц. Это позволяет под количество фиксированных частот равно $N_f = (f_{\text{макс}} - f_{\text{мин}}) / \Delta f_c = MS$ предусмотрена также возможность формирования сетки фиксированных частот с интервалом $\Delta f_c = 20$ кГц. Количество фиксированных частот при увеличении до $N_f = 225$.

Дуплексные каналы в MS формируются путем выбора одинаковых номеров фиксированной частоты в нижнем и верхнем частотных участках. Введение защитного частотного интервала Δf_3 позволяет получить постоянный разнос между частотами приема и передачи в MS, равный Δf МГц. Это обеспечивает гарантированную частотную развязку и каналами приема и передачи при работе на одну антенну.

В MS реализуется принцип группового использования фиксированных частот. При этом общее количество фиксированных частот N_f составляет каналную основу (tripk) системы которая, является свободно-доступной любой MS. Это позволяет при формировании дуплексных каналов радиосвязи использовать при вызовах любую свободную частотную пару. Алгоритмом работы системы.

Автоматическая (электронная) перестройка MS обеспечивает практически безынерционный переход на любую свободную пару частот.