

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Уральский государственный университет путей сообщения
Кафедра «Автоматика, телемеханика и связь
на железнодорожном транспорте»

Н. К. Велигжанин

М. А. Пашенко

О. Н. Пашенко

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ДОРОГИ

В двух частях

Часть 2

Методические рекомендации
к выполнению курсового проекта для студентов
специальности 190901 — «Системы обеспечения движения
поездов», специализация «Телекоммуникационные системы
и сети железнодорожного транспорта» всех форм обучения

Екатеринбург
Издательство УрГУПС
2014

УДК 621.372.88
В27

Велигжанин, Н. К.

В27 Проектирование телекоммуникационной сети дороги : метод. рекомендации. В 2 ч. Ч. 2 / Н. К. Велигжанин, М. А. Пашенко, О. Н. Пашенко. – Екатеринбург : Изд-во УрГУПС, 2014. – 34, [2] с.

Предназначены для студентов всех форм обучения, изучающих дисциплину «Многоканальная связь на железнодорожном транспорте», для закрепления теоретических знаний по многоканальным телекоммуникационным системам с временным разделением каналов.

Разработаны в соответствии с программой специализации «Телекоммуникационные системы и сети железнодорожного транспорта», специальности 190901 – «Системы обеспечения движения поездов».

УДК 621.372.88

*Печатается по решению
редакционно-издательского совета университета.*

Авторы: Н. К. Велигжанин, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», канд. техн. наук, УрГУПС
М. А. Пашенко, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», канд. техн. наук, УрГУПС
О. Н. Пашенко, старший преподаватель кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», УрГУПС

Рецензент: М. С. Мухамедзянов, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», канд. техн. наук, УрГУПС

Оглавление

Введение	4
1. Организация оперативно-технологической связи.....	5
1.1. Организация ОТС на базе системы МиниКОМ DX-500.ЖТ	6
1.2. Организация ОТС на базе мультисервисного мультиплексора СМК-30	8
2. Синхронизация цифровой сети	20
2.1. Классификация систем синхронизации	20
2.2. Аппаратура синхронизации.....	20
2.3. Основные схемы распределения синхросигнала.....	23
3. Радиорелейные и спутниковые системы связи	30
3.1. Классификация, основные характеристики	30
3.2. Сеть спутниковой связи «Транстелесат»	32

Введение

Первичные телекоммуникационные сети железнодорожного транспорта, являющиеся основой системы электросвязи, должны быть цифровыми, то есть, построены на основе стандартных цифровых каналов и трактов. Их параметры должны обеспечивать реализацию всех видов вторичных сетей, в том числе сетей технологической связи, сетей передачи данных, сетей общего пользования.

Архитектура и топологии первичных сетей должны иметь возможность наращивания объемов передаваемой информации как за счет увеличения количества каналов, так и за счет увеличения скорости передачи при условии обеспечения высокой надежности.

Всем перечисленным требованиям отвечают каналообразующие системы синхронной цифровой иерархии *SDH* (*Synchronous Digital Hierarchy*), работающие по волоконно-оптическому кабелю.

В первой части методических рекомендаций рассматриваются вопросы выбора вариантов организации связи. Дан обзор базовых сетевых технологий передачи, сетевых элементов, типов линий, кабелей и кабельного оборудования. Рассмотрены вопросы архитектуры и топологии сетей, построения первичной сети связи, расчета потребного числа каналов.

Во второй части методических рекомендаций рассматриваются вопросы сопряжения первичной сети и сети ОТС на базе цифровых систем МиниКОМ ДХ-500.ЖТ и СМК-30, а также построение сети синхронизации, аппаратура синхронизации, схемы распределения синхросигнала, радиорелейные и спутниковые системы связи.

1. Организация оперативно-технологической связи

Оперативно-технологическая связь (ОТС) является одним из основных технических средств управления перевозочным процессом и организации текущего содержания всей инфраструктуры железнодорожного транспорта: пути, энергетического хозяйства, подвижного состава, устройств СЦБ и телекоммуникаций.

В соответствии с отраслевым стандартом МПС РФ ОСТ 32.145-2000 проектируемые сети ОТС должны быть цифровыми, кольцевой структуры, двухуровневые. Кольца нижнего уровня формируются с помощью одного первичного цифрового канала (ПЦК) (поток $E1$) в пределах участков ОТС (диспетчерских кругов), содержащих не более 30 исполнительных станций.

Кольца верхнего уровня формируются в пределах дороги с использованием нескольких потоков $E1$.

Информационно-логическое и электрическое сопряжение колец верхнего и нижнего уровней осуществляется с помощью «мостовых» станций (Великжанин Н. К. Проектирование телекоммуникационной сети дороги: метод. указания. Екатеринбург, 2012. Ч. 1. рис. 2.1).

В аппаратуре мостовых и распорядительных станций производится коммутация канальных интервалов в соответствии со схемой диспетчерских связей каждого направления с распорядительной станцией ЕДЦУ.

Общее число вводимых потоков $E1$ в мостовую станцию не превышает четырех, в том числе 2-3 потока $E1$ кольца высокого уровня и один поток $E1$ низкого уровня. Цифровой поток, в котором имеется общий канал сигнализации, должен проходить через все мостовые станции и распорядительную станцию данного направления.

Сопряжения первичной сети связи магистрального сегмента с вторичными сетями СПД, СПД-ОТН, ОТС и ОбТС, представлены на рис. 2.2, а схема организации колец приведена на рис. 2.3. (Великжанин Н. К. Ч. 1).

Для организации пространственных колец верхнего уровня используются потоки $E1$, выделенные в системах $SDH STM-1$ ($STM-4$; $STM-16$) магистральной сети транспортного уровня.

Кольца нижнего уровня реализуются на базе аппаратуры $DX-500$. ЖТ или СМК-30, работающих совместно с мультиплексорами $SDH STM-1$ (4).

1.1. Организация ОТС на базе системы МиниКОМ DX-500.ЖТ

В системе МиниКОМ *DX-500.ЖТ* реализована возможность подключения цифровых 2,048 Мбит/с потоков (потоков *E1*) с организацией в них каналов 4-х проводных и 2-х проводных цепей избирательной диспетчерской связи, поездной радиосвязи, межстанционной и перегонной связи, всех видов станционной распорядительной связи.

Аппаратура *DX-500.ЖТ* может быть использована в качестве распорядительной станции диспетчерских центров дорожной и отделенческой системы оперативно-технологической связи, в качестве исполнительной аппаратуры на станциях всех типов, а также в распорядительно-исполнительном варианте.

Распорядительные и исполнительные станции соединяются между собой цифровыми потоками *E1*, образованными любой системой передачи по кольцевой схеме.

В одном кольце допускается не более 30 станций. При большем потребном количестве станций в диспетчерском круге организуется второе кольцо, которое соединяется с первым кольцом через мостовые станции (рис. 1.1).

Цифровые ответвления на станциях также выполняются через мостовые станции потоками *E1*. Аналоговые ответвления подключаются к аппаратуре *DX-500.ЖТ* через специализированные субмодули,

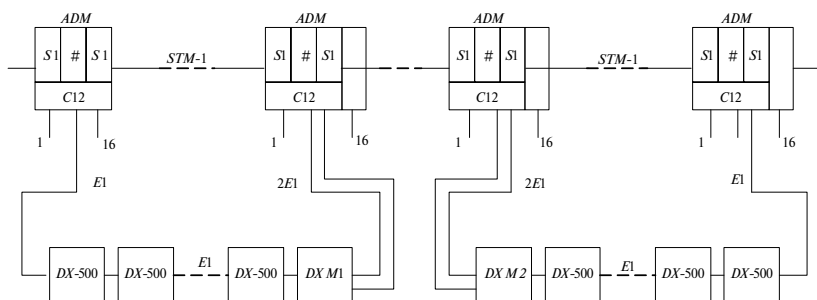


Рис.1.1. Соединение колец через мостовые станции потоком *E1* системы *SDH STM-1*

где М — мостовая станция.

Через специализированные субмодули подключаются все абоненты станционной распорядительной связи, линии перегонной и межстанционной связи, каналы ТЧ и каналы передачи данных.

Аппаратура *DX-500.ЖТ* кроме обеспечения оперативно-технологической связи может выполнять роль АТС для общетехнологической связи, емкостью 32, 64, 128 номеров и более.

Структурная схема аппаратуры *DX-500.ЖТ* приведена на рис. 1.2.

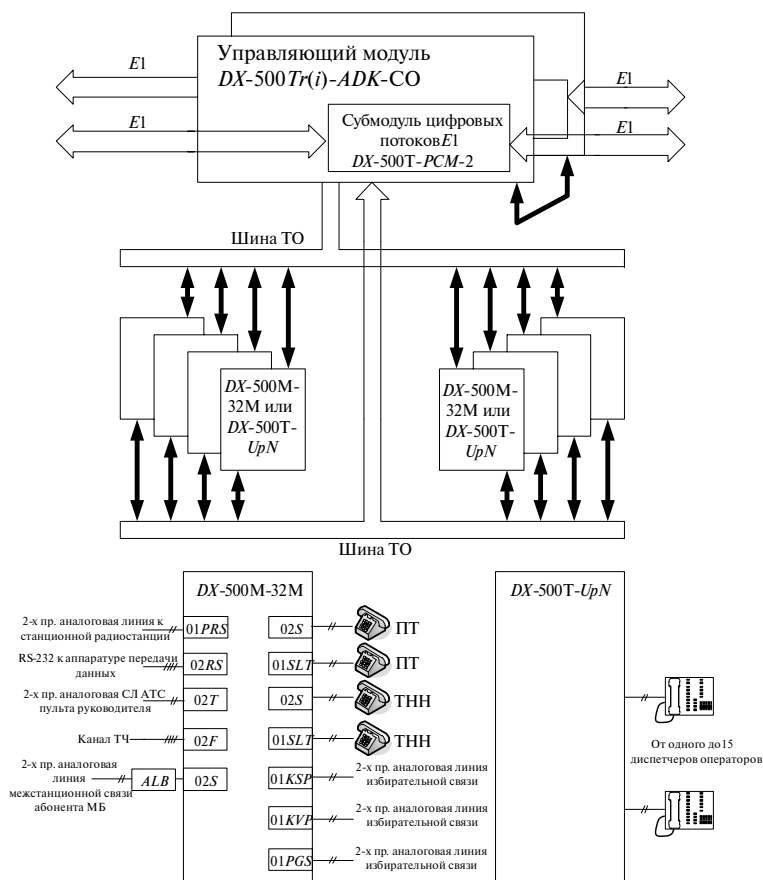


Рис.1.2. Структурная схема *DX-500 ЖТ*

В состав аппаратуры входят модули (кластеры):

DX-500 Tr-ADK — управляющий модуль распорядительной или исполнительно-распорядительной станции;

DX-500 Ti-ADK — управляющий модуль исполнительно-распорядительной станции;

DX-500 Te-ADK — управляющий модуль ЕДЦУ;

Субмодуль *DX-500-PCM-2* – устройство сопряжения для каналов *E1*;

DX-500 M-32M – модуль линейных интерфейсов для установки от 1 до 16 субмодулей линейных комплектов;

DX-500T-UpN – модуль цифровых интерфейсов от 1 до 16 портов пультов руководителей.

Субмодули линейных комплектов:

02 *S* – субмодуль абонентов ЦБ;

01 *SLT* – субмодуль абонента с выходом в групповой канал;

01 *KSP* и 01 *KVP* – субмодули групповой цепи с $Z_{вх}$ 600 Ом и 2 кОм соответственно;

01 *PGS* – субмодуль линии перегонной связи;

01 *PRS* – субмодуль поездной радиосвязи;

02 *RS* – субмодуль канала передачи данных;

02 *T* – субмодуль аналоговой СЛ АТС;

02 *F* – субмодуль канала ТЧ;

02 *S* – субмодуль абонента МБ.

Принцип соединения абонентов на станции между собой в *DX-500.ЖТ* закладывается программно согласно таблице доступности. Таблица доступности абонентов ОТС отражает схему соединения пользователей всех видов связи, в какую групповую цепь они включены и на каких условиях.

Через субмодуль 02 *F* по 4-х проводной соединительной линии могут подключаться АТС системы ОБТС с различным типом сигнализации.

1.2. Организация ОТС на базе мультисервисного мультиплексора СМК-30

Мультиплексор СМК-30 объединяет системы синхронной цифровой иерархии уровней *STM-1* и *STM-4* с системами *SHDSL*, передачи данных оперативно-технологического назначения (СПД ОТН) и общетехнологической связи (ОБТС), системой связи совещаний (СС), с устройствами передачи данных с *IP* протоколами (СПД IP). Кроме того, имеются системы технических средств охраны (ТСО) с устройствами видеонаблюдения и охранно-пожарной сигнализацией.

Модули системы обслуживают каналы с полупостоянными и коммутируемыми соединениями с возможностью маршрутизации пакетов.

Основные параметры системы СМК-30 приведены в табл. 1.1.

1.2.1. Основные характеристики СМК-30

Для организации сетей технологической связи железных дорог, включающих в себя сети оперативно-технологической связи (ОТС), сети общетехнологической телефонной связи (ОбТС), сети передачи данных оперативно-технологического назначения (СПД – ОTH), сети передачи данных общетехнологического назначения (СПД – ОбTH), внедряются комплексы устройств в составе цифровых ISDN телефонных станций типа «Альфа», мультисервисных мультиплексоров типа СМК-30, цифровых студий связи совещаний АЦСС, концентраторов информации КИ-30 телеграфной техники, модемов, конверторов, регенераторов, обеспечивающих регенерацию сигналов и преобразование интерфейсов $E1$, $SHDSL$, $Uk0$ (интерфейс первичного доступа $30B+D$), $Up0$ (интерфейс базового доступа $2B+D$), $G.703.1$ (интерфейс цифрового канала ОЦК), $V35$ (интерфейс передачи данных по симметричной цепи витой пары), $RS 232/422$.

Мультиплексор СМК-30 объединяет в себе все основные системы и технологии железнодорожной связи, в том числе систему передачи SDH уровней $STM-1$ и $STM-4$. Обеспечивает передачу данных с IP протоколами, охранно-пожарную сигнализацию, видеонаблюдение.

Мультисервисная сеть связи на базе мультиплексора СМК-30 представлена на рис. 1.3.

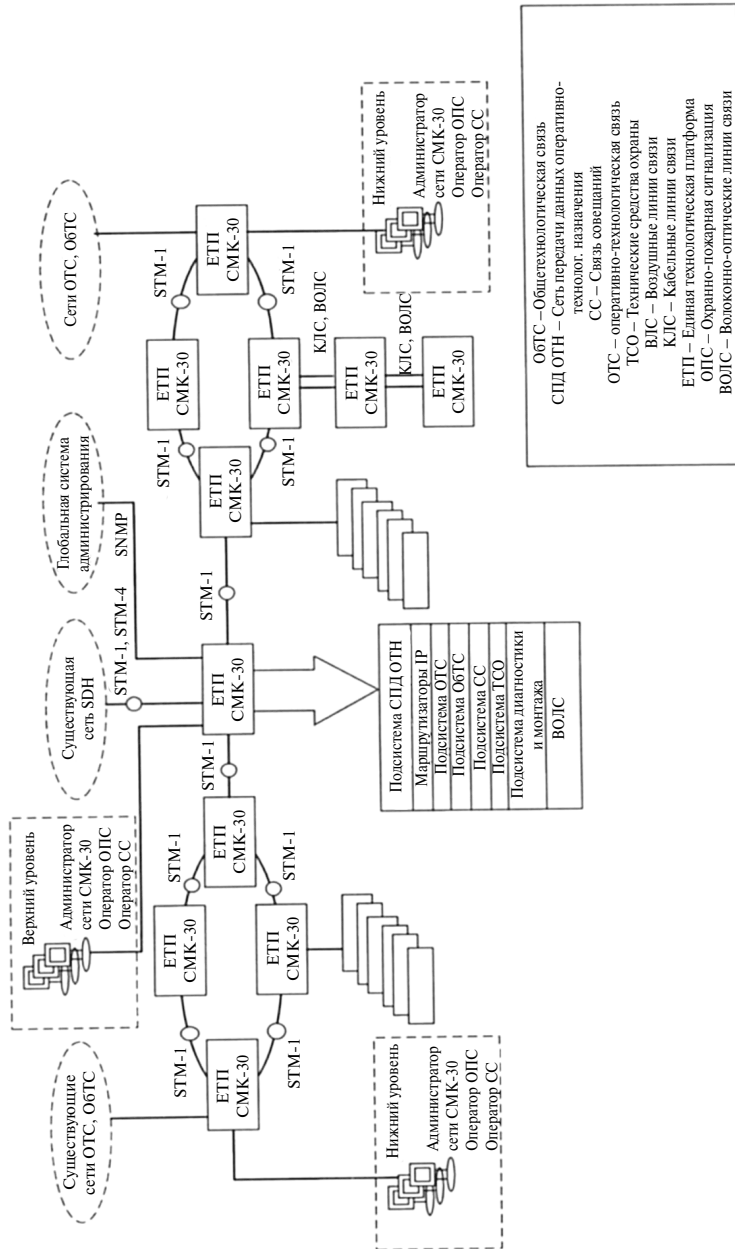
В зависимости от необходимого количества каналов, обслуживаемых систем и технологий разработаны четыре варианта.

Исполнения мультиплексора приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Варианты исполнения мультиплексора

Тип	Количество портов $E1$	Количество оптических портов	Количество выводимых каналов 64 кбит/с	Обслуживаемые системы и технологии связи
Первичный мультиплексор	4	-	до 60	СПД-ОТН, СС,
Коммутационная станция	4	-	до 120	ОПС, IP , DSL
Первичный мультиплексор	8	-	до 60	ОТС, ОбТС
Оптический и первичный мультиплексор в одном блоке	4 до 60(Д)	2 $STM-1$	до 60	СЦИ, СПД-ОТН, СС, ОПС, IP , DSL
Оптический и первичный мультиплексор в одном блоке	4 до 60(Д)	До 5 $STM-1$ или До 2 $STM-4$	до 60	СЦИ, СПД-ОТН, СС, ОПС, IP , DSL



Так, для реализации сети *SDH* можно использовать третий или четвертый блоки исполнения, оснащенные оптическими портами *STM-1*, *STM-4*. Кроме того, в блоках имеются модули для подключения абонентов СПД – ОН, связи совещания, охранно-пожарной сигнализации, устройств, работающих по протоколу IP, интерфейсы цифровых потоков *E1*.

Блоки исполнения 1 используются для подключения абонентов ОТС и ОбТС, имея в своем составе две коммутационные станции с 60 каналами ОЦК каждая.

Для организации ОбТС на средних и больших станциях может использоваться цифровая АТС типа «Альфа» емкостью до 12000 абонентов.

Подключение мультиплексоров к ВОЛС осуществляется через стандартные оптические стыки сменных оптических трансиверов:

S 1.1, *S 4.1* — для участков с расстоянием между сетевыми элементами до 15 км, с длиной волны 1310 нм;

L 1.1, *L 4.1* — для участков с расстоянием до 80 км, с длиной волны 1310 нм;

L 1.2, *L 4.2* — для участков до 120 км, с длиной волны 1550 нм;

Возможна цифровая диагностика оптической мощности приема и передачи и температуры лазера.

Оптические порты и часть *E1* находятся на системном модуле мультиплексора и не занимают отдельного посадочного места. В мультиплексор устанавливается до 15 сменных модулей с различными интерфейсами и функциями. Порядок их установки — произвольный. Возможна установка и изъятие модулей «на ходу», без отключения питания, с гарантией полного отсутствия сбоев и помех в работе соседних модулей.

Модули обслуживают каналы с полупостоянным или коммутируемым соединением, а также с маршрутизацией пакетов.

В стандартных схемах резервирования типа *SNCP* (*SubNetwork Connection Protection*), *MSP* (*Multiplex Section Shared Protection Ring*) кольцо с защитой мультиплексной секции с разделением ресурсов обеспечивает защиту цифровых потоков, циркулирующих в сети.

Предусмотрена возможность диагностики не только магистральных, но и абонентских линий с АРМ администратора или через систему ЕСМА (единая система мониторинга и администрирования). Пример построения сети представлен на рис. 1.4.

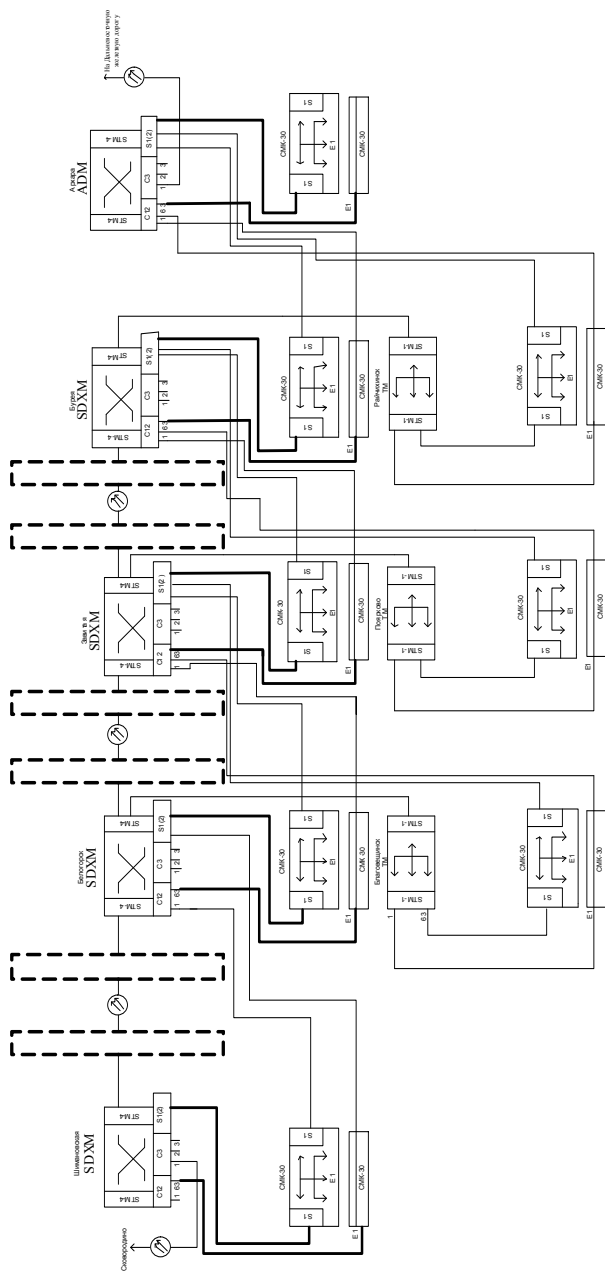


Рис. 1.4. Построение цифровой сети на участке железной дороги

Системы ОТС и ОбТС могут быть реализованы в режимах распорядительной, исполнительной и мостовой станций всех видов диспетчерской связи, поездной радиосвязи, перегонной, парковой, межстанционной связи.

Система передачи данных СПД-ОТН включает в себя модули маршрутизаторов *IP* пакетов 2-го и 3-го уровней, которые содержат по четыре интерфейса *Ethernet* со скоростью 10/100 Мбит/с. Модуль 3-го уровня в отличие от 2-го обеспечивает гарантированную полосу пропускания для высокоскоростного трафика с использованием технологий *QoS (Quality of Service)* и *MPLS (MultiProtocol Label Switching)*. Наряду с маршрутизацией модуль выполняет функции голосового шлюза *VoIP* – сжатия голосовых данных. Данные могут поступать с любых окончаний мультимплексора или с канальных интервалов магистральных потоков (обрабатывается до 60 каналов). Поддерживается процедура *GFP (General Framing Protocol)* – основной протокол формирования кадров – протокол преобразования кадров данных в системе *SDH*, с помощью которого осуществляется инкапсуляция *IP* – трафика в синхронную сеть с выравниванием *LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme)* – схема регулирования размера канала. Обеспечивается пропускная способность до 100 Мбит/с. Встроена поддержка протокола *SIP (Session Initiation Protocol)* – протокол инициализации сеанса связи в пакетных сетях.

Таблица 1.2

Модули СМК-30

Тип	Обслуживаемые линии и каналы	Число каналов	Примечание
СМА-4-4	Аналоговые четырехпроводные	4	Четырехпроводные каналы ТЧ с измерителями уровня
СМА-2-4	Аналоговые двухпроводные комбинированные	4	Аналоговые телефонные аппараты ЦБ/МБ, стык с АТС, двухпроводный канал ТЧ 600 Ом
СМА-2-8	Аналоговые двухпроводные абонентские	8	Аналоговые телефонные аппараты ЦБ. Применяется при работе СМК-30 в качестве мини-АТС
СМА-3-4	Аналоговые трехпроводные соединительные	4	Стык СЛ с АТС
СМЦК-4	Цифровые двухпроводные, канал <i>Uk0</i>	4	Стандартный <i>Uk0</i> стык без дистанционного питания Модем МЦФЛ-1 без регенераторов, КТК-30

Окончание табл. 1.2

Тип	Обслуживаемые линии и каналы	Число каналов	Примечание
СМЦКД-4	Цифровые двухпроводные, канал <i>Uk0</i>	4	Стандартный <i>Uk0</i> стык с дистанционным питанием Регенераторы РКО-1, транскодеры ТРК-1, модем МЦФЛ-1 с регенераторами РКО-1, цифровые телефонные аппараты со стыком <i>Uko</i>
СМЦПД-4	Цифровые двухпроводные, канал <i>Up0</i>	4	Стандартный <i>Up0</i> стык с дистанционным питанием Цифровые телефонные аппараты со стыком <i>Up0</i> (<i>Siemens Optiset E</i>), транскодеры ТРК-1
СМЦГ-4	Цифровые четырехпроводные, <i>G.703</i> 64 кбит/сек сонаправл. стык	4	АСДК «Сетунь» и др.
СМЦС-4	Цифровые <i>nx64</i> кбит/сек, интерфейсы <i>V.35</i> , <i>RS-232</i> , <i>RS-422</i> , <i>RS-423</i>	4	
СМЦИ-4	Цифровые с <i>IP</i> -стыками <i>nx64</i> кбит/сек, маршрутизация	4	<i>UTP</i> (витая пара)
СМЦД-4	Цифровые с <i>DCP</i> -стыками	4	Цифровые телефонные аппараты со стыком <i>DCP</i> (<i>Lucent Technologies</i>)
СМЦТ-8	Цифровые с телеграфными стыками	8	Восемь телеграфных 4-х проводных линий
СМЛТ-1	Магистральный линейный тракт по медному кабелю	1	<i>SHDSL</i> тракт с дистанционным питанием, модуляция <i>TC PAM 16</i>
СМЛТ-2	Магистральный линейный тракт по медному кабелю	2	<i>SHDSL</i> тракт с дистанционным питанием, модуляция <i>TC PAM 16</i>

1.2.2. Общая настройка мультиплексора

К общим настройкам мультиплексора относятся (рис.1.5):

1. Сетевое имя — любое удобное для пользователя обозначение данного мультиплексора внутри подсети, состоящее из русских/английских букв, цифр длиной до 19 знаков включительно;

2. Номер подсети — номер подсети, в состав которой входит данный мультиплексор. Может принимать значения от 0 до 63;

3. Адрес — уникальный сетевой адрес мультиплексора. Может принимать значения от 0 до 31;

4. Количество подсетей — количество подсетей, входящих в единую глобальную сеть мультиплексоров. Может принимать значения от 0 до 63.

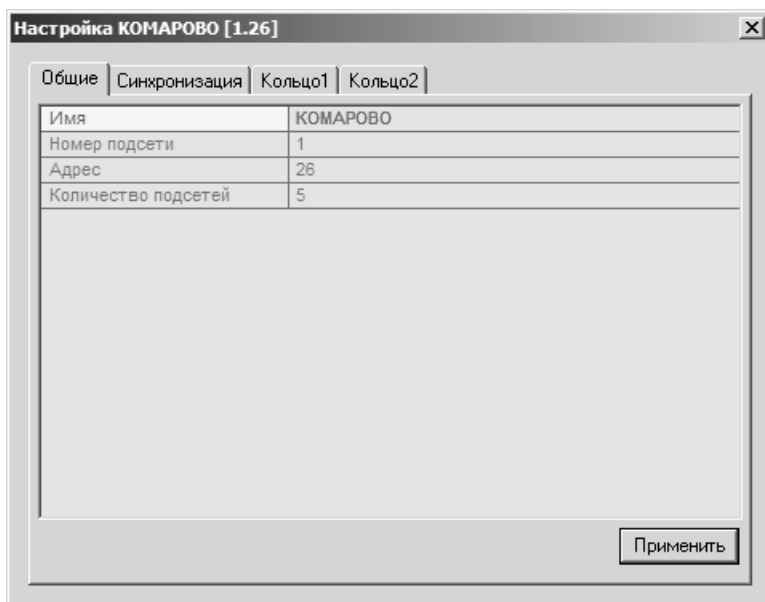


Рис.1.5. Внешний вид окна общих настроек мультиплексора

1.2.3. Настройка синхронизации

Мультиплексор может синхронизироваться от следующих источников:

1. Синхронизация от одного из четырех потоков *E1*. Используется при соединении нескольких мультиплексоров в единую сеть для синхронизации всех мультиплексоров сети от одного и того же источника.
2. Синхронизация от внешнего задающего генератора, при наличии более надёжного и точного источника тактовых частот.
3. Синхронизация от внутреннего источника синхронизации — режим АВТО, например, если мультиплексор является задающим для синхронизации сети мультиплексоров (обычно это мультиплексор с АРМ администратора).

Система приоритетов источников синхронизации мультиплексора может принимать значения от 0 до 5. Высший приоритет – 0, наименьший – 5. Если в процессе работы синхронизация от источника с приоритетом 0 станет невозможна, то мультиплексор переключится на источник синхронизации с приоритетом 1, если синхронизация от источника с приоритетом 1 невозможна, то мультиплексор переключится на источник синхронизации с приоритетом 2 и т. д. Если не выбран ни один из доступных источников синхронизации, то мультиплексор перейдет на внутренний источник (режим АВТО).

Внешний вид окна настроек синхронизации мультиплексора представлен на рис.1.6.

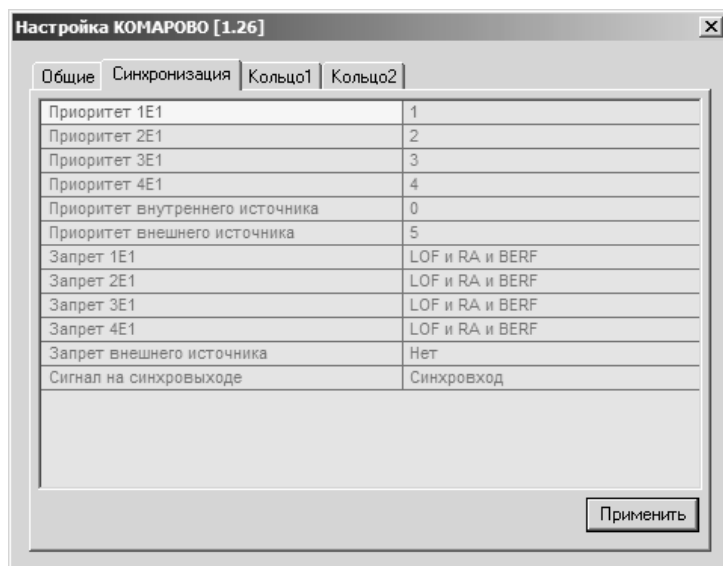


Рис.1.6. Внешний вид окна настроек синхронизации

1.2.4. Настройка колец

Сеть мультиплексоров может быть организована по кольцевой схеме. При этом каждый мультиплексор может быть включен в два кольца. Первое кольцо – потоки 1E1, 2E1; второе кольцо – потоки 3E1, 4E1. В каждом кольце автоматически назначается мультиплексор, имеющий статус главной станции. Остальные мультиплексоры

имеют статус подчиненной станции. Главная станция периодически проводит проверку состояния целостности кольца посылкой сообщения «контроль кольца» поочередно в оба потока *E1*. При приеме сообщения подтверждается целостность кольца. При отсутствии сообщения «контроль кольца» устанавливается состояние разрыва. При изменении состояния кольца (разрыв/восстановление) или режима работы в кольце (главная/подчиненная) выдается сообщение АРМ.

На главной станции в случае целостности кольца устанавливается точка логического разрыва. Данный поток отображается в АРМ, прием/передача данных по этому потоку запрещены. В случае физического разрыва кольца точка логического разрыва снимается, разрешая работу каналов по обходному пути. Для нормального функционирования групповых каналов в кольце все задействованные каналы следует коммутировать в тайм-слоты обоих потоков *E1* кольца.

При неисправности или выключении главной станции все мультиплексоры, на которых включено использование кольца, участвуют в захвате статуса главной станции. Главным в кольце становится мультиплексор, у которого наименьший адрес подсети и наименьший адрес внутри подсети.

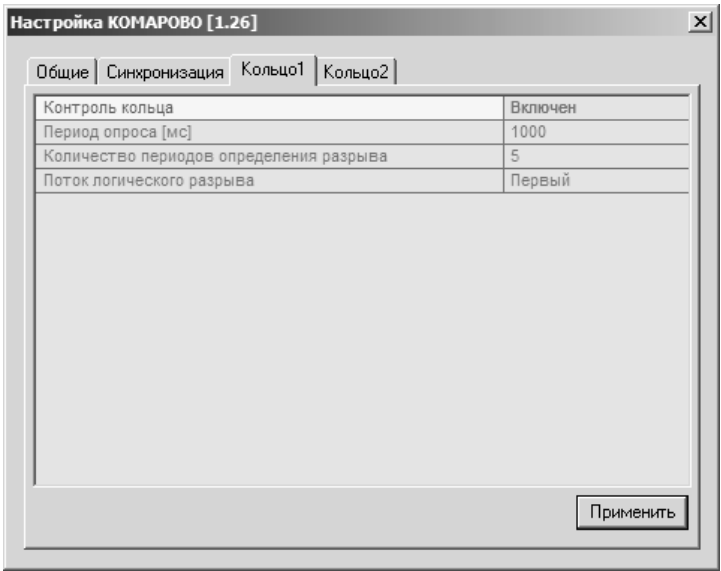


Рис.1.7. Настройки кольца №1 мультиплексора

В настройках мультиплексора имеются закладки «Кольцо 1» и «Кольцо 2» для настройки колец. Доступны следующие настройки колец (см. рис.1.7):

1. Контроль кольца может быть включен/выключен — при включенном положении проверяется состояние кольца: целостность кольца и поиск главной станции в кольце.

2. Период опроса (мс) — через данный интервал времени (миллисекунд) будет проверяться целостность кольца.

3. Количество периодов определения разрыва — количество периодов, в течение которых определяется целостность кольца.

4. Поток логического разрыва — может принимать значения первый/второй, для кольца №1 это означает логический разрыв по потокам 1E1/2E1 соответственно, для кольца №2 это означает логический разрыв по потокам 3E1/4E1 соответственно.

1.2.5. Настройка потоков E1

Внешний вид окна настроек потоков E1 представлен на рис.1.8.



Рис.1.8. Внешний вид окна настроек потоков E1

Для пользователя доступны следующие настройки:

1. Прием/Передача — настройка может быть включена или выключена. Эта настройка используется для удаленного отключения/включения передатчика и приемника потока *E1*. В выключенном состоянии прекращается прием/передача данных по данному потоку *E1*. Рекомендуется включенное состояние.

2. Режим длинной линии — может быть включен/выключен. Если этот режим выключен, то максимальное ослабление сигнала: –10 дБ. В этом режиме отключена цепь балансировки (эквалайзер) в контроллере *E1* и не допускается измерение уровня сигнала. Если режим включен, то максимальное ослабление сигнала: –43 дБ. Рекомендуется включение режима.

3. Тайм-слот *HDLC* контроллера — номер тайм-слота, по которому происходит обмен служебной информацией между устройствами сети. Рекомендуемое значение 16.

4. Удаленный шлейф. Схема удаленного шлейфа представлена на рис.1.9. Шлейфом при этом замыкаются прием *E1* и передача *E1* со стороны линии связи контроллера *E1*. Приемный сигнал потока *E1* поступает непосредственно в линию передачи без участия внутренних цепей контроллера. Данный режим может быть использован для проверки качества передачи по линии связи.

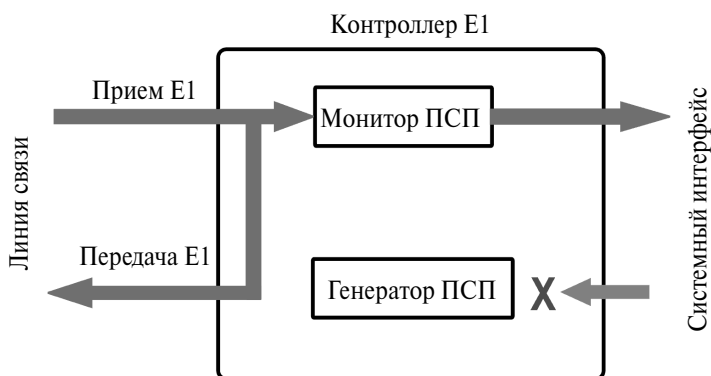


Рис.1.9. Схема удаленного шлейфа ПСП

2. Синхронизация цифровой сети

2.1. Классификация систем синхронизации

Различают следующие виды синхронизации:

- тактовую (частотную);
- цикловую, сверхцикловую (фазовую);
- октетную;
- сетевую тактовую.

Сеть синхронизации строится на основании «Руководящего технического материала по построению тактовой сетевой синхронизации на цифровых сетях связи», с соблюдением рекомендаций *ITU-T G.810, G.811, G.812*, на основании которых все системы сетевой синхронизации классифицируются по четырем типам:

- синхронный — *slip* (скольжение) нет;
- псевдосинхронный — *slip* за 70 дней;
- плезиосинхронный — *slip* за 17 часов;
- асинхронный — *slip* за 7 секунд.

Синхронный тип сетевой синхронизации предусматривает режим первичного эталонного генератора ПЭГ (мастер — узел). Псевдосинхронный — режим принудительной синхронизации (ведомый вторичный задающий генератор ВЗГ в качестве транзитного или окончного местного узла МЗГ). Плезиосинхронный — режим удержания с точностью $5 \cdot 10^{-10}$ для ВЗГ и $1 \cdot 10^{-8}$ для МЗГ. Асинхронный — режим свободной генерации, для ВЗГ с точностью 10^{-8} , для МЗГ — 10^{-6} .

2.2. Аппаратура синхронизации

По видам основных выполняемых функций аппаратура синхронизации подразделяется на несколько типов:

1. Первичные эталонные генераторы (ПЭГ) — *PRC* (Primary Reference Clock), содержащие несколько первичных эталонных источников (ПЭИ), *PRS* (Primary Reference Source), в том числе, цезиевые и водородные генераторы, приемники сигналов спутниковых навигационных систем.

2. Вторичные эталонные задающие генераторы (ВЗГ) — *SRC* (Secondary Reference Clock), относятся ко второму уровню иерархии. Приме-

няются для восстановления и распределения сигналов синхронизации, передаваемых по сети. Устанавливаются на транзитных узлах. Сигналы синхронизации от ПЭГ (первого уровня иерархии) передаются в системах *SDH* в линейном оптическом сигнале *STM-N* или частотой 2048 КГц или цифровым потоком 2048 Кбит/с к ВЗГ (второго уровня иерархии).

3. Местные задающие генераторы (МЗГ) блока узловой синхронизации (БУС) – *SSU (Synchronization Supply Unit)*, относятся к третьему уровню иерархии. Применяются, как и ВЗГ для восстановления и распределения сигналов синхронизации, передаваемых от ВЗГ или непосредственно от ПЭГ к окончательным узлам для синхронизации генераторного оборудования сетевых элементов.

4. Генераторы сетевых элементов (ГСЭ) – *SEC (Second Element Clock)*, относятся к четвертому уровню иерархии. Представляют собой генераторы с кварцевым или рубиновым резонатором, управляемые внешним синхросигналом.

5. Блоки сетевой синхронизации коммутационных станций (БСС) – *SNU (Synchronization Network Unit)*, обеспечивают выделение сигнала синхронизации, которым синхронизируются внутренние задающие генераторы станции.

6. Аппаратура распределения сигналов синхронизации (АРСС). Выполняет функции выбора сигнала, из сигналов, подключенных к ее входам, и распределяет его на необходимое количество выходов. Устанавливается на небольших сетевых узлах, на больших узлах эти функции выполняет ВЗГ.

7. Преобразователи сигналов синхронизации (ПСС) – *Retimer* с помощью внешнего сигнала синхронизации восстанавливают тактовую частоту первичного цифрового потока *E1*. Могут входить в состав ВЗГ, МЗГ, АРСС.

Характеристики источников сигналов синхронизации и характеристики качества генераторов сигналов синхронизации приведены в табл. 2.1 и 2.2, соответственно.

Таблица 2.1

Характеристики источников сигналов синхронизации

Тип (технология)	Цезиевый стандарт	Водородный мазер	Рубидиевый стандарт	Кварцевый резонатор
Производитель	«Симметриком» США	«Время – 4» Россия	«Осциллокварц» Швейцария	
Точность частоты	$3 \cdot 10^{-12}$	$3 \cdot 10^{-13}$	$1 \cdot 10^{-11}$	$1 \cdot 10^{-10}$
Нестабильность частоты	$5 \cdot 10^{-12}$	$1,5 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-10}$	$1 \cdot 10^{-6}$
Стык синхронизации	2.048 МГц 2.048 Мбит/с 8кГц, 5МГц, 10МГц	2.048 МГц, 1 Гц, 5 МГц, 100 МГц	2.048 МГц, 5МГц, 10МГц	2.048МГц

Таблица 2.2

Характеристики качества генератора сигналов синхронизации

Тип источников синхронизации	Обозначение качества Q_i	Характеристика качества	Код в базе S1 SOH	Рекомендация ITU-T
ПЭГ	2	Наивысшее $\delta \leq 1 \cdot 10^{-11}$	0010	G.811
ВЗГ (SSU-A)	4	Высокое $\delta \leq 1 \cdot 10^{-9}$	0100	G.812
МЗГ (SSU-B)	8	Среднее $\delta \leq 2 \cdot 10^{-8}$	1000	G.812
ГСЭ	11	Низкое $\delta \leq 4,6 \cdot 10^{-6}$	1011	G.813

Примечания:

$Q = 8$ – сигнал от резервного (местного) источника, который используется на период устранения аварии.

$Q = 15$ – источник сигнала запрещенный для синхронизации (код 1111).

$Q = 0$ – качество данного синхросигнала неизвестно (код 0000). Если на аппаратуру поступает код 0000, то для дальнейшей передачи на сети этот сигнал должен быть заменен.

SSU-A(B) (Synchronization Supply Unit, type A(B)), или SSU-T(L) (Transport (Local)) – блок узловой синхронизации типа A(B) (T(L)) – транзитный (локальный(местный)).

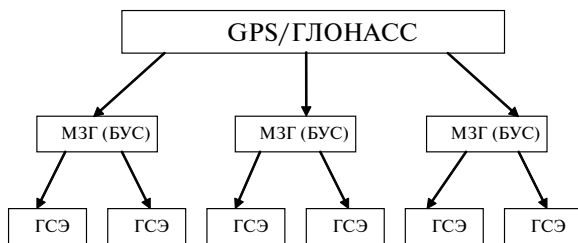
2.3. Основные схемы распределения синхросигнала

На взаимоувязанной сети связи Российской Федерации (БСС РФ) используются две схемы сетей синхронизации: распределенная трехуровневая (рис. 2.1) и иерархическая многоуровневая (рис. 2.2).

Распределенная трехуровневая схема рассматривается как резервная с использованием систем *GPS* или ГЛОНАСС – глобальных навигационных систем. Сигналы, получаемые с приемников *GPS*, поступают на блоки узловой синхронизации БУС местных задающих генераторов МЗГ, а с них уже распределяются на генераторы сетевых элементов (ГСЭ).

Иерархическая многоуровневая схема предполагает распределение синхросигнала от первичного эталонного генератора (ПЭГ) по синхронизируемым элементам через вторичные задающие генераторы (ВЗГ), которые через цепочки сетевых элементов (СЭ) управляют локальными источниками синхронизации третьего уровня. Будь то блоки узловой синхронизации БУС (МЗГ), блоки сетевой синхронизации БСС, аппаратура распределения сигналов синхронизации АРСС, аппаратура преобразования сигналов синхронизации ПСС, генераторы сетевых элементов ГСЭ.

Цифровая сеть БСС России разбита по синхронизации на регионы. В каждом регионе синхронизация тактовой частоты происходит от первичного эталонного генератора ПЭГ (рис. 2.3). Примерная схема построения тактовой сети синхронизации Урало-Сибирского региона приведена на рис. 2.4, схема межузловой синхронизации сетевых элементов на рис. 2.5. На рис. 2.6 представлена схема синхронизации сети ОТС. В ее составе вторичные задающие генераторы ВЗГ, местные задающие генераторы МЗГ, преобразователи синхросигналов ПСС, генераторное оборудование СМК-30 (генераторы сетевых элементов ГСЭ). Вторичные задающие генераторы ВЗГ осуществляют коррекцию сигналов синхронизации, выделенных из потоков *STM-N* цифровых систем SDH первичной (магистральной) сети. Эти сигналы передаются через *STM-1* местным задающим генератором МЗГ и уже через мостовые станции МС поступают на генераторы сетевых элементов СМК-30 по потокам *E1/T*.



где *GPS/ГЛОНАС* – глобальная навигационная система (*Global Positioning System*);

где ГСЭ – генератор сетевого элемента;

ПЭГ (*PRC – Primary Reference Clock*) – первичный эталонный генератор;

МЗГ (*SSU – Synchronization Supply Unit*) – местный (узловой) задающий генератор;

ВЗГ (*SRC – Second Reference Clock*) – вторичный задающий генератор;

БСС – блок сетевой синхронизации;

E1/T – первичный поток с восстановленной тактовой частотой;

АРСС – аппаратура распределения синхросигнала;

ПСС – преобразователь синхросигнала;

СЭ – сетевой элемент.

В каждом регионе синхронизации организуется синхронная работа по принципу иерархической принудительной синхронизации (*Master-Slave*).

Регионы между собой работают в псевдосинхронном режиме.

Количество последовательно включаемых ВЗГ в цепочке от ПЭГ до следующей станции местной сети ограничено и не может превышать 10.

Для синхронизации всего оборудования, установленного на узле или станции, должен использоваться один источник сигналов синхронизации (последовательный переприем сигналов синхронизации не допустим). Схема соединений должна иметь вид «звезды» сходящимися лучами.

Схема синхронизации в регионе должна иметь древовидную форму без замкнутых колец. Разветвление происходит в каждом узле, где установлен ВЗГ. К каждому ВЗГ синхронизирующие сигналы должны поступать как минимум по двум пространственно разнесенным направлениям. Кроме возможности приема резервного синхросигнала каждый ВЗГ должен иметь возможности переходить в режим удержания частоты. Переключение на резервное направление приема синхросигнала не должно создавать на сети синхронизации замкнутых петель.

При последовательном включении в цепь синхронизации нескольких ВЗГ каждый последующий ВЗГ в цепочке должен иметь полосу захвата не меньшую, чем возможные пределы ухода частоты предыдущего ВЗГ в автономном режиме. У транзитных ВЗГ стабильность собственной частоты выше, а полоса захвата меньше, по сравнению с узловыми (местными) задающими генераторами (МЗГ).

ГСЭ могут синхронизироваться от ПЭГ, ВЗГ, МЗГ или от предыдущих ГСЭ, включенных в цепочку.

В системе синхронизации должна соблюдаться определенная иерархия в распространении сигналов синхронизации: от ПЭГ синхронизируется в основном магистральная сеть, от магистральной сети синхронизируются внутризоновые, а от внутризоновых или магистральной — местные сети, в том числе, сети ОТС.

Для обеспечения живучести сети синхронизации должны быть предусмотрены резервные пути передачи сигналов синхронизации.

В настоящее время на цифровой сети связи России созданы четыре региона по синхронизации: Московский, С.-Петербургский, Новосибирский и Хабаровский (рис. 2.3).

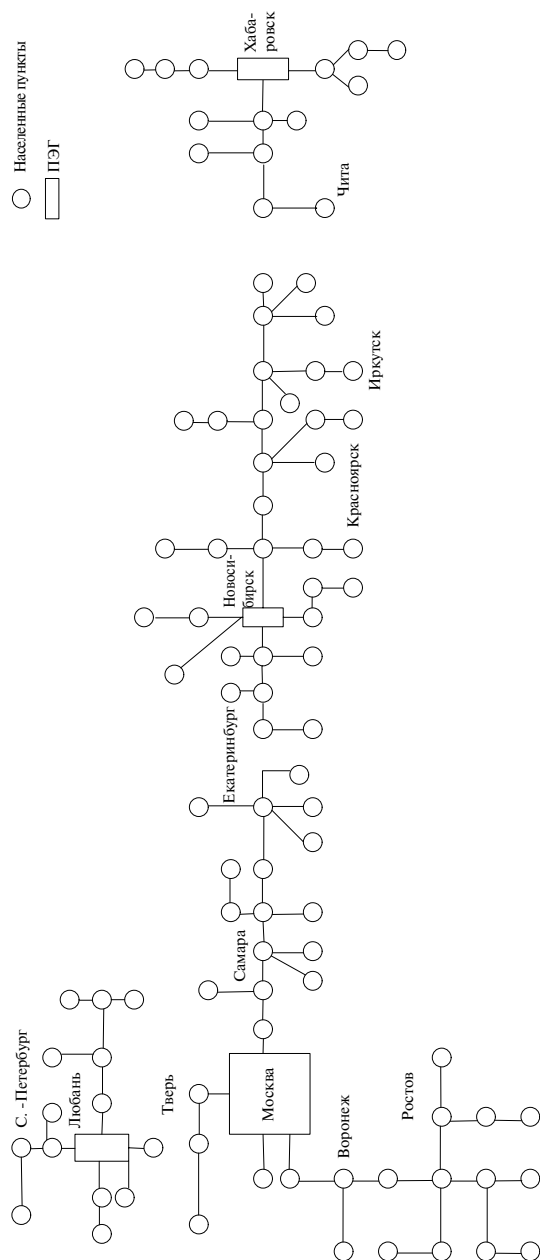


Рис. 2.3. Регионы по синхронизации цифровой сети России

3. Радиорелейные и спутниковые системы связи

3.1. Классификация, основные характеристики

Радиорелейная линия передачи представляет собой цепь приемопередающих радиостанций (оконечных, промежуточных, узловых), которые осуществляют последовательную многократную ретрансляцию сигналов.

Различают радиорелейные линии прямой видимости (РРЛП), работающие с чередованием промежуточных станций через (60–80) км в диапазонах дециметровых (УВЧ) и сантиметровых (СВЧ) волн и тропосферных ТРРЛ – работающие с размещением промежуточных станций через (200–600) км в диапазонах УВЧ. Спутниковые линии передачи обеспечивают дальность до 15000 км в диапазонах СВЧ.

Емкость стволов перечисленных радиосистем передачи (РСП) зависит от числа уровней модулирующего сигнала. Так, при использовании двухуровневой (двоичной) модуляции (ИКМ), максимальная емкость ствола с полосой 40 МГц составляет 625 каналов ОЦК 64кбит/с (или каналов ТЧ). При использовании четырехуровневой относительной фазовой модуляции ОФМ-Ч – 1250 каналов ОЦК или ТЧ. При использовании амплитудно-фазовой модуляции АФМ – 16–2500 каналов ОЦК и ТЧ.

Емкость аналоговых систем с частотной модуляцией при той же полосе 40 МГц составляет 3600 каналов ТЧ.

Пропускная способность тропосферных радиорелейных линий ограничивается порядком 12–60 каналов ТЧ из-за большого затухания сигнала (до 200 дБ) и его случайных флуктуаций.

По принятой классификации РРЛ разделяют на системы большой, средней и малой емкости. К большой емкости относятся РРЛ с количеством каналов 600 и более, с пропускной способностью 100 Мбит/с в одном стволе. Используются для организации магистральной связи. К средней емкости относятся РРЛ с количеством каналов от 60 до 600 с пропускной способностью от 10 до 100 Мбит/с соответственно. РРЛ малой емкости – с количеством каналов менее 60, пропускной способностью не более 10 Мбит/с, используются для организации технологической связи на региональных и местных сетях связи.

В настоящее время создана система фиксированной спутниковой связи железных дорог России «Трасса», которая обеспечивает органи-

зацию порядка 220–250 цифровых каналов со скоростями передачи 16, 32, 64 кбит/с. Центральный узел спутниковой связи расположен в Москве, узловые станции совмещены с управлениями железных дорог, абонентские станции – с региональными центрами, крупными и удаленными станциями.

Спутниковая подвижная связь и радионавигация находят применение для связи с местами производства работ, а также на коммерческой основе в интересах пассажиров. Используется международная система *INMARSAT*.

В цепях управления технологическими процессами на железной дороге, в том числе, космической радионавигации по определению скорости и местоположения подвижного состава введена глобальная навигация спутниковая система «ГЛОНАС», которая в сочетании с системой поездной радиосвязи ПРС *GSM-R* может быть использована для управления движением поездов без использования традиционных средств СЦБ.

Схема организации ОТС и ОбТС с использованием сети спутниковой связи представлена на рис. 3.1.

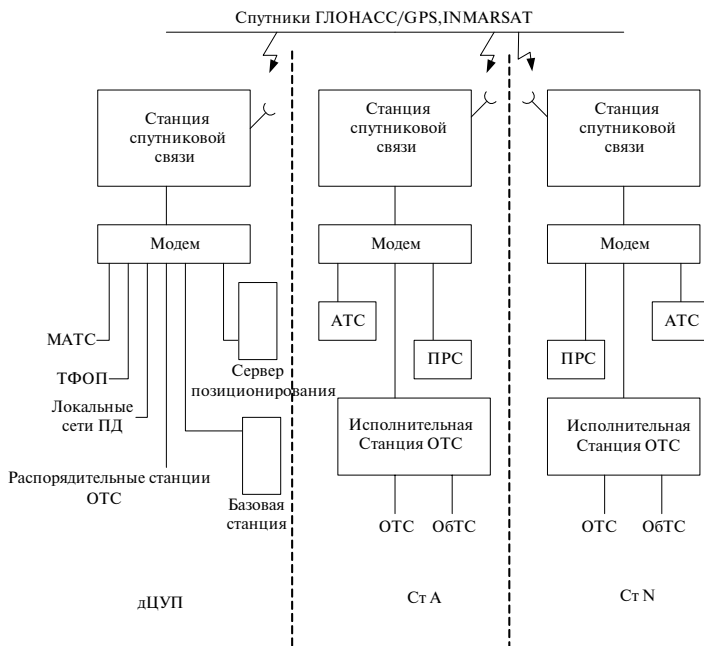


Рис. 3.1. Схема организации спутниковой связи ОТС и ОбТС

3.2. Сеть спутниковой связи «Транстелесат»

Сеть спутниковой связи «Транстелесат» ОАО «РЖД» наземного сегмента, построена по технологии *VSAT (Very Small Aperture Terminal)* состоит из центральной спутниковых станций связи ЦССС (Московская область), 21 узловых спутниковых станций связи (УСС), расположенных в управлениях дорог, 96 абонентских станций (АС), региональных центров управления и крупных станций. Каждая УСС обслуживает до 812 АС, имея прямой вынос в магистральную цифровую сеть, построенной на основе волоконно-оптических линий передачи (ВОЛП).

При выходе из строя участка ВОЛП УСС автоматически переводятся в режим резервирования важнейших каналов со скоростью 8448 Кбит/с (120 каналов ОЦК).

АС работают в двух режимах:

- режим по закрепленному каналу *PAMA (Permanently Assigned Multiple Access)*;
- режим предоставления канала по требованию *DAMA (Demand Assigned Multiple Access)* от системы управления сетью *ACS (Access Control Station)*.

Используются каналы $2B+D$, для передачи речи, данных, изображений. В качестве космического сегмента используются два арендуемых ствола (транспондера) геостационарного спутника связи *LMI-1* (собственность «Интерспутник»).

Схема сети *VSAT* представлена на рис. 3.2.

VSAT представляет собой сеть звездообразной топологии с центром *NMC (Network Management Center)* в котором располагается система управления доступом к сети *NACS (Network Access Control Station)*.

Центральная станция оборудована антенной диаметром 7,6 м, радиочастотным и каналообразующим оборудованием. Она обеспечивает передачу информации по 20 направлениям со скоростью от 64 до 2048 Кбит/с, а также передачу и прием телевизионной информации со скоростью от 1,5 до 10 Мбит/с.

Узловые (региональные) станции оснащены антеннами диаметром 3,7 м, радиочастотным и каналообразующим оборудованием, обеспечивают передачу информации в четырех направлениях со скоростями от 64 до 2048 Кбит/с ($64 \cdot N$, где $N = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30$).

Абонентские станции оборудованы антеннами диаметром 2,4 м и располагаются на железнодорожных узлах и станциях. Терминальное

оборудование пользователей подключается к абонентским и узловым станциям *VSAT* через мультиплексоры типа «*Mainstreet – 3612*» или «*Mainstreet – 3600*».

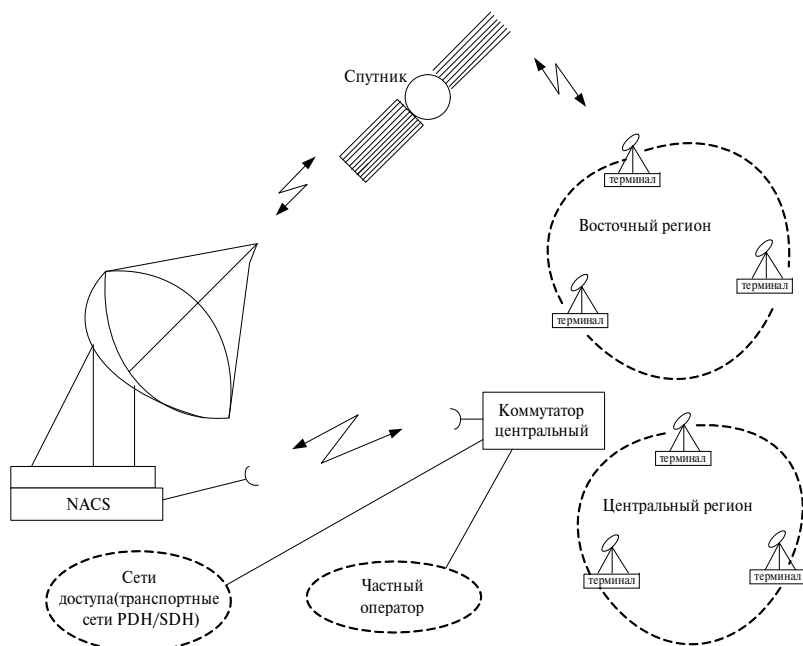
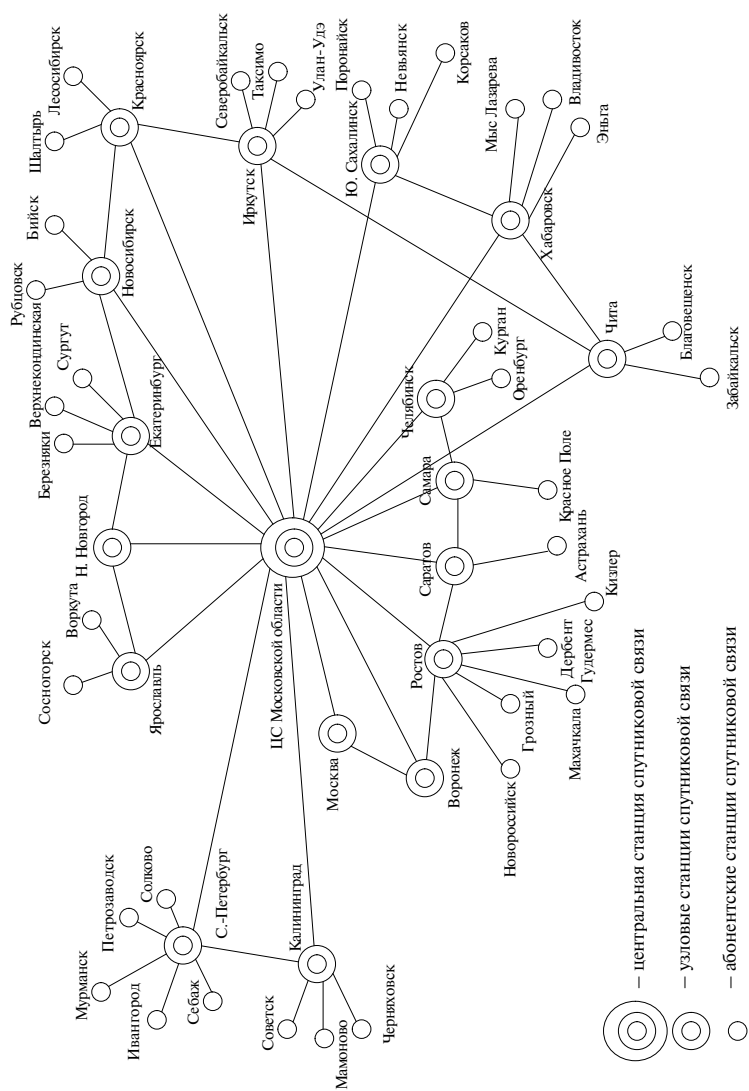


Рис. 3.2. Схема сети VSAT

Схема организации связи в сети «Транстелесат» представлена на рис. 3.3.



Учебное издание

Велигжанин Николай Константинович
Пащенко Михаил Александрович
Пащенко Ольга Николаевна

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ
СЕТИ ДОРОГИ**

В двух частях

Часть 2

Методические рекомендации
к выполнению курсового проекта для студентов
специальности 190901 – «Системы обеспечения движения
поездов», специализация «Телекоммуникационные системы
и сети железнодорожного транспорта» всех форм обучения

Редактор *С. В. Пилюгина*
Верстка *Н. А. Журавлевой*

Подписано в печать 24.01.2014. Формат 60х84/16.
Усл. печ. л. 2,1. Тираж 35 экз. Заказ 18.

Издательство УрГУПС
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66