

**С.И. ЧИЧЁВ, В.Ф. КАЛИНИН, Е.И. ГЛИНКИН**

**ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ  
СЕТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ  
ЦЕНТРА**



**Москва, 2013**

УДК 621.382  
ББК з 279я73  
Ч-72

Р е ц е н з е н т ы:

Кандидат физико-математических наук, профессор ФГБОУ ВПО «ТГТУ»

***В.М. Иванов***

Главный инспектор департамента технической инспекции

ОАО «МРСК Центра», Москва

***А.П. Перцев***

**Чичёв С.И., Калинин В.Ф., Глинкин Е.И.**

Ч-72

Инфокоммуникационные сети Магистральных электрических сетей Центра. – М.: Издательский дом «Спектр», 2013. – 400 экз. – 200 с. – ISBN 978-5-4442-0034-6.

Рассмотрены инфраструктура предприятий МЭС Центра, информационно-технологические системы, ведомственные системы связи, цифровые иерархии сетей связи, цифровая первичная сеть, инфокоммуникационные сети и ее техноценоз; синтез теории и практики для решения актуальных задач в организации проектирования и эксплуатации, управления и модернизации выделенного объекта Единой технологической сети связи МЭС Центра.

Для инженеров и специалистов, работающих в ведомственных и корпоративных сетях связи энергетики, а также будет полезно производителям оборудования связи, студентам высших учебных заведений и учащимся среднетехнических заведений, обучающимся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника».

УДК 621.382  
ББК з 279я73

ISBN 978-5-4442-0034-6

© Чичёв С.И., Калинин В.Ф.,  
Глинкин Е.И., 2013

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

---

---

АИИС КУЭ – автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическими процессами

ВЛ – воздушная линия

ВОЛС – волоконно-оптическая линия связи

ВЧ – высокочастотная (связь)

ГЛОНАСС – Глобальная национальная автоматизированная спутниковая система

ЕНЭС – Единая национальная электрическая сеть

ЕТССЭ – Единая технологическая сеть связи энергетики

ЕЦССЭ – Единая цифровая сеть связи энергетики

МЭС Центра – Магистральные электрические сети Центра

ОАО «СО ЕЭС» – Открытое акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы»

ОАО «ФСК ЕЭС» – Открытое акционерное общество «Федеральная сетевая компания Единой энергетической системы»

ПМЭС – Предприятие магистральных электрических сетей

ПС – подстанция

ПТК – программно-технический комплекс

РЗ и ПА – релейная защита и противоаварийная автоматика

СДТУ – средства диспетчерского и технологического управления

СИТС и СС – служба информационно-технологических систем и систем связи (в ПМЭС)

ССПИ – сеть сбора и передачи информации

ССС – служба систем связи (в МЭС Центра)

ТМ – телемеханика

УСПД – устройство сбора и передачи данных

ЦСПИ – цифровая система передачи информации

## ВВЕДЕНИЕ

---

---

Наступивший XXI век – век информатизации, который характеризуется полномасштабным переходом к глобальному информационному сообществу. Россия как часть мирового сообщества, развивая свою взаимоувязанную сеть связи, стремится к присоединению к всемирной информационной системе. Современные ведомственные сети связи электроэнергетики, являясь составной частью взаимоувязанной сети связи и важной частью систем управления и развиваясь на базе новейших телекоммуникационных и информационных технологий, фактически преобразовались в новую «инфокоммуникационную» отрасль на основе Единой технологической сети связи энергетики (ЕТССЭ).

Генеральная схема развития ЕТССЭ до 2015 г. определила основные принципы создания и «взаимоувязки» строящихся и существующих линий связи энергообъектов в современную инфокоммуникационную сеть на основе единых организационно-технических решений для обеспечения надежного и эффективного функционирования электросетевых комплексов субъектов электроэнергетики, например, таких как филиал ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра.

МЭС Центра, являясь ключевым звеном единой энергосистемы России и располагаясь на территории 19 субъектов Российской Федерации, обеспечивают взаимодействие между объединенными энергосистемами (ОЭС) Северо-Запада, Средней Волги, Урала и Юга России, а также с ОЭС Украины и Казахстана. Входящие в МЭС Центра филиалы предприятий магистральных электрических сетей (ПМЭС) имеют в своих региональных составах первичные и технологические, информационные и телефонные, локальные вычислительные и другие сети.

Масштабность и гетерогенность (разнородность) задачи реструктуризации и модернизации ЕТССЭ в рамках МЭС Центра и в условиях рынка представляют собой сложную проблему для моделирования и прогнозирования ее развития. Подобное инфокоммуникационное хозяйство как ЕТССЭ является технической системой нового типа, где свойства системы не вытекают из совокупности свойств ее отдельных элементов и должны рассматриваться в других направлениях науки, таких как техноценоз, предложенный в 1974 г. замечательным ученым Б.И. Кудриным.

В данном научном издании инфокоммуникационные сети и техноценоз рассмотрены и представлены как целостная система, позволяющая принимать адекватные решения для организации проектирования и эксплуатации, управления и модернизации выделенного объекта ЕТССЭ МЭС Центра.

Издание предназначено для инженеров и специалистов, работающих в ведомственных и корпоративных сетях связи энергетики, а также будет полезно производителям оборудования связи, студентам высших учебных заведений и учащимся среднетехнических заведений, обучающимся по направлению 140400 «Электроэнергетика и электротехника».

Авторы благодарят руководство, многих специалистов дирекций и служб, отделов и групп управления филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра, сотрудников и специалистов служб информационно-технологических систем и систем связи в филиалах ОАО «МЭС Центра» – ПМЭС, а также департамент развития систем связи и департамент эксплуатации систем связи и информационных систем исполнительного аппарата ОАО «ФСК ЕЭС», преподавателей кафедр «Электрооборудование и автоматизация» и «Биомедицинская техника» Тамбовского государственного технического университета за предоставленные материалы, обсуждение и замечания, послужившие повышению качества изложенного материала. Отдельно хочется отметить рецензентов кандидата физико-математических наук, профессора ФГБОУ ВПО «ТГТУ» В.М. Иванова и главного инспектора департамента технической инспекции ОАО «МРСК Центра», г. Москва, А.П. Перцева за ценные советы методического характера, а также сотрудников Издательско-полиграфического центра ТГТУ за своевременную техническую помощь при подготовке и публикации работы.

# 1. ИНФРАСТРУКТУРА МЭС ЦЕНТРА

---

---

Рассмотрены Единая технологическая система связи энергетики, тенденции развития телекоммуникационной сети, электрические сети и информационно-технологические системы в рамках МЭС Центра.

## 1.1. ЕДИНАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СЕТЬ СВЯЗИ ЭНЕРГЕТИКИ

1.1.1. Общая характеристика. Генеральная схема создания и развития Единой технологической сети связи электроэнергетики (ЕТССЭ) была одобрена Решением Правительственной комиссии по федеральной связи № 2 от 06.12.2006 «О результатах разработки Генеральной схемы создания и развития ЕТССЭ на период до 2015 г.» и была скорректирована в 2008 г. в результате [15, 23]:

1. Окончания реформы электроэнергетики и создания организации по управлению единой национальной (общероссийской) электрической сетью ОАО «ФСК ЕЭС» с возложением на нее функций обеспечения услугами связи предприятий электроэнергетики.

2. Изменения действующего законодательства в области связи и бурного развития сетей связи ведущих операторов.

ЕТССЭ – это технологическая сеть связи, предназначенная для обеспечения производственной деятельности предприятий электроэнергетики и управления технологическими процессами в производстве на всех уровнях иерархии управления с гарантированным качеством обмена всеми видами информации (звук, видео, данные) [15]. ЕТССЭ обеспечивает:

– услуги телефонной и диспетчерской связи, а также производственно-технологическую связь, в том числе аудио- и видеоконференц-связь;

– предоставление технологических каналов связи для автоматизированных систем технологического управления, таких как: АСУ ТП, системы сбора-передачи технологической информации и телемеханики, автоматизированные системы диспетчерско-технологического управления (АСДТУ), автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) и корпоративные системы управления производственными ресурсами (КСУПР) и др.;

– предоставление технологического канала связи для релейной защиты и противоаварийной автоматики и передачу данных;

– услуги передачи данных для корпоративных информационных систем управления (КИСУ) (АСУ Зарплата, систем документооборота, системы управления активами, АСУ технического обслуживания и ремонта ТОиР).

1.1.2. Структура ЕТССЭ. Генеральной схемой определены принципы создания и «взаимоувязки» строящихся и существующих линий связи в единую сеть ЕТССЭ на основе единых организационно-технических решений для обеспечения надежного и эффективного функционирования их электросетевых комплексов в целом и при взаимодействии субъектов рынка электроэнергетики [22]. Этапы создания ЕТССЭ в рамках ОАО «ФСК ЕЭС» показаны в табл. 1.1, а общая схема сети существующих и планируемых ВОЛС по ВЛ в рамках МЭС Центра – на рис. 1.1 [9].

ЕТССЭ в МЭС Центра представляет собой совокупность региональных узлов связи (РУС) ПМЭС (рис. 1.2) [9], которые объединяются магистральными линиями связи по радиально-кольцевому принципу со своими энергообъектами (подстанциями), а также через окружные ОУС (рис. 1.3) [9] и центральные ЦУМС узлы магистральной связи с объектами электроэнергетики федеральной сетевой компании и других субъектов.

ЕТССЭ в ПМЭС создается на базе:

- широко внедряемых современных цифровых коммутационных узлов и строительства сетей волоконно-оптических линий связи;
- радиорелейных линий и развертывания систем спутниковой связи;
- цифровой подвижной радиосвязи и использования аппаратуры синхронной цифровой иерархии (SDH); применения технологии временного разделения каналов (TDM) и пакетной коммутации IP.

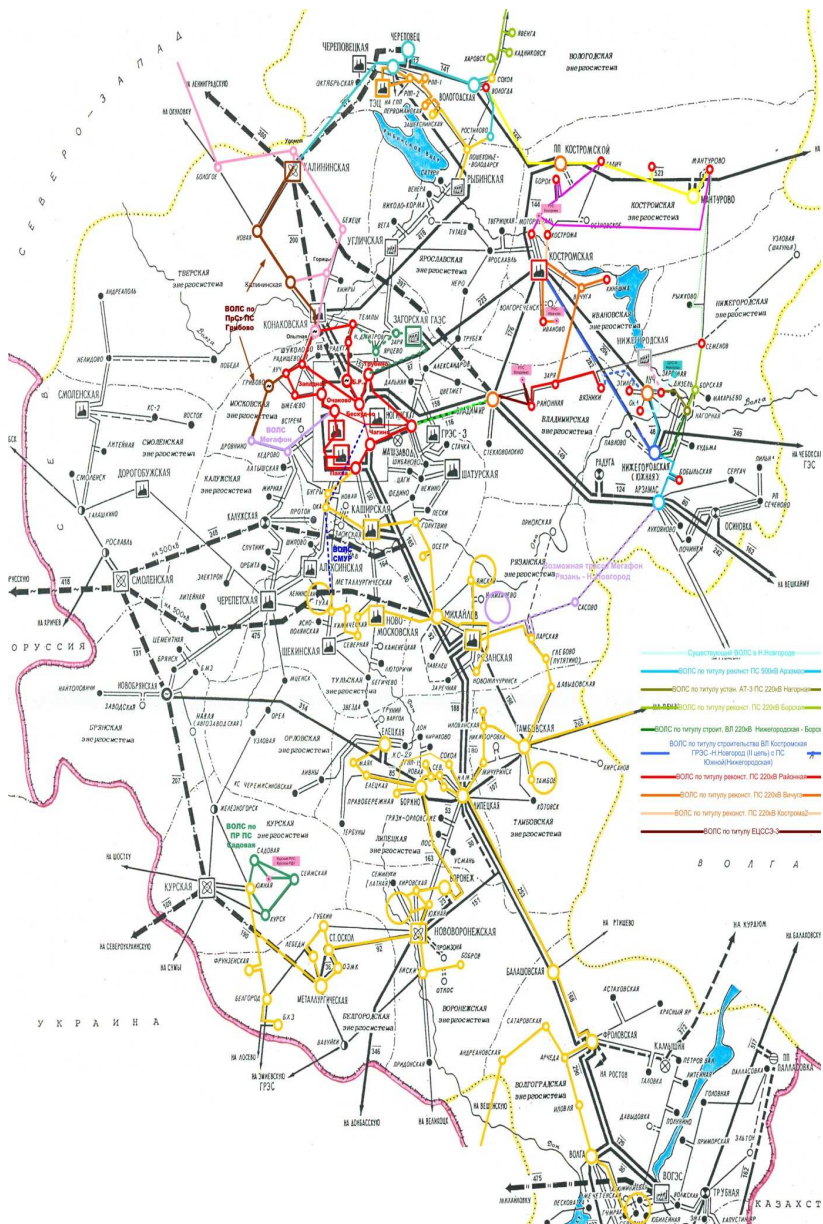
ЕТССЭ в предприятиях Магистральных электрических сетей МЭС Центра по принципам построения и территориальному охвату, количеству применяемого оборудования, объему проводимых работ по ее созданию и эксплуатации будет сопоставима с сетями ведущих операторов связи в соответствующих административных регионах. В целом, общая протяженность опорной сети связи ОАО «ФСК ЕЭС» к 2015 г. будет составлять 59 985 км ВОЛС (табл. 1.2 и рис. 1.4) [9].

Из них согласно [9]: 17 900 км будет приходиться на ресурсы, приобретенные и полученные за право прохода (т.е. право временного ограниченного использования инфраструктуры электроэнергетики для подвески, а также для эксплуатации ВОЛС, которые предоставляются собственником инфраструктуры на возмездной основе, в том числе в обмен на оптические волокна в создаваемой ВОЛС); 42 035 км составит собственное строительство в рамках технического перевооружения и строительства новых воздушных линий электропередачи. Строительство ВОЛС по ВЛ с применением оптического волокна, встроенного в грозотрос, является основной технологией создания ВОЛС ЕТССЭ.

### 1.1. Этапы создания Единой технологической сети связи энергетики

Этапы	1				2	3
Основные задачи	Создание магистральной и формирование распределительных сетей				Создание основной (базовой) телекоммуникационной инфраструктуры электроэнергетики	
Год	2006	2007	2008	2009	2010 – 2012	2013 – 2015
Создание ЕЦССЭ	Энергосистемы (АО-энерго) – 74, ПМЭС – 37, МЭС – 8, ФСК, РАО, СО-ЦДУ, ОДУ – 7, РДУ – 56, СПБ ЭСС – 7					
Создание ВОЛС	Линейно-кабельные сооружения – 20,2 тыс. км. Станционные сооружения – около 400 объектов связи				Линейно-кабельные сооружения – 29,7 тыс. км. Станционные сооружения – около 560 объектов связи	Линейно-кабельные сооружения – 10,3 тыс. км. Станционные сооружения – около 330 объектов связи
Создание сети синхронизации и системы управления	Главный Центр управления связью – 1				Окружные Центры управления – 8. Центры синхронизации – 7	
Создание опорных сетей телефонной связи и передачи данных	Центр коммутации – 83					
Модернизация внутриобъектовых сетей и сети ВЧ-связи	В рамках Программы реконструкции, технического перевооружения и нового строительства					





**Рис. 1.1. Общая схема сети существующих и планируемых волоконно-оптических линий связи по воздушным линиям МЭС Центра**



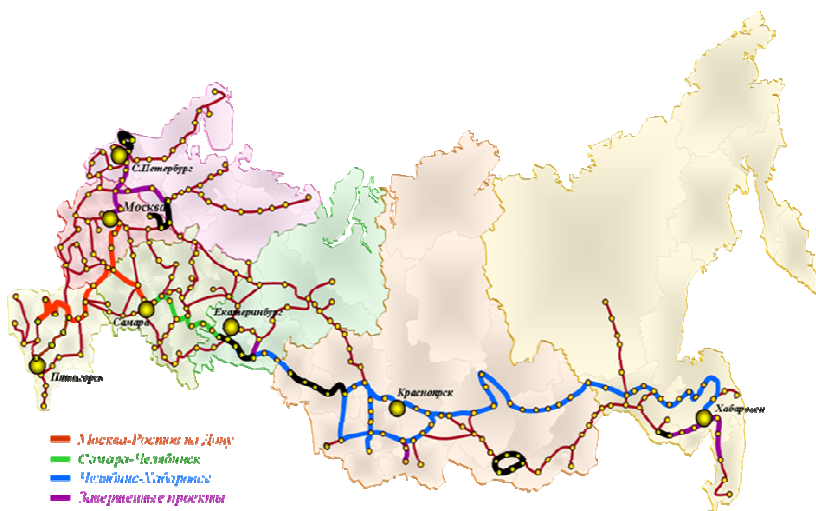
**Рис. 1.2. Воронежский РУС ЕЦССЭ – аппаратная связь**



**Рис. 1.3. Центральный узел связи МЭС Центра, ОУС Центра ЕЦССЭ – линейно-аппаратный зал связи (слева направо: серверный шкаф, шкаф ЛВС, шкаф магистральных мультиплексов, два шкафа мультиплексов доступа, кроссовый шкаф, шкаф ЕЦССЭ)**

## 1.2. Волоконно-оптические линии связи ОАО «ФСК ЕЭС»

Сооружения	До 2008	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	ИТОГО
Собственные ЛКС, км	4500	2495	7690	6220	6600	4290	3140	3900	3200	42 035
«Право прохода», км			5350	6500	5200	900				17 950
Объекты, шт.	90	51	241	178	249	131	107	112	111	1270
										59 985



**Рис. 1.4. Карта-схема опорной сети ВОЛС ОАО «ФСК ЕЭС»**

1.1.3. Основные подсистемы ЕТССЭ [23]. В состав ЕТССЭ МЭС Центра входят транспортная сеть и наложенные сети – передачи данных, телефонной связи и видеоконференц-связи.

Транспортная сеть связи состоит из сети высокочастотной связи, ВОЛС, резервной сети связи на арендованных каналах Единой цифровой сети связи электроэнергетики, сети спутниковой связи и образует

магистральный и распределительный сегменты ЕТССЭ. Волоконно-оптическая сеть связи является базовой сетью ЕТССЭ. Создание сети обеспечивается подвеской на ВЛ электропередачи самонесущего кабеля либо встроенного в грозозащитный трос с использованием технологий PDH, SDH, IP поверх SDH, спектрального уплотнения с разделением по длинам волн (WDM).

Технология ВОЛС–ВЛ оптимальна для электроэнергетики и, в частности, для ПМЭС, поскольку магистральные участки электрической сети ВЛ электропередачи и телекоммуникационных сетей могут сооружаться как единое целое. Комбинированная инфраструктура максимально эффективно связывает источники информации и источники электрической энергии с их потребителями. По сравнению с другими сетями связи сеть ВОЛС обладает повышенными характеристиками по скорости и емкости, не подвержена внешним электромагнитным влияниям. При этом ВОЛС с использованием кабелей, подвешиваемых на опорах ВЛ, по статистике реже подвергаются механическим повреждениям, чем проложенные в грунте (например, обрыв кабеля, повреждение муфты и т.п.).

Анализ информационных потоков, возникающих при внедрении современных систем диспетчерского и технологического управления в ПМЭС, показывает, что скорости передачи информации между объектами управления, функционирующими без постоянно действующего обслуживающего персонала, могут достигать десятков мегабит в секунду. Создание ВОЛС–ВЛ наряду с модернизацией радиорелейных линий, вводом в эксплуатацию спутниковой связи и транкинговых радиосетей, техническим перевооружением кабельных линий и высокочастотной связи обеспечит «цифровизацию» опорной и вторичной сетей ПМЭС, что является базовым направлением развития Единой технологической сети связи электроэнергетики.

В то же время формирование системы ВОЛС на базе магистральных линий электропередач, принадлежащих ОАО «ФСК ЕЭС», позволит создать основу для построения опорной сети телекоммуникаций для всей электроэнергетической отрасли Российской Федерации, отвечающей как современным технологическим требованиям, так и запросам рынка электроэнергетики.

*Наложённые ВЧ-сети* по ВЛ электропередачи обеспечивают передачу примерно половины всей информации общей ЕТССЭ в МЭС Центра. Это специфический вид проводных каналов, где в качестве среды передачи сигналов используются фазные провода и тросы воздушных или жилы и оболочки кабельных линий электропередачи. По ВЧ-каналам передаются все виды информации, необходимые для управления функционированием электросетевого комплекса МЭС Центра, как в нормальных режимах, так и при аварийных ситуациях.

Роль ВЧ-каналов для релейной защиты и противоаварийной автоматики в электросетевых комплексах ПМЭС весьма значительна и обусловлена тем, что основными видами РЗ для ВЛ-110 кВ и выше являются ВЧ-защиты (дифференциально-фазные и дистанционные), составная часть которых – ВЧ-канал. Системы ВЧ-связи имеют достаточные надежность и эффективность при передаче сигналов РЗ и ПА, но не обладают требуемой пропускной способностью для передачи данных АСУ ТП объекта (подстанции). Кроме того, они малопригодны для передачи речевых сигналов из-за воздействия помех от коронных разрядов, особенно в периоды повышенной влажности, гололеда и налипания снега. С учетом этого оптимальными при организации каналов сети связи нижнего уровня для систем диспетчерского и технологического управления РЗ и ПА являются волоконно-оптические системы передачи с резервированием системами ВЧ-связи (для передачи сигналов РЗ и ПА).

Наряду с этим, предприятия магистральных электрических сетей МЭС Центра своим составом также входят в ЕЦССЭ – универсальную структурированную сеть связи, которая предназначена для обеспечения взаимодействия предприятий электроэнергетики на всех уровнях иерархии управления с гарантированным качеством обмена всеми видами информации. В настоящее время это основная цифровая магистральная сеть, обеспечивающая соединение узлов связи, которая базируется на арендованных цифровых каналах связи. В перспективе сеть подлежит переключению на собственные ВОЛС с отказом от арендованных каналов.

ЕЦССЭ в МЭС Центра введена в эксплуатацию в 2005 г. (I и II этапы), в 2009 г. (III этап) и охватила: 9 предприятий магистральных электрических сетей; исполнительный аппарат МЭС Центра с обеспечением услуг телефонии, передачи данных и видеоконференц-связи. Сеть спутниковой связи обеспечивает связь с удаленными энергообъектами и служит для передачи диспетчерско-технологической информации и сбора информации АИИСКУЭ. Система спутниковой связи по мере формирования опорно-транспортной сети связи на базе ВОЛС и фиксированных линий связи должна занять место резервной системы связи, обеспечивающей передачу согласованного минимума диспетчерско-технологической информации. Целевая архитектура ССС предусматривает размещение центральных «хабов» в региональных и окружных узлах связи и организацию каналов связи с подстанциями по «кустовому» принципу. Перевод спутниковых каналов связи МЭС Центра в статус резервных позволит существенно снизить затраты на их содержание.

Телефонная связь МЭС Центра организуется на базе телефонной сети связи электроэнергетики, построенной по радиально-узловому

принципу, и обеспечивает взаимодействие с технологической сетью ОАО «СО ЕЭС». На сети МЭС Центра задействованы учрежденческие производственные автоматические телефонные станции УПАТС различного типа: электромеханические и квазиэлектронные, электронные, цифровые и гибридные. Основным направлением модернизации телефонной сети связи в МЭС Центра является создание опорной коммутационной сети, а также внедрение цифровых УПАТС на объектах ПМЭС. Современная цифровая техника предполагает использование современных протоколов телефонной сигнализации, позволяющих реализовать надежную телефонную связь диспетчеров, дополнительные услуги и средства эффективного использования полосы пропускания канала связи, например, такие как голосовая компрессия.

1.1.4. Обеспечение средствами связи. Между ОАО «ФСК ЕЭС», управлением МЭС Центра и управлениями ПМЭС организованы в необходимом объеме основные и резервные каналы для обеспечения обмена корпоративным технологическим трафиком с использованием существующих сетей и линий связи ОАО «ФСК ЕЭС», ЕЦССЭ и арендованных каналов и линий связи [6, 9, 11]. Дополнительно в качестве резервной связи на объектах филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра и ПМЭС используется мобильная сотовая и спутниковая связь. В настоящее время филиал МЭС Центра оснащен 1244 сотовыми телефонами и терминалами связи. Обеспечение сотовой связью проводится по принципу: руководители, ответственные специалисты, дежурный оперативный и оперативно-ремонтный персонал МЭС и ПМЭС. Для обеспечения оперативного реагирования в условиях возникновения (угрозы возникновения) нарушений в работе ЕНЭС и в качестве альтернативы существующему оператору корпоративной подвижной радиотелефонной связи в филиалах ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра и ПМЭС производится выбор оператора сотовой связи исходя из критерия наилучшей зоны покрытия и устойчивости обеспечения сотовой связи. В филиале ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра на всех ПС 330 – 750 кВ организованы в полном объеме каналы передачи необходимой информации в региональные диспетчерские управления (РДУ), а с подстанций 220 кВ к осенне-зимнему периоду 2011–2012 гг. [16, 17] в полном объеме организованы резервные каналы с помощью существующих малых земных спутниковых станций (МЗСС) на ПС и планируемых к установке МЗСС доступа (Sky Edge Gateway) в ЦУС ПМЭС и РДУ. Намечено введение в эксплуатацию 3228 км ВОЛС и 80 узлов ЦСПИ, что позволит существенно увеличить надежность и качество каналов связи и вывести из эксплуатации на этих узлах устаревшее аналоговое оборудование.

1.1.5. Организация эксплуатации ЦСПИ. Эксплуатация ЦСПИ в МЭС Центра построена по четкой иерархической структуре (рис. 1.5) [6, 9, 11]:

- общее руководство ремонтно-эксплуатационного обслуживания (РЭО) МЭС Центра осуществляется директором по ИТС;
- эксплуатация ОУС Центра проводится отделом систем связи службы ИТС МЭС Центра;
- общее руководство РЭО ПМЭС осуществляется директором по ИТС либо заместителем главного инженера ПМЭС;
- в каждом ПМЭС создаются районы РЭО ИТС. Количество районов РЭО ИТС территориально и количественно совпадает с районами МЭС (РМЭС);
- территории РЭО ИТС располагаются в географических границах областей РФ и границах энергосистем;
- руководитель района РЭО и основной персонал располагаются в здании РМЭС. Место размещения базы РМЭС выбрано для обеспечения удобства РЭО – удаленность от объектов на расстоянии 100 – 150 км и приоритетно располагается на территории объектов ОАО «ФСК ЕЭС»;
- в целях снижения накладных и транспортных расходов на удаленных объектах или групп ПС персонал РЭО ИТС размещается непосредственно на объекте РЭО.

Доминирующим звеном в структуре эксплуатации является эксплуатация ЦСПИ собственным персоналом ОАО «ФСК ЕЭС». В Московском ПМЭС эксплуатация ЦСПИ отдана на внешний подряд. Основной и наиболее оптимальный способ эксплуатации ЦСПИ является

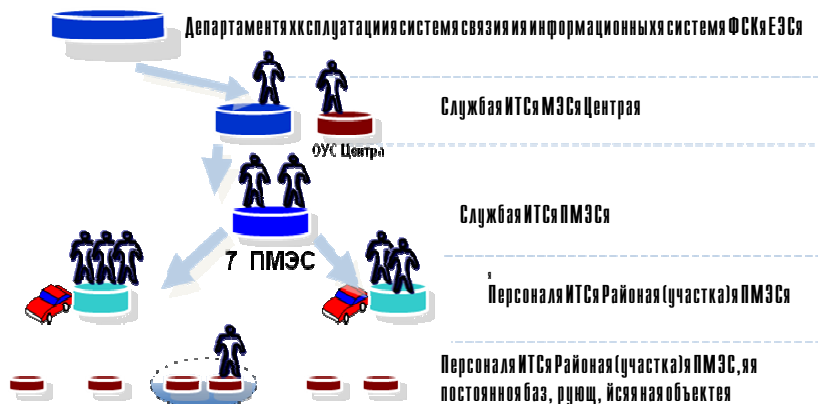


Рис. 1.5. Организация эксплуатации цифровой сети передачи информации в МЭС Центра

так называемый «хозспособ». Применение внешнего подряда не показывает очевидных преимуществ. На внешний подряд отданы специфические работы на отдельных видах оборудования.

1.1.6. Техническая политика как инструмент оптимизации эксплуатации. Для оптимизации эксплуатации (обученный персонал, единый запас инструмента и приборов ЗИП, единая система управления, обеспечение совместимости протоколов и т.п.) и эффективного управления технической политикой построения сети строится по «вендорному» (вендор – юридическое лицо, носитель торговой марки) принципу (табл. 1.3) [6]:

- на территории одного ПМЭС приоритетным является применение оборудования только одного вендора для каждого типа оборудования;

- на территории МЭС Центра приоритетным является применение оборудования не более трех вендоров для каждого типа оборудования.

1.1.7. Основные элементы стратегии управления телекоммуникациями. Для обеспечения эффективного управления телекоммуникациями структура управления строится по иерархическому принципу, аналогично структуре административного управления (табл. 1.4) [6, 9, 11].

Необходимым требованием к поставляемым системам ЦСПИ, внутриобъектовой связи, синхронизации и электропитания является обязательное наличие современной системы удаленного управления и мониторинга (рис. 1.6) [6, 9, 11].

В зоне ответственности МЭС Центра существует три уровня управления телекоммуникациями (транспортные сети SDH) (см. рис. 1.6).

Ниже на рис. 1.7 показана организация системы управления сетью доступа на примере мультиплексоров FOX 515/512. Система состоит из двух центральных серверов основной (активный), расположенный в МЭС Центра, и резервный (горячий резерв) – Московское ПМЭС [6, 9, 11].

1.1.8. Вопросы эксплуатации и повышения надежности. Исторически до начала формирования ЕТССЭ в ОАО РАО «ЕЭС России» и ОАО «ФСК ЕЭС» сеть связи в предприятиях магистральных электрических сетей (энергосистемах) была построена в основном с использованием аналогового оборудования связи с соответствующей системой организации эксплуатации. Эта система, в отличие от современных цифровых сетей, не предусматривает централизованного мониторинга и управления сетью. Особенности эксплуатации аналоговых систем связи также имеют существенные отличия от эксплуатации цифровых систем в части методики обслуживания и технологий предупреждения, раннего предупреждения, предотвращения аварийных ситуаций и методов организации резервирования.



### 1.3. «Вендорный» принцип построения сети МЭС Центра

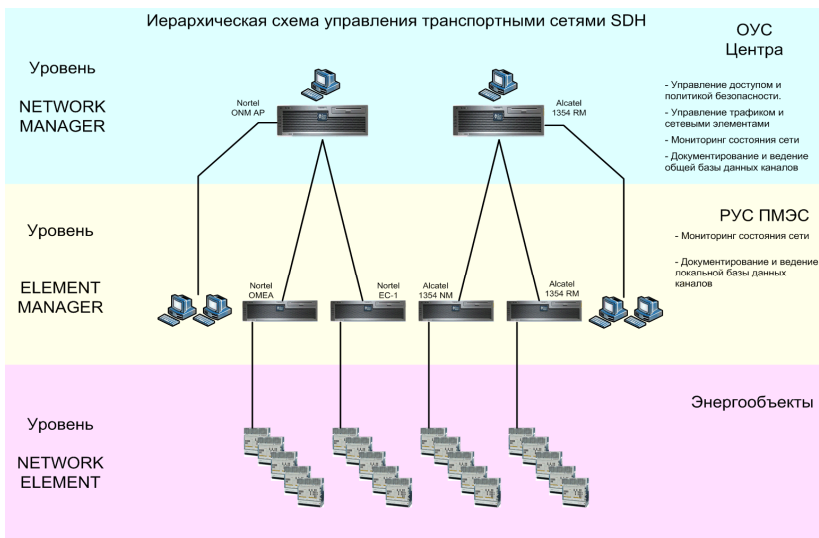
МЭС/ПМЭС	Транспортное оборудование ЦСПИ	Оборудование доступа ЦСПИ	АТС (автоматическая телефонная станция)	ГТС (громко говорящая связь)	СЗП (система записи переговоров)	Оборудование электропитания	Оборудование синхронизации	СПД (система передачи данных)
МЭС Центра	Nortel	ABB	Siemens	Inter-M	Nice Log	Powerware		Cisco
Валдайское ПМЭС	Nortel	Tellabs (замена на ABB)	Avaya	Inter-M	MD ИС	Powerware		Cisco
Верхне-Донское ПМЭС	Nortel	ABB	Avaya	Inter-M	MD ИС	Powerware	ВЗГ Symmetricom	Cisco
Волго-Донское ПМЭС	Alcatel	TTC Marconi	Avaya	Inter-M	MD ИС	Powerware	ВЗГ Symmetricom	Cisco
Волго-Окское ПМЭС	Nortel	ABB	Avaya	Inter-M	MD ИС	Elteco		Cisco
Вологодское ПМЭС	Nortel	ABB	Avaya	Inter-M	MD ИС	Powerware	ВЗГ Symmetricom	Cisco

Продолжение табл. 1.3

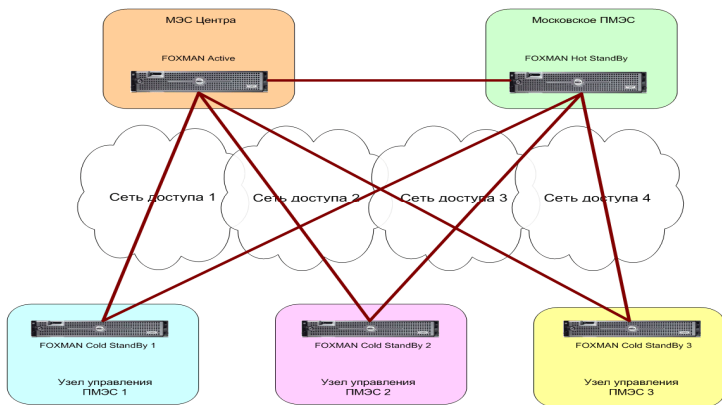
МЭС/ПМЭС	Транспортное оборудование ЦСПИ	Оборудование доступа ЦСПИ	АТС (автоматическая телефонная станция)	ГТС (громко говорящая связь)	СЭП (система записи переговоров)	Оборудование электропитания	Оборудование синхронизации	СПД (система передачи данных)
Московское ПМЭС	Nortel	ABB	Siemens	Inter-M	MD ИС	Powerware	ПЭГ Symmetricom	Cisco
Приокское ПМЭС	Nortel	ABB	Avaya	Inter-M	MD ИС	Elteco		Cisco
Черноземное ПМЭС	Alcatel	ТТС Marconi	Avaya	Inter-M	MD ИС	Elteco	ВЗГ Symmetricom	Cisco
ИТОГО	1) Nortel	1) ABB	1) Avaya	1) Inter-M	1) MD ИС Фантом	1) Powerware	1) Symmetricom	1) Cisco
	2) Alcatel	2) ТТС Marconi	2) Siemens		2) Nice Log	2) Elteco		
		3) Tellabs (замена на ABB)						

#### 1.4. Структура управления телекоммуникациями МЭС Центра

Уровень административного управления	Центр управления	Уровень структуры управления телекоммуникациями	Зона ответственности
ИА ФСК	ЦУС ФСК	Система управления верхнего уровня (OSS)	7 МЭС
МЭС Центра	ОУС Центра	Системы управления сетевого уровня (Network manager)	8 ПМЭС МЭС Центра
ПМЭС	ЦУС ПМЭС	Системы управления уровня функционального элемента сети (Element manager)	ПС, РУС (ЕЦССЭ) и узлы связи территориально расположенные в зоне ответственности ПМЭС
ПС, узлы связи	Узел связи	Локальные системы управления оборудованием (Site manager, Craft terminal)	Узел связи



**Рис. 1.6. Уровни управления транспортными сетями SDH**



**Рис. 1.7. Структура системы управления сетью доступа на примере мультиплексов FOX 515/512**

Планы развития общей ЕТССЭ подразумевают в перспективе полную «цифровизацию» сети. Требования к показателям надежности сети обуславливают необходимость на этапе перехода к «цифре» обеспечивать функционирование как аналогового, так и цифрового сегментов с постепенным выводом из работы аналоговых систем связи. Это, в свою очередь, требует создания целостной системы управления ЕТССЭ и ее эксплуатации.

1.1.9. Корпоративные сети связи [20, с. 152 – 159]. Связь является неотъемлемой частью современного комплекса управления работой электрической системы и включает в себя, как чисто корпоративные приложения (телефонию, межкомпьютерный обмен данными и системы автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и учета электроэнергии – АИИС КУЭ), так и технологические – диспетчерские переговоры и телемеханику, управление режимами и защиту.

В условиях коммерциализации взаимоотношений энергетиков и пользователей на первое место выходят такие аспекты построения сетей, как их функциональная наполненность, безопасность и надежность функционирования, а также мониторинг состояния в режиме реального времени.

До недавнего времени сети связи энергетиков, как правило, строились по трем независимым функциональным критериям: передачи сигналов речи и телемеханики, защиты и автоматики, офисных приложений с использованием соответствующей аппаратуры.

В последние 3 – 7 лет (в том числе и в России) достаточно активно применяется совмещение функций передачи сигналов речи, телемеханики ТМ и защиты. В высокочастотной технике для этого используется принцип частотного уплотнения с разделением по времени, в кабельных каналах – TDM-мультиплексирования.

Для офисных приложений, в том числе для АИИС КУЭ и федерального оптового рынка электроэнергии и мощности (ФОРЭМ), для передачи послеаварийной информации, почты и Интернет обычно используются кабельные или радиоканалы, собственные или арендованные с использованием IP-технологий. Отдельное приложение образуют радио, спутниковые или транкинговые сети обслуживания передвижных бригад.

Технологические и конструкторские достижения последнего времени привели к созданию оборудования, сочетающего в себе технологическую и офисную составляющие функциональности корпоративной сети энергетиков, что позволяет говорить о новой философии прикладных сетей связи – конвергированных сетях CCNS (Converged Corporate Network Solutions).

1.1.10. Технология CCNS [20]. Преимущества данной сети:

- снижение финансовой и функциональной зависимости от третьих лиц;
- возможность быстрого изменения конфигурации и закрепления сетевых ресурсов за критичными приложениями;
- единая среда управления, мониторинга и полный контроль устойчивости и надежности сети;

– безопасность технологических, коммерческих данных и предоставления сетевых ресурсов третьим лицам.

Например, в филиалах МЭС Центра – ПМЭС основной упор делается не на простую замену старого оборудования новым, а на изменение самих принципов проектирования технологических сетей и объединение разнородных сетевых трафиков. Теперь главным должно стать не обычное выполнение функциональных требований к каналам и, соответственно, к аппаратуре их образующей, а экономическая эффективность создаваемой сети, ее адаптируемость к новым задачам.

1.1.11. ВЧ-технологии [20]. В существующие ВЧ-каналы/сети вложены огромные инвестиции, которые рано или поздно должны быть возвращены, и, следовательно, вопросы, связанные с ВЧ-связью, в России еще долгое время будут достаточно актуальны.

К тому же, большое количество протяженных воздушных линий в России делает повсеместное использование других технологий (кабельных и радио) экономически не эффективным. По первоначальным затратам ВЧ-системы с числом подканалов от 1 до 6 и длине каналов выше 5 – 7 км более выгодны по сравнению с оптическими каналами связи. Однако простейшие оптические системы могут быть более эффективными, чем ВЧ-каналы при длинах ВЛ до 100 – 130 км, а мощные полнофункциональные системы – практически всегда. Аналогичные рассуждения можно провести для медных кабелей и радиорелейных линий.

Из сказанного следует, что:

- при длинах ВЛ или канала менее 5 – 7 км более выгодны кабельные каналы с использованием простейших мультиплексоров;
- при больших длинах ВЛ или каналов и недостатке финансирования надо использовать ВЧ-каналы;
- при больших длинах ВЛ или каналов, если уж хватило денег на прокладку волокна или совершенно необходимо передавать большие объемы информации, то чем более мощный мультиплексор будет установлен, тем выше окажется эффективность системы и быстрее будет возврат инвестиций. Особенно, если есть возможность сдать часть емкости системы в аренду.

Справедливости ради надо сказать, что короткие до 5 – 7 км каналы обычно используются либо как станционные, либо как промышленные, либо как городские, т.е. фактически представляют собой распределительную сеть. Как правило, это кабельные каналы. Тогда более эффективным для построения сети может стать использование широкополосных ВЧ-технологий, основную проблему для которых представляет электромагнитная совместимость.

Предложенная Германией и практически повсеместно в Европе принятая норма на излучение NB30 привела к фактическому запрету на использование данных технологий в черте города, за исключением случаев, когда сеть представляет собой изолированную кабельную структуру. Что касается воздушных линий, то их протяженность даже в поселках или кампусах (низкоэтажная городская застройка) ограничена величиной 300 м. И дело не только в ограничении выходной мощности передатчиков. Слабые уровни входных сигналов делают такие системы подверженными внешним воздействиям – помехам.

Таким образом:

- при длинах ВЛ или канала менее 5 – 7 км, при существующей кабельной инфраструктуре, более выгодны каналы с широкополосными ВЧ-системами;

- при длинах ВЛ или канала менее 5 – 7 км, при отсутствии кабельной инфраструктуры, необходимо рассмотреть применимость радиоканалов типа «точка–многоточка»;

- при длинах ВЛ или канала менее 5 – 7 км, при отсутствии кабельной инфраструктуры и проблемах с электромагнитной совместимостью, более выгодны оптические или медные каналы с использованием простейших мультиплексов.

Следует иметь в виду, что выше речь шла не о специализированных каналах, предназначенных, например, только для передачи данных АИИС КУЭ – здесь эффективными могут быть и другие каналы – GSM или спутниковые, а о конвергированных каналах, позволяющих решить большинство задач в корпоративных сетях энергетиков.

До настоящего времени наиболее востребованными и с точки зрения капитальных затрат, и с точки зрения больших протяженностей ВЛ, являются ВЧ-каналы связи. Перед оптическими они имеют преимущество и с точки зрения построения систем релейной защиты (РЗ) и противоаварийной автоматики (ПА): учитывая требования к временным параметрам передаваемых сигналов команд, а также физические ограничения на время распространения сигналов в оптическом волокне, ВЧ-каналы могут иметь большую протяженность.

1.1.12. Цифровая конвергированная ВЧ-система ETL500 (600) (рис. 1.8) [20]. Ранее ETL500 применялась в основном для решения технологических задач энергетики. Возможность ее использования для корпоративных целей основывается на дооснащении ETL500 устройствами формирования скоростного цифрового канала типа AMX с различными абонентскими цифровыми интерфейсами.

Поскольку одним из основных требований к технологическим каналам является их независимость от корпоративных данных, то рекомендуется организовать цифровой канал либо в независимом ВЧ-канале, либо в специально выделенной полосе частот ВЧ-канала.



а)



б)

**Рис. 1.8. Цифровая конвергированная ВЧ-система ETL500 (а) и ETL600 (б)**

Так как корпоративные каналы чаще всего являются каналами передачи данных, то в АМХ не рекомендуется использовать возможности цифровой передачи речи. Исключение может быть сделано лишь для служебных речевых каналов типа «точка–точка», без включения их в коммутационное пространство корпоративной телефонной сети.

1.1.13. Универсальные решения [20]. В сетях связи энергетиков существуют сервисы, не доступные в обычных корпоративных сетях. Для их реализации требуются некоторые специализированные устройства, например удаленный программируемый низкочастотный НЧ-терминал EVDT, особенностью которого является совместная работа с аппаратурой ВЧ-связи ETL500.

Комплексное использование ВЧ-каналов кроме известных преимуществ имеет и некоторые чисто организационные недостатки, связанные с традиционным разделением служб. Часто это выражается в административном размещении подразделений в различных помещениях. Это могут быть разные комнаты, этажи и даже здания, между которыми необходимо прокладывать сигнальные цепи. Устройство EVDT в первую очередь предназначено именно для уменьшения количества необходимых для этого кабелей. В то же время EVDT позволит использовать любые корпоративные четырехпроводные каналы как комплексные (принято в энергетике для передачи телефонии и телемеханики ТЛФ + ТМ).

Использование принципа конвергенции не означает, что пользователь должен отказаться от установленного у него оборудования. Часто достаточно дооснастить его соответствующими узлами, например, передачи сигналов команд РЗ. Одним из таких устройств является цифровая система передачи сигналов команд релейной защиты NSD570, допускающая работу через любые среды и каналы передачи.



Безусловным требованием к используемым каналам/средам является их пригодность к передаче сигналов команд РЗ и ПА как с точки зрения надежности и безопасности, так и с точки зрения времени передачи. В общем случае это практически любые проводные каналы, кабельные – PDH и SDH, радио – SDH, ВЧ – от мировых производителей. Но возможны и другие варианты, применимость которых зависит от тщательности системной проработки. Вообще главной проблемой конвергенции является объединение функций защиты и автоматики со всеми остальными сервисами, в том числе технологическими. Так, если в корпоративную IP-сеть при соблюдении некоторых правил еще можно ввести технологические функции передачи диспетчерской речевой информации с большими ограничениями данных SCADA-систем (Supervisory Control And Data Acquisition – диспетчерское управление и сбор данных и систем телемеханики), то функции защиты ввести практически невозможно.

1.1.14. Основной и резервный канал защиты [20]. Даже относительно простой случай с передачей сигналов речи по каналам защиты на практике оказывается не простым. Как показывает опыт эксплуатации таких каналов (построенных на оборудовании мирового IP-бренда) газовиками и нефтяниками, их качество не удовлетворяет требованиям оперативного диспетчерского управления, и они рассматривают альтернативу давно устоявшимся концепциям. Главная причина: корпоративная IP-сеть изначально должна строиться не как телекоммуникационная, а как технологическая с использованием протоколов: RVSP (resource reservation protocol – протокол резервирования ресурса), RTP/RTCP (real time protocol/associated control protocol – оперативный протокол / связанный протокол контроля) и dynamic time-slot multiplexing – DTM (динамическое временное мультиплексирование).

Что касается SCADA-систем и систем телемеханики, то существующая Ethernet-сеть должна дооснащаться UCA (Utility Communications Architecture – сервисная коммуникационная архитектура) или аналогичными системами. К сожалению, данная технология UCA, выполняя функцию привязки передаваемой информации к временной сетке, одновременно значительно сокращает число корпоративных пользователей.

Поэтому технологию UCA надо рассматривать как временное решение для небольших подстанций и допускать контроль и наблюдение за системами релейной защиты, обмен служебной информацией между устройствами РЗ и ПА. Но передача сигналов защит в данной технологии запрещена (кроме сигналов состояния оборудования – телесигнализации).

Таким образом, методики введения технологических функций в уже работающую корпоративную IP-сеть не слишком удачны, хотя и

имеют право на существование. Другое дело – идеология CCNS, предполагающая введение офисных (IP) функций в технологическую сеть с полной изоляцией разнородных трафиков и обеспечивающая наилучшие условия транспортировки именно технологической информации.

Переход к принципам конвергенции неизбежно повлечет за собой изменение методик обслуживания технологических каналов, особенно каналов релейной защиты и противоаварийной автоматики. Прежде всего, контроль, обслуживание и наладка должны быть не нарушающими функционирование других сервисов, во-вторых, распределенными в пространстве, т.е. уже не будет возможности собрать всю каналообразующую аппаратуру в одной лаборатории и оттестировать, как делается сейчас. Для этого нужны новые измерительные и тестовые приборы.

1.1.15. Кабельные технологии [20]. Наиболее эффективными с точки зрения окупаемости капитальных вложений на информационный подканал являются высокоскоростные системы передачи. Причем практически неважно, как конкретно будет реализован агрегатный/транспортный канал (медь, волокно и т.д.). Главное – обеспечить его оптимальную загрузку. Особенно актуально это для конвергированных корпоративных сетей энергетиков, призванных объединять разнородные типы трафиков. Выполнить это могут только специализированные устройства доступа/мультиплексоры, в которых технологический и IP-трафик рассматриваются как независимые процессы. Такие устройства обычно снабжаются агрегатными модулями для электрических и волоконно-оптических кабелей.

Исторически сложилось так, что большинство оптических кабелей в энергетике являются собственностью третьих лиц. Энергетикам в качестве компенсации предлагается либо использовать каналы, построенные на телекоммуникационном оборудовании, либо самим осваивать «оптоволокно». В первом случае технологии приходится иметь дело с IP-каналами с уже описанными ранее проблемами. Функции защиты реализовать на них затруднительно. Особенно, если в качестве транспорта используется не SDH. Если же транспорт – SDH, то проблему с защитой могут решить устройства, имеющие непосредственный доступ к агрегатному каналу, аналогичные NSD570. Тем не менее, поскольку телекоммуникационные мультиплексоры не имеют столь развитой технологически ориентированной системы кросс-коммутации, как специализированные технологические устройства доступа, то необходимо очень тщательно выполнять системные расчеты времени прохождения команд.

Во втором случае уже сами энергетики устанавливают на «оптоволокне» самые дешевые мультиплексоры, исходя из того, что в большинстве случаев их собственные нужды в пропускной способности

офисной корпоративной сети не превышают 2 Мбит/с. Такой подход имеет право на существование. Однако требования технологии при этом не учитываются, поскольку устройства доступа опять же используются телекоммуникационные. Когда же спустя некоторое время обнаруживается неэффективность использования волокна, то зачастую предпринять что-либо уже поздно. Как ни странно, иногда может выручить то, что наиболее дешевые устройства – отечественные, реализующие PDH- и SDH-транспорт. В этом случае снова может выручить устройство типа NSD570, но опять необходимо очень тщательно выполнять системные расчеты времени прохождения команд. Избежать всех этих проблем можно, сразу сориентировавшись на мультиплексоры, специально разработанные для энергетики. Ранее это были устройства, учитывающие и реализующие только технологические требования и установки отрасли, некоторые даже в части возможности передачи сигналов команд. Теперь же появились системы, в полном объеме реализующие принцип конвергенции CCNS, изначально ориентированные на передачу как технологического, так и офисного корпоративного трафика. Эти платформы предназначены для использования как ведомственными сетями энергетических компаний, так и крупными телекоммуникационными провайдерами, что позволяет энергетическим компаниям, операторам трубопроводов, железнодорожным компаниям и другим самим предоставлять коммерческие услуги на рынке телекоммуникаций. Отличительной особенностью этих платформ является их соответствие требованиям энергетики в части электромагнитной совместимости, надежности и готовности, что, безусловно, дает им преимущество перед обычным телекоммуникационным оборудованием в построении высоконадежных сетей общего пользования. Из сказанного видно, что технология CCNS на самом деле представляет собой концепцию построения корпоративных сетей нового качества – конвергированных. Это идеология, охватывающая все этапы жизненного цикла сети: начиная с проектирования и кончая управлением.

Выводы по технологии CCNS:

1. Наиболее перспективная коммуникационная среда для построения корпоративных сетей энергетиков – волоконно-оптические линии и ВЧ – как резервная. При недостатке финансирования – ВЧ.
2. Наиболее подходящими сетевыми технологиями для конвергированных сетей являются: ВЧ-связь, PDH и SDH (при выполнении ряда условий ATM).
3. Обеспечивается полная изоляция технологического и офисного трафика. Наилучшие условия транспортировки выделяются для технологической информации.

4. Для технологических каналов должны устанавливаться «постоянные» внутрисетевые соединения «каждый-с-каждым» или «один-со-всеми», а для офисного трафика (телефония, видео, компьютеры и др.) действуют правила соединения общественных сетей (IP).

5. Для подключения чувствительных ко времени технологических трафиков – SCADA, защита и др. – должны использоваться принципы TDM / PCM / PDH / SDH.

6. Офисная составляющая конвергированной сети должна строиться на принципах общественных телекоммуникационных сетей, что позволит легко проводить их последующую модернизацию параллельно развитию общественных технологий. Для этого должны и могут использоваться технологии, обеспечивающие максимальную эффективность загрузки агрегатного канала: IP, Frame Relay (ретрансляция кадров), ATM и др.

7. Управление и мониторинг конвергированной сети должны выполняться из одного места и поддерживать оба вида трафиков – технологический и общественный.

Следовательно, конвергированные сети связи представляют собой новую и эффективную концепцию построения корпоративных сетей, объединяющую разнородные сетевые трафики, например технологические: телемеханики, релейной защиты и автоматики и офисных приложений, обеспечивающие наилучшие условия транспортировки технологической информации [20, с. 152 – 159].

Выводы по технологии ЕТССЭ:

1. Для обеспечения надежности создаваемых цифровых систем связи требуются построение единой системы управления и обслуживания ЕТССЭ и выработка единой скоординированной технической и технологической политики.

2. Для сохранения надежности существующих средств диспетчерского технологического управления (СДТУ) и сети связи в переходный период необходимо обеспечение: ремонтно-эксплуатационного обслуживания действующих (старых) систем СДТУ и систем связи ЕТССЭ; планирования и сопровождения вывода из эксплуатации устаревшего оборудования и систем; «бесшовного» перехода к цифровым системам связи.

3. Для повышения эффективности эксплуатационной деятельности и создания условий для реализации стратегических целей эксплуатационной политики ОАО «ФСК ЕЭС» в МЭС Центра определяются приоритетные направления: повышение эффективности эксплуатационной деятельности; разработка и пересмотр нормативно-технической документации; повышение квалификации персонала.

С целью достижения поставленных целей реализуются следующие задачи: проведение инвентаризации и классификации существ-

вующих сетевых ресурсов; создание эффективной системы контроля качества потребляемых услуг; формирование централизованной системы эксплуатации на основе мирового опыта и международных стандартов.

Последнее предполагает: организацию единой службы мониторинга и диспетчеризации инцидентов; создание и внедрение единого каталога телекоммуникационных услуг; создание системы инвентаризации сетевых объектов и услуг; внедрение процессов поддержки актуального состояния сетевой информационной модели; создание единой системы планирования, формирования и обращения резервного фонда оборудования.

Таким образом, несмотря на то, что перечисленные задачи требуют нового уровня квалификации персонала и значительных инвестиций, реализация планов по созданию и эксплуатации Единой технологической сети связи электроэнергетики филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра позволит обеспечить устойчивое развитие его электросетевого комплекса в целом на годы вперед.

## **1.2. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ**

1.2.1. ЕЦССЭ. Как указывалось выше, в настоящее время ЕЦССЭ охватывает Центральный узел связи (ФСК ЕЭС), окружные узлы связи (МЭС регионов) и региональные узлы связи ПМЭС [9]. Транспортная среда сети – преимущественно каналы связи ОАО «Ростелеком». Создание сети ЕЦССЭ позволило в филиале ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра решить многие корпоративные задачи в области информационных технологий, однако ЕЦССЭ оказались присущи и некоторые недостатки [13]:

1. Недостаточный охват сетью ЕЦССЭ «низовых» подстанций и низкая надежность транспортной сети из-за использования преимущественно каналов связи одного оператора ОАО «Ростелеком». Следует отметить, что по мере строительства новых ВОЛС ОАО «ФСК ЕЭС» резервирование участков ЕЦССЭ повышается и, как следствие, надежность тоже повышается.

2. Недостаточно совершенная система оперативного обслуживания (оперативная вертикаль) ЕЦССЭ, которая оказывает влияние на время восстановления сети при неисправностях и на коэффициент готовности сети.

1.2.2. ВОЛС–ВЛ [13]. Телекоммуникационный бизнес филиала МЭС Центра оказался жестко привязан к основному бизнесу компании ОАО «ФСК ЕЭС», так как строительство магистральных ВОЛС происходит практически исключительно по титулам строительства новых

и реконструкции существующих подстанций и ВЛ. Фактически цифровая сеть связи развивается отдельными участками, сконцентрированными вблизи реконструируемых и вновь строящихся энергообъектов компании. Данный принцип построения сети связи приводит к тому, что в отдельных регионах сети связи не функционируют как законченные объекты (магистральная – межрегиональная – и региональные сети связи), отсутствует раздельная политика в части построения магистральной и региональных сетей.

Важно отметить, что вышеуказанный «кусочный» метод строительства цифровых сетей противоречит принципам построения современных цифровых сетей связи. Например, наиболее эффективная технология построения транспортных сетей связи SDH предусматривает проектирование топологии сети «в целом», что крайне важно для оптимального использования встроенных в технологию механизмов защитного переключения (резервирования), управления сетью и организации синхронизации элементов сети.

1.2.3. Использование услуг сторонних операторов связи [13]. В настоящее время участники рынка электроэнергии (ОАО «СО ЕЭС», ОГК, ТГК, МРСК) для решения своих производственных задач строят собственные сети связи, используя в качестве транспортной среды каналы связи операторов фиксированной и мобильной связи. Операторы в свою очередь на телекоммуникационном рынке ведут агрессивную политику, навязывая энергетикам, например, решение «последней мили», желая пройти каналами связи до энергообъектов. Ряд операторов пытается навязать конечные услуги – телефонию, передачу данных (в том числе телемеханики), селекторную связь.

Вместе с этим следует отметить, что сеть связи энергетики всегда строилась преимущественно на основе собственных каналов связи (особенно на уровне энергосистемы и ниже), что обусловлено заложенными при построении собственных систем параметрами повышенной надежности, резервирования ресурса, специальной системой эксплуатации и оперативного обслуживания, жесткой оперативно-диспетчерской дисциплиной, выраженных в отраслевых нормативных документах. Поэтому связь в энергетике является функциональным элементом единого процесса энергопроизводства, основой таких систем как АСДУ (диспетчерское управление), АРЧМ (регулировка частоты и мощности), АСУ ТП и многих др.

Кроме того, при использовании каналов связи «альтернативных операторов» для нужд энергетиков наблюдается следующая картина. Избыточный ресурс сети, необходимый для обеспечения надежности телекоммуникационных служб, оператор вовсе и не предусматривает, а нормы времени восстановления сети связи оператора значительно отличаются от значений, принятых в энергетике. Топология, техноло-

гии и принципы построения сети связи оператора непрозрачны для энергокомпании-заказчика услуги связи. Немаловажен и тот фактор, что современные системы РЗА, использующие в качестве транспортной среды цифровые каналы связи, предъявляют весьма специфические требования в части величины задержек сигнала, стабильности (предсказуемости) задержек, надежности. Выполнение данных требований возможно обеспечить, как правило, выбором соответствующей аппаратуры связи на стадии проектирования в отраслевых проектных организациях.

Самое главное, в условиях использования каналов альтернативного оператора отсутствует ответственность телекоммуникационного персонала компании в рамках энергопроизводства, иерархической оперативно-диспетчерской дисциплины. Предоставление операторам связи конечных услуг энергокомпании может привести к потере контроля последней над оборудованием (АТС, каналобразующее оборудование и оборудование селекторной связи), что выводит оборудование связи из ведения диспетчера. Другим немаловажным последствием предоставления услуг «сторонним оператором» является риск потери конфиденциальности информации. Все это может привести к снижению экономической и энергетической безопасности в масштабе ОАО ФСК ЕЭС.

1.2.4. Предоставление операторам права прохода по ЛЭП [13]. В электроэнергетике право прохода кабелем связи по ВЛ и в охранных зонах отдается какому-либо оператору связи, энергетика же получают в собственности некоторую долю «темных волокон». Для операторов связи прокладка кабеля по ВЛ и в охранных зонах крайне выгодна, она существенно дешевле традиционных решений. Такая политика в данной сфере, помимо снижения надежности связи для энергетиков, обусловленной потерей оперативного и эксплуатационного управления кабелем, ведет к упущению прибыли, которая могла бы быть получена при условии строительства ВОЛС самими компаниями, за счет предоставления волокон другим компаниям (в аренду, на обмен, на продажу). Этот бизнес представляется энергокомпаниями во всем мире как самый оптимальный для энергетиков, высокодоходный и быстро окупаемый, так как достаточно прост, прозрачен, и, как следствие, не требующий сравнительно большого аппарата, ориентированного на предоставление операторских услуг. У операторов связи с точностью до наоборот: там большой аппарат, ориентированный на операторскую деятельность, что позволяет заниматься самым выгодным бизнесом, т.е. предоставлением конечных услуг или каналов.

Таким образом:

1. Для обеспечения надежности управления энергопроизводством МЭС Центра необходимо развивать собственные системы связи – средства диспетчерского и технологического управления.

2. Необходима специальная (централизованная) инвестиционная программа развития сети связи МЭС Центра, не привязанная только к программам строительства энергообъектов и реконструкции основного технологического оборудования.

### **1.3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ И ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра создан в 1997 г., в управлении которого находится специализированная производственная база (СПБ) «Белый Раст» и восемь филиалов-предприятий магистральных электрических сетей: Валдайское, Верхне-Донское, Волго-Донское, Волго-Окское, Вологодское, Московское, Приокское и Черноземное. Энергообъекты МЭС Центра расположены на территории 19 субъектов Российской Федерации общей площадью 870 тыс. км с населением более 40,7 млн. человек (рис. 1.9). Согласно [4] суммарная установленная мощность 1332 шт. трансформаторов на 190 подстанциях (ПС) в классе напряжения 35 – 750 кВ (рис. 1.10 – 1.13) составляет 90 284,362 МВ·А (см. рис. 1.14), протяженность линий электропередач Единой национальной электрической сети ЕНЭС МЭС Центра в классе напряжения 6 – 1150 кВ – 26 925,52 км по трассе и 29 538,44 км по цепям (см. рис. 1.15). Протяженность кабельных линий 110 – 500 кВ – 55,6 км, в том числе: 110 кВ – 10,8 км, 220 кВ – 40,9 км, 500 кВ – 3,9 км (рис. 1.16).

1.3.1. Устройства и системы автоматизации и противоаварийной автоматики (табл. 1.5).

1.3.2. Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии ЕНЭС [4]. В 2011 г. на подстанциях МЭС Центра эксплуатировались АИИС КУЭ на 148 подстанциях ЗАО «Метростандарт», 78,31%; на 30 ПС НП «Метростандарт», 16,40%; на 5 ПС ООО «Энергоучет», 2,65%; на 1 ПС ООО Эльстер-Метроника, 0,53%; на 2 ПС ОАО «ЭнергоСнабСтройСервис-Холдинг», 1,06%; на 1 ПС ЭПЦ ОАО «Проект Инвест», 0,53%; на 1 ПС ОАО «ЮИЦЭ», 0,53%. Самый распространенный тип УСПД – ТК-16L, используемый на 142 подстанциях (рис. 1.17). Также используются УСПД типов RTU-325L/Н/Т на 47 шт. ПС (рис. 1.18). Общие сведения об АИИС КУЭ приведены в табл. 1.6.

АИИС КУЭ МЭС Центра осуществляет в зоне своей ответственности ежедневный мониторинг, сбор и достоверизацию учетной информации по всем сечениям, в том числе по 10 воздушным линиям электропередачи напряжением 10 – 750 кВ, по которым осуществляется межгосударственный переток электрической энергии с республиками Казахстан и Украина.



# КАРТА - СХЕМА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ МЭС ЦЕНТРА С ГРАНИЦАМИ ПМЭС

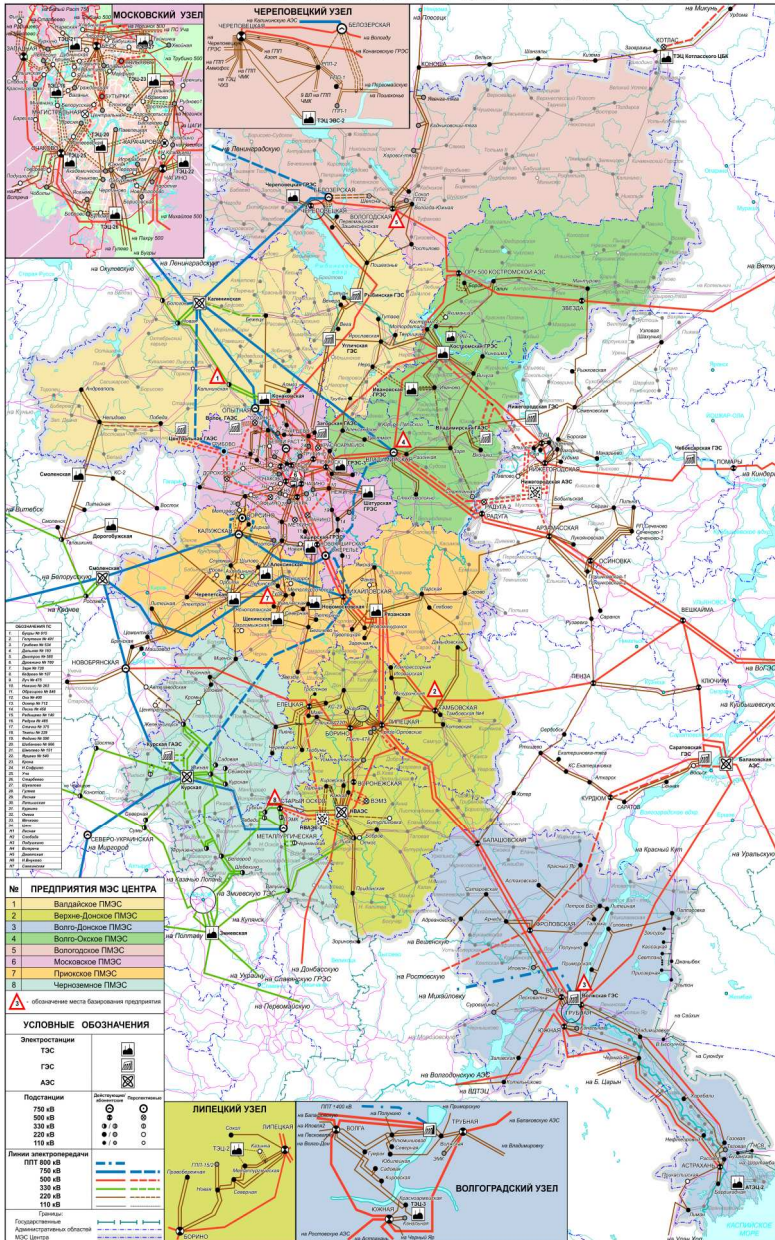


Рис. 1.9. Регионы обслуживания энергообъектов МЭС Центра



**Рис. 1.10. Подстанция 750 кВ, Грибово, Московское ПМЭС**



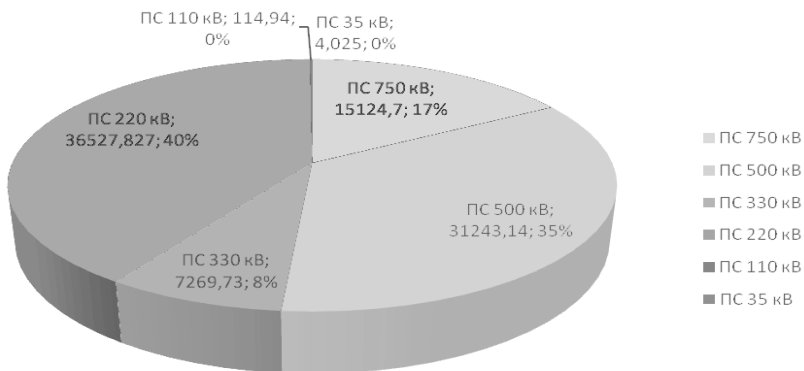
**Рис. 1.11. Открытое распределительное устройство ПС 500 кВ,  
Дорохово, Московское ПМЭС**



**Рис. 1.12. Подстанция 500 кВ, Звезда, Волго-Окское ПМЭС**



**Рис. 1.13. Комплектное распределительное устройство  
ПС 550 кВ, Бескудниково, Московское ПМЭС**



**Рис. 1.14. Установленная трансформаторная мощность МЭС Центра**



**Рис. 1.15. Воздушная линия электропередачи 750 кВ «Калининская АЭС – Грибово»**



**Рис. 1.16. Высоковольтные кабели из сшитого полиэтилена (заходы линий электропередачи на московские подстанции 500 кВ нового поколения сооружаются в кабельном исполнении)**

### 1.5. Характеристика ПМЭС по наличию АСУ ТП и УРЗА и ПА

ПМЭС	АСУ ТП, шт.	УРЗА и ПА, шт.	В том числе, шт.		
			электро-механические	микро-электронные	микро-процессорные
Валдайское	2	8453	7994	31	428
Верхне-Донское	1	17 607	15 272	482	1853
Волго-Донское		20 077	19 552	385	140
Волго-Окское	1	16 418	14 679	694	1045
Вологодское		7829	6090	79	1651
Московское	2	19 369	16 686	629	2054
Приокское		6128	5387	482	259
Черноземное	1	13 806	12 879	526	401
Итого: МЭС Центра	7	109 687	98 548	3308	7831

Контроллер ТК-16L предназначен для работы в составе систем типа SCADA, АСТУ, АИИС КУЭ и аппаратно-программного комплекса ТЕЛЕСКОП+4. Легко интегрируется в существующие SCADA-системы, АИИС КУЭ, системы телеметрии.

Контроллер обеспечивает поддержку широкого спектра оборудования энергетики:

- контроль состояния технологического объекта при съеме сигналов дискретных и аналоговых датчиков;
- управление технологическим объектом посредством подачи сигналов телеуправления на исполнительные механизмы;
- хранение собранных данных, передача данных на верхний уровень;
- регистрация и хранение информации о событиях в журнале «Устройства»;



Рис. 1.17. Устройство сбора и передачи данных АИИС КУЭ ТК-16L



Рис. 1.18. Устройство сбора и передачи данных RTU-325

### 1.6. Характеристика ПМЭС по оснащенности АИИС КУЭ

ПМЭС								
Валдайское	Верхне-Донское	Волго-Донское	Волго-Окское	Вологодское	Московское	Приокское	Черноземное	Итого: МЭС
АИИС КУЭ на ПС 110 – 750 кВ, шт.								
18	27	44	16	10	32	24	17	188

- обмен данными с другими интеллектуальными устройствами, в том числе, контроллерами, терминальными модулями, расширителями сигналов, счетчиками электроэнергии, станциями управления, уровнемерами и пр.;

- взаимодействие с диспетчерскими пунктами и поддержка видеокамер.

Каналы связи: Ethernet, GSM, GPRS, EDGE, CDMA, VSAT, Global Star, Wi Fi, Wi Max, FM радиоканал, BreezeACCESS, Motorola Canopy и др. Поддерживается работа в режиме защищенного канала (VPN) с использованием решений L2TP и IPsec.

УСПД RTU-325 предназначены для сбора, обработки, хранения данных, собранных со счетчиков электроэнергии и передачи их на верхний уровень, а также для построения цифровых, пространственно распределенных, проектно-компонованных, иерархических, многофункциональных автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии и мощности (АИИС КУЭ) с распределенной обработкой и хранением данных.

УСПД RTU-325 имеет:

- энергонезависимая память 512 Mb, 1 Gb;
- сетевые интерфейсы базовый Ethernet 10/100base TX – 1(2) шт.;
- встроенные последовательные интерфейсы для работы со счетчиками и внешними коммуникациями плюс RS-232: до 12 каналов; плюс 4 канала RS-232 присутствуют всегда; плюс RS – 422/485: до 8 каналов.

1.3.3. Телемеханика [4]. Внедрение микропроцессорных программируемых контроллеров (МПК) сети сбора и передачи информации ССПИ на подстанциях МЭС Центра ведется в соответствии с:

- комплексным техническим перевооружением, реконструкцией, расширением и строительством;
- программами повышения наблюдаемости и надежности 2 и 3-го этапов.

В 2012 г. существующие устройства ТМ в ПМЭС, такие как: УТМ-7(8), ТМ-120, ТМ-512, УТК-1, УСД-0,5, МКТ-3, КП «Гранит», «Компас», «Конус», SO-55(52), «Телеканал-2», «Smart», «Simens», «MicroScada» подстанций МЭС Центра, доукомплектованы следующими устройствами телемеханики:

- МКП ССПИ нового поколения, входящие в состав АСУ ТП подстанций фирм производителей: ALSTOM (AREVA), ABB, Siemens, РТСофт. Общие сведения о ТМ представлены в табл. 1.7;

- МКП ССПИ нового поколения: Mikronika; SMART КП и Smart-WAMS фирмы РТСофт (рис. 1.19).

## 1.7. Характеристика ПМЭС по оснащённости устройствами ТМ

ПМЭС								
Валдайское	Верхне-Донское	Волго-Донское	Волго-Окское	Вологодское	Московское	Приокское	Черноземное	Итого: МЭС
Устройства ТМ на ПС 110 – 750 кВ, шт.								
18	28	15	–	10	–	30	29	130



**Рис. 1.19. Программно-технический комплекс Smart-WAMS**

ПТК Smart-WAMS (регистратор параметров входных режимов) представляет собой распределенный программно-технический комплекс для измерения, передачи на верхний уровень и архивирования параметров переходных электромеханических режимов – частоты, токов, напряжений, мощности и др. WAMS (от английского Wide Area Measurement System) – технология синхронных векторных измерений, новое направление в развитии систем измерения параметров электрических сетей.



Основными компонентами ПТК Smart-WAMS являются:

- аппаратный комплекс на базе промышленного компьютера PхV103P4 Kontron;
- измерительные преобразователи МИП-02 – микропроцессорные устройства со встроенным микропрограммным обеспечением для измерения и вычисления электрических параметров режима трехфазной сети и передачи их в коммуникационный сервер;
- сетевое оборудование для связи коммуникационного сервера и измерительных преобразователей МИП-02;
- подсистемы диагностики и сигнализации для контроля и индикации неисправностей и сбоев в работе устройств, входящих в состав Smart-WAMS;
- антенна и приемник GPS или ГЛОНАСС;
- аппаратура для подключения приемника GPS или ГЛОНАСС, преобразования интерфейса и ретрансляции сигналов на сервер и на МИП-02.

Smart-WAMS позволяет:

- проводить синхронизированные по времени измерения параметров, характеризующих режим работы энергосистемы в различных ее точках на интервале 20 мс;
- проводить прямые измерения углов разности фаз между объектами; фиксировать переходные процессы;
- оценивать режимы работы всей энергосистемы;
- анализировать причины и последствия технологических нарушений и системных аварий;
- проверять и уточнять динамическую модель энергосистемы;
- наблюдать низкочастотные колебания в электросети;
- повысить уровень информационного обеспечения диспетчерского управления и обеспечивает качественно новый уровень управления режимами энергосистем.

1.3.4. Автоматизированная система управления технологическими процессами [4]. На подстанциях МЭС Центра внедрено оборудование АСУ ТП зарубежных марок: AREVA T&D, Sicam SAS, Sicam PAS, Sprecher, Siemens, ABB, Sprecher, AREVA, ЗАО «РТ Софт» (рис. 1.20), а также отечественной марки SCADA-НИИПТ в соответствии с:

- комплексным техническим перевооружением;
- реконструкцией, расширением и строительством.

В 2012 г. на подстанциях МЭС Центра в стадии наладки, в опытной или промышленной эксплуатации находятся АСУ ТП следующих фирм производителей: РТСофт, НИИПТ, ALSTOM (AREVA), ABB, Siemens. Автоматизированные системы управления технологическими процессами позволяют обеспечить постоянный контроль за состояни-



**Рис. 1.20. Единый информационный комплекс РЗА, регулирования и управления электроустановкой**

ем всех систем оборудования подстанции. Современные микропроцессорные устройства РЗА объединили в рамках единого информационного комплекса функции релейной защиты, автоматики, измерения, регулирования и управления электроустановкой (рис. 1.21).

Применение микропроцессорной техники позволяет:

- снизить вероятность отказов в работе по сравнению с электромеханической аппаратной частью защиты;
- сократить эксплуатационные расходы за счет самодиагностики, автоматической регистрации режимов и событий, минимизации механической части, требующей регулировки и настройки;
- сократить расходы при новом строительстве и реконструкции за счет монтажа, уменьшения габаритов, экономии кабелей и уменьшения затрат на аппаратную часть;
- реализовать новые функции за счет применения «гибкой» логики и решать нестандартные задачи, сократить время ликвидации аварии за счет уменьшения времени отключения короткого замыкания и минимизации собственного времени срабатывания микропроцессорных устройств РЗА и уменьшения ступеней селективности;



**Рис. 1.21. Автоматизированная система управления технологическими процессами подстанции**

– уменьшить время на выяснение причин аварии за счет собственных средств регистрации и записи аварийных процессов и повысить точность измеряемых величин.

Общие сведения об АСУ ТП приведены в табл. 1.8.

1.3.5. Системы связи [4]. Всего в эксплуатации МЭС Центра находится 9291 единица оборудования систем связи и линейно-кабельных сооружений ВОЛС и КЛС протяженностью 10349,3 км. Данные по оборудованию систем связи приведены в табл. 1.9.

1.3.6. Развитие систем связи [4]. В зоне обслуживания МЭС Центра в настоящее время используются как современное оборудование связи: цифровые системы передачи (см. рис. 1.2, 1.3); волоконно-оптические линии связи, цифровые системы ВЧ-связи и спутниковые системы (рис. 1.22); так и морально устаревшее оборудование систем связи. Например, аналоговые: РРЛ, системы передачи, системы ВЧ-связи (АВС-1, АВС-3, АСК-1, АСК-3, ЕТ-63, ЛУС – 80, ВЧСП-12, АВС-2ЦМ, АВС-3ЦМ, АВС-ЦМ, АВК, ЕТ-71, ЕТ-73, СПИ-122, Z-12F, TN-12, ЕТЛ-582); медные КЛС, находящиеся в эксплуатации 15 – 30 лет при нормативном сроке эксплуатации до 15 лет, которые физически изношены и амортизированы.

### 1.8. Оснащенность подстанций АСУ ТП

ПМЭС	Подстанции				
	750 кВ	500 кВ	330 кВ	220 кВ	2012 г.
Валдайское			2		Сданные в промышленную эксплуатацию, шт. (-//-)
				1	В стадии наладки или опытной эксплуатации, шт. (-///-)
Верхне-Донское		1			-//-
				1	-///-
Волго-Донское			1		-//-
		1		2	-///-
Волго Окское		1			-//-
					-///-
Вологодское					-//-
	1	1		1	-///-
Московское	1			1	-//-
		5			-///-
Приокское					-//-
					-///-
Черноземное					-//-
			1		-///-
Всего по МЭС Центра					
Сданные в промышленную эксплуатацию, шт.	1	2	3	1	Итого: 7
В стадии наладки или опытной эксплуатации, шт.	1	7	1	5	Итого: 14

## 1.9. Оснащенность системами связи

### Системы связи МЭС Центра

ВЧ-устройства, комплект	Аппаратура уплотнения, комплект	Аппаратура беспроводного доступа, комплект	Оборудование систем спутниковой связи, ед.	Коммуникационное оборудование телефонной связи, ед.	Аппаратура связи совещ., трансп., оповещ., ед.	Оборудование линейно-эксплуатационной связи, ед.	Активное сетевое оборудование, ед.	Линейно-кабельные сооружения ВОЛС/КЛС, км	Устройства электропитания, шт.
595	664	3381	170	393	161	2810	649	5422,9/ 4926,4	468

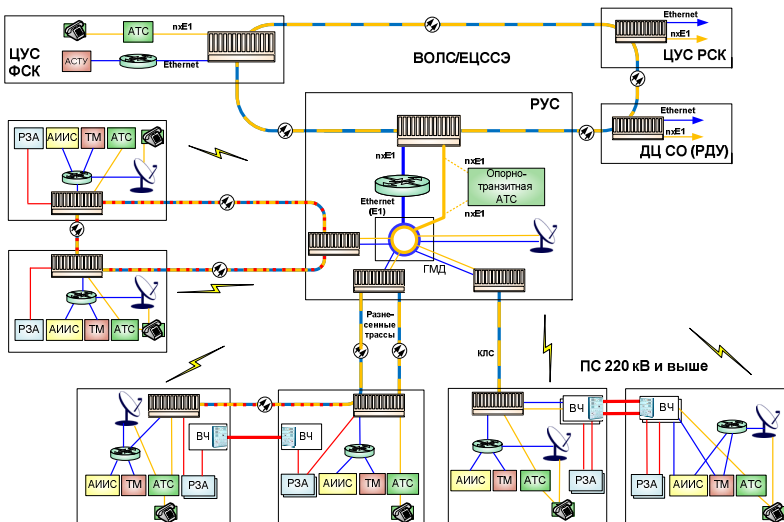


Рис. 1.22. Вариант применения цифровых систем связи: ВОЛС, ВЧ, спутниковые системы

Для замены устаревшего оборудования в МЭС Центра с 2004 г. производится широкое внедрение современных систем связи ВОЛС и ЦСПИ. В основном, это ВОЛС, подвешенные на ВЛ, принадлежащие ОАО «ФСК ЕЭС», и обеспечивающие полное перевооружение и реконструкцию технологических процессов передачи информации на сегментах ЕЦССЭ.

1.3.7. Персонал и эксплуатационно-техническое и ремонтно-восстановительное обслуживание ВОЛС [4].

МЭС Центра имеет в своем составе высококвалифицированный и подготовленный персонал систем связи, относящийся ответственно к поставленным задачам, которые выполняются качественно и в намеченные сроки [10].

Количество персонала в основном достаточно для качественного обслуживания оборудования систем связи [9]. Для эксплуатационно-технического и ремонтно-восстановительного обслуживания ВОЛС сформированы 12 аварийно- и ремонтно-восстановительных бригад служб связи (АВБ, РВБ), полностью укомплектованные опытными специалистами, прошедшими обучение, необходимым оборудованием и приборами (рис. 1.23) [6]. Все бригады АВБ/РВБ укомплектованы специальной техникой для выполнения ремонтно-восстановительных работ (рис. 1.24).

Схема размещения комплексных бригад (АВБ/РВБ) с зонами обслуживания приведена на рис. 1.25, а общая схема эксплуатации сети ВОЛС в зоне МЭС Центра с протяженностью и количеством узлов связи показана на рис. 1.26.

В 2011 г. в МЭС Центра введено 1764 км ВОЛС [4]:

1. Московское Кольцо 500 кВ.
2. Москва – Ростов-на-Дону, пусковой комплекс (ПК) № 1 (НРП Пересыпкино – Пенза).
3. ПК 2 – Москва – Рязань, Михайлов – Тула.
4. ПК 6, 7 (Балашовская, Арчеда, Андреановская, г. Волгоград).
5. Закончена подвеска ВОК по титулу ВОЛС «Москва – Ростов-на-Дону».

Подробный перечень строящихся и построенных участков с указанием титулов приведен в табл. 1.10 [4].

Таким образом:

1. МЭС Центра имеет обширную зону обслуживания электрических сетей класса напряжения 220 кВ и выше в 19 регионах субъектов Российской Федерации и огромное количество оборудования в различных информационно-технологических системах с большим перечнем видов продукции от различных производителей, в том числе самых современных микропроцессорных систем и устройств.



**Рис. 1.23. Сварочный аппарат для монтажа волоконно-оптического кабеля**



**Рис. 1.24. Специальный автотранспорт для аварийно-восстановительных и ремонтных бригад МЭС Центра**

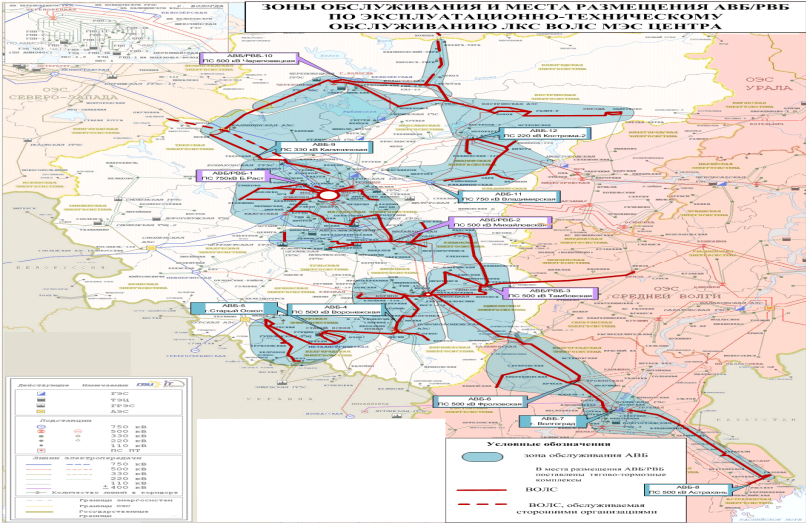


Рис. 1.25. Зоны обслуживания и места размещения АВБ/РВБ ЛКС ВОЛС МЭС Центра

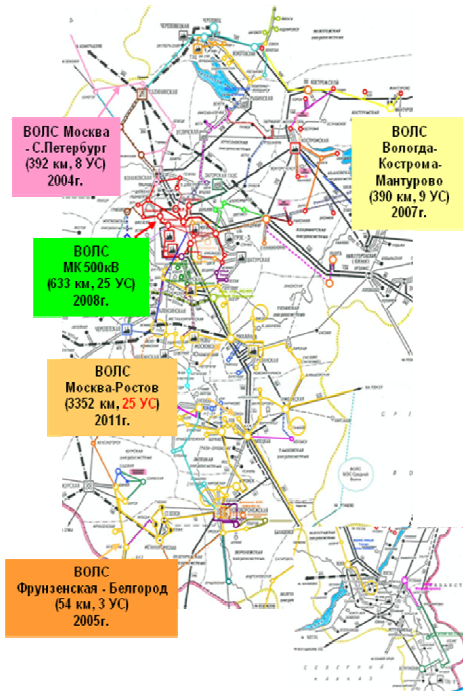


Рис. 1.26. Общая схема эксплуатации сети ВОЛС в зоне МЭС Центра



### 1.10. Ход строительства ЦСПИ МЭС Центра с 2004 по 2012 гг.

Титул и годы строительства	ВОЛС, км			Узлы связи, шт.			Ввод в эксплуатацию
	Проект	Реально	%	Проект	Реально	%	
Москва – Ростов-на-Дону (ПК2 и ПК4), 2010–2011 гг.	1679	1679	100	52	25	45	
ПНИН – этап 1 (основной канал), 2010–2011 гг.	76	–	0	21	–	0	
ПНИН – этап 2, 2011–2012 гг.	426	223	52	13	–	0	
Вологда – Архангельск, 2011–2012 гг.	Получено за право прохода (230 км)	–	–	6	–	0	
ВЛ 500 кВ, Загорская ГАЭС – Ярцево, 2009 – 2013 гг.	193	–	0				
КТПР, Кировская, 2008 – 2013 гг.	106	–	0	3	–	0	
Калининская АЭС – Грибово – Дорохово, 2011 – 2013 гг.	383	314	82	3 новых, 4 – модернизация оборудования	–	0	Март 2013 г.
Кострома – Киров, 2011–2012 гг.	215	192	89	1 новый, 5 – замена оборудования	–	0	Октябрь 2012 г.

Продолжение табл. 1.10

Титул и годы строительства	ВОЛС, км			Узлы связи, шт.			Ввод в эксплуатацию
	Проект	Реально	%	Проект	Реально	%	
ПС 500 кВ, Каскадная, 2010 – 2015 гг.	57	–	0				
КТПР, Газовая, 2008 – 2011 гг.	305	305	100	4	–	0	I квартал 2012 г.
КТПР, Вичуга, 2008 – 2011 гг.	265	265	100	6	Оборудование поставлено, но не смонтировано	0	I квартал 2012 г.
КТПР, Пошехонье, 2008 – 2011 гг.	228	228	100	3	3	0	I квартал 2012 г.
КТПР, Мичуринская, 2008 – 2012 гг.	112	112	100	4	4	100	I квартал 2012 г.
КТПР, РПП-2, 2008 – 2011 гг.	44	44	100	6	4	66	II квартал 2012 г.
КТПР, Орловская – Районная, 2008 – 2013 гг.	27	–	0	4	–	0	
КТПР, Садовая, 2008 – 2013 гг.	29	–	0	5	–	0	

Титул и годы строительства	ВОЛС, км			Узлы связи, шт.			Ввод в эксплуатацию
	Проект	Реально	%	Проект	Реально	%	
КТПР, Районная, 2008 – 2015 гг.	95	–	0	5	–	0	
КТПР, Владимирова, 2008 – 2013 гг.	143	–	0	2	–	0	
КТПР, Мирная, 2008 – 2011 гг.	Отсутствует	–	–	2	–	0	
КТПР, Спутник, 2008 – 2013 гг.	Отсутствует	–	–	2	–	0	
Итого:	4613	3362	72	145	36	25	

2. При реконструкции старых и пуске новых подстанций намечена общая тенденция на внедрение новых технологий в автоматизированные и автоматические системы управления на основе самого новейшего оборудования.

3. Внедрение новых технологий на производстве предъявляет повышенные требования к организации рабочих мест и подготовке персонала в филиалах предприятий магистральных электрических сетей и исполнительного аппарата МЭС Центра.

Ниже во второй главе рассмотрены цифровые иерархии сетей связи, мультисервисная система UMUX и новое оборудование опорной (транспортной) сети МЭС Центра.

### Выводы

1. МЭС Центра имеет обширную зону обслуживания электрических сетей класса напряжения 220 кВ и выше в 19 регионах субъектов Российской Федерации и огромное количество оборудования в раз-

личных информационно-технологических системах с большим перечнем видов продукции от различных производителей, в том числе самых современных микропроцессорных систем и устройств.

2. При реконструкции старых и пуске новых подстанций намечена общая тенденция на внедрение новых технологий в автоматизированные и автоматические системы управления на основе самого новейшего оборудования.

3. Внедрение новых технологий на производстве предъявляет повышенные требования к организации рабочих мест и подготовке персонала в филиалах предприятий магистральных электрических сетей и исполнительного аппарата МЭС Центра.

4. Для обеспечения надежности создаваемых цифровых систем связи в МЭС Центра требуются построение единой системы управления и обслуживания ЕТССЭ и выработка скоординированной технической и технологической политики.

5. Для сохранения надежности существующих средств диспетчерского технологического управления и сети связи в переходный период необходимо обеспечение: ремонтно-эксплуатационного обслуживания действующих (старых) систем СДТУ и систем связи ЕТССЭ; планирования и сопровождения вывода из эксплуатации устаревшего оборудования и систем; «бесшовного» перехода к цифровым системам связи.

6. Для повышения эффективности эксплуатационной деятельности и создания условий для реализации стратегических целей эксплуатационной политики ОАО «ФСК ЕЭС» в предприятиях магистральных электрических сетей необходимо определить приоритетные направления: повышение эффективности эксплуатационной деятельности; разработка и пересмотр нормативно-технической документации; повышение квалификации производственного персонала.

7. Для обеспечения надежности управления энергопроизводством МЭС Центра необходимо развивать собственные системы связи – средства диспетчерского и технологического управления.

8. Конвергированные сети связи представляют собой новую и эффективную концепцию построения корпоративных сетей, объединяющую разнородные сетевые трафики, например технологические: телемеханики, релейной защиты и автоматики и офисных приложений, обеспечивающие наилучшие условия транспортировки технологической информации.

9. В МЭС Центра необходима специальная (централизованная) инвестиционная программа развития сети связи, не привязанная только к программам строительства энергообъектов и реконструкции основного технологического оборудования.

## 2. ЦИФРОВЫЕ ИЕРАРХИИ СЕТЕЙ СВЯЗИ

Показаны цифровые иерархии на основе технологий PDH и SDN сетей, метод мультиплексирования, мультисервисная система UMUX, а также основной и универсальный PDH/SDN мультиплексор FOX 515 транспортной сети МЭС Центра.

На современном этапе в филиале ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра с реализацией проектов: «Единая цифровая сеть связи электроэнергетики», «Комплексное техническое перевооружение и реконструкция объектов», «Объекты выдачи мощности АЭС, ГЭС и ТЭС», «Создание центров управления сетями в ПМЭС, «Объекты повышения надежности электроснабжения г. Москвы», «Развитие магистральных сетей» созданы обширные и территориально распределенные гибкие сети связи сложной топологии, построенные на базе современного цифрового транспортного, сетевого, коммутационного, IP и криптографического оборудования ведущих мировых производителей, наработка на отказ которого составляет не менее 10 – 15 лет [4].

Ниже рассмотрим сетевые уровни, технологии стандартов PDH и SDN, мультисервисную систему UMUX и универсальный PDH/SDN мультиплексор FOX 515, широко применяемые в транспортной сети МЭС Центра [19].

### 2.1. СЕТЕВЫЕ УРОВНИ

При планировании и построении современных цифровых сетей связи (ЦСС) обычно различают два сетевых уровня (рис. 2.1):

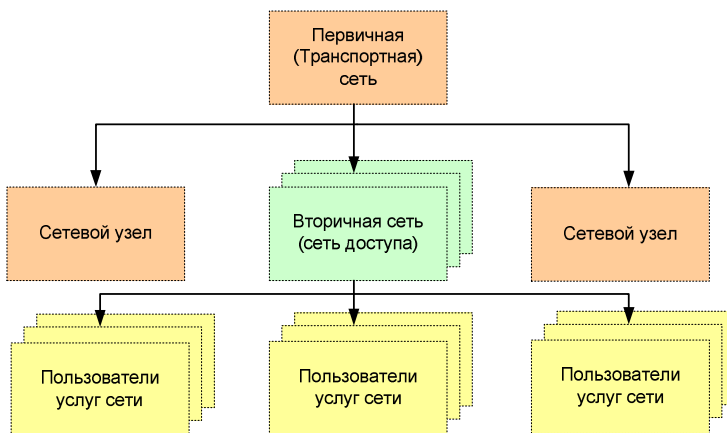


Рис. 2.1. Архитектура современной цифровой сети

– *первичная сеть* – базовая сеть цифровых каналов и трактов, образованная на базе сетевых узлов, сетевых станций коммутации или оконечных устройств первичной сети и соединяющих их линий передачи. Первичную сеть называют также *транспортной сетью*;

– *вторичная сеть* – предназначена для доведения цифровых каналов до пользователя. Вторичную сеть называют также *сетью доступа*.

Базовыми сетевыми технологиями для построения транспортных сетей являются технологии SDH (синхронная цифровая иерархия – СЦИ) и PDH (плезиохронная цифровая иерархия – ПЦИ).

## 2.2. ТЕХНОЛОГИИ СТАНДАРТА PDH И SDH

2.2.1. Технология PDH (*плезио* в переводе с греческого языка означает *почти*) [19]. Разработана в 1960 – 1970 гг. в качестве международного стандарта для передачи речи и данных. PDH в основном оптимизирована под телефонию. Сектор Международного союза электросвязи, разрабатывающий рекомендации в области телекоммуникаций (ITU-T – International Telecommunications Union – Международный телекоммуникационный союз), определил стандарты PDH на основе различных уровней мультиплексирования.

Применяемые в настоящее время схемы цифровых иерархий были разработаны в начале 1980 гг. (рис. 2.2).

*Первая цифровая иерархия* – американский стандарт. Для *первичного цифрового канала* выбрано значение скорости передачи 1544 кбит/с.

*Вторая цифровая иерархия* – японский стандарт. Для *первичного цифрового канала* выбрано значение скорости передачи 1544 кбит/с.

*Третья цифровая иерархия* – европейский стандарт. Для *первичного цифрового канала* выбрано значение скорости передачи 2048 кбит/с.

Рассмотренные цифровые иерархии получили название *плезиохронной цифровой иерархии*. Основными скоростями передачи в плезиохронной цифровой иерархии являются значения 1,544 Мбит/с и 2,048 Мбит/с. Высшими скоростями являются значения 44,736 Мбит/с и 139,264 Мбит/с. Ниже на рис. 2.2 показаны различия в иерархии PDH.

Структура мультиплексирования/демультиплексирования в PDH показана на рис. 2.3. Поток E1 получается мультиплексированием 32 оптических цифровых каналов (ОЦК) в один канал первичной группы со скоростью передачи 2048 кбит/с. Каналы высших уровней иерархии PDH формируются по единой схеме: 4 потока E1 мультиплексируются в поток E2 со скоростью передачи 8448 кбит/с, 4 потока E2 мульти-

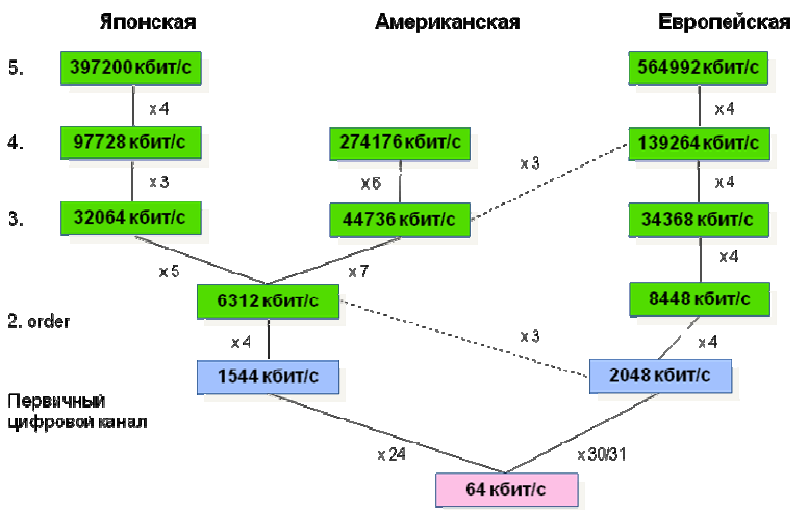


Рис. 2.2. Иерархии PDH: японская, американская, европейская

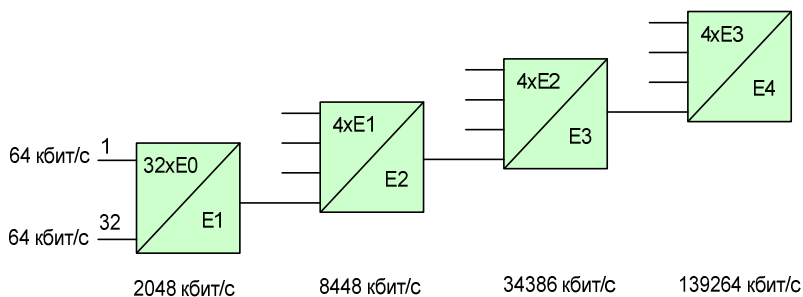


Рис. 2.3. Мультиплексирование/демультиплексирование в PDH

плексируются в поток E3 со скоростью передачи 34 368 кбит/с, 4 потока E3 мультиплексируются в поток E4 со скоростью передачи 139 264 кбит/с. В процессе мультиплексирования осуществляется выравнивание скоростей потоков методом подстановки служебных битов (процедура *стаффинга*).

В результате для выделения канала первичной группы E1 из потоков высших уровней иерархии требуется пошаговое мультиплексирование и демультиплексирование. Основные характеристики интерфейсов ЦСПИ PDH показаны в табл. 2.1.

## 2.1. Характеристики интерфейсов ЦСПИ PDH

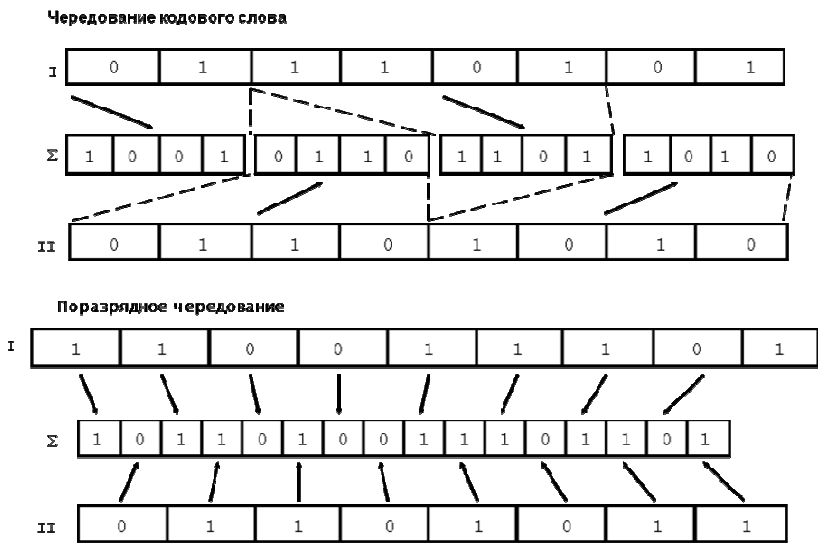
Уровень иерархии	Число каналов ОЦК	Номинальная скорость передачи, кбит/с	Отклонение скорости передачи, ppm	Тип линейного кодирования	Наиболее часто используемые типы кодирования для различных интерфейсов		
					Балансного	Коаксиального	Оптического
E1	30	2048	$\pm 5,0 \times 10^{-5}$	AMI	HDB3		
E2	120	8448	$\pm 3,0 \times 10^{-5}$	HDB3	HDB3	HDB3	
E3	480	34 368	$\pm 2,0 \times 10^{-5}$	HDB3	HDB3	4B3T 2B1Q	5B6B
E4	1920	139 264	$\pm 1,5 \times 10^{-5}$	CMI			5B6B

Методы мультиплексирования (рек. G.703 ITU-T) показаны на рис. 2.4.

Для формирования группового сигнала используют два метода.

1. Чередование кодового слова. Кодовые слова индивидуальных сигналов (т.е. комбинация битов) размещаются друг за другом в импульсной последовательности. Этот метод используется для формирования сигнала со скоростью 2 Мбит/с с периодом цикла 125 мкс. Первоначальные сигналы – синхронные, т.е. их тактовые импульсы совпадают. Это применимо для систем ИКМ-30, где тактовые импульсы отдельных сигналов 64 кбит/с и тактовые импульсы группового сигнала 2 Мбит/с совпадают. В этом случае процесс мультиплексирования ограничен простым параллельно-последовательным преобразованием кодовых слов.



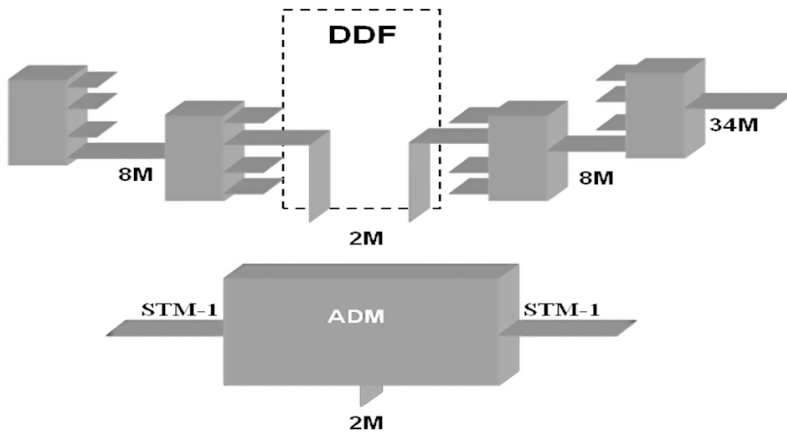


**Рис. 2.4. Методы мультиплексирования**

2. Поразрядное чередование. Этот метод применяется для сигналов со скоростью передачи выше 2 Мбит/с. В этом случае поочередно передается по одному биту каждого отдельного сигнала. Первоначальные сигналы – не синхронные, т.е. их тактовые импульсы исходят из различных источников. Это применяется для мультиплексирования выходных сигналов различных систем ИКМ-30 с их тактовыми импульсами, сформированными в каждой системе автономным способом.

Недостатком плезизохронной цифровой иерархии является то, что переход от одного уровня скоростей к другому происходит последовательно как в прямом, так и в обратном направлениях, что усложняет процесс «распаковки» информации. Передающая и приемные системы всегда взаимодействуют между собой на одном из данных уровней (рис. 2.5).

В многоканальных ЦСПИ используют временное мультиплексирование и разделение каналов. На первом уровне производится синхронное побайтное мультиплексирование ОЦК, имеющих скорость 64 кбит/с. На последующих уровнях иерархии компонентные потоки объединяются в групповой выходной уже не побайтно, а побитно. При этом скорости компонентных потоков выравнивают, вставляя в компонентные потоки с меньшей скоростью специальные биты, которые удаляются на стороне приема при демультимплексировании (процедура положительного стаффинга) с помощью служебного канала в составе группового сигнала.



**Рис. 2.5.** Доступ к трибутарным сигналам

Плезиохронный характер мультиплексирования, затрудняющий ввод и вывод отдельных цифровых каналов в промежуточных узлах сети, является существенным недостатком технологии PDH:

- иерархические циклы PDH имеют малую избыточность. Они не предусматривают создание добавочных каналов, нужных для глубокого контроля качества передачи и управления сетью;
- в PDH нет стандартов на линейные сигналы, недостаточно нормированы дрожания сигнала в аппаратуре PDH.

#### 2.2.2. Доступ к трибутарным сигналам [19]. Особенности PDH:

- в трактах PDH затруднен доступ к субпотокам для вывода и ввода в промежуточных пунктах (требуется многоступенчатое расформирование группового сигнала);
- характеристики ЦСП различных PDH существенно различаются, что затрудняет создание глобальной сети.

Перечисленные недостатки, в конечном итоге, привели к разработке и появлению технологии синхронной цифровой иерархии (СЦИ/SDH).

2.2.3. Технология SDH [19]. Позволяет организовать универсальную транспортную сеть, выполняющую функцию передачи информации, контроля и управления, как сетевым элементом, так и всей сетью в целом. В транспортной сети SDH используется принцип транспортировки цифровых сигналов в стандартных контейнерах, помеченных специальными указателями. Все операции с контейнерами производятся независимо от их содержания и наполнения, чем и достигается прозрачность сети SDH.

Различия между технологиями PDH и SDH.

В технологии PDH осуществляются:

- синхронизация без опорного генератора;
- асинхронное мультиплексирование;
- мультиплексирование бит за битом;
- временная синхронизация с побитовым положительным выравниванием;
- скорость передачи информации до 140 Мбит/с.

В технологии SDH осуществляются:

- синхронизация с опорным генератором в сети;
- синхронное мультиплексирование;
- мультиплексирование байт за байтом;
- временная синхронизация с побайтовым положительным (нулевым) отрицательным выравниванием;
- скорость передачи информации свыше 155 Мбит/с.

2.2.4. Сравнение различных иерархий [19]. Существует несколько иерархических наборов цифровых скоростей передач, или цифровых иерархий, позволяющих довести процесс мультиплексирования до необходимого уровня, дающего требуемое число каналов на выходе. Как указывалось выше, три такие иерархии были разработаны в начале 1980 гг. (рис. 2.6), далее рассмотрим их более подробно.

В первой из них в качестве первичного цифрового потока была выбрана скорость 1544 кбит/с (24 канала по 64 кбит/с). Порожденная скорость 1544 кбит/с давала последовательность вида: 1544–6312–44 736–274 176 кбит/с. Эта иерархия позволяет передавать соответственно 24, 96, 672 и 4032 телефонных каналов.

CEPT	USA	JAPAN
64 кбит/с	64 кбит/с	64 кбит/с
2,048 Мбит/с	1,544 Мбит/с	1,544 Мбит/с
8,448 Мбит/с	6,312 Мбит/с	6,312 Мбит/с
34,368 Мбит/с	44,376 Мбит/с	32,064 Мбит/с
139,264 Мбит/с		139,264 Мбит/с
STM-1		155,520 Мбит/с
STM-4		622,080 Мбит/с
STM-16		2488,320 Мбит/с
STM-64		9953,280 Мбит/с

**Рис. 2.6. Сравнение различных иерархических наборов цифровых скоростей передач**

Во второй, принятой в Японии, используется ряд: 1544–6312–32 064–97 728 кбит/с, что соответствует 24, 96, 480 и 1440 каналам.

В третьей иерархии, принятой в Европе и Южной Америке, в качестве первичной была выбрана скорость 2048 кбит/с, которая давала последовательности: 2048–8448–34 368–139 264–564 992 кбит/с или 30, 120, 480, 1920 и 7680 телефонных каналов.

Указанные иерархии, как указывалось ранее, известны под общим названием «плезиохронная цифровая иерархия» PDH.

В 1986 г. был принят синхронный транспортный модуль STM-1, имеющий скорость передачи 155,52 Мбит/с и позволяющий вместить в себя все фреймы европейской PDH-иерархии, в том числе и фрейм 140 Мбит/с. Кроме того, он хорошо взаимодействовал с американской системой SONET, появившейся немного ранее и использующей в качестве основного сигнала синхронный транспортный сигнал OS1 со скоростью 51,84 Мбит/с ( $51,84 \times 3 = 155,52$  Мбит/с).

Следующие ступени SDH-иерархии соответствуют скоростям 622,080 Мбит/с ( $155,52 \times 4$ ), 2488,32 Мбит/с ( $155,52 \times 16$ ) и 9953,28 Мбит/с ( $155,52 \times 64$ ).

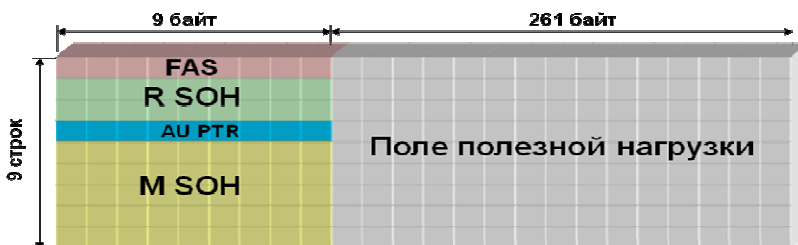
#### 2.2.5. Особенности SDH [19]:

- предусматривает синхронную передачу и мультиплексирование (все сетевые элементы работают от одного тактового источника);
- предусматривает прямое мультиплексирование и прямое демultipлексирование (ввод-вывод) цифровых потоков PDH;
- основана на стандартных оптических и электрических интерфейсах, что обеспечивает совместимость аппаратуры различных производителей;
- позволяет объединить системы PDH европейской и американской иерархии;
- обеспечивает полную совместимость с аппаратурой PDH, АТМ и IP;
- обеспечивает многоуровневое управление и самодиагностику транспортной сети (для управления и передачи служебной информации используются специальные заголовки).

2.2.6. Основные понятия и обозначения технологии SDH [19]. Структура цикла STM-1 и секционного заголовка показаны на рис. 2.7.

Для стандартного телефонного канала период дискретизации равен 125 мкс. Под *кадром* понимают совокупность символов (бит информационного сигнала), переданных за время, равное периоду дискретизации.

Скорость передачи для основного синхронного сигнала SDH – синхронного транспортного модуля STM-1 составляет 155,52 Мбит/с, соответственно каждый кадр должен содержать 19 440 бит. Поскольку



Секционный заголовок

A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	X	X
B1			E1			F1	X	X
B1			D2			D3		
AU Pointer (0)								
B2	B2	B2	K1			K2		
D4			D5			D6		
D7			D8			D9		
D10			D11			D12	X	X
E1	E1	E1	E2	M1		E2	X	X

X : резервные байты

Рис. 2.7. Структура цикла STM-1 и секционного заголовка

основной единицей кадра служит не бит, а *байт*, поэтому в каждом кадре содержится  $19440 : 8 = 2430$  байт.

Кадр представляет собой блок, состоящий из 9 строк и 270 столбцов. При этом каждый столбец имеет ширину 1 байт.

Кадр синхронного транспортного модуля STM-1 как блок данных можно представить в виде некоторого *контейнера* стандартного размера, имеющего сопровождающую документацию – *заголовок*, где собраны все необходимые для управления маршрутизации контейнера поля – параметры, и внутреннюю емкость для размещения информационных символов, которые называют *полезной нагрузкой* (см. рис. 2.7).

Размер кадра синхронного транспортного модуля STM-1 составляет  $9 \times 270 = 2430$  байт. В кадре первые 9 байт содержат *сигнал синхронизации (выравнивания) кадра (или фрейма)* FAS (Frame Alignment Signal). Последующие 261 байт используются для передачи полезной нагрузки.

2.2.6. Функции секционного заголовка SOH (табл. 2.2) [9]:

- цикловая синхронизация (A1, A2);
- байт секции регенерации (J0);
- каналы передачи данных (D1–D3), секции регенерации, 192 кбит/с; (D4–D12) мультиплексные секции, 576 кбит/с;
- служебная связь (E1, E2);
- канал пользователя (F1) 64 кбит/с, прозрачный канал;
- контроль ошибок (B1) регенерационной секции, ВР-8; (B2) мультиплексной секции, ВР-24×N;
- сигнализация автоматического переключения на резерв (K1, K2); автоматическое переключение на резерв и передача MS-AIS, MS-RDI;

## 2.2. Функции секционного заголовка SOH

A1	A1	A1	A2	A2	A2	J0	X	X
B1			E1			F1	X	X
D1			D2			D3		
AU Pointer(s)								
B2	B2	B2	K1			K2		
D4			D5			D6		
D7			D8			D9		
D10			D11			D12	X	X
S1	Z1	Z1	Z2	Z2	M1	E2	X	X

- маркер синхронизации (S1), индикация уровня качества;
- сообщение статуса секции (M1) REI (по методу ВР-24×N).

Аббревиатура мультиплексоров MS означает:

RDI: индикация дефекта на удаленном конце (формирует сигнал FERF – повреждение на приеме дальнего конца);

REI: индикация ошибки дальнего конца (формирует сигнал FEBE, блок с ошибками на дальнем конце).

В заголовке кадра байты A1, A2 отведены под *сигнал синхронизации (выравнивания) кадра* (A1 = 11110110, A2 = 00101000); C1 – байт идентификации наличия кадра STM-1 в кадре STM-N.

Байт B1 используется для проверки на четность с целью обнаружения ошибок в предыдущем кадре на участке регенерационной секции.

Байты E1, E2 используются для организации *служебных каналов связи* со скоростью передачи 64 кбит/с.

Байт F1 зарезервирован для создания канала передачи данных пользователя.

Байты D1–D3 формируют *канал передачи данных DCC* (Data Communication Channel) на участке регенерационной секции со скоростью 192 кбит/с.

Байт B2 используется для проверки на четность с целью обнаружения ошибок в предыдущем кадре на участке мультиплексной секции.

Байты D4–D12 формируют *канал передачи данных DCC* (Data Communication Channel) на участке мультиплексной секции со скоростью 512 кбит/с.

Байты K1, K2 формируют канал *автоматического переключения резервирования APS* (Automatic Protection Switching), а также для передачи сигнала индикации аварийного состояния AIS (Alarm Indication Signal) и для сигнализации ошибок (отказов) на удаленном конце.

Байты Z1, Z2 являются резервными.

2.2.7. Структура мультиплексирования потоков в SDH [9]. На рис. 2.8 показана обобщенная схема мультиплексирования компонентных потоков PDH в технологии SDH (редакция ITU-T 1993 г.).

На схеме представлено как происходит формирование потока STM-1. Структура кадра в технологии SDH формируется с помощью метода *инкапсуляции*, т.е. *последовательных вложений*.

Именно этот метод задает определенную иерархию, когда структура верхнего уровня строится из структур нижнего, а несколько структур одного и того же уровня могут быть объединены в одну более общую структуру. Для этого используется понятие *контейнера*. В него упаковываются сигналы компонентных потоков (каналов доступа), скорость передачи которых соответствует скорости стандартного ряда PDH, начиная с потока E1 и выше.

По *типоразмеру* контейнеры делятся на четыре уровня, соответствующие уровням иерархии PDH. К каждому контейнеру крепится *ярлык* (заголовок), содержащий управляющую информацию для сбора статистики прохождения контейнера. Контейнер с таким ярлыком используется для переноса информации и является *логическим*, а не физическим объектом, поэтому его называют *виртуальным*.

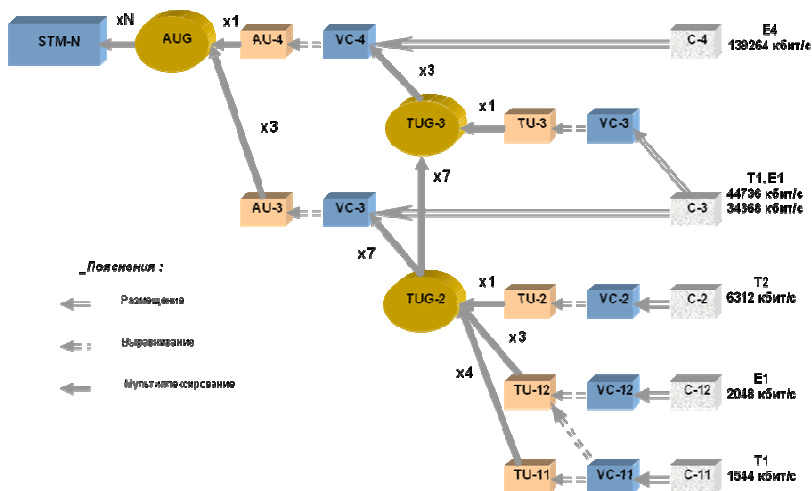


Рис. 2.8. Структура мультиплексирования потоков в SDH

T-n, E-n – стандартные каналы доступа или компонентные потоки уровня n – входные потоки (или входы) SDH мультиплексора, соответствующие стандартному ряду AC и EC иерархии PDH.

C-n – контейнер уровня n – элемент SDH, содержащий компонентный поток E-n, т.е. несущий в себе нагрузку соответствующего уровня иерархии PDH.

TU-n – трибные блоки (субблоки) – элементы структуры мультиплексирования SDH, формат которых определяется формулой: PTR + VC, где PTR – указатель трибного блока, относящийся к соответствующему виртуальному контейнеру.

TUG-n – группа трибных блоков уровня n, формируемая в результате мультиплексирования нескольких трибных блоков.

AU-n – административный блок – элемент структуры мультиплексирования SDH формата PTR + VC-n, где PTR – указатель административного блока, определяющий адрес начала поля полезной нагрузки.

AUG – группа административных блоков – элемент структуры мультиплексирования SDH. Формируется путем мультиплексирования административных блоков AU-3, 4 с различными коэффициентами мультиплексирования. STM-1 – синхронный транспортный модуль – основной элемент структуры мультиплексирования SDH, имеющий формат вида: SOH + PL, где SOH – секционный заголовок, PL – полезная нагрузка, формируемая из группы административных блоков AUG.

2.2.8. Транспортные сегменты в SDH [19]. SDH определяет различные транспортные сегменты (рис. 2.9).

Заголовок секции:

- встроенный канал управления (ECC);
- служебная линия связи (EOW);

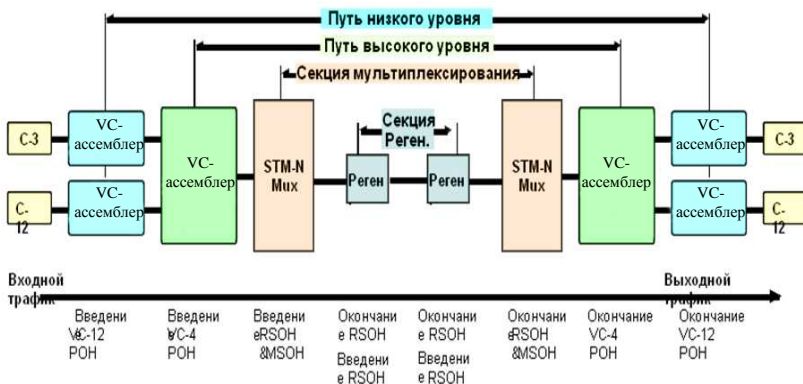


Рис. 2.9. Транспортные сегменты в SDH



- сообщение о статусе синхронизации (SSM);
- контроль функционирования;
- сигнализация защиты трафика.

Заголовок пути:

- сквозной контроль функционирования;
- идентификатор трафика (VC-4);
- индикация удаленного аварийного состояния;
- индикация типа трафика.

Ниже, на рис. 2.10, представлены тракт и секция в SDH. Сигналы STM-N получаются с помощью побайтового мультиплексирования нескольких STM-1 сигналов, т.е. один байт из каждого одиночного STM-1 последовательно чередуется в STM-N. В настоящее время SDH содержит четыре синхронных уровня, скорости передачи которых  $N \times 155,52$  Мбит/с.

Формирование STM-N показано на рис. 2.11.

STM-1  $1 \times 155,52 = 155,52$  Мбит/с.

STM-4  $4 \times 155,52 = 622,08$  Мбит/с.

STM-16  $16 \times 155,52 = 2488,32$  Мбит/с.

STM-64  $64 \times 155,52 = 9953,28$  Мбит/с.

2.2.9. Мультиплексирование 2 Мбит/с в структуру STM-N [19].

В качестве иллюстрации рассмотрим процесс мультиплексирования потока 2 Мбит/с в сигнал STM-N (рис. 2.12).

Все начинается с формирования контейнера C-12. Представим для удобства последующих рассуждений компонентный поток 2,048 Мбит/с в виде цифровой 32-байтовой последовательности, циклически повторяющейся с частотой 8 кГц.

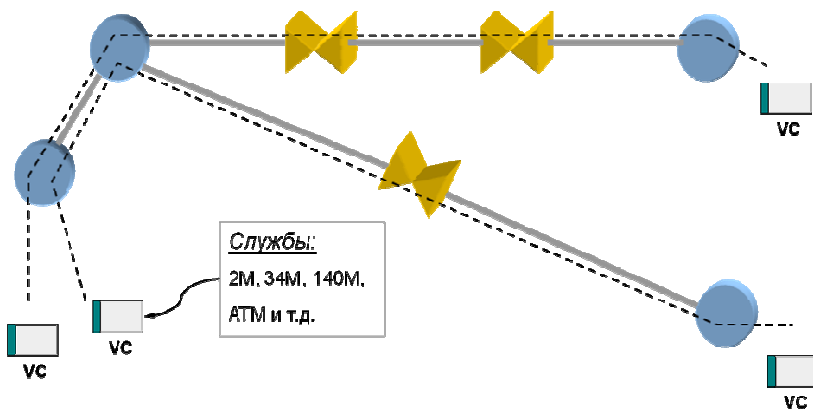


Рис. 2.10. Тракт и секция в SDH

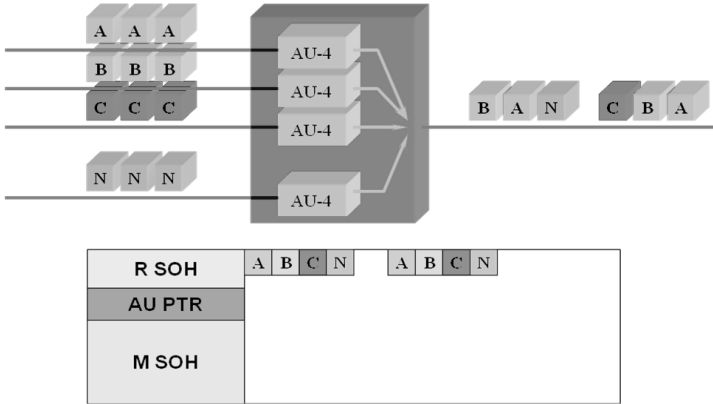


Рис. 2.11. Формирование STM в SDH

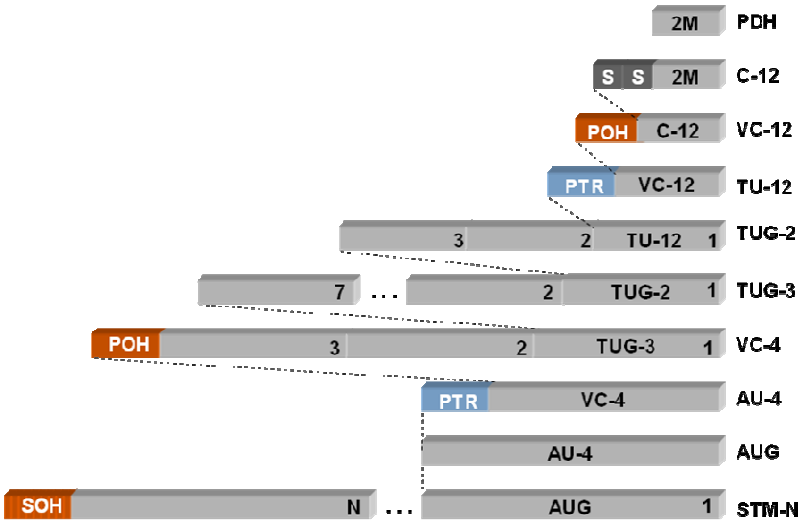


Рис. 2.12. Мультиплексирование 2 Мбит/с в структуру STM-N

К этой последовательности в процессе формирования C-12 возможно добавление выравнивающих бит (биты «s»). Ясно, что емкость C-12 больше 32 байт, фактически она в зависимости от режима преобразования VC-12 в TU-12 будет больше или равна 34 байтам.

Далее к контейнеру C-12 добавляется маршрутный заголовок VC-12 POH длиной в один байт с указанием маршрутной информации. В результате формируется виртуальный контейнер VC-12 размером 35 байт.

Добавление указателя TU-12 длиной в один байт превращает VC-12 в трибный блок TU-12.

Последовательность трех трибных блоков TU-12 в результате байт-мультиплексирования превращается в группу трибных блоков TUG-2 с суммарной длиной последовательности 108 байтов.

Последовательность TUG-2 подвергается повторному байт-мультиплексированию 7:1, в результате которого формируется группа трибных блоков TUG-3 – фрейм длиной  $108 \times 7 = 756$  байт. Фактически к фрейму, состоящему из 84 столбцов, добавляют 2 столбца, содержащие: индикацию нулевого указателя (NPI) в первых трех байтах первого столбца, которая используется для различения групп TUG-3, содержащих блоки TU-3, и блоки TUG-3, содержащие группы TUG-2; остальные байты – байты фиксированного пустого поля (наполнитель). В результате фрейм TUG-3 становится равен  $756 + 18 = 774$  байта.

Мультиплексирование трех TUG-3 и добавление к полученной последовательности маршрутного заголовка POH длиной 9 байтов приводит к формированию виртуального контейнера верхнего уровня VC-4 длиной  $774 \times 3 + 9 = 2331$  байт.

На следующем этапе формируется AU-4 путем добавления указателя AU-4 PTR длиной 9 байтов, который располагается в SOH.

Группу административных блоков AUG получаем путем формального в данном случае мультиплексирования 1:1.

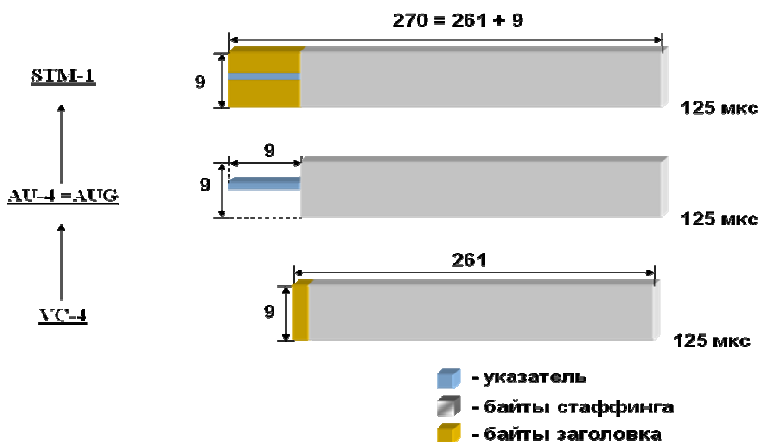
На заключительном этапе N групп AUG побайтно мультиплексируются, добавляется секционный заголовок SOH, состоящий из заголовка регенерационной секции RSOH размером  $3 \times (9 \times N)$  и заголовка мультиплексной секции MSON размером  $5 \times (9 \times N)$ , окончательно формируя синхронный транспортный модуль STM-N.

2.2.10. VC-4 (140 Мбит/с) в STM-1 [9]. На рис. 2.13 показано, как происходит группобразование блока AU-4 через группу AUG с последующим формированием сигнала STM-1. Имеем виртуальный контейнер VC-4, состоящий из 261 столбца и 9 строк. Первый столбец занят под заголовок VC-4 POH, остальные 260 столбцов – полезная нагрузка. По отношению к блоку AU-4 фаза контейнера не фиксирована. Размещение первого байта контейнера VC-4 задается значением указателя, который занимает первые девять байтов ряда 4.

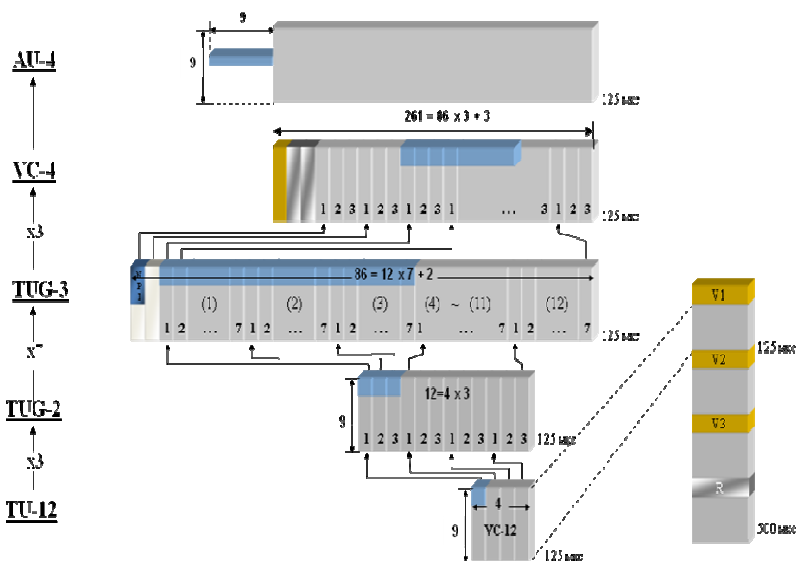
Блок AU-4 находится непосредственно в группе AUG. К сформированной структуре добавляем секционный заголовок и получаем сигнал STM-1.

2.2.11. VC-12 (2Мбит/с) в STM-1 [19]. На рис. 2.14 показан более сложный пример – формирование STM-1 из контейнеров VC-12.

Как видно из рис. 2.14, контейнер VC-12 представляет собой структуру, состоящую из 4 столбцов и 9 строк. Добавление указателя



**Рис. 2.13.** Схема группообразования блока AU-4 через группу AUG с последующим формированием сигнала STM-1



**Рис. 2.14.** Схема формирования STM-1 из контейнеров VC-12

превращает VC-12 в компонентный блок TU-12. Побайтовое мультиплексирование трех TU-12 формирует группу TUG-2. Семь групп TUG-2 плюс два столбца, содержащие индикацию нулевого указателя и вставки пустого поля, образуют группу TUG-3.

Далее три группы TUG-3 мультиплексируются в контейнер VC-4, которым заполняется цикл STM-1. Вся сложность заключается в том, что преобразование виртуального контейнера VC-12 в трибный блок TU-12 и последующее мультиплексирование его в TUG-2 может проходить по двум схемам, или в двух режимах: плавающем и фиксированном. Фиксированный режим использует фиксированное синхронное отображение информации трибных блоков на поле полезной нагрузки контейнера верхнего уровня, что делает ненужным использовать указатели трибных блоков TU-12 PTR. Достоинство этого режима – более простая структура TU или TUG, допускающая более эффективную последующую обработку.

Недостаток: исключается любая несинхронность при транспортировке контейнера. Для обеспечения плавающего режима формируется мультифрейм, состоящий из нескольких (обычно из 4) фреймов, в рамках которого мог бы плавать контейнер нижнего уровня. Остановимся на этом подробнее несколько позднее, а пока отметим, что при создании такого мультифрейма допускаются три варианта отображения трибов на его структуру: асинхронное, бит-синхронное и байт-синхронное.

2.2.12. Назначение указателя [19]. Связь между полезной нагрузкой и циклом STM зарегистрирована в указателе, который по своей сути разграничивает отдельные сигналы в блоке полезной нагрузки (рис. 2.15).

Таким образом, после обработки соответствующего указателя доступ к одиночному каналу пользователя возможен без демultipлексирования STM сигнала. Существуют три типа указателей: AU указатель; TU-3 указатель; TU-1/TU-2 указатель.

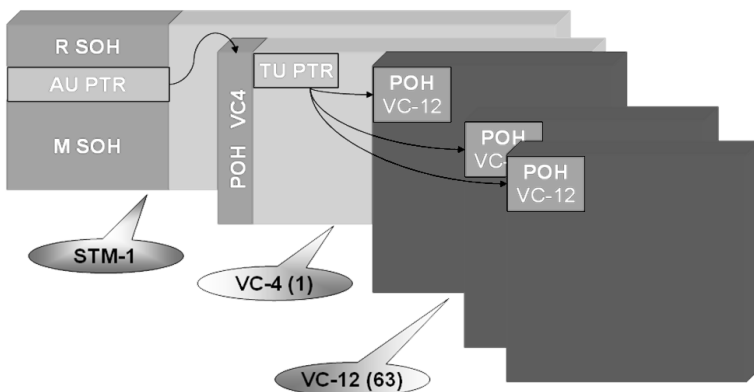


Рис. 2.15. Назначение указателя

2.2.13. Ниже показаны образцы схем представителей семейства SDH [19]: мультиплексор ввода-вывода, синхронный коммутатор и линейный мультиплексор, соответственно рис. 2.16, 2.17 и 2.18.

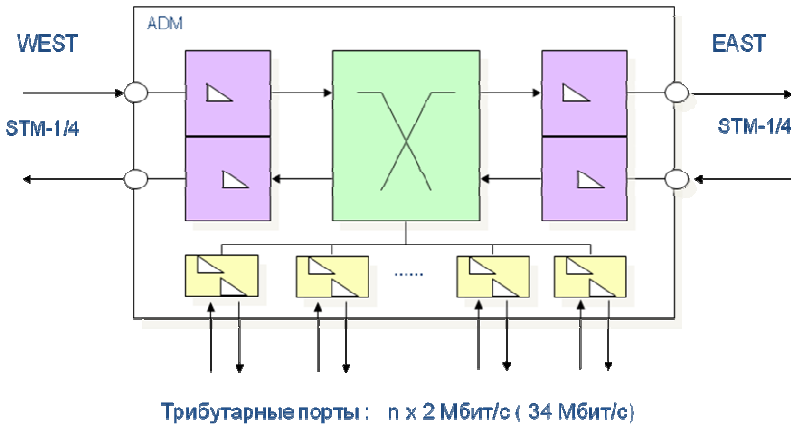


Рис. 2.16. Схема мультиплексора ввода-вывода

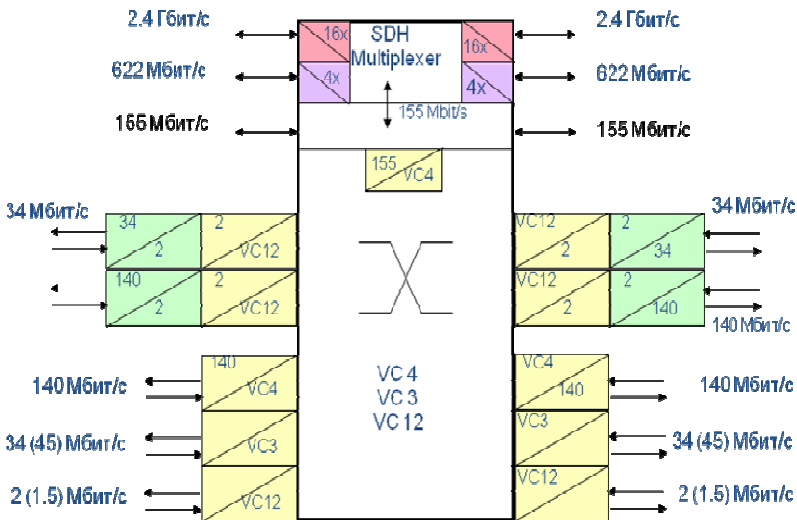


Рис. 2.17. Схема синхронного коммутатора

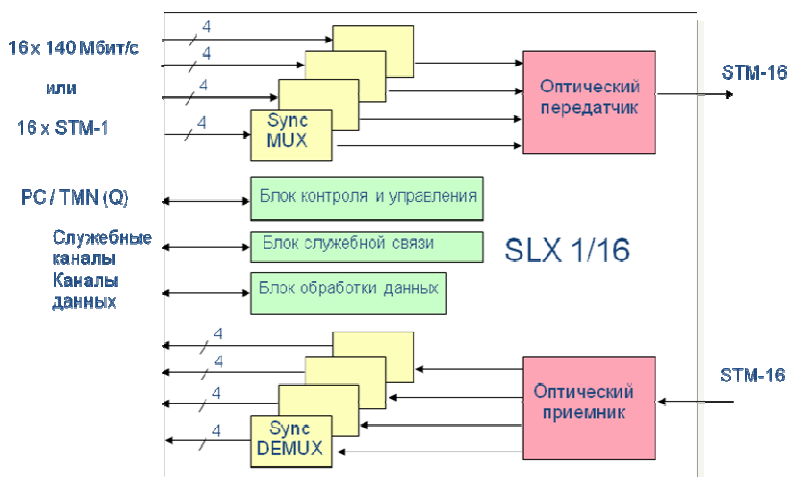


Рис. 2.18. Схема линейного мультиплексора

### 2.3. МУЛЬТИСЕРВИСНАЯ СИСТЕМА UMUX

Семейство UMUX – это мультисервисная система доступа нового поколения, используемая традиционными и частными операторами связи. Платформа обеспечивает многочисленные приложения от предоставления передачи данных и услуг Ethernet до функциональных возможностей VoIP Media Gateway (рис. 2.19) [19].

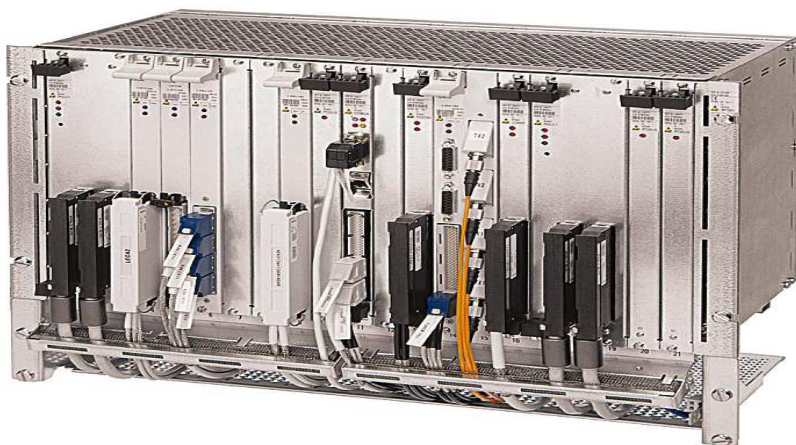


Рис. 2.19. Мультисервисный узел доступа UMUX

Высокая отказоустойчивость и функции резервирования позволяют платформе UMUX выступить системой доступа для электроэнергетической отрасли. UMUX совмещает мультисервисную передачу трафика операторского класса по медным и оптическим линиям с функциями концентрации и мультиплексирования в одном сетевом элементе.

При этом предлагается диапазон услуг от традиционной телефонии, широкополосного доступа в Интернет и организации выделенных каналов до предоставления частных линий Ethernet и передачи голоса по IP (VoIP). Встроенные функции SDH, Gigabit Ethernet и ATM для подключения к опорной сети позволяют интегрировать UMUX в любую часть транспортной сети.

Существует два варианта исполнения платформы UMUX [19]:

1. Платформа UMUX 1500 предназначена для больших узлов доступа, где концентрируется большое количество абонентских оконечаний с последующей передачей в сторону опорной сети.

2. Платформа UMUX 1200 (компактный вариант) разработана для небольших и средних узлов доступа, для установки на площадках BTS (передающая базовая станция) / NodeB или в шкафах вдоль транспортных инфраструктур.

Наличие двух вариантов исполнения, различные CPE и большой набор процессорных и интерфейсных модулей позволяют платформе UMUX быть востребованной в любой сетевой топологии для предоставления любой услуги. Все линейные карты могут использоваться в обоих вариантах, предоставляя максимальную гибкость. Это уменьшает затраты на запасные части и позволяет эффективное «Развитие по потребности».

UMUX предоставляет широкополосный доступ, используя оптический Ethernet и соединения SHDSL. Платформа UMUX совместно с гибко адаптируемыми и интегрированными интерфейсами V5 и MEGACO позволяет решать задачи построения сетей традиционной телефонии и мультисервисных сетей доступа.

2.3.1. Структура платформы UMUX 1500 [19]. UMUX 1500 – это гибкая система доступа с усовершенствованной конструкцией и интегрированными возможностями передачи информации с сетевым элементом и пропускной способностью от средней до большой. Используется в сетях доступа в качестве:

- многоцелевой системы доступа, обладающей большими возможностями обработки трафика, а также функциональными средствами и услугами, такими как обработка сигналов SDH и предоставление услуг V5.x;

- интерфейса между сетью доступа UMUX и магистральной сетью. (Это подразумевает возможность разложить полезную нагрузку



высокоемких интерфейсов (SDH STM-1) до уровня 64 кбит/с и предоставить интерфейсы для нужд конечных пользователей – POTS и ISDN, арендуемые линии передачи данных. В качестве многоцелевой системы доступа UMUX 1500 заполняет брешь, существующую между услугами индивидуального абонента и магистральной сетью связи);

- передающего устройства, которое использует свои интерфейсы STM-1 для интеграции в основанные на SDH сети транспортировки, одновременно обеспечивая функциональные средства кросс-соединения;

- системы абонентского доступа для провайдеров услуг Интернет.

Система UMUX 1500 содержит 19-дюймовый субстатив с 21 посадочным слото-местом для блоков трафика, управления и питания.

Системы UMUX 1500 и UMUX 1200 используют процессорные карты одного и того же типа и обширный набор интегрированных интерфейсов передачи (по волоконно-оптическим и проводным линиям). Эти интерфейсы позволяют подсоединять сетевой элемент непосредственно к магистральной сети или строить такую сеть (на уровне STM-1), используя UMUX 1500 и UMUX 1200.

Интерфейс STM-1 (электрический и оптический S1.1, L1.1, L1.2) – это интерфейс, обладающий высшей пропускной способностью трафика из доступных в системах UMUX 1500 и UMUX 1200. Существует возможность сконфигурировать UMUX 1500 как терминальную систему доступа или как мультиплексор с добавлением и изъятием трибунтарной нагрузки для сигналов SDH STM-1.

Система UMUX 1500 содержит F и Q1-интерфейсы для локального и выносного управленческого доступа. В дополнение UMUX 1500 предоставляет Qx-интерфейс. Это интерфейс Ethernet, позволяющий осуществлять управленческий доступ через LAN.

Ключом к успешной работе сетей связи является интегрированное управление сетью. Управленческие системы UNEM и UCST управляют системой UMUX 1500, равно как и другими членами семейства UMUX (к примеру, UMUX 1200, UMUX 1300 и UMUX 1100(E)) и COLT. Использование UNEM и UCST позволяет управленческим платформам обеспечивать управление и сетями (UNEM), и NE (UCST).

Для выносного управления NE с помощью UCST и UNEM система UMUX 1500 предоставляет ECC (встроенный канал связи). ECC – это высокопроизводительный канал передачи данных с полосой от 16 до 576 кбит/с, который позволяет реализовать разнообразные сети передачи для управленческой связи в системах UMUX 1500 и UMUX 1200. Каналы ECC организованы с использованием стандартных протокольных стеков PPP/IP/TCP или HDLC/IP/TCP и хорошо совместимы с оборудованием других производителей.

2.3.2. Системная архитектура [19]. Структуры шин и кросс-соединение. Для удовлетворения требований, предъявляемых к высо-

коскоростным интерфейсам трафика, к повышенной емкости коммутации внутреннего трафика и к совместимости с существующими блоками трафика, в системе UMUX 1500 были реализованы три различных шины трафика данных: PBUS, UBUS и SBUS.

Шина трафика данных UBUS ранее уже использовалась в мультиплексорах UMUX 1300/1100(E). PBUS и SBUS – новые шины, специально созданные для системы доступа UMUX 1500.

2.3.3. Структура шины PBUS [9]. PBUS – это шинная структура для сигналов трафика различного формата с CAS и без нее. PBUS обеспечивает неблокирующееся кросс-соединение с эквивалентной емкостью в 128×2 Мбит/с для сигналов трафика с CAS и без нее. PBUS допускает кросс-соединение для сигналов трафика 2 Мбит/с и  $n \times 64$  кбит/с.

PBUS обеспечивает цифровые кросс-соединения для уровней DXC 1/1 и 1/0. Кросс-соединение 1/1 системы UMUX 1500 допускает «прозрачную» (в отношении битов и тактовых сигналов) коммутацию структурированных и неструктурированных сигналов 2 Мбит/с. Все типы кросс-соединений могут быть двунаправленными, однонаправленными или широковещательными, а также с функцией резервирования.

PBUS состоит из 32 + 1 физических шинных линий со скоростью передачи 16 384 кбит/с каждая. 32 линии PBUS доступны для сигналов трафика. Остающаяся шинная линия используется для диагностики и других системных целей, но для сигналов трафика (полезной нагрузки) недоступна. Каждая линия PBUS переносит 4×2 Мбит/с сигналов трафика и соответствующую сигнальную информацию в дополнительных TS.

Архитектура PBUS обеспечивает линейный доступ к шине. Любая карта PBUS может считывать с PBUS всю информацию, но производит запись только в одну (или более) из подсоединенных линий PBUS.

Доступ к PBUS устанавливается через специфичную схему приложения, которая, среди прочего, управляет записью в 1 линию PBUS соответствующих сигналов трафика 4×2 Мбит/с и соответствующей сигнальной информации. В каждой карте PBUS, обеспечивающей кросс-соединение и терминирование сигналов трафика, встроен один (или более) ASIC (интегральные схемы специального назначения). Активная схема доступа всегда захватывает все четыре закрепленных за ней трактов сигналов (2 Мбит/с). Число PHAU (высокоскоростной доступ PBUS на блок), присвоенное каждому блоку PBUS, указывает максимальное число доступных для блока тракетов PBUS.

Поскольку кросс-соединение распределяется по PBUS, эти соединения устойчивы к отказам единичных пунктов. В ряде случаев кросс-соединение остается работоспособным даже при выходе из строя процессорной карты. Вследствие этого системы доступа UMUX 1500

обеспечивают высоконадежное и экономичное кросс-соединение. Все новые карты с объемами трафика 2 Мбит/с и выше имеют доступ к PBUS. Это относится также и к некоторым из блоков SBUS. PBUS-интерфейсы таких карт идентичны PBUS-интерфейсам блоков PBUS. PBUS подсоединяется ко всем гнездам субстатива, кроме гнезда 21. Доступная емкость PBUS зависит от типа процессорной карты COBU<X>/COBUQ.

Карты, использующие для своих интерфейсов доступ к PBUS (но без одновременного доступа к SBUS), это карты PBUS.

В качестве примера на рис. 2.20 показана структура распределенной кросс-коммутации шины PBUS мультиплексора FOX 515 системы UMUX 1500, обеспечивающей следующие функции:

- сигналы  $n \times 64$  кбит/с, 2 Мбит/с и VC12 проходят через шину PBUS;
- каждый модуль PBUS содержит часть общей кросс-коммутации;
- установка модулей в работающее устройство;
- отказавший модуль не влияет на трафик других модулей;
- полный доступ к кросс-коммутации в каждом слоте.

2.3.4. Структура шины UBUS [19]. Шина UBUS ранее уже была реализована в системе UMUX 1300/1100(E), она обеспечивает полную пропускную способность шины, равную  $8 \times 2$  Мбит/с. Пропускная способность реализации UBUS в системе UMUX 1500 остается одинаковой и для сигналов с CAS, и для сигналов без нее. Доступ к UBUS осуществляется на уровне  $n \times 64$  кбит/с. UCST R4D и поздние версии EM обеспечивают автоматический режим установления точек подсоединения к UBUS.

Подобно исходной UBUS, реализация этой шины в системе UMUX 1200 подразделена на реализацию левой и правой подшин, состоящих из четырех трактов 2 Мбит/с (с теневой структурой тракта для сигнализации CAS каждая). Физическая компоновка трактов доступа для слото-мест субстатива в системе UMUX 1500 отличается от таковой же в системах UMUX 1300/1100(E):

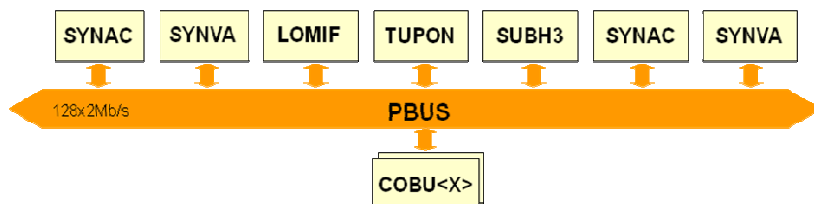


Рис. 2.20. Структура шины PBUS мультиплексора FOX 515 системы UMUX 1500

- доступ к UBUS обеспечивается для 21 слото-места;
- кроссовер «верхнего» и «нижнего» трактов для левой и правой подшин;
- 6 гнезд с доступом ко всем 8 трактам.

UBUS системы UMUX 1500 является дополнением к PBUS. Доступ к PBUS реализуется в блоке управления COBU<X>/COBUQ отдельно для трактов левой и правой подшин. Кросс-соединения трафика UBUS устанавливаются через PBUS. Таким образом, в противоположность процессорной карте CENCA, COBU<X>/COBUQ не обладает функциональными средствами кросс-соединения для UBUS. Число доступных трактов UBUS зависит от реализации процессорной карты.

UBUS не только определяет структуру сигналов трафика, но также содержит стандартные каналы для взаимодействия процессоров, системы синхронизации и шин питания. Все карты, реализованные в системе UMUX 1500, имеют доступ, по меньшей мере, к этому перечню сигналов.

Карты, использующие для своих интерфейсов доступ к UBUS, это карты UBUS.

На рис. 2.21 показана структура шины UBUS мультиплексора FOX 515 системы UMUX 1500, обеспечивающей возможность установки таких модулей, как TUNOS, TEBIT, UNIDA и т.д.

2.3.5. Структура шины SBUS [19]. SBUS переносит сигналы трафика SDH и позволяет производить изъятие/добавление трибутарной нагрузки для фрейма STM-1, равно как и «прозрачное» соединение для трафика интерфейсов STM-1. Структура контейнера VC-4 может задаваться как контейнер VC-3 или VC-12, или некоторое их сочетание. SBUS состоит из шин DROP и ADD (изъятия и добавления), предназначенных для сигналов трафика и некоторых вспомогательных сигналов, например, сигналов синхронизации. Две шины DROP и ADD переносят синхронизированные фреймы TU-12.

Для доступа к SBUS имеются карты двух типов: с магистральными интерфейсами и с интерфейсами доступа. Характер доступа к SBUS у этих двух типов различен:

- магистральные интерфейсы записывают содержимое цикла сигнала STM-1 в подсоединенную шину DROP и считывают сигналы трафика со второй шины DROP и с подсоединенной шины ADD;

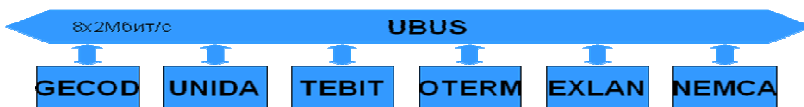


Рис. 2.21. Структура внутренней шины UBUS мультиплексора FOX 515 системы UMUX 1500

– интерфейсы доступа считывают сигналы трафика с любой из двух шин DROP и записывают сигналы трафика в любую из двух шин ADD.

Магистральные интерфейсы STM-1 реализованы в специализированных картах трафика. Они терминируют VC-4 и поставляют в SBUS сигналы SDH с цикловой синхронизацией, такие как структурированные сигналы трафика TU-12 или TUG3. Карты с интерфейсами доступа терминируют поступающие по SBUS структурированные сигналы трафика. Блок SYNAC, например, терминирует VC-12, записывает соответствующие сигналы 2 Мбит/с в PBUS и считывает сигналы 2 Мбит/с из PBUS соответственно. Трафик SDH, коммутируемый в SBUS от одного магистрального интерфейса к другому, не ухудшает внутренней пропускной способности PBUS системы UMUX 1500.

Специфическая структура SBUS позволяет реализовать 2 интерфейса STM-1 для:

– сигналов трафика ADD и DROP VC-12, поступающих в/из циклов двух STM-1;

– кросс-соединения сигналов трафика VC-12 и VC-3 между интерфейсами двух STM-1. При этом, однако, UMUX 1500 не рассматривается как кросс-соединитель SDH.

Как правило, реализуется некоторое сочетание ADD/DROP и кросс-соединения. С помощью интерфейса STM-1 система UMUX 1500 терминирует сигнал STM-1. Субстатив UMUX 1500 предоставляет два независимых сектора SBUS, каждый сегмент обладает описанными выше средствами и возможностями. Карты, обеспечивающие для своих интерфейсов и/или сигналов трафика доступ к SBUS, это карты SBUS. Карты, одновременно обеспечивающие доступ к PBUS и SBUS, это также карты SBUS.

На рис. 2.22 показана структура шины SBUS мультиплексора FOX 515 системы UMUX 1500, обеспечивающей следующие функции:

- SBUS управляет трафиком STM1;
- каждая секция SBUS имеет емкость  $2 \times VC4$ ;
- SYNAC/SYNVA соединяет SBUS и PBUS;
- SYNIO и другие SDH модули обеспечивают оптические и электрические интерфейсы STM-1.

2.3.6. Управление системой [19]. Управление системой UMUX 1500 основано на процессорах процессорной карты и на процессорах периферийных карт (карт трафика). Такая децентрализованная обработка позволяет, если это требуется, контролировать несколько функций (контроль над картами и контроль над интерфейсами трафика). Для связи между процессорной и периферийными картами процессоры используют специализированные каналы связи (mLAN, ICN).

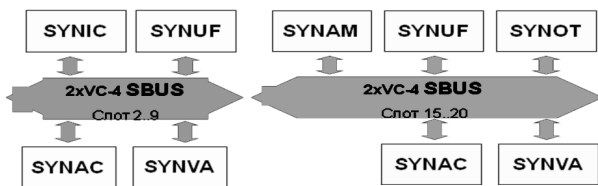


Рис. 2.22. Структура шин SBUS мультиплексора FOX 515

Система управления реализована с использованием процессорных карт COBU<X.> / COBUQ. Вторая карта управления (того же типа) обеспечивает защиту функций управления системой. Централизованное управление обеспечивает:

- управление конфигурированием NE;
- контроль над эксплуатацией системы;
- управленческую связь;
- синхронизацию;
- мониторинг производительности системы.

Карта процессора поддерживает копии ESW, работающего в картах с загружаемым программным обеспечением, и контролирует инсталлирование такого ESW в картах. Вся информация о конфигурации системы/карт хранится и управляется с помощью базы управленческих данных. В случае продублированной процессорной карты управленческая база данных резервной карты постоянно обновляется.

Процессорная карта содержит разнообразные интерфейсы для управленческой связи с EM или EMS и обеспечивает доступ к ECC (доступность зависит от процессорной карты). В этой же карте реализован интерфейс тревожных сигналов (входы и выходы).

Дополнительные функции, такие как доступ к UBUS, синхронизация, диагностика и функции конференцсвязи, также реализованы в процессорной карте, но не являются непосредственной частью централизованного управления. Реализация и доступность этих функций зависят от типа карты COBU<X.> / COBUQ и от версии системы.

2.3.7. Связь между контроллерами [19]. Связь между процессорной картой и процессорами периферийных блоков устанавливается через 2 различные структуры внутренней связи. В зависимости от типа карты, для обслуживания карт PBUS и SBUS используется канал ICN, а для обслуживания блоков UBUS – канал mLAN.

Каналы связи встроены в физические структуры PBUS и UBUS соответственно.

2.3.8. Синхронизация и тактовые сигналы системы [19]. Система UMUX 1500 обеспечивает PETS (PDH Time Stamps) и SETS (SDH Time Stamps) для NE с интерфейсами STM-1. Функция SETS реализо-

вана в магистральных картах STM-1. Основная часть системы синхронизации PETS и блока контроля тактовых сигналов реализована в процессорных картах COBU<X.> / COBUQ.

В системах без приложений SDH используется только PETS. В системах с SDH NE может автономно эксплуатировать PETS и SETS без привязки фазы между синхронизируемым оборудованием SETS и PETS. При необходимости система синхронизации PETS синхронизируется по SETS.

Тактовые сигналы генерируются и распределяются по специализированным линиям синхронизации, встроенным в физическую структуру UBUS, PBUS и SBUS соответственно. Карты трафика обеспечивают тактовые сигналы для линий синхронизации, сконфигурированных во время ввода системы в эксплуатацию. Процессорная карта содержит интерфейсы для ввода тактовых сигналов из внешнего оборудования и их вывода в таковое.

NE может синхронизироваться входящими сигналами трафика (т.е. тактовый сигнал извлекается из сигналов трафика) или сигналами 2 Мбит/с, поступающими на разъемы внешних тактовых сигналов. В случае неисправности обоих источников система доступа синхронизируется своим внутренним источником (источниками) тактовых сигналов. Источник(и) синхронизации: PETS (и SETS). NE обеспечивает второй комплект разъемов тактовых сигналов для синхронизации внешнего оборудования.

Алгоритм выбора и предоставления тактовых сигналов является программируемым. Это позволяет предотвращать потерю синхронизации и избегать возникновения «закольцованной» синхронизации. Система обрабатывает обе разновидности информационных сообщений о синхронизации, используя SSI и SSM.

Система UMUX 1500 поддерживает резервирование PETS и SETS (в зависимости от блока SBUS).

2.3.9. Источник питания [19]. Для работы системе UMUX 1500 требуется только один первичный источник питания. Все напряжения, необходимые для работы системы, генерируются в субстативе.

Источник питания преобразует первичное напряжение во внутреннее напряжение питания +5/-5 В, постоянное, необходимое для работы блоков. Преобразованное напряжение распределяется по блокам с помощью шин питания, встроенных в физическую структуру UBUS. Номинальное первичное напряжение питания составляет – 48 В или – 60 В.

Существует возможность защиты локального источника питания с помощью дополнительных блоков преобразования в конфигурации от  $n + 1$  до подлинной  $1 + 1$ . Все блоки преобразования напряжения реализованы так, чтобы работать с разделением нагрузки.

2.3.10. Карты трафика [19]. Все карты трафика реализованы как периферийные карты и соединяются соответствующими шинами трафика с основной системой UMUX 1500.

Карты трафика подсоединяются к:

- *PBUS*, *обеспечивая*:

– доступ структурированных и неструктурированных сигналов  $n \times 2$  Мбит/с;

– доступ  $n \times 64$  кбит/с ( $n = 1 \dots 31$ ) для структурированных сигналов, завершающихся на карте или картах, поставляющих сигналы трафика  $n \times 64$  кбит/с;

- *UBUS*, *обеспечивая*:

– доступ структурированных сигналов  $n \times 64$  кбит/с ( $n = 1 \dots 31$ ) для структурированных сигналов, завершающихся на картах с пользовательскими интерфейсами или на магистральных картах;

- *SBUS*, *обеспечивая*:

– доступ  $n \times \text{STM-1}$  ( $n = 1, 2$ ) для блоков с составными интерфейсами;

– доступ  $n \times \text{TU-12}$  или  $\text{TUG-3}$  для блоков с функциональными средствами доступа;

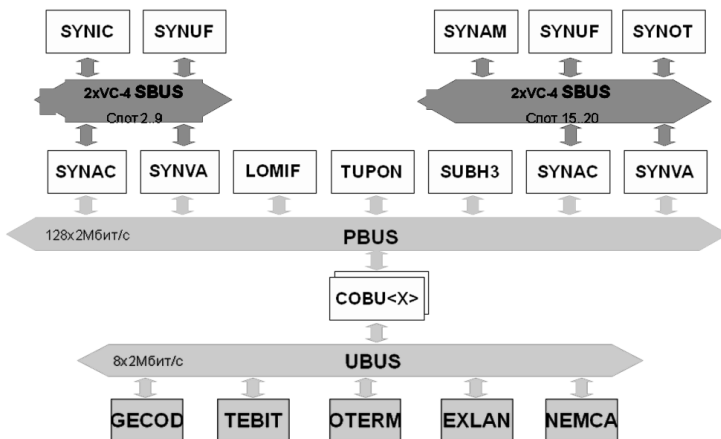
– доступ к *PBUS* (если он имеет место) производится для структурированных или неструктурированных сигналов  $n \times 2$  Мбит/с или для  $\text{TU-12}$ .

2.3.11. Архитектура и карты приложений [19]. Большинство функциональных блоков, которые идентифицируются в блок-схеме, реализованы в картах системы. По большей части, карты связаны с определенным типом интерфейса или функционального блока. Некоторые из карт (например, процессорная карта) обеспечивают физическую платформу для реализации нескольких функциональных блоков.

2.3.12. Процессорные карты [19]. Средства управления системой реализованы в блоке управления. Ниже, на рис. 2.23, показана полная структура шин мультиплексора FOX 515 системы UMUX 1500, реализованная модулем управления  $\text{COBU} \times \text{COBU}_{<x>}$  с обеспечением следующих функций:

- управление синхронизацией;
- база данных системы (конфигурация и программное обеспечение);
- внешний интерфейс управления (F, Qx, ECC);
- IP-маршрутизатор для ECC (встроенного канала управления);
- связь между *UBUS* и *PBUS*;
- конференц-связь речевых каналов ( $\text{COBUV}$ );
- выходы аварийной сигнализации;
- 4 входа внешней аварийной сигнализации;





**Рис. 2.23. Полная структура шин мультиплексора FOX515 системы UMUX 1500**

- встроенный генератор сигналов / анализатор для диагностики каналов связи;

- возможность установки резервного модуля управления.

Например, резервный модуль COBUX мультиплексора FOX обеспечивает:

- переключение на резервный COBUX при отказе основного;
- горячий резерв источника синхронизации;
- неперевосимое переключение;

- при переключении: нет перерыва трафика модулей PBUS (возможны ошибки битов), кратковременный перерыв трафика модулей UBUS (несколько миллисекунд), нет потери данных («зеркальная» база данных).

Процессорные карты являются уникальной особенностью системы UMUX 1500. В зависимости от требуемых функций NE можно выбрать одну из нескольких типов процессорных карт. Процессорная карта содержит высокопроизводительный процессор и использует загружаемое в него программное обеспечение (ESW). Основная задача этой карты – техническое обслуживание базы данных NE (MIB), содержащей информацию о конфигурации NE и обо всем загруженном в него ESW. Как пример, на рис. 2.24 показана загрузка программного обеспечения мультиплексора FOX 515 системы UMUX 1500, которая: необходима в дополнение к загрузке конфигурации; для новых модулей возможна удаленная загрузка программного обеспечения; программное обеспечение хранится в базе данных COBU<x> и загружается во флэш-память модулей при инициализации.

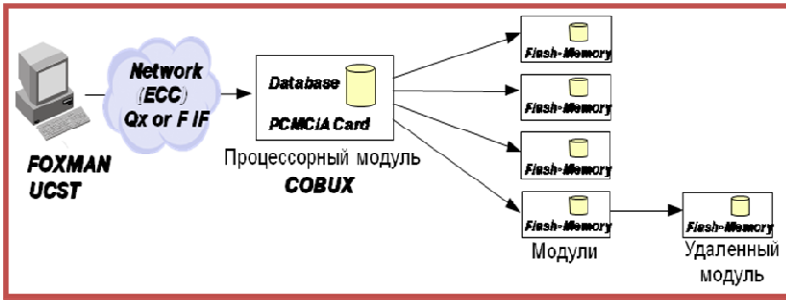


Рис. 2.24. Загрузка программного обеспечения

Кроме того, процессорная карта выполняет важные вспомогательные функции. К их числу относятся (средства и их доступность зависят от выбора процессорной карты):

- управление интерфейсами NE;
- управленческий доступ к ECC (только в COBU<X>);
- выбор источников синхронизации, управление ими и тактовыми сигналами;
- доступ UBUS к PBUS;
- телефонная конференция (только в COBUV);
- функции диагностики (только в COBU<X>);
- PETS;
- интерфейсы сигналов синхронизации (ввод, вывод);
- интерфейсы тревожных сигналов (ввод, вывод).

Система UMUX 1500 допускает реализацию дублирующей процессорной карты. Эта карта работает в режиме горячего резерва. В случае неисправности активной карты дублирующая берет на себя управление системой. Такое переключение может на короткий период времени сказаться на трафике UBUS и PBUS.

Данные о конфигурации и MIB, хранимые в резервной процессорной карте, постоянно обновляются, оставаясь тождественными информации, хранимой в основной процессорной карте. Вследствие этого, резервная процессорная карта может брать на себя управление системой, используя дубликат базы данных.

Переключение вследствие неисправности оборудования является нереверсивным. Можно в любой момент времени произвести его с помощью EM и EMS.

В субстативе системы UMUX 1500 для главной и резервной процессорных карт отводятся два слото-места. Если резервирование не реализуется, одно слото-место может использоваться для другой карты.

2.3.13. Блок (карта) питания [19]. Блок питания преобразует внешнее напряжение  $\pm 48$  В (постоянное) во внутренние напряжения питания NE  $\pm 5$  В (постоянное). Блок питания не имеет специфической шины, поскольку он не осуществляет доступа к внутренним шинам трафика и не обладает собственным процессором.

Система UMUX 1500 позволяет одновременно использовать в субстативе несколько блоков питания в зависимости от реализованных в ней блоков и требований к резервированию блока питания. Блоки питания работают параллельно, разделяя между собой нагрузку. Такое разделение означает, что индивидуальные блоки испытывают меньшую нагрузку, а это повышает надежность. Кроме того, для блоков питания может реализоваться защита в конфигурациях от  $n + 1$  до полной 1+1. Блоки преобразования напряжения могут устанавливаться в любое слото-место субстатива системы UMUX 1500 (для первого блока предпочтительно использовать слото-место 21).

2.3.14. Карты трафика [19]. Карты PBUS имеют прямой доступ к PBUS и, стало быть, к кросс-соединению. Следовательно, карты PBUS обеспечивают емкость трафика, кратную 2 Мбит/с.

Карты PBUS контролируются m-процессором и обладают средством загрузки программного обеспечения (ESW). Программный код карты локально хранится в энергонезависимой стираемой памяти EPROM, в таких случаях как PCON<X> – в энергозависимой программной памяти. В то время как программный код, будучи однажды скопированным в энергонезависимую память, остается всегда доступным для выполнения, энергозависимая память требует перепрограммирования программного кода после всякого отключения питания. Карты PBUS обладают всей полнотой средств управления инвентаризационными данными, связанными с аппаратным и программным обеспечением.

Карты SBUS имеют прямой доступ к SBUS. Некоторые из них имеют также доступ к PBUS и связанному с ней кросс-соединению. Следовательно, карты SBUS обеспечивают емкость трафика, кратную нескольким 2 Мбит/с.

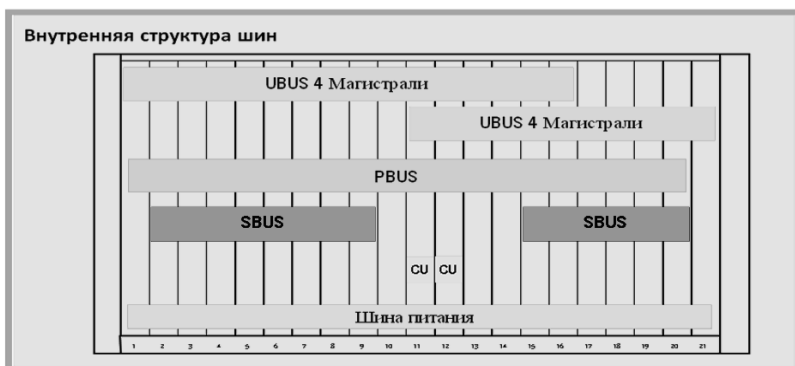
Карты SBUS контролируются m-процессором и обладают средством загрузки программного обеспечения (ESW). Программный код карты локально хранится в энергонезависимом стираемом EPROM или в таких случаях, как SYNI<X>, в энергозависимой программной памяти. В то время как программный код, будучи однажды скопированным в энергонезависимую память, остается всегда доступным для выполнения, энергозависимая память требует перепрограммирования программного кода после всякого отключения питания. Карты SBUS обладают всей полнотой средств управления инвентаризационными данными, связанными с аппаратным и программным обеспечением.

Карты UBUS имеют прямой доступ к UBUS. Хотя карты UBUS не имеют прямого доступа к PBUS, они опосредованно соединяются с PBUS через тракты UBUS, дополняющие PBUS. В зависимости от выбора процессорной карты, полная емкость, доступная для подсоединения UBUS, может составлять 8×2 Мбит/с или половинную от 4×2 Мбит/с. Карты трафика, содержащие магистральные интерфейсы с пропускной способностью в 2 или 4×2 Мбит/с (MEGIF или TUNO<X>), нагружают больше UBUS, чем PBUS. Вследствие реализации UBUS в системе UMUX 1500, большинство карт UBUS, выпущенных вместе с UMUX 1300/1100(E), являются совместимыми и с архитектурой UMUX 1500. Хотя карты UBUS и контролируются m-процессором, ранние их версии не обладают средством загрузки программного обеспечения и предоставляют лишь часть инвентаризационных данных (назначение гнезда, название карты, код аппаратного обеспечения, версия программного обеспечения). Программный код карт локально хранится в PROM. Информация об аппаратном и программном обеспечении блока доступна в тех пределах, в каких их обнаруживает система. Напротив, новое поколение карт UBUS (таких как ISBUQ и ISBUT) обладает и средством загрузки программного обеспечения, и возможностью управления инвентаризационными данными.

2.3.15. Субстатив (шасси) [19]. Субстатив является существенным элементом реализации системы UMUX 1500 и обеспечивает электрическую и механическую инфраструктуру для блоков, являясь интегральной частью концепции EMC системы UMUX 1500 с обеспечением следующих системных функций:

- подача и распределение напряжения первичного источника питания;
- внутреннее распределение преобразованного напряжения (шины питания) и распределение сигналов и подключение слото-мест к UBUS, PBUS и SBUS;
- монтаж/подсоединение и заземление сигнальных кабелей, механический монтаж карт и электрическое подсоединение карт к источнику питания, шинам и сигналам управления;
- EMC и EMD-защита системы и карт и механическая защита карт и компонент;
- инвентаризационные данные по ресурсам субстатива (позиции карт в субстативе) и монтаж NE в аппаратурные шкафы.

Все кабели, подсоединяемые к системе UMUX 1500, фиксируются в кабельном лотке. Хотя кабельный лоток является отдельным блоком (что облегчает монтаж), он – интегральная часть основного механического оборудования системы UMUX 1500. Субстатив всегда монтируется вместе с кабельным лотком. В качестве опции для системы UMUX 1500 поставляются такие дополнительные механические элементы и подсистемы, как теплоотражающий экран, блок вентилятора, адаптеры ETSI и т.п.



**Рис.2.25. Внутренняя структура шин системы UMUX 1500**

2.3.16. Слото-места субстатива [19]. Субстатив системы UMUX 1500 содержит 21 слото-место (рис. 2.25).

С механической точки зрения все слото-места идентичны, однако отличаются в отношении доступа к шинам. Для каждой шины можно идентифицировать сегменты из нескольких слото-мест с идентичным доступом к шине. Реализация карт трафика в слото-местах ограничивается главным образом доступом к шине. Процессорные карты могут устанавливаться только в специальные слото-места, а преобразователь напряжения может устанавливаться в любое слото-место субстатива.

Таким образом, платформа UMUX, совмещающая мультисервисную передачу трафика операторского класса по медным и оптическим линиям с функциями концентрации и мультиплексирования в одном сетевом элементе, одновременно с высокой отказоустойчивостью и функцией резервирования выступает системой доступа для электроэнергетической отрасли.

## **2.4. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ PDH/SDH МУЛЬТИПЛЕКСОР FOX 515**

В настоящее время семейство оптоволоконного оборудования связи FOXNET фирмы ABB расширено новой, высокопроизводительной платформой – мультиплексором FOX 515 платформы UMUX [19]. Мультиплексор FOX 515 предназначен для применения в системах связи: операторов связи, энергокомпаний и т.д.

Мультиплексор FOX 515 является наиболее мощным оборудованием в семействе FOX. Он способен хорошо обрабатывать трафики STM1 и PDH. FOX 515 поставляется с 128×2 Мбит PBUS в качестве полноценной версии и с 40×2 Мбит PBUS в качестве экономичной версии. Последний заменил платформу FOX-U в начале 2001 г., чем обеспечил огромный потенциал для таких приложений, как Интернет,

системы видеонаблюдения и ISDN, и интеграцию традиционных услуг. Мультиплексор FOX 515 хорошо вписывается в платформы существующих FOX +, FOX 20 и FOX-U сетей и построен на телекоммуникационной платформе, объединяющей PDH и SDH сети, и включает все традиционные пользовательские интерфейсы и дополнительные возможности по интеграции: LAN, систем видеонаблюдения, ISDN.

2.4.1. Технические характеристики мультиплексора FOX 515 [19].

1. Имеет высокую емкость кросс-коммутации:

– от 64 кбит/с до STM-4 в одном устройстве, емкость кросс-коммутации: 40×2 Мбит/с (n×64кбит/с и 2 Мбит/с), 128×2 Мбит/с (n×64 кбит/с и 2 Мбит/с). Технология PDH/SDH и системная архитектура FOX-U.

2. Высокая степень резервирования:

– распределенный принцип кросс-коммутации обеспечивает более высокую надежность, дублированный модуль управления COBU(x) и источник питания.

3. Содержит:

– встроенный генератор сигналов/анализатор для проверки каналов сети, модули FOX-U могут быть установлены в FOX 515 (включая ТЕВИТ и ОТЕРМ); загрузки программного обеспечения.

4. Соответствует EMC и Y2K стандартам. Интерфейсы передачи в технологиях:

– SDH – STM-1 (155 Мбит/с), STM-4 (622 Мбит/с); PDH – 8 Мбит/с оптические; xDSL (цифровая абонентская линия) до 2 Мбит/с.

5. Интерфейсы магистральной связи:

– 2 Мбит/с протоколов G.703 / G.704.

6. Интерфейсы речи:

– 2-проводное абонентское окончание, 2-проводное окончание АТС, 2/4-проводной интерфейс звуковой частоты.

7. Интерфейсы данных:

– 10/100 BaseT Ethernet, GbEth, V.36, V.35, V.11, V.28/V24 (RS232), RS485, G.703.

8. Интерфейсы телезащиты:

– оптический, командный.

9. Применение:

– мультиплексор доступа в сетях SDH, собственные PDH и SDH сети FOX 515, xDSL сети.

Отличие мультиплексоров платформы FOX 515 от традиционных мультиплексоров заключается в следующем. Ранее мультиплексоры и терминальное оборудование были связаны с помощью сложной кабельной системы, называемой Цифровая Распределительная Панель (Digital Distribution Frames – DDF) (рис. 2.26). Затем прогресс в техно-

логии сделал возможным создать комплексное оборудование, которое позволило совместить оборудование OLTE (Optical Line Terminating Equipment), т.е. мультиплексор (оконечное оборудование) и цифровой кросс (оптическая линия), получить удаленный доступ для конфигурирования, увеличить надежность системы связи, уменьшить количество оборудования и кабельных соединений, количество требуемых инструментальных средств и обеспечить возможность более легкого управления и поиска неисправностей.

В результате этого мультиплексоры получили развитие до платформы FOX-U (рис. 2.27).

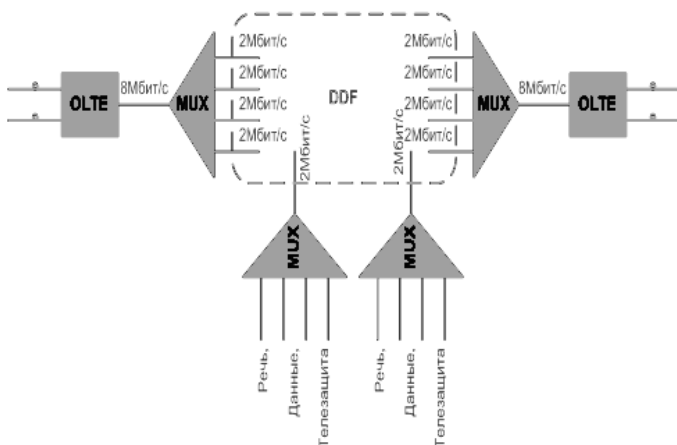


Рис. 2.26. Цифровая распределительная панель DDF

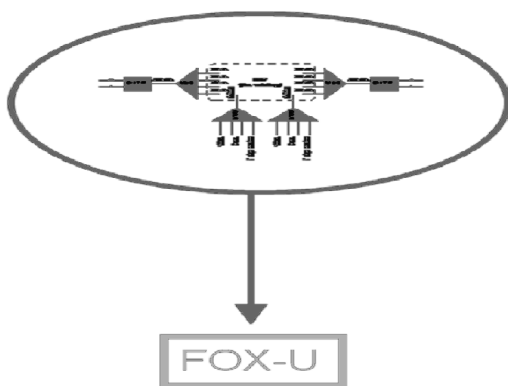


Рис. 2.27. Развитие до платформы FOX-U

В конце XX века компания ITU-T объявила о введении стандарта технологии SDH, снимающей ограничения систем PDH (рис. 2.28):

Вместе с этим, для применения SDH требуются:

- передающие устройства PDH;
- устройства доступа PDH;
- коммутация с помощью цифрового кросса (DDF).

Мультиплексор FOX 515 был одним из первых устройств, который объединял PDH и SDH-сети без применения цифрового кросса DDF, обеспечивая большие емкости передачи в совокупности с такими новыми применениями, как IP-трафик, видеонаблюдение и коммерческий доступ в Интернет (см. рис. 2.29).

Универсальная платформа FOX 515 представлена на рис. 2.30 и:

- производит интегрирование всех видов передающих модулей;
- выполняет функции кросс-коммутации между передающими модулями;
- имеет высокую гибкость и широкий выбор интерфейсов и модулей доступа.

Обоснование выбора технологии PDH в платформе FOX 515:

- самая низкая скорость каналов доступа в SDH – 2 Мбит/с;
- PDH имеет широко распространенные стандарты на передачу речи и данных по каналам 64 кбит/с;
- для кодировки речи и данных вместо введения новых стандартов SDH используются стандарты протоколов G.703/G.704 и множество других стандартов PDH;
- FOX 515 позволяет вводить сигналы доступа стандарта PDH в потоки SDH, так как и PDH, и SDH-модули интегрированы в одном мультиплексоре.

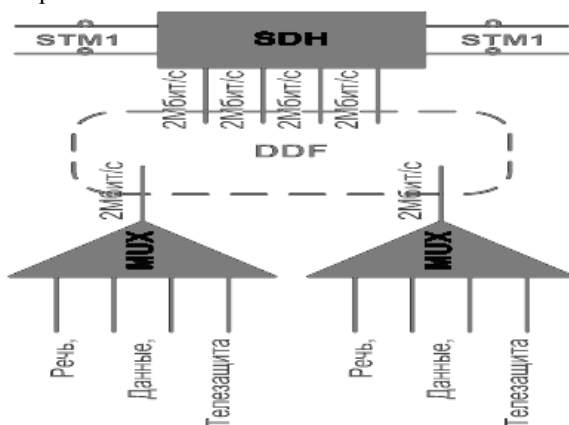


Рис. 2.28. Структура комплексного оборудования для мультиплексоров



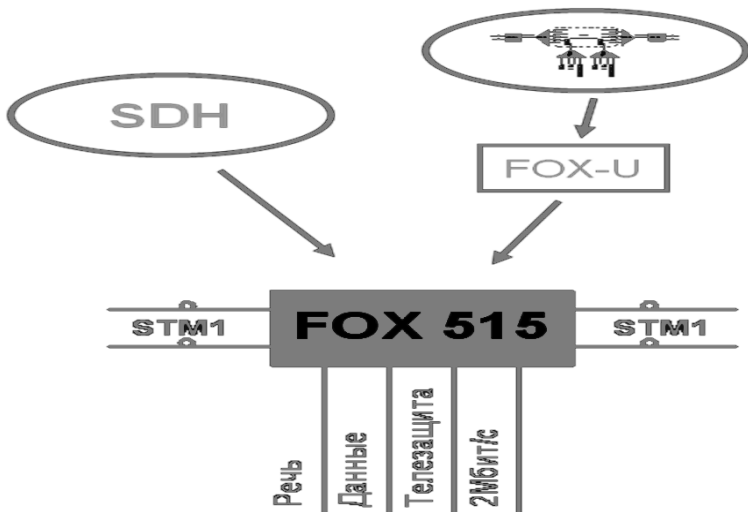


Рис. 2.29. Объединение PDH и SDH-сетей на основе платформы FOX

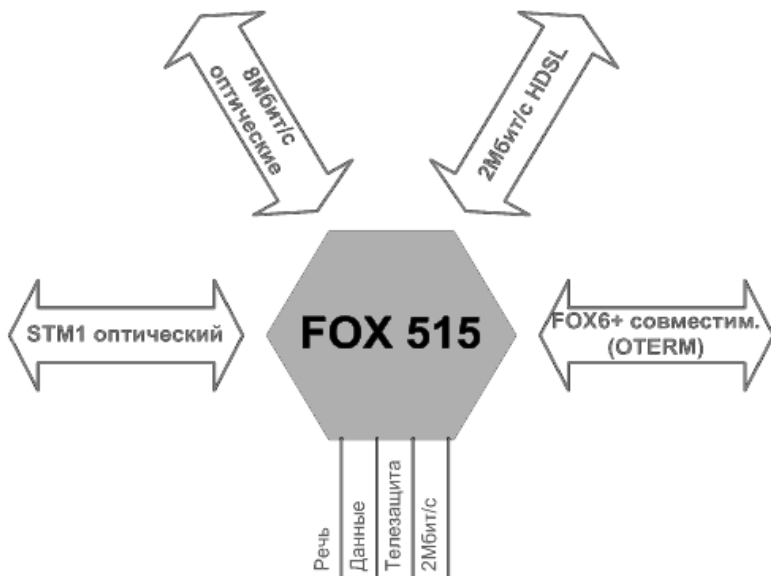


Рис. 2.30. Универсальная платформа FOX 515

Следовательно, телекоммуникационная платформа FOX 515 имеет структуру шин на основе концепции SBUS, которая в свою очередь:

- управляет трафиком STM1;
- каждая секция SBUS имеет емкость  $2 \times VC4$ ;
- модули SYNAC/SYNVA соединяют SBUS и PBUS.

Таким образом, платформа FOX 515 – высокоэффективная телекоммуникационная платформа цифровой первичной сети для энергетических компаний, объединяющая PDH и SDH-технологии в одном оборудовании, обеспечивающая полный спектр современных средств связи, таких как: SDH, ISDN, а также устройств доступа к сети Интернет.

Далее в третьей главе рассмотрим топологию и архитектуру цифровой первичной сети, и обоснование возможного пути выбора сетевой технологии для предприятий МЭС Центра.

## **Выводы**

1. Система PDH использует принцип плезиохронного (или почти синхронного) мультиплексирования, согласно которому для мультиплексирования, например, четырех потоков E1 (2048 кбит/с) в один поток E2 (8448 кбит/с) производится процедура выравнивания тактовых частот приходящих сигналов методом стаффинга. В результате при демультиплексировании необходимо производить пошаговый процесс восстановления исходных каналов. Например, во вторичных сетях цифровой телефонии наиболее распространено использование потока E1. При передаче этого потока по сети PDH в тракте E3 необходимо сначала провести пошаговое мультиплексирование E1–E2–E3, а затем – пошаговое демультиплексирование E3–E2–E1 в каждом пункте выделения канала E1.

2. Недостатки PDH-мультиплексирования: затрудненный ввод/вывод цифровых потоков в промежуточных пунктах; отсутствие средств сетевого автоматического контроля и управления; многоступенчатое восстановление синхронизма, требующего достаточно большого времени и др., – привели к разработке новой системы синхронного мультиплексирования – SDH.

3. В системе SDH производится синхронное мультиплексирование/демультиплексирование, которое позволяет организовать непосредственный доступ к каналам PDH, сигналы с которых передаются в сети SDH. Это довольно важное и простое нововведение в технологии привело к тому, что в целом технология мультиплексирования в сети SDH намного сложнее, чем технология в сети PDH, усилились требо-

вания по синхронизации и параметрам качества среды передачи и системы передачи, а также увеличилось количество параметров, существенных для работы сети. Как следствие, методы эксплуатации и технология измерений SDH намного сложнее аналогичных для PDH.

4. Семейство системы UMUX, совмещающее мультисервисную передачу трафика операторского класса по медным и оптическим линиям с функциями концентрации и мультиплексирования в одном сетевом элементе, одновременно с высокой отказоустойчивостью и функцией резервирования позволяет данной платформе выступить системой доступа для электроэнергетической отрасли.

5. Мультиплексор FOX 515 – высокоэффективная телекоммуникационная платформа для энергетических компаний, объединяющая PDH и SDH-технологии в одном оборудовании, обеспечивающая полный спектр современных средств связи, таких как: SDH, V5.2, ISDN, а также устройств доступа к сети Интернет.

### 3. ЦИФРОВАЯ ПЕРВИЧНАЯ СЕТЬ

---

---

Рассмотрены топология и архитектура первичной сети, а также проведены анализ и обоснование возможного пути выбора сетевой технологии для предприятий МЭС Центра.

Как указывалось выше, *первичной сетью* называется совокупность типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов системы электросвязи, образованная на базе сетевых узлов, сетевых станций, оконечных устройств первичной сети и соединяющих их линий передачи системы электросвязи. Современная первичная сеть связи строится на основе технологии цифровой передачи и использует в качестве средств передачи электрический и оптический кабели, а также радиоэфир.

#### 3.1. ТОПОЛОГИЯ И АРХИТЕКТУРА СЕТИ SDH

*Топология «точка–точка»* [1]. Сегмент сети, связывающий два узла А и В, или топология «точка – точка», является наиболее простым примером базовой топологии SDH-сети. Она может быть реализована с помощью терминальных мультиплексоров (ТМ), как по схеме без резервирования канала приема/передачи, так и по схеме со стопроцентным резервированием типа 1+1, использующей основной и резервный электрические или оптические агрегатные выходы (каналы приема/передачи).

*Топология «последовательная линейная цепь»*. Эта базовая топология используется тогда, когда интенсивность трафика в сети не так велика и существует необходимость ответвлений в ряде точек линии, где могут вводиться каналы доступа. Она может быть представлена либо в виде простой последовательной линейной цепи без резервирования, либо более сложной цепью с резервированием типа 1+1. Последний вариант топологии часто называют «упрощенным кольцом».

*Топология «звезда», реализующая функцию концентратора*. В этой топологии один из удаленных узлов сети, связанный с центром коммутации или узлом сети SDH на центральном кольце, играет роль концентратора, или хаба, где часть трафика может быть выведена на терминалы пользователя, тогда как оставшаяся его часть может быть распределена по другим удаленным узлам.

*Топология «кольцо»*. Эта топология широко используется для построения SDH-сетей первых двух уровней SDH-иерархии (155 и 622 Мбит/с). Основное преимущество этой топологии – легкость организации защиты типа 1+1, благодаря наличию в синхронных мультиплексорах SMUX двух пар оптических каналов приема/передачи: восток – запад, дающих возможность формирования двойного кольца со встречными потоками.

Архитектурные решения при проектировании сети SDH могут быть сформированы на базе использования рассмотренных выше элементарных топологий сети в качестве ее отдельных сегментов, например «радиально-кольцевая архитектура». Другое часто используемое в архитектуре сетей SDH решение – соединение типа «кольцо–кольцо». Кольца в этом соединении могут быть либо одинакового, либо разного уровней иерархии SDH.

*Линейная архитектура для сетей большой протяженности.* Для линейных сетей большой протяженности расстояние между терминальными мультиплексорами больше или много больше того расстояния, которое может быть рекомендовано с точки зрения максимально допустимого затухания волоконно-оптического кабеля. В этом случае на маршруте между терминальными мультиплексорами должны быть установлены кроме мультиплексоров и проходного коммутатора еще и регенераторы для восстановления затухающего оптического сигнала (рис. 3.1).

Эту линейную архитектуру можно представить в виде последовательного соединения ряда секций, специфицированных в рекомендациях ITU-T G.957 и ITU-T G.958. В процессе развития сети SDH разработчики могут использовать ряд решений, характерных для глобальных сетей, таких как формирование своего «остова» (backbone) или магистральной сети в виде ячеистой (mesh) структуры, позволяющей организовать альтернативные (резервные) маршруты, используемые в случае возникновения проблем при маршрутизации виртуальных контейнеров по основному пути.

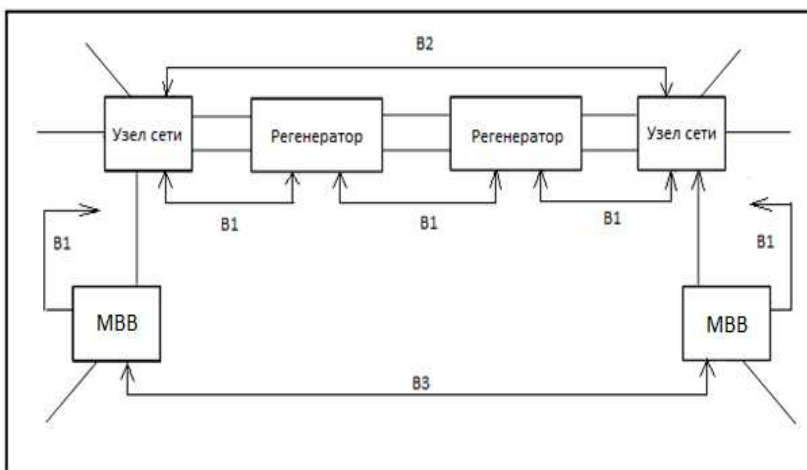


Рис. 3.1. Посекционный мониторинг параметров цифровой передачи

Это наряду с присущим сетям SDH внутренним резервированием позволяет повысить надежность всей сети в целом. Причем при таком резервировании на альтернативных маршрутах могут быть использованы альтернативные среды распространения сигнала.

3.1.1. Методы контроля четности и определения ошибок в системе SDH [1]. В системе SDH используется метод контроля параметров ошибки без отключения канала, который получил название метода контроля четности (Bit Interleaved Parity – BIP). Этот метод, как и CRC, является оценочным, но он дает хорошие результаты при анализе систем передачи SDH. Алгоритм контроля четности достаточно прост (табл. 3.1).

Контроль четности выполняется для конкретного блока данных цикла в пределах групп данных по 2, 8 и 24 бита (BIP-2, BIP-8 и BIP-24 соответственно). Эти группы данных организуются в столбцы, затем для каждого столбца рассчитывается его четность, т.е. четное или нечетное количество единиц в столбце. Результат подсчета передается в виде кодового слова на приемную сторону. На приемной стороне делается аналогичный расчет, сравнивается с результатом и делается вывод о количестве ошибок четности. Результат сравнения передается в направлении, обратном передаче потока.

Метод контроля четности является оценочным, поскольку несколько ошибок могут компенсировать друг друга в смысле контроля четности, однако этот метод дает приемлемый уровень оценки качества цифровой системы передачи. Поскольку технология SDH предусматривает создание секционных заголовков и заголовков пути, метод контроля четности дает возможность тестирования параметров цифровой системы передачи от секции к секции и от начала до конца маршрута. Для этого используются специальные байты в составе заголовков SOH и POH. Например, количество ошибок, обнаруженное в канале ВЗ, передается в байте G1 POH VC-4 следующего цикла.

### 3.1. Алгоритм контроля четности BIP-8

1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	1	0
0	0	1	1	1	0	0	1

### 3.2. Байты, используемые для контроля четности, и участки SDH

Байт	Заголовок	Длина	Секция мониторинга
B1	RSOH	BIP-8	STM-1
B2	MSOH	BIP-24	STM-1 без RSOH
B3	POH VC-3/4	BIP-8	VC-3/4
V5	POH VC-1/2	BIP-2	VC-1/2

В табл. 3.1 представлена схема посекционного мониторинга параметра ошибки BIP. Используемые для контроля четности байты, связанные с ними участки цифровой системы передачи приведены в табл. 3.2.

### 3.2. АНАЛИЗ И ВЫБОР СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В настоящее время развитие сетевых технологий характеризуется в первую очередь бурным развитием технологий построения опорных сетей. При этом основной упор делается на технологии, позволяющие в значительной мере повысить полосу пропускания каналов связи. В последнее время наиболее стремительно развивается технология «плотного волнового мультиплексирования» – DWDM (Dense Wave Division Multiplexing), обещающая терабитные скорости на оптических каналах [1].

Однако многообещающие цифры пропускной способности каналов связи еще не могут служить стопроцентной гарантией успеха сети провайдера или корпоративной сети.

Здесь на первый план выступает пригодность проектируемой сети для решения конкретных бизнес-задач предприятия, будь то провайдер связи или крупная корпорация. Ведь на самом деле задача построения опорной части сети имеет место практически в каждом серьезном проекте, причем к такому проекту обычно предъявляются серьезные требования по надежности, производительности и масштабируемости.

Одна из наиболее важных задач, необходимость решения которой осознает все большее число компаний: не только обслуживать различные типы трафика (голос, видео, данные, телеметрия и т.п.), но и обеспечивать полноценное управление предоставлением различных услуг пользователям. В связи с этим многие производители сетевого и телекоммуникационного оборудования все чаще заявляют о своих решениях, обеспечивающих управление SLA (Service Level Agreement –

Соглашение об уровне обслуживания). Такая поддержка наиболее актуальна в сетях сервис-провайдеров. Здесь простое увеличение пропускной способности каналов на отдельных участках сети не решает поставленных задач, связанных с предоставлением этих сервисов, их учетом и оперативным перераспределением.

Фактически именно решение этого круга проблем, возникающих на стыке технических и экономических аспектов проекта, требует привлечения опытного интегратора, способного не только технически грамотно спроектировать сеть, но и прежде всего предусмотреть решение бизнес-задач предприятия, учесть экономические аспекты проекта и не просто обеспечить передачу информации, но и способствовать коммерческому успеху предприятия. Ведь уже не секрет, что в настоящее время многие коммерческие проекты, особенно в сфере информационных услуг, фактически создаются под новые технологии. В связи с этим влияние правильного выбора технологий просто трудно переоценить.

Кроме того, в любом проекте, особенно большого масштаба, необходимо учитывать ценовые характеристики, сроки окупаемости и другие факторы, теснейшим образом связанные с бизнес-задачами предприятия. Здесь на первый план выходит выбор той или иной сетевой технологии, способной решить все указанные задачи.

В любом крупном проекте (например, корпоративная сеть предприятия) одним из основных вопросов является выбор технологии построения ядра сети. Выбор технологии определит развитие сети на многие годы вперед, во многом диктуя и выбор применяемого оборудования. Кроме того, здесь важен выбор и технологий передачи информации и технологий «физического» уровня, на которые наложена сеть. Именно этот «базовый комплект» в значительной мере обусловит и уровень предоставляемого потенциальным пользователям сервиса.

Заметим, что современный уровень развития технологий построения опорных сетей, предназначенных для передачи больших объемов трафика, примечателен тем, что многие технологии, которые еще недавно считались безнадежно устаревшими, получают второе рождение, а те, которым пророчили широкие перспективы, отходят на второй план. Это еще больше затрудняет выбор.

Важной мировой тенденцией сегодня является доминирующее развитие приложений и сервисов, ориентированных на использование протокола IP. Если еще год назад крупная корпоративная сеть на базе технологии VoIP представлялась сплошной экзотикой, то сегодня это почти рядовое явление. Эту тенденцию признают все ведущие мировые производители оборудования, ориентируя на нее предлагаемые решения. Вследствие этого происходит любопытное явление «ренессанса» традиционных технологий, на которые накладывается IP-сервис.



Технологии построения опорных сетей, переживающие сейчас второе рождение, – это технологии SONET/SDH, с которыми порой безуспешно конкурирует относительно новая технология ATM. При этом предпринимаются попытки совершенствования технологий SDH, примером чего служит технология DPT, разработанная компанией Cisco Systems, Inc.

Другим примером «неумиряющей» технологии является сетевая технология Ethernet, выросшая до Gigabit Ethernet (уже сейчас многие производители заявляют о скорых поставках 10 Gigabit Ethernet), что также позволяет рассматривать ее в качестве реальной альтернативы вышеуказанным технологиям в опорной части сети.

Для такого развития событий есть несколько основных причин.

1. Большинство крупных провайдеров, предоставляющих каналы связи, уже сделали значительные вложения средств в оборудование SONET/SDH, а переход на другие технологии потребует новых значительных инвестиций, не всегда оправданных с точки зрения потенциальных коммерческих преимуществ, которые могут дать новые технологии.

2. Сохранение существующих технологий связано также и с тем, что в значительной мере растет пропускная способность оптических каналов связи, используемых при построении опорных сетей. Такие возможности дают технологии оптического мультиплексирования (DWDM).

3. Оборудование ATM дороже оборудования SDH, сложнее в настройке и обслуживании, причем существует ряд задач, в которых предпочтительнее использовать именно технологии временного мультиплексирования (TDM), которые и применяются в сетях SDH.

4. Протокол IP де-факто является протоколом конечного пользователя практически в любой сети передачи данных, поэтому во многих случаях более выгодно использовать относительно простые решения IP, наложенные на традиционную среду передачи.

Приведенные общие тенденции вовсе не свидетельствуют об однозначном преимуществе той или иной технологии – все должно быть подчинено конкретным требованиям конкретной компании.

3.2.1. Технология SDH [1, 19] предполагает использование метода временного мультиплексирования (TDM) и кросс-коммутации тайм-слотов. При этом оконечное оборудование SDH оперирует потоками E1 (2,048 Мбит/с), к которым подключается клиентское оборудование. Основными устройствами сети являются SDH-мультиплексоры.

Важной особенностью сетей SDH является необходимость синхронизации временных интервалов трафика между всеми элементами сети. Обычно мультиплексор может синхронизироваться с любым внешним сигналом, с опорным тактовым сигналом (PRC) или с собст-

венным внутренним генератором синхронизирующих импульсов. Синхронизация на основе опорного тактового сигнала может распространяться по цепи, в которой находится не более 20 сетевых элементов (G.803).

Выбор источника синхронизации может осуществляться либо автоматически под управлением программы, либо задаваться оператором.

При построении сетей SDH обычно используется топология сети типа «кольцо» с двумя контурами. По одному из контуров передается синхронизирующая и сигнальная информация, по другому – основной трафик. Имеются специальные механизмы резервирования сети на случай выхода из строя одного из контуров. Возможно подключение устройств по топологии «точка–точка», однако в таком случае отказоустойчивость решения будет ниже.

Централизованное управление сетью обеспечивает полный мониторинг состояния каналов и узлов (мультиплексоров). Использование кольцевых топологий создает возможность автоматического переключения каналов при любых аварийных ситуациях на резервный путь. Оборудование SDH предусматривает возможность резервирования линии и основных аппаратных блоков по схеме 1+1, при аварии автоматически переключая трафик на резервное направление. Данное свойство значительно повышает «живучесть» сети и позволяет проводить различного типа технологические работы без перерыва трафика.

Управление конфигурацией сети, отслеживание и регистрация аварийных ситуаций осуществляются программными средствами с единой консоли управления. В функции центральной управляющей системы входят также средства поддержки тестирования каналов и контроля за качеством работы основных блоков мультиплексоров.

Сеть на базе SDH может служить в качестве транспортной сети для большинства существующих технологий высокоскоростной передачи информации по оптическим сетям (в том числе ATM и POS).

Как известно, существующее сегодня оборудование SDH способно передавать информацию со следующими линейными скоростями: 155 Мбит/с (STM-1), 622 Мбит/с (STM-4), 2,5 Гбит/с (STM-16). При этом для подключения пользователям предлагаются интерфейсы E1 – E3.

Функционально мультиплексор SDH имеет два набора интерфейсов: пользовательский и агрегатный. Пользовательский набор отвечает за подключение пользователей, а агрегатный – за создание линейных межузловых соединений.

Данные интерфейсы позволяют создавать следующие базовые топологии: «кольцо», «цепочка» и «точка–точка».

Из указанных базовых элементов складывается топология всей сети мультиплексоров. Сложные сети обычно имеют многоуровневую

структуру. Первый уровень – оборудование доступа пользователей. Этот уровень состоит из оборудования «последней мили» и, как правило, из мультиплексоров STM-1. Оборудование «последней мили» отвечает за доведение сигнала пользователей (чаще – сигнала E1, E3) до мультиплексоров первого уровня. В роли оборудования «последней мили» обычно выступают так называемые оптические модемы, по сути, являющиеся конверторами электрического сигнала в оптический и обратно. Мультиплексоры первого уровня собирают каналы пользователей для дальнейшей транспортировки. Следующий уровень могут составлять мультиплексоры уровня STM-4 и STM-16.

*Основные преимущества технологии SDH:*

- простая технология мультиплексирования/демультиплексирования;
- доступ к низкоскоростным сигналам без необходимости мультиплексирования/демультиплексирования всего высокоскоростного канала. Это позволяет достаточно просто осуществлять подключение клиентского оборудования и производить кросс-коммутацию потоков;
- наличие механизмов резервирования на случай отказов каналов связи или оборудования;
- возможность создания «прозрачных» каналов связи, необходимых для решения определенных задач, например для передачи голосового трафика между выносами АТС или передачи телеметрии;
- возможность наращивания решения;
- совместимость оборудования от различных производителей;
- относительно низкие цены оборудования;
- быстрота настройки и конфигурирования устройств.

*Недостатки технологии SDH:*

- использование одного из каналов полностью под служебный трафик;
- неэффективное использование пропускной способности каналов связи. Сюда относятся как необходимость резервирования полосы на случай отказов, так и особенности технологии TDM, не способной динамически выделять полосу пропускания под различные приложения, а также отсутствие механизмов приоритизации трафика;
- необходимость использовать дополнительное оборудование (зачастую от других производителей), чтобы обеспечить передачу различных типов трафика (данные, голос) по опорной сети.

Следовательно, технологию SDH можно рекомендовать для использования в задачах построения опорных сетей при следующих условиях:

- загрузка каналов далека от предельной;
- имеется необходимость предоставлять «прозрачные» каналы связи, например, для передачи голосового трафика между АТС;

– в коммерческом плане более выгодно и удобно предоставлять клиентам каналы с фиксированной пропускной способностью, а не определять стоимость услуг по количеству переданного трафика и по качеству предоставляемого сервиса.

3.2.2. Технология ATM [1, 19]. Относительно молодая технология ATM, в отличие от традиционных сетевых технологий, ориентирована на соединение. Поэтому перед тем, как передать информацию между пользователями, организуется виртуальный канал, который действует до момента окончания передачи. Это несколько напоминает телефонную сеть, т.е. для каждой взаимодействующей пары пользователей организуется выделенная полоса пропускания с заранее заказанными характеристиками (ширина полосы пропускания, максимальные задержки при передаче и т.д. – такая опция называется QoS Quality of Service и показана ниже). При этом весь разнородный трафик «перемалывается» в 48-байтовые ячейки, к которым добавляются 5-байтовые заголовки.

В настоящий момент поддерживаются скорости передачи в опорной сети 155 и 622 Мбит/с, но существует и оборудование, рассчитанное на передачу 2,4 Гбит/с. Появление более высокоскоростных устройств затрудняется сложностью технологии; кроме того, стоимость такого порта на порядки выше порта DWDM-мультиплексора, что делает подобную систему нерентабельной.

В отличие от технологий, где применяется временное мультиплексирование (TDM), технология ATM позволяет динамически изменять полосу пропускания, используемую под определенный поток, что дает возможность эффективно использовать имеющиеся каналы связи. К тому же, предусмотрен развитый механизм предоставления качественного обслуживания.

Обеспечение режима QoS на 2–3-м уровне модели OSI является коренным отличием технологии ATM от таких сетевых технологий, которые, независимо от ширины полосы пропускания, в принципе не могут предоставлять столь развитые возможности QoS. Это означает, что сегодня ATM является единственной технологией, позволяющей полноценно передавать интегральный трафик (голос, видео, данные), одновременно удовлетворяя совершенно несовместимым требованиям к условиям передачи и жестким условиям в плане загрузки канала связи. Так, например, при передаче голоса или видео в реальном режиме времени очень актуальным становится обеспечение гарантированной полосы пропускания и минимальных временных задержек и потерь ячеек при передаче.

Основными устройствами сети ATM являются ATM-коммутаторы, отвечающие за установление соединения между пользователями и за предоставление им при этом QoS.

Как уже отмечалось выше, организация полноценного ATM-соединения, кроме организации физического канала (например, в 155 Мбит/с), предусматривает еще и выполнение некоторых крайне важных функций, в частности обеспечение QoS.

Перечислим типы QoS, принятые сегодня.

*CBR (Constant Bit Rate)* – выделение канала с фиксированной пропускной способностью и другими параметрами (предельно допустимая задержка при передаче данных и т.д.), заказанными пользователем. Такой вид QoS лучше всего подходит для передачи голоса.

*RT-VBR (Real Time Variable Bit Rate)* – выделение канала с пропускной способностью в пределах коридора (минимум–максимум) и другими параметрами (максимальная задержка при передаче и т.д.), запрошенными пользователем. RT-VBR идеально подходит для передачи видео и голоса. Имеет жесткие требования к задержке при передаче (поскольку предназначается для передачи трафика в режиме реального времени).

*NRT-VBR (Non Real Time Variable Bit Rate)* – VBR с ослабленными требованиями к задержке передачи. NRT-VBR может применяться для передачи видео и голоса, не требующих режима реального времени.

*ABR (Available Bit Rate)* – предоставление пользователю части физического канала, оставшейся невостребованной; причем при установлении соединения пользователь задает максимальную и минимальную скорости передачи. Поскольку ABR не контролирует величину задержек передачи, этот режим рекомендуется применять при передаче данных (т.е. для трафика, не чувствительного к задержке передачи).

*UBR (Unspecified Bit Rate)* – самый низкоприоритетный тип трафика. Не предусматривает гарантированного предоставления пользователю какой-либо полосы пропускания. Все зависит от того, имеется ли возможность предоставления пользователю какого-либо канала.

*UBR+* – модифицированный UBR, дополненный функцией Intelligent Packet Discard (интеллектуальный брак пакета). Это очень существенное дополнение позволяет при потере ячейки (например, при перегрузке) не передавать оставшиеся ячейки из этого же пакета (кроме последней ячейки пакета), так как пакет уже не подлежит восстановлению. Данная операция особенно важна при использовании такого низкоприоритетного режима, как UBR. Следовательно, применение UBR+ позволяет разгрузить физические каналы ATM.

*Основные преимущества технологии ATM:*

- динамическое управление полосой пропускания каналов связи;
- предоставление QoS для различных типов трафика;
- возможности резервирования каналов связи и оборудования;
- возможность интегрирования самых различных типов трафика, включая голос, данные, видео;

- возможность экономии полосы пропускания за счет специальных технологий обработки голосового трафика;
- возможность эмуляции «прозрачных» каналов связи;
- совместимость с технологией FR и предоставление сервисов пользователям FR;
- используя технологию MPLS (Tag Switching), сервис-провайдер, имеющий опорную сеть ATM, может динамически коммутировать трафик IP по опорной сети ATM в реальном масштабе времени. При этом появляется возможность предоставлять необходимый QoS, соотнося уровни приоритизации IP и ATM.

*Недостатки технологии ATM:*

- сложность технологии;
- относительно высокие цены оборудования;
- недостаточная совместимость оборудования от различных производителей;
- в специфических задачах (например, при частой передаче небольших объемов трафика) применение технологии ATM может привести к неоправданно большим задержкам при установлении соединений и к довольно высокому проценту служебной информации, загружающей канал связи.

*Использование технологии ATM при построении опорной сети можно рекомендовать в следующих случаях:*

- загрузка каналов близка к предельной;
- требуется передавать разнородный трафик с предоставлением различных классов обслуживания (голос, данные, видео);
- доля голосового трафика в общей загрузке канала является существенной;
- возможны требования по предоставлению «прозрачных» каналов связи, например для соединения выносов АТС.

3.2.3. Технология DPT [1, 19]. Данная технология в первую очередь ориентирована на провайдеров услуг по передаче IP-трафика, особенно на тех, кто имеет действующую сеть SDH и задумывается о более эффективном использовании каналов.

Рассматриваемая технология является собственной разработкой компании Cisco Systems, Inc. и находится на стадии принятия в качестве международного стандарта. Кроме того, значительное число мировых производителей сетевого оборудования заявили о своей поддержке новой технологии. Сегодня многие провайдеры услуг по передаче данных, как в России, так и за рубежом уже перешли с технологии SDH на технологию DPT.

Технология DPT (высокоскоростная технология динамической передачи IP-пакетов) изначально была предназначена для решения

задач построения нового поколения сетей масштаба города, оптимизированных под передачу пакетов. Технология DPT вобрала в себя основные достоинства современных сетей передачи данных, построенных на базе технологий SDH и Gigabit Ethernet. Одновременно с этим данная технология позволяет создавать новое поколение волоконно-оптических IP-сетей. В таких сетях благодаря снижению протокольной избыточности IP-пакеты передаются наиболее эффективно.

Данная технология ориентирована в первую очередь на провайдеров услуг по передаче данных и позволяет отказаться от промежуточных уровней при передаче IP-трафика по сетям SDH. Основная идея состоит в создании нового стандарта 2-го уровня модели OSI, позволяющего напрямую инкапсулировать пакеты IP в кадры формата SDH. Таким новым MAC-уровнем в технологии DPT является протокол SRP (Spatial Reuse Protocol – пространственный протокол повторного использования), использующий стандартную MAC-адресацию. При этом внедрение новой технологии облегчается из-за того, что она позволяет использовать оптическую кабельную инфраструктуру, аналогичную SDH.

В качестве устройств опорной сети, поддерживающих технологию DPT, компания Cisco предлагает сегодня линейку старших маршрутизаторов (7200, 7500, 12 000), которые могут оснащаться соответствующими интерфейсными модулями.

При работе устройств используются два основных механизма. Механизм равномерной загрузки каналов (fairness algorithm – алгоритм справедливости) позволяет независимым образом использовать пропускную способность каналов связи на различных участках кольца. Механизм замыкания каналов необходим в случае отказов каналов или устройств (Intelligent Protection Switching, IPS – интеллектуальное переключение защиты).

Предполагается, что сети, построенные на базе технологии DPT, имеют кольцевую топологию, хотя технология допускает и использование подключения типа «точка–точка». Узлы в кольце объединяются высокоскоростными волоконно-оптическими каналами связи на скоростях 155/622/2400 Мбит/с. Специализированный протокол IPS обеспечивает отказоустойчивую работу сети при выходе из строя одного из узлов в кольце или при обрыве магистральной линии связи. Технология DPT обеспечивает такой уровень защиты от сбоя в сети, который аналогичен традиционным системам SDH, – при обрыве магистрального канала связи переход на альтернативный маршрут происходит менее чем за 50 мс. При этом не происходит перестройка таблиц маршрутизации в пограничных маршрутизаторах опорной сети.

В то же время технология DPT позволяет использовать всю пропускную способность опорной сети (в отличие от технологии SDH,

реализующей резервирование пропускной способности в сети на случай сбоя). Кроме того, специальные механизмы, реализованные в данной технологии, обеспечивают необходимый уровень приоритизации и статистического мультиплексирования пакетов.

*Основные преимущества технологии DPT:*

- более полное (по сравнению с TDM-технологиями) использование полосы пропускания – за счет применения пакетной технологии;
- выделение меньшей части полосы пропускания под резервирование по сравнению с SDH;

- возможность построения высокоскоростной сети передачи пакетов (IP-сеть) без наложения дополнительных промежуточных протоколов 2-го уровня модели OSI, что также повышает эффективность использования каналов и позволяет отказаться от дополнительного оборудования, обеспечивающего интеграцию данных и голоса при передаче в опорную часть сети;

- возможность напрямую организовать сервис VoIP;

- использование технологии MPLS позволяет осуществлять высокоскоростную доставку пакетов с требуемым качеством обслуживания и высокой степенью защиты информации;

- наличие пространственного протокола повторного использования SRP позволяет вести одновременный обмен данными между любыми узлами в сети, т.е. имеется возможность загрузки различных участков одновременно;

- вся обработка транзитного трафика осуществляется прямо на интерфейсном модуле; при этом только трафик, предназначенный для конкретного узла, обрабатывается центральным процессором узлового маршрутизатора, что снижает загрузку маршрутизатора;

- возможность приоритизации трафика (по две очереди в буферной памяти на интерфейсных модулях) и возможность задавать соответствие с очередями в буферной памяти маршрутизатора;

- резервирование каналов связи и оборудования (включая блоки питания, управляющие модули).

*Недостатки технологии DPT:*

- невозможность организации «прозрачных» каналов;

- менее развитые возможности приоритизации трафика по сравнению с ATM;

- несовместимость с оборудованием других производителей.

Применение технологии DPT для построения опорной части сети можно рекомендовать в первую очередь для сервис-провайдера, предоставляющего услуги по передаче трафика в IP-сетях; при этом передача голосового трафика в данной сети будет возможна только в виде VoIP.



3.2.4. Технология Gigabit Ethernet [1, 19]. Более всего данная технология востребована при построении опорной части крупной корпоративной сети.

Стремительное увеличение использования Web-технологий в сочетании с наличием большого числа пользователей, которые работают с традиционными приложениями типа передачи файлов, электронной почты и т.п., приводит не только к росту потоков данных, но и к иному перераспределению этих потоков между ЛВС и опорными сетями.

Большая часть потоков данных пересылается теперь не между сервером и рабочей станцией, как это было раньше, а идет по опорной сети до централизованно установленных серверов. Кроме того, необходимость увеличения полосы пропускания связана еще и с такими факторами, как рост мощности процессоров ПК у конечных пользователей, необходимость работы с мощными и сложными прикладными программами, увеличение размеров пересылаемых файлов, передача видео и голоса.

До сих пор из всех сетевых протоколов Ethernet остается самым распространенным, а с появлением технологии Fast Ethernet, которая позволила повысить полосу пропускания с 10 до 100 Мбит/с, область применения Ethernet расширилась еще больше. Поэтому естественной выглядит попытка увеличить производительность, обеспечивая при этом преемственность с широко распространенной технологией Ethernet.

Gigabit Ethernet предлагает дальнейшее увеличение полосы пропускания на основе самой распространенной на сегодняшний день сетевой технологии. Уже очень скоро на рынке можно будет ожидать появления устройств, поддерживающих 10 Gigabit Ethernet.

В связи с этим вполне естественно выглядят проекты, где технология Gigabit Ethernet используется для построения опорной части сети. Такое решение является наиболее экономичным, поскольку позволяет отказаться от специального каналообразующего оборудования и использовать в качестве опорных устройств корпоративной сети центральные маршрутизирующие коммутаторы, используемые в ЛВС узлов.

Это позволяет достичь приемлемой степени отказоустойчивости и обеспечить пропускную способность оптических каналов связи на уровне 2 Гбит/с (с учетом полного дуплекса).

Восстановление сети в случае отказов отдельных устройств будет осуществляться за счет соответствующих алгоритмов и протоколов маршрутизирующих коммутаторов. Однако такое решение имеет следующие функциональные особенности, которые необходимо учитывать:

- для подключения сторонних организаций с целью предоставления услуг по транспорту трафика необходимы специальные меры по защите информационных ресурсов ЛВС узлов; при этом потребуется установка соответствующего дополнительного оборудования;
- достаточно сложно проводить дифференцированную политику безопасности для различных участков сети; возможным решением здесь является использование технологии MPLS;
- возникнут сложности в отношении учета трафика при предоставлении услуг сторонним организациям;
- масштабируемость опорного участка сети будет иметь значительные ограничения, связанные с работой маршрутизирующих протоколов на коммутаторах опорных узлов и с количеством узлов в опорной части сети. Кроме того, в значительной мере возрастет время восстановления сети при отказах;
- передача мультисервисного трафика может осуществляться за счет соответствующих технологий по IP.

Исходя из вышеперечисленных особенностей следует, что такое решение наиболее оправданно для построения опорной части крупной корпоративной сети.

3.2.5. Типовые задачи для разных технологий. В заключение приведем несколько примеров, иллюстрирующих наиболее целесообразное применение той или иной технологии. Заметим сразу, что приведенные ниже примеры нельзя рассматривать как однозначные рекомендации по проектированию сетей.

*Построение корпоративной вычислительной сети (КВС) крупной предприятия* или завода (несколько объектов с крупными ЛВС, территориальная удаленность на расстояние до нескольких километров, собственная территория). Решаемые бизнес-задачи: система интегрированного управления предприятием, офисные приложения, базы данных, бухгалтерия, АСУ ТП.

Обычным условием для предприятия является наличие отдельной инфраструктуры для «классической» телефонии и для системы передачи данных, поэтому интеграция голоса и данных в подобной задаче может рассматриваться только как потенциальная возможность создания резервных систем пакетной телефонии. Здесь также не предъявляются жесткие требования по созданию высококачественных систем передачи видео по СПД. Кроме того, к системе не предъявляются и повышенные требования к резервированию (т.е. не нормируются ни время восстановления при отказах, ни наработка устройств на отказ и т.п.) – в системе должно быть предусмотрено лишь резервирование основных каналов и устройств, отказ которых критичен для работы сети в целом.

Для построения опорной части сети используются собственные вновь прокладываемые оптические каналы связи. Коммерческое использование сети не предусматривается. Наиболее подходящим решением этой типовой задачи является использование технологии Gigabit Ethernet с распределенной схемой маршрутизации; примерная топология такой сети отображена на рис. 3.2.

Такое решение будет наиболее экономичным, поскольку не потребует специальных устройств для сопряжения ЛВС разных объектов и опорной части сети, позволит обеспечить приемлемый уровень отказоустойчивости и решить все указанные выше бизнес-задачи.

В качестве дальнейших функций можно рекомендовать внедрение IP-телефонии (в качестве резервной или на тех объектах, где трудно проложить дополнительную кабельную инфраструктуру) и IP-видеовещания и/или видеоконференций.

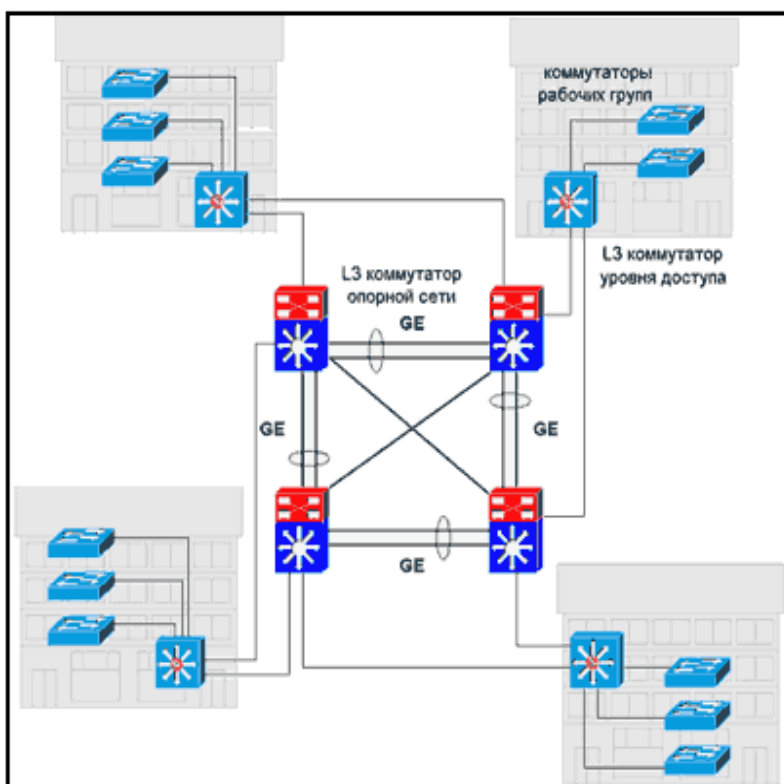


Рис. 3.2. Технология Gigabit Ethernet с распределенной схемой маршрутизации

Для «градообразующего» предприятия в дополнение к тому, что решаются все вышеперечисленные задачи, в построении такой системы есть и свои особенности:

- обычно помимо объектов предприятия на территории города (расстояние до нескольких десятков километров) необходимо предусмотреть подключение достаточного количества удаленных дочерних предприятий по всему району;

- оптическое кольцо прокладывается по городу с целью обязательной интеграции системы передачи данных и организации системы «классической» телефонии для своих объектов;

- как правило, решаются задачи сопряжения с существующими системами связи, использующими TDM-технологии (например, радиорелейные линии);

- собственные объемы трафика невелики, а планируемая нагрузка опорной сети далека от предельной;

- в дополнение к решению собственных бизнес-задач предприятие планирует заниматься предоставлением каналов связи в аренду;

- к опорной части сети такого предприятия предъявляются повышенные требования по надежности.

Для построения опорной сети с учетом задач указанного предприятия и приведенных выше особенностей технологии целесообразно применить технологию SDH.

Для провайдера связи, предоставляющего сервисы IP, общие требования к решению можно изложить следующим образом:

- строится новое оптическое кольцо либо используется существующее кольцо SDH;

- в качестве основных предоставляемых сервисов выбираются сервисы по передаче IP-трафика (передача IP-трафика, доступ в Интернет, предоставление услуг IP-телефонии и т.п.);

- предоставление «прозрачных» каналов связи или услуг по передаче «классического» телефонного трафика не планируется;

- к опорной части сети предъявляются достаточно жесткие требования по отказоустойчивости;

- имеются требования по разграничению уровней сервиса (SLA) для разных типов пользователей и разных типов трафика.

Рассмотренным бизнес-задачам наиболее полно соответствует технология DPT, которая обладает возможностью использовать существующие оптические кольца, решает все указанные задачи (рекомендуется также дополнительно использовать MPLS для гибкого предоставления сервисов). При этом вся доступная полоса пропускания будет использоваться максимально эффективно; имеются специальные механизмы обеспечения отказоустойчивости на уровне традиционных SDH-систем. Типичная технология сети DPT приведена на рис. 3.3 и обеспечивает возможность:

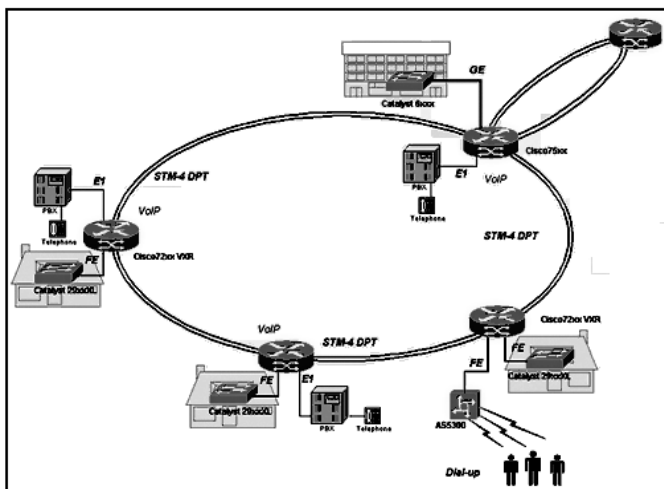


Рис. 3.3. Технология сети DPT

- подключения клиентов по Frame Relay и ATM;
- предоставления клиентам «прозрачных» каналов связи и использования «классических» телефонных систем, например возможность подключения выносов АТС;
- предоставления широкого спектра классов обслуживания трафика, например использования высококачественных видеоконференций и т.п.

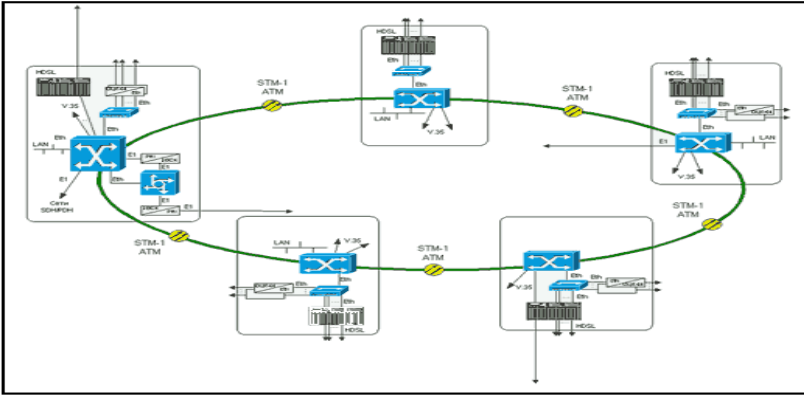
*Для крупного провайдера связи, предоставляющего максимально широкий спектр услуг, кроме перечисленных в предыдущем решении задач и требований к системе, важны следующие дополнительные требования:*

- оптимизация использования имеющейся полосы пропускания опорной части сети;
- для решения такой задачи наиболее полно подойдет технология ATM, типичная топология сети которой приведена на рис. 3.4.

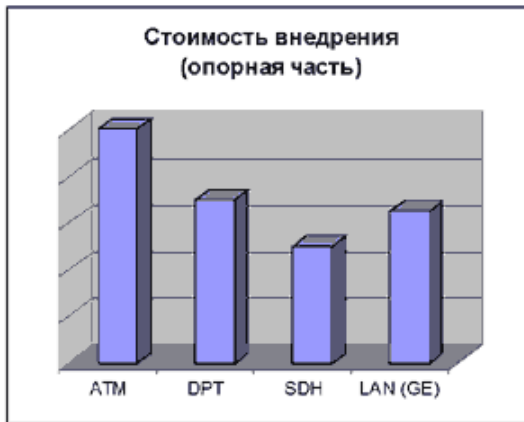
*Стоимость проекта.* Если сравнивать стоимость реализации каналообразующей, т.е. опорной части сети для внедрения того или иного типа мультисервисной сети, то корректно будет сравнить вышеуказанные технологии: ATM (сюда же можно включить и технологию FR как технологию доступа), SDH, DPT, Gigabit Ethernet.

Сравнительная стоимость внедрения приведена на рис. 3.5.

Таким образом, предложенный обзор показывает некоторый круг проблем, возникающих при внедрении серьезных проектов мультисервисных сетей, например, таких как построение корпоративных сетей связи предприятий МЭС Центра.



**Рис. 3.4. Технология ATM**



**Рис. 3.5. Сравнительная стоимость технологий ATM, DPT, SDH и LAN**

Внедрение подобных решений требует оценки целого ряда стоимостных и функциональных параметров будущего решения. Необходимо крайне взвешенно подходить к установлению текущих и перспективных задач, которые требуется решить. Здесь немаловажное значение может иметь опыт крупного системного специалиста, способного произвести обследование существующей инфраструктуры, выявить реальные задачи и потребности, разработать и внедрить именно то решение, которое будет не только соответствовать основным задачам предприятия, но и позволит с максимальной экономической эффективностью использовать все преимущества мультисервисных технологий.

### 3.3. ТЕОРИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

3.3.1. Закон оптики [14, 19]. В оптоволоконной технологии используется волновая теория света, т.е. свет рассматривается как электромагнитная волна определенной длины. Для ее транспортировки используются изолированные оптически прозрачные среды. В однородной среде электромагнитная волна распространяется прямолинейно, однако на границе изменения плотности среды ее направление и качественный состав меняются. Рассмотрим упрощенный вариант с двумя граничащими средами с разной плотностью (рис. 3.6).

Распространяясь в одной из них, луч может достигать поверхности другой под некоторым углом  $a$  (к нормали поверхности). При этом волна частично отражается в среду, из которой пришла, под углом  $b$  и частично проникает в новую среду в измененном направлении под углом  $c$ .

Согласно физическим законам распространения света угол падения луча равен углу отражения, т.е.  $a = b$ . Если обозначить величину плотности сред как  $n_1$  и  $n_2$ , то угол преломления  $c$  находится из соотношения

$$n_1 \sin a = n_2 \sin c.$$

Эффект преломления света может отсутствовать, т.е. возможна ситуация полного отражения света. Для этого достаточно, чтобы угол  $c$  был хотя бы нулевым. Трансформируя выражение, получаем достаточное условие полного отражения света:  $\sin a = n_2 / n_1$ . Именно за счет данного эффекта в современных оптоволоконных технологиях удается управлять распространением света в требуемой среде.

3.3.2. Принцип передачи по оптическому волокну. В качестве оптического передатчика обычно используется светоизлучающий лазерный диод ЛД, который преобразует электрический цифровой сигнал в оптический (рис. 3.7) [14, 19].

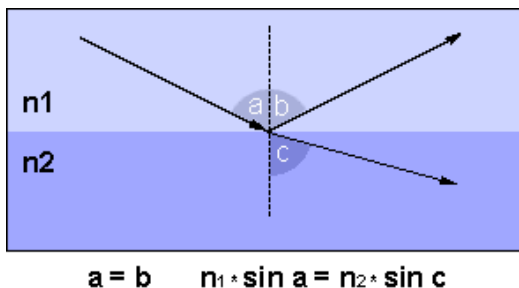


Рис. 3.6. Закон преломления света в средах с разной плотностью



$L$  - Длина оптической линии

$i_1$   $i_2$  - ток лазерного диода и фотодиода

$P(0)$ ,  $P(L)$  - мощность на передаче и приеме

**Рис. 3.7. Принцип передачи с использованием света**

Оптический приемник – это фотодиод, который преобразует свет в электрический цифровой сигнал. Функцию передающей среды, по которой распространяется свет, созданный передатчиком, выполняют оптические волокна.

3.3.3. Передатчик ВОЛС [14, 19]. Волоконно-оптический канал ВОЛС начинается с источника света и заканчивается фотоприемником. В качестве источника света, как правило, используется полупроводниковый лазерный диод, который образует ядро передатчика. Отдельный лазер используется для каждого цвета или канала. При производстве оптоволоконна каждый лазер вживляется в волокно. Сейчас производится много типов лазеров, но все они работают либо на одной частоте, либо подстраиваются. Обычно лазер может излучать только одну длину волны, но есть и подстраиваемые лазеры, способные менять длину волны. В обоих типах лазеров важно, что частота и интенсивность или яркость на выходе остаются постоянными, чтобы не вносить шумов в передачу. Это достигается путем использования систем контроля с обратной связью, которая чувствует изменения частоты или яркости и динамически вносит необходимые корректировки в работу лазерного диода. Эти устройства обычно встраивают внутрь корпуса передатчика.

Однако так как стабилизируется только один лазер, то могут возникнуть помехи от работы соседних по длине волны лазеров. Поэтому каждый лазерный луч направляется в специальный оптический аттенюатор, который гарантирует равную интенсивность излучения каждого канала. Это устройство работает так же как клапан в водяной системе, реагируя на общую интенсивность излучения. Существует множество реализаций оптических аттенюаторов, но на данный момент нет единого стандарта. Каждый имеет свои достоинства и недостатки.



В конечном счете будет выработан единый стандарт, но сейчас применяется много способов стабилизации лазерного излучения.

Заключительной частью ВОЛС является оптический мультиплексор. Как и в случае с электронной схемой, мультиплексор направляет много сигналов от разных источников в один провод или, как в данном случае, по оптическому волокну, т.е. различные оптические сигналы (обычно 4, 8 или 16) объединяются в одном волокне для передачи. При этом существует несколько конкурирующих технологий волнового уплотнения.

3.3.4. Приемник ВОЛС [14, 19]. Сигналы линии ВОЛС, поступающие на приемник, направляются на демультиплексор, который производит разделение каналов в обратном порядке. Затем сигналы преобразуются в электрические, которые может обрабатывать компьютер или телефон. Так заканчивается типичный канал ВОЛС. Волоконно-оптические каналы используются сегодня в отечественных и международных сетях. Эти системы ВОЛС в конечном итоге получают наиболее широкое распространение, обеспечивая скорость передачи сигнала до нескольких терабайт в секунду. Ниже рассмотрим составляющие компоненты, используемые в приемниках и передатчиках ВОЛС.

3.3.5. Диоды [14]. *Светоизлучающие диоды* характеризуются большим сроком службы, меньшим временным дрейфом параметров, большей линейностью и меньшей температурной зависимостью излучаемой мощности, низкой стоимостью и простотой эксплуатации.

Излучение возникает в процессе рекомбинации носителей заряда, которые образуются при прохождении тока через диод. Поскольку оно имеет спонтанный характер, который определяется случайными характеристиками, можно использовать только модуляцию по интенсивности излучения. Мощность излучения светодиодов может достигать нескольких десятков микроватт, ширина спектра – до 200 нм, а ширина диаграммы направленности (ширина пучка) – до 120°. Для достижения максимальной эффективности было идеально, если бы все излучение от источника поступало в линию. Для светодиодов потери мощности при переходе в линию составляют 10 дБ. Кроме того, поскольку излучение не когерентное, т.е. осуществляется в некотором спектральном диапазоне, будет происходить дополнительное искажение передаваемого сигнала (уширение импульсов) за счет различий в распространении разных спектральных составляющих. Понятно, что неплохо было бы добиться сужения пучка излучения и его спектра. Направленность излучения можно улучшить путем применения линз.

*Суперлюминисцентные светодиоды.* Наиболее оптимальное решение для светоизлучающих диодов реализовано в суперлюминисцентных светодиодах, в которых происходит усиление спонтанного излучения за счет волноводного распространения вдоль  $p$ - $n$ -перехода.

Пучок их излучения – уже, до  $30^\circ$ , а спектр – 20 – 80 нм. Эти диоды занимают промежуточное положение между обычными светодиодами и лазерными.

*Лазерные диоды.* Излучение лазера имеет вынужденную природу, оно образуется, когда падающий фотон вызывает переход электронов со второго энергетического уровня, на котором предварительно была сформирована инверсная заселенность, на первый. При этом выделяются фотоны излучения, направленные в одну сторону, с одинаковыми длиной волны и поляризацией, т.е. образуется когерентное излучение.

Вынужденное излучение лазерных диодов позволяет использовать модуляцию по параметрам световой волны, например частотную. Кроме того, они характеризуются максимальной для полупроводниковых излучателей мощностью до нескольких сотен милливатт, минимальной шириной спектра и очень узкой направленностью.

Поскольку лазерные диоды отличаются более сложной конструкцией и большими электрическими нагрузками, то они уступают в надежности, удобстве эксплуатации и стоимости. Это определяет их преимущественное применение для осуществления передачи на дальние расстояния в магистральных линиях.

*Фотодиоды.* Приемник излучения должен преобразовать оптический сигнал в электрический. Поскольку информационный сигнал содержится в модулированном световом потоке, этот поток должен быть принят как можно полнее и без искажений. Так как рабочая поверхность приемника намного больше сечения световода, потери при переходе излучения в приемник будут намного меньше, чем при переходе от источника в линию. Для приема излучения могут использоваться фотодиоды. Это полупроводниковые приборы на основе кремния, германия и соединений элементов третьей и пятой групп.

В обычных фотодиодах формируется ток, зависящий от интенсивности падающего излучения, их отличают хорошая линейность и стабильность работы, малое время отклика, но они не обеспечивают усиление фототока.

*Фототранзисторы.* Эти полупроводниковые приборы также строятся на основе кремния, германия и соединений элементов третьей и пятой групп. Фототранзисторы имеют высокую чувствительность и хорошее усиление, но из-за большой барьерной емкости время отклика у них большое, т.е. частотные характеристики хуже. Граничная частота для лучших образцов достигает 200 МГц.

*$p-i-n$ -фотодиоды.* В  $p-i-n$ -фотодиодах между слоями с разной проводимостью вводится слой с собственной проводимостью ( $i$ -область), который при подаче обратного напряжения смещения обедняется свободными носителями. Сильное электрическое поле в нем будет

ускорять носители, которые образуют в результате поглощения света. Они обладают большей чувствительностью за счет снижения потерь от рекомбинации. Барьерная емкость – мала, за счет чего обеспечиваются хорошие частотные характеристики (граничная частота – до 1 ГГц). Для них требуется небольшое напряжение обратного смещения (5 В и меньше), что определяет их преимущественное использование в ЛВС и других оконечных устройствах.

*Лавинные фотодиоды* обладают внутренним усилением и отличаются от *p-i-n*-фотодиодов наличием еще одного дополнительного слоя. При высоких обратных напряжениях смещения (порядка 100 В) в них образуется сильное ускоряющее поле, в котором происходит лавинное размножение носителей, т.е. усиление фототока. Эти приборы характеризуются высокой чувствительностью, большим усилением и высоким быстродействием, однако, их использование затруднено сложностью, высокой стоимостью, высокими рабочими напряжениями, необходимостью стабилизации напряжений и температур и работой только в режиме усиления слабого сигнала.

3.3.6. Принцип оптического волокна [14,19]. Простейшая модель оптического волокна может быть представлена двухслойным коаксиальным световодом, состоящим из внутренней сердцевины и окружающей оболочки с показателями преломления  $n_1$ ,  $n_2$  соответственно (рис. 3.8, 3.9).

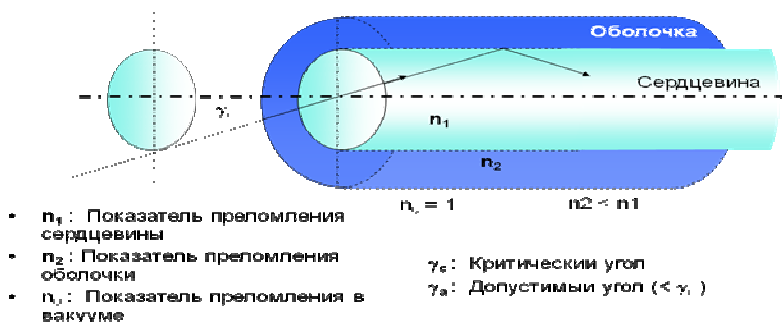


Рис. 3.8. Модель оптического волокна

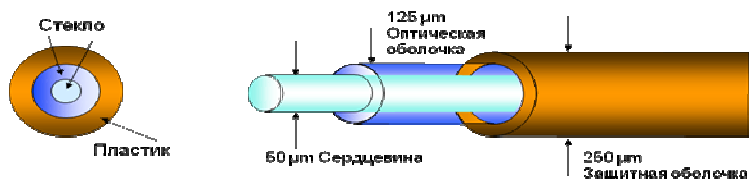


Рис. 3.9. Волоконно-оптический кабель

Для передачи электромагнитной энергии по световоду используется явление полного внутреннего отражения на границе раздела двух сред, при этом необходимо, чтобы  $n_1 > n_2$ . Если угол падения  $a$  непрерывно увеличивать, то угол преломления  $c$  будет стремиться к  $90^\circ$ . Угол падения, при котором угол преломления равен  $90^\circ$ , называется критическим углом полного внутреннего отражения  $C_0$ . Таким образом, если  $C_0 > c$ , то луч полностью отражается на границе двух сред. Этот эффект позволяет лучу света отражаться много раз и распространяться по оптическому волокну.

Числовая апертура определяется формулой

$$N = \text{Sqr} [2n_1(n_1 - n_2)]$$

и определяет угол, при котором свет может распространяться с полным внутренним отражением.

Для того чтобы передать свет на большие расстояния, необходимо сохранить его мощность. Снизить потери при его передаче можно, во-первых, обеспечив достаточно оптически прозрачную среду пространства, тем самым сведя к минимуму поглощение волны, и во-вторых, обеспечив правильную траекторию движения луча. Первая задача в настоящее время решается с помощью применения высокотехнологичных материалов, таких как чистое кварцевое стекло.

Вторая задача решается с помощью закона оптики, описанного выше. За счет эффекта полного отражения света можно заставить луч «гулять» внутри ограниченной замкнутой среды, проделывая путь от источника сигнала до его приемника. Однако для этого необходимы две среды с разной плотностью. Чаще всего в их качестве применяются кварцевые стекла различной плотности. Волну выпускают в более плотную среду, ограниченную менее плотной. Среда вытягивают в так называемое оптическое волокно, сердцевину которого составляет более плотное стекло, в разрезе представляющее окружность и часто называемое световодом. Данный сердечник покрывают оболочкой из менее плотного стекла, при достижении которого транспортируемый сигнал будет полностью отражаться. Для предотвращения механических повреждений конструкция также снабжается защитной оболочкой, именуемой первичным покрытием.

Чтобы сигнал достиг адресата, необходимо лучи впускать в сердечник под углом к боковой поверхности не менее критического. В этом случае реализуется эффект полного отражения, и теоретически луч никогда не покинет сердечника, кроме как через окончание волокна. Однако на практике все же существует некоторый процент преломляемых лучей. Это связано, во-первых, со сложностью реализации подобного источника света, с невозможностью изготовления идеально ровного волокна, а также с неидеальной инсталляцией оптического кабеля.

Ниже на рис. 3.10 показаны типы оптических волокон, которые различаются числом распространяемых типов волн (мод) в сердечнике. В многомодовых волокнах распространяются сотни типов волн [14].

В одномодовых волокнах теоретически распространяется только одна мода, однако практически присутствует несколько. Многомодовые волокна далее могут быть классифицированы согласно профилю показателя преломления в сердечнике оптического волокна (ступенчатый и градиентный профили). В оптической связи преимущественно используются одномодовые волокна для создания большей полосы пропускания.

*Межмодовая дисперсия.* Поскольку источники излучения неидеальны, испускаемые ими волны не совсем идентичны и могут различаться по направлению распространения. Единичная независимая траектория распространения волны именуется модой. Очевидно, что луч, направленный параллельно оси световода, проходит меньшее расстояние, нежели луч, распространяющийся по траектории ломаной за счет эффекта отражения. Как следствие, лучи достигнут конца сердечника в разные моменты времени. При учете неидеальных свойств применяемых источников светового сигнала возможна ситуация, когда изначальный световой импульс содержит некоторое множество волн, входящих в световод под разными углами. В итоге импульс раскладывается на множество отдельных волн, достигающих приемник в разные моменты. Именно этот разброс времени и называется межмодовой дисперсией.

*Межчастотная дисперсия.* Погрешность источников излучения еще состоит и в некотором разбросе генерируемых частот. Испускаемые волны не совсем идентичны и могут различаться по длине.

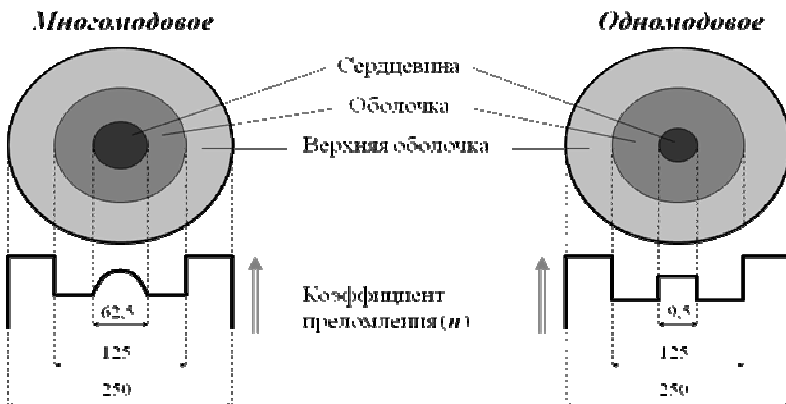


Рис. 3.10. Типы оптических волокон

Согласно законам физики более короткие волны распространяются быстрее. Следовательно, волны достигают конца световода в разные моменты времени. При учете неидеальных свойств применяемых источников светового сигнала возможна ситуация, когда изначальный световой импульс содержит некоторое множество входящих в световод волн с разной частотой. В итоге импульс раскладывается на множество отдельных волн, достигающих приемник в разное время. Именно этот разброс времени и называется межчастотной дисперсией.

*Материальная дисперсия.* Скорость преодоления расстояний волной зависит не только от частоты, но и от плотности среды распространения. В применяемых в настоящее время световодах распределение плотности сердечника может быть неравномерным, как в случае с градиентными волокнами (об этом позже). Вследствие этого волны, проходящие путь по разным траекториям, обладают разными скоростями распространения и оказываются в приемнике в разное время.

При учете неидеальных свойств применяемых источников светового сигнала возможна ситуация, когда изначальный световой импульс содержит некоторое множество волн, проходящих световод по разным траекториям, каждая из которых пересекает участки среды с разными плотностями. В итоге импульс раскладывается на множество отдельных волн, достигающих приемник в разное время. Именно этот разброс времени и называется материальной дисперсией.

*Влияние дисперсии на пропускную способность канала.* Дисперсия, будь то материальная, межчастотная или межмодовая, отрицательно влияет на пропускную способность канала. Дело в том, что современные оптоволоконные технологии используют цифровой способ передачи информации. Световой сигнал поступает импульсами. Чем сильнее размыт по времени импульс на выходе (эффект дисперсии), тем большие требуются интервалы между передаваемыми сигналами, что и ограничивает в свою очередь пропускную способность канала. Таким образом, необходимо снижать величины дисперсий, тем самым увеличивая возможное количество информационных сигналов за единицу времени. Вообще из-за эффекта дисперсии необходимо пытаться сократить количество проникающих одновременно мод (лучей) в световод.

*Многомодовое ступенчатое волокно.* Основное различие между вариантами оптического волокна состоит в свойствах применяемого в них сердечника. Самый простой вариант сердечника – это кварцевое стекло с равномерной плотностью. Если отобразить плотность распределения слоев волокна, то получится ступенчатая картина, что и отобразено в названии этого типа волокна. При достаточно большом радиусе равномерно плотного световода наблюдается эффект межмодовой дисперсии. Ее влияние на производительность оптического канала

оказывается много больше межчастотной и материальной, поэтому при расчете пропускной способности канала пользуются именно ее показателями.

В настоящее время используют три стандартных диаметра сердечника многомодового волокна: 100; 62,5 и 50 мкм. Наиболее распространены световоды диаметром 62,5 мкм, однако постепенно все более прочные позиции завоевывает сердечник 50 мкм. Вследствие простых геометрических законов распространения света несложно убедиться в его большей пропускной способности, поскольку он пропускает меньшее количество мод, тем самым уменьшая дисперсию импульса на выходе. Размер световодов выбран не случайно. Он непосредственно связан с используемой частотой световой волны. На данный момент выделяют три основных длины волны: 850, 1300 и 1500 нм. Почему выбраны именно эти длины волн, мы поясним позже.

Многомодовые ступенчатые волокна обладают малой пропускной способностью относительно действительных возможностей света, в связи с этим чаще в многомодовой технологии используют градиентные волокна.

*Многомодовое градиентное волокно.* Основное отличие градиентного волокна от ступенчатого заключается в неравномерной плотности материала световода. Если отобразить плотности распределения на графике, то получится параболическая картина. Эффект межмодовой дисперсии, как и в случае ступенчатой схемы, все же проявляется, однако намного меньше. Это легко объяснимо с точки зрения геометрии. На рис. 3.10 видно, что длины путей лучей сильно сокращены за счет сглаживания. Кроме того, интересен факт, что лучи, проходящие дальше от оси световода, хотя и преодолевают большие расстояния, но при этом имеют большие скорости, так как плотность материала от центра к внешнему радиусу уменьшается, а световая волна распространяется тем быстрее, чем меньше плотность среды.

В итоге более длинные траектории компенсируются большей скоростью. При удачно сбалансированном распределении плотности стекла можно свести к минимуму разницу во времени распространения, за счет этого межмодовая дисперсия градиентного волокна намного меньше. Как и в случае со ступенчатым волокном, в настоящее время используют три стандартных диаметра градиентного сердечника: 100; 62,5 и 50 мкм, работающих на частотах 850, 1300 и 1500 нм. Однако насколько не были бы сбалансированы градиентные многомодовые волокна, их пропускная способность не сравнится с одномодовыми технологиями.

*Одномодовое волокно.* Согласно законам физики, при достаточно малом диаметре волокна и соответствующей длине волны через свето-

вод будет распространяться единственный луч. Вообще сам факт подбора диаметра сердечника под одномодовый режим распространения сигнала говорит о частности каждого отдельного варианта конструкции световода, т.е. при употреблении понятий много- и одномодовости следует понимать характеристики волокна относительно конкретной частоты используемой волны.

Распространение лишь одного луча позволяет избавиться от межмодовой дисперсии. Как уже отмечалось, именно эта дисперсия имеет наибольшее влияние на пропускную способность канала. Величины материальной и межчастотной дисперсии на порядки меньше межмодовой. Однако одномодовое волокно исключает возможность распространения нескольких лучей, поэтому межмодовая дисперсия отсутствует, в связи с чем одномодовые световоды на порядки производительнее. На данный момент применяется сердечник с внешним диаметром около 8 мкм. Как и в случае с многомодовыми световодами, используются и ступенчатая и градиентная плотности распределения материала. Второй вариант более производительный. Одномодовая технология более тонкая, дорогая и применяется в настоящее время в телекоммуникациях, многомодовые же кабели завоевали свою нишу в локальных компьютерных сетях.

*Затухание сигнала, окна прозрачности.* Кроме сложностей, связанных с уменьшением дисперсии волны, существует и проблема сохранения мощности передаваемого сигнала. Хотя световую волну сохранить легче, чем электрический ток, она испытывает эффект поглощения и рассеивания. Первый связан с преобразованием одного вида энергии в другой. Так, волна определенной длины порождает в некоторых химических элементах изменение орбит электронов, в других происходит резонанс. Это в свою очередь и вызывает преобразование энергии. Известно, что поглощение волны тем меньше, чем меньше ее длина (рис. 3.11, 3.12).

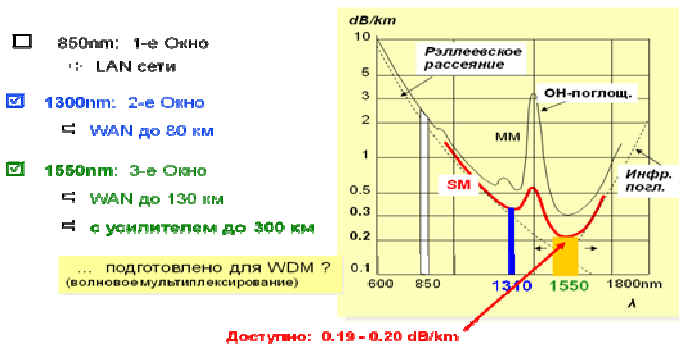
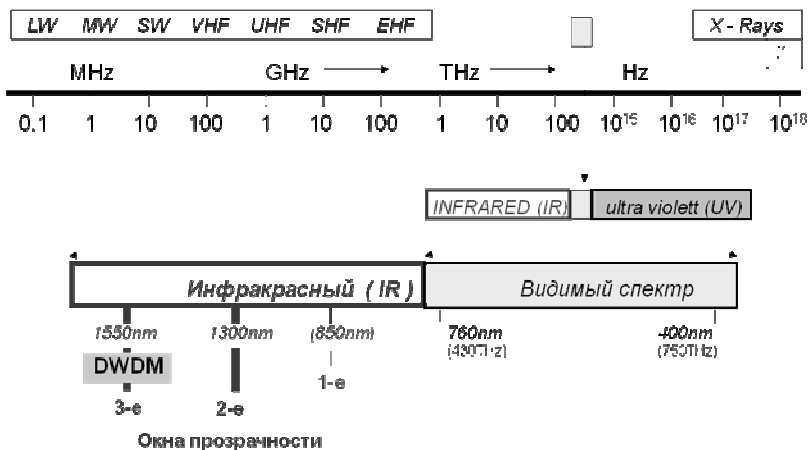


Рис. 3.11. График затухания световой волны





**Рис. 3.12. Схема окон прозрачности**

В связи с этим применять чрезмерно длинные волны невозможно, так как резко возрастают потери при нагреве световодов. Однако, с другой стороны, безгранично снижать длины волн тоже нецелесообразно, так как в этом случае возрастают потери при рассеивании сигнала. Именно баланс рассеивания и поглощения волны определяет диапазон применяемых волн в оптоволоконных технологиях.

Теоретически лучшие показатели достигаются на пересечении кривых поглощения и рассеивания. На практике зависимость затухания несколько сложнее и связана с химическим составом среды, в которой распространяется волна.

В световодах основными химическими элементами являются кремний и кислород, каждый из которых проявляет активность на определенной частоте волны, с чем связано ухудшение теоретической прозрачности материала световода в двух окрестностях.

В итоге образуются три окна в диапазоне длин волн. В рамках этих окон затухание волны имеет наименьшее значение. Сам параметр оптических потерь измеряется в децибелах на километр.

*Используемые длины волн.* Именно «окна прозрачности» определили длины волн, которые используются в современных оптоволоконных технологиях. Чаще всего это три длины: 850, 1300 и 1500 нм (см. рис. 3.11, 3.12). Наиболее качественной и высокоскоростной связью обладают каналы на основе волн длиной 1500 нм. Однако окончное оборудование, способное работать на данной длине волны, значительно дороже и предполагает применение только лазерных источников света, поэтому зачастую возникает проблема оценки экономической целесообразности применения подобных сетей.

Рабочая длина волны 850 нм наиболее характерна для многомодовых волокон, тогда как одномодовые волокна применяются для волн длиной 1500 нм. Имеется множество различных устройств, которые способны преобразовать электронные сигналы в световое излучение и наоборот, что необходимо для дальнейшего их применения в волоконно-оптических телекоммуникационных системах. Но в настоящее время только два типа таких устройств: светодиоды и инжекционные лазеры, вырабатывают излучение, которое действительно пригодно для использования в волоконно-оптических линиях. Устройства обоих типов представляют собой полупроводниковые диоды с переходами на основе соединений элементов третьей и пятой групп периодической таблицы (например, арсенид галлия или фосфид индия).

3.3.7. Информационный канал ВОЛС [14, 19]. Важным элементом ВОЛС является сам канал. В своей простейшей форме канал – это участок оптоволоконной линии между приемником и передатчиком, где основными элементами для организации связи на большие расстояния являются (рис. 3.13):

- лазерный диод (OTx), посылает оптические импульсы;
- фотодиод (ORx), принимает оптические импульсы;
- кабель с оптическими волокнами;
- оптические усилители;
- терминал (MUX) – мультиплексор сигналов в реальном времени (TDM);
- интерфейсы для различных сигналов (речь, данные, РЗ).

Проблема в том, что оптические волокна ВОЛС ослабляют сигнал. Он рассеивается и нуждается в регенерации и повторении без потери информации. Типичный трансконтинентальный оптоволоконный канал имеет от 80 до 100 усилительных ретрансляционных станций. Есть также места, когда один или несколько каналов необходимо отделить от общего или наоборот добавить. Для выполнения этих задач ретрансляционные станции строятся непосредственно вдоль оптоволоконной линии.

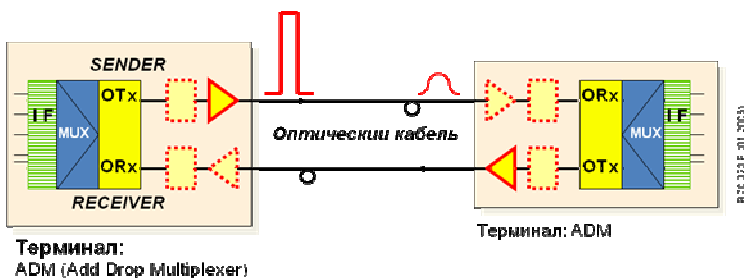


Рис. 3.13. Схема участка ВОЛС

Оптическая ретрансляционная станция обычно содержит несколько различных устройств, основная функция которых заключается в очистке сигнала от деградации и его усиления. Сигналы разных цветов в линиях ВОЛС передаются с разной скоростью. Это явление называется хроматической дисперсией. Если хроматическая дисперсия возникает на длинных участках, то это может приводить к помехам в работе соседних каналов и возникновению ошибок. Таким образом, каждая ретрансляционная станция ВОЛС имеет устройство, называемое компенсатором дисперсии. Следующей задачей узла ретрансляции является усиление сигнала до уровня, необходимого для передачи сигнала дальше по оптоволокну. Это устройство называется волоконным усилителем (EDFA). EDFA делает возможным передачу оптического сигнала на большие расстояния.

Таким образом, технологии ВОЛС помимо вопросов волоконной оптики охватывают также вопросы, касающиеся электронного передающего оборудования, его стандартизации, протоколов передачи, вопросы топологии сети и общие вопросы построения сетей.

*Преимущества ВОЛС.* Передача информации по ВОЛС имеет целый ряд достоинств перед передачей по медному кабелю. Стремительное внедрение в информационные сети ВОЛС является следствием преимуществ, вытекающих из особенностей распространения сигнала в оптическом волокне [20].

- Широкая полоса пропускания – обусловлена чрезвычайно высокой частотой несущей 10<sup>14</sup> Гц. Это дает потенциальную возможность передачи по одному оптическому волокну потока информации в несколько терабит в секунду. Большая полоса пропускания – это одно из наиболее важных преимуществ оптического волокна над медной или любой другой средой передачи информации.

- Малое затухание светового сигнала в волокне. Выпускаемое в настоящее время отечественными и зарубежными производителями промышленное оптическое волокно имеет затухание 0,2 – 0,3 дБ на длине волны 1,55 мкм в расчете на один километр. Малое затухание и небольшая дисперсия позволяют строить участки линий без ретрансляции протяженностью до 100 км и более.

- Низкий уровень шумов в волоконно-оптическом кабеле позволяет увеличить полосу пропускания путем передачи различной модуляции сигналов с малой избыточностью кода.

- Высокая помехозащищенность. Поскольку волокно изготовлено из диэлектрического материала, оно невосприимчиво к электромагнитным помехам со стороны окружающих медных кабельных систем и электрического оборудования, способного индуцировать электромагнитное излучение (линии электропередачи, электродвигательные установки и т.д.). В многоволоконных кабелях также не возникает

проблемы перекрестного влияния электромагнитного излучения, присущей многопарным медным кабелям.

- Малый вес и объем. Волоконно-оптические кабели (ВОК) имеют меньший вес и объем по сравнению с медными кабелями в расчете на одну и ту же пропускную способность. Например, 900-парный телефонный кабель диаметром 7,5 см может быть заменен одним волокном с диаметром 0,1 см. Если волокно «одеть» в множество защитных оболочек и покрыть стальной ленточной броней, диаметр такого ВОК будет 1,5 см, что в несколько раз меньше рассматриваемого телефонного кабеля.

- Высокая защищенность от несанкционированного доступа. Поскольку ВОК практически не излучает в радиодиапазоне, то передаваемую по нему информацию трудно подслушать, не нарушая приема-передачи. Системы мониторинга (непрерывного контроля) целостности оптической линии связи, используя свойства высокой чувствительности волокна, могут мгновенно отключить «взламываемый» канал связи и подать сигнал тревоги. Сенсорные системы, использующие интерференционные эффекты распространяемых световых сигналов (как по разным волокнам, так и разной поляризации) имеют очень высокую чувствительность к колебаниям, к небольшим перепадам давления. Такие системы особенно необходимы при создании линий связи в правительственных, банковских и некоторых других специальных службах, предъявляющих повышенные требования к защите данных.

- Гальваническая развязка элементов сети. Данное преимущество оптического волокна заключается в его изолирующем свойстве. Волокно помогает избежать электрических «земельных» петель, которые могут возникать, когда два сетевых устройства неизолированной вычислительной сети, связанные медным кабелем, имеют заземления в разных точках здания, например на разных этажах. При этом может возникнуть большая разность потенциалов, что способно повредить сетевое оборудование. Для волокна этой проблемы просто нет.

- Взрыво- и пожаробезопасность. Из-за отсутствия искрообразования оптическое волокно повышает безопасность сети на химических, нефтеперерабатывающих предприятиях, при обслуживании технологических процессов повышенного риска.

- Экономичность ВОК. Волокно изготовлено из кварца, основу которого составляет двуокись кремния, широко распространенного, а потому недорогого материала, в отличие от меди. В настоящее время стоимость волокна по отношению к медной паре соотносится как 2:5. При этом ВОК позволяет передавать сигналы на большие расстояния без ретрансляции. Количество повторителей на протяженных линиях сокращается при использовании ВОК. При использовании солитонных систем передачи достигнуты дальности в 4000 км без регенерации

(т.е. только с использованием оптических усилителей на промежуточных узлах) при скорости передачи выше 10 Гбит/с.

- Длительный срок эксплуатации. Со временем волокно испытывает деградацию. Это означает, что затухание в проложенном кабеле постепенно возрастает. Однако, благодаря совершенству современных технологий производства оптических волокон, этот процесс значительно замедлен, и срок службы ВОК составляет примерно 25 лет. За это время может смениться несколько поколений/стандартов приемопередающих систем.

- Удаленное электропитание. В некоторых случаях требуется удаленное электропитание узла информационной сети. Оптическое волокно не способно выполнять функции силового кабеля. Однако в этих случаях можно использовать смешанный кабель, когда наряду с оптическими волокнами кабель оснащается медным проводящим элементом. Такой оптический кабель широко используется как в России, так и за рубежом.

В четвертой главе рассмотрим инфокоммуникационные сети МЭС Центра и в качестве примера строительство волоконно-оптических линий связи методом замены грозозащитного троса ЛЭП и частный случай их применения в релейной защите в электроэнергетической отрасли.

## **Выводы**

1. При анализе систем передачи SDH оценочный метод контроля четности и определения ошибок с простым алгоритмом – ВІР – дает хорошие результаты.

2. Проект построения корпоративных сетей связи в МЭС Центра требует оценки целого ряда стоимостных и функциональных параметров и взвешенного решения стороннего крупного системного специалиста, способного произвести обследование существующей инфраструктуры предприятия и выявить реальные задачи и потребности, разработать и внедрить необходимые решения и с максимальной экономической эффективностью использовать все преимущества мультисервисных технологий.

3. Технологии ВОЛС помимо вопросов волоконной оптики охватывают вопросы, касающиеся электронного передающего оборудования, его стандартизации, протоколов передачи, вопросы топологии и общие вопросы построения сетей.

## 4. ИНФОКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ

---

---

Рассмотрены высокочастотные, спутниковые и волоконно-оптические линии связи (в том числе и по грозотросу), представляющие собой основной состав инфокоммуникационной сети, а также проект ВОЛС «Московское Кольцо», пример технических требований на создание ВОЛС в рамках МЭС Центра и дана общая характеристика инфокоммуникационной сети ПМЭС.

### 4.1. ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ, СПУТНИКОВАЯ И ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ

Инфокоммуникационная сеть МЭС Центра, состоящая из высокочастотной, спутниковой и волоконно-оптической систем связи, предназначена для обеспечения производственной деятельности предприятий магистральных электрических сетей и управления технологическими процессами в производстве на всех уровнях иерархии управления с гарантированным качеством обмена всеми видами информации (звук, видео, данные) [15].

4.1.1. Высокочастотная (ВЧ) связь. Основные принципы и направления развития ВЧ-связи в МЭС Центра:

1. Повышение функциональности, надежности и качества ВЧ-связи:
  - модернизация (реконструкции) аналоговых систем ВЧ-связи;
  - внедрение многофункциональных комплексного использования цифровых систем ВЧ-связи, отвечающих отраслевым и корпоративным требованиям;
  - использование систем с цифровой обработкой и цифровой передачей информации;
  - эффективное использование частотного ресурса каналов ВЧ-связи;
  - создание Единой информационной системы по выбору частот каналов ВЧ-связи – Единая информационная система ВЧ (ЕИС ВЧ).
2. Оптимизация затрат на развитие и эксплуатацию ВЧ-связи МЭС Центра:
  - применение комбинированной аппаратуры ВЧ-связи для передачи речи и сигналов ТМ, АИИСКУЭ и РЗ и ПА, способной передавать все эти сигналы в одном канале.
3. Совершенствование технологий эксплуатации, ТОиР систем ВЧ-связи:
  - создание и внедрение систем централизованного управления;
  - обеспечение эксплуатации необходимым парком контрольно-измерительных КИП и запасных измерительных (ЗИП) приборов;

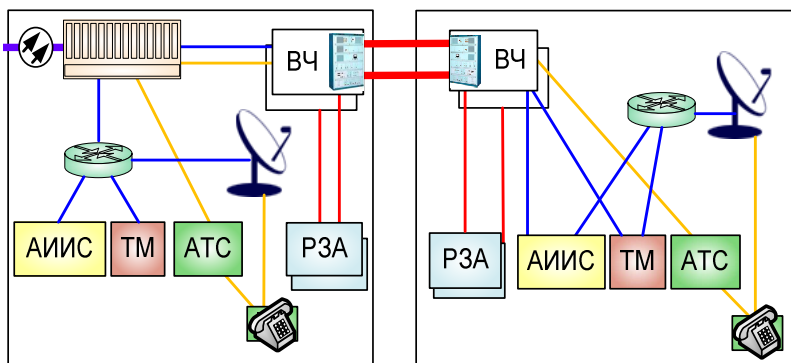
- подготовка квалифицированного персонала;
- сотрудничество с отраслевыми научно-исследовательскими институтами НИИ (аттестация оборудования, разработка НТД).

#### 4. Совершенствование нормативно-технической документации.

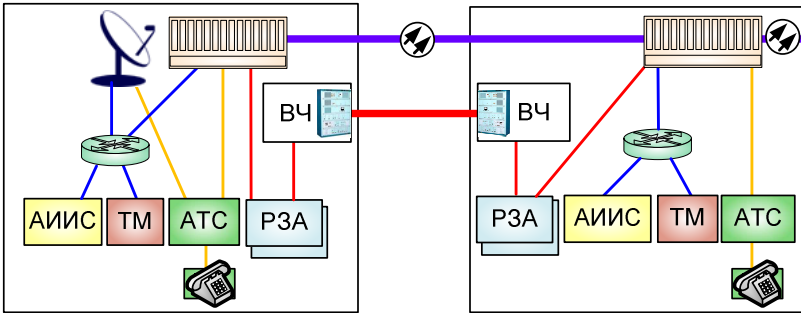
Пересмотр и дополнение нормативно-технической документации для обеспечения надлежащего качества разработки, проектирования и эксплуатации ВЧ-каналов по ЛЭП:

- «Руководящие указания по выбору частот высокочастотных каналов по линиям электропередачи 35 – 750 кВ»;
- «Методические указания по расчету параметров и выбору схем высокочастотных трактов по линиям электропередачи 35 – 750 кВ переменного тока»;
- «Нормы проектирования систем ВЧ-связи» (новый документ);
- «Технические требования к цифровой аппаратуре ВЧ-связи»;
- «Общие технические требования к устройствам присоединения и обработки каналов ВЧ-связи по ВЛ 35 – 750 кВ»;
- «Руководство по вводу в работу и эксплуатации цифровых каналов ВЧ-связи»;
- «Нормы на каналы ВЧ-связи и инструкции по их паспортизации», 2009 г.;
- положение по выбору частот «Правила выбора частот, функции участников»;
- нормативно-правовой акт «Права и обязанности субъектов электроэнергетики, проектных и подрядных организаций».

На рис. 4.1 и 4.2 показано применение каналов ВЧ-связи для передачи данных (РЗА и ПА, АИИС КУЭ, ТМ) и голоса, а также возможность их резервирования.



**Рис. 4.1. Каналы ВЧ-связи для передачи данных (РЗА и ПА, АИИС, ТМ) и голоса**



**Рис. 4.2. Полное резервирование каналов РЗА и ПА**

4.1.2. Системы спутниковой связи (ССС). Принципы развития системы спутниковой связи.

1. Повышение функциональности и надежности: внедрение современных СССР, соответствующих требованиям ОАО «ФСК ЕЭС», и жесткий контроль качественных показателей каналов (соглашение об уровне сервисов услуги, SLA).

2. Оптимизация затрат на развитие и эксплуатацию:

- перевод каналов спутниковой связи в разряд резервных;
- региональное развитие на базе одного оператора и единой технологии;
- предоставление услуг связи в направлениях, где отсутствуют наземные каналы.

Архитектура спутникового сегмента сети ЕТССЭ показана на рис. 4.3.

4.1.3. Волоконно-оптические линии связи. В 90-х годах прошлого столетия отраслевые информационные сети электроэнергетики были аналоговыми и предназначались в основном для передачи телефонных и факсимильных сообщений [12]. Для внедрения их в комплексные информационные системы связи и управления требовалась серьезная их модернизация. В настоящее время модернизация отраслевых сетей электроэнергетики находится на начальной стадии, но, несмотря на это, темпы модернизации достаточно высоки. Основой сетей электроэнергетики являются протянутые вдоль линий электропередач волоконно-оптические линии связи. За последние годы различными подрядными организациями было проложено несколько тысяч километров оптоволоконного кабеля, находящегося внутри грозозащитного троса ЛЭП. Как правило, заказчиками являются как сами компании электроэнергетической отрасли (сетевые и генерирующие), так и крупные операторы междугородней и сотовой связи, такие как ОАО «Ростелеком», ОАО «МегаФон», ОАО «Мобильные ТелеСистемы» и другие.



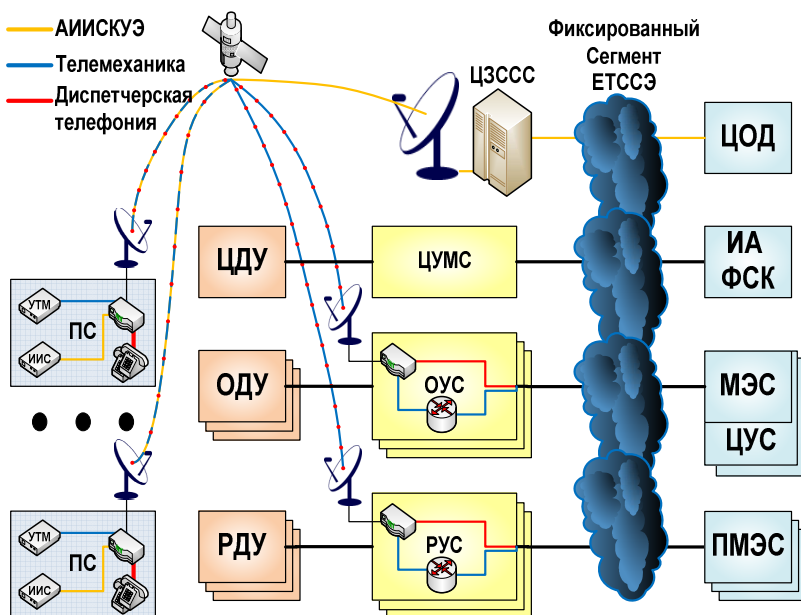


Рис. 4.3. Архитектура спутникового сегмента сети ЕТСС

За право прохода по ЛЭП компании-заказчики предоставляют собственникам линии свободные «неосветленные», т.е. «темные» волокна в пользование. Кроме того, в ходе строительства ВОЛС производится замена старого и, как правило, уже ветхого грозозащитного троса линий электропередачи, что, в свою очередь, повышает надежность электроснабжения.

Основным преимуществом ВОЛС, проходящей в грозозащитном тросе ЛЭП, по сравнению с ВОЛС, проложенной в земле, и ВОЛС, построенной с использованием самонесущего оптического кабеля, является высокая надежность линии связи, а значит, и низкая аварийность – в среднем не более одного аварийного случая в год. При нормальных условиях (температура воздуха не ниже  $-15^{\circ}\text{C}$ ) рабочая бригада прокладывает до 5 км оптоволоконного кабеля в день. Средняя стоимость прокладки волоконного кабеля составляет около 3000 рублей за метр, включая стоимость самого кабеля и сопутствующих материалов. Как правило, используется волоконно-оптический кабель с одномодовым или многомодовым волокном, встроенный в грозозащитный трос с оптическим модулем в повиве.

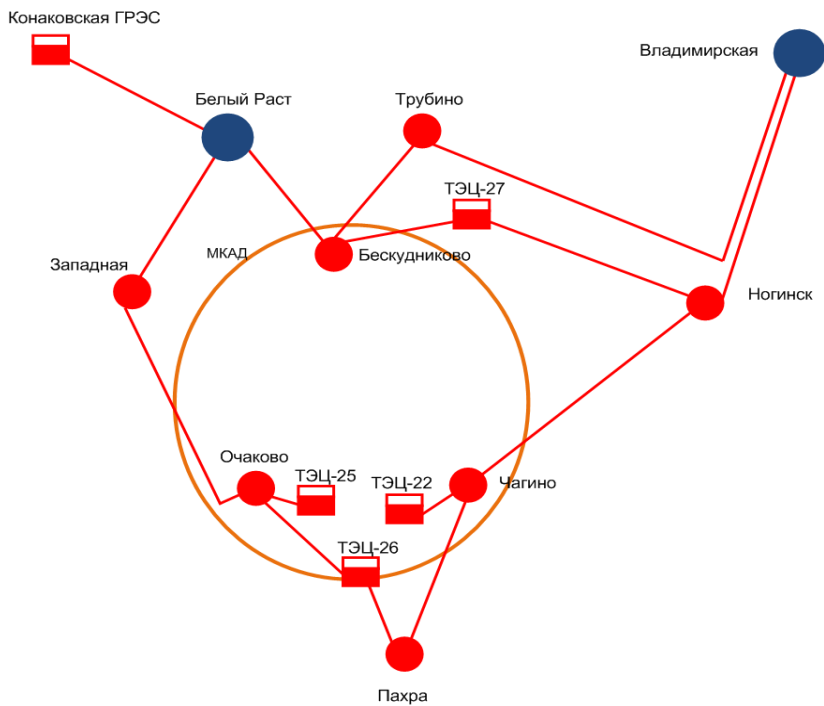
Такой грозозащитный трос предназначен для подвешивания на опорах воздушных линий электропередач напряжением от 35 кВ и выше. Оптический модуль представляет собой герметичную трубку, изготовленную из нержавеющей стали, внутри которой расположены оптические волокна. Свободное пространство в трубке заполнено специальным гидрофобным гелем. Наружный диаметр волоконно-оптического кабеля, его расчетный вес и физико-механические параметры определяются в соответствии с требованиями заказчика на основании технических условий их монтажа и эксплуатации. Как правило, волоконно-оптический кабель содержит в себе от 16 до 52 волокон (максимально возможно изготовить кабель с количеством до 144 волокон). Как показала практика, чаще всего заказчик выбирает кабель с числом волокон 24 и 32. При осуществлении первых проектов по прокладке ВОЛС по ЛЭП использовался кабель зарубежных производителей, таких как Norddeutsche Seekabelwerke & Co. KG, Corning Cable Systems Company, Draka NK Cables, Sumitomo Corporation и AFL Telecommunications. Однако сейчас все больше и больше применяется отечественный волоконно-оптический кабель производства компании ЗАО «ОФС Связьстрой-1 ВОКК» (г. Воронеж) и других российских фирм-производителей. Существует альтернативный способ прокладки волоконно-оптического кабеля по ЛЭП без необходимости замены грозозащитного троса и вывода линии из работы. Волоконно-оптический кабель равномерно наматывается вокруг существующего грозозащитного троса специальной навивочной машиной-роботом. Навивочная машина может перемещаться по грозозащитному тросу как с помощью радиоуправляемого самодвижущегося механизма (РСМ), так и вручную с помощью специальной лебедки. Для перехода навивочной машины через опоры ЛЭП применяется специальное подъемное устройство. Навитый на грозозащитный трос волоконно-оптический кабель способен противостоять любым воздействиям окружающей среды, включая всевозможные погодные явления: гололед, ветровую нагрузку, перепады температур, а также токи короткого замыкания на линии, удары молний, вибрацию, клевки птиц и другие. Однако в России технология навивки волоконно-оптического кабеля на грозозащитный трос не получила широкого распространения. При отсутствии возможности замены грозозащитного троса на линиях 35 – 110 кВ часто применяют подвес с использованием самонесущего волоконно-оптического кабеля, что является менее надежным, но приемлемым и чуть более дешевым решением. В сетях, построенных на базе ВОЛС в электроэнергетике, получили широкое распространение вышерассмотренные устройства ABB FOX 515 в качестве транспортных мультиплексоров и оборудование NEC U-Node в качестве оконечных клиентских мультиплексоров. Эти устройства обладают высокой надежно-

стью, гибкостью и хорошими эксплуатационными характеристиками. Применение оборудования NEC U-Node обусловлено тем, что помимо выполнения технологических задач появляется возможность оказания услуг связи сторонним организациям, например, предоставления в аренду каналов связи. Мультиплексоры U-Node надежно зарекомендовали себя в условиях постоянно расширяющегося сетевого трафика. Также стоит отметить их пригодность к использованию в качестве активных элементов сетей ВОЛС различных топологий. Мультиплексоры U-Node можно успешно применять в магистральных сетях связи с использованием оптических интерфейсов SDH, а также в городских сетях с использованием оптических интерфейсов 600М, 150М, 50М и электрического интерфейса STM-1Е. Для подстройки к резкому увеличению трафика данных протокола IP в U-Node используется технология виртуального подключения с целью обеспечить эффективность передачи данных на IP-маршрутизаторы и переключение сетей ATM на режим работы через имеющуюся сеть. Как указывалось выше, в основе мультиплексоров АВВ FOX 515 лежат технологии связи SDH, PDH и HDSL. Эти мультиплексоры также обладают специализированными функциями, разработанными специально для построения систем связи в электроэнергетике, например, возможностью установки специализированных оптических усилителей, позволяющих значительно увеличить дальность передачи сигнала по ВОЛС, что позволяет сократить издержки на строительство дополнительных регенерационных пунктов. Для этих мультиплексоров выпускаются специализированные платы для организации технологической связи и передачи сигналов релейной защиты и телемеханики.

#### **4.2. ПРОЕКТ ВОЛС «МОСКОВСКОЕ КОЛЬЦО»**

Первый крупный проект интеграции ВОЛС в электроэнергетике был реализован в 2003 г., когда была построена волоконно-оптическая магистраль Москва – Санкт-Петербург – Финляндия [12]. Она была оснащена современным оборудованием мультиплексирования (DWDM), что позволило обеспечить пропускную способность магистрали до 400 Гбит/с. Часть канала, идущего в Финляндию, была задействована для обмена трафиком с европейскими операторами связи. С 2007 по 2011 гг. велись работы по строительству ВОЛС «Московское Кольцо» по системообразующей сети 500 кВ г. Москвы и Московской области – это одноцепное кольцо, включающее 7 подстанций ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра (рис. 4.4) [17]:

– внутригородские – Бескудниково, Очаково, Чагино (см. рис. 4.5 – 4.7);



**Рис. 4.4. Системообразующая сеть 500 кВ г. Москвы и Московской области**



**Рис. 4.5. Подстанция 500 кВ, Бескудниково**



**Рис. 4.6. Подстанция 500 кВ, Очаково**



**Рис. 4.7. Подстанция 500 кВ, Чагино**

- областные – Ногинск, Пахра, Трубино и Западная (рис. 4.8);
- ПС 750/500 кВ, Белый Раст (рис. 4.9), ТЭЦ-26 (рис. 4.10) и ТЭЦ-27.

Основные характеристики системообразующей сети 500 кВ «Московское Кольцо» представлены в табл. 1.1 [4, 17].

В настоящее время работы по организации ВОСП и ВОЛС окончены объединением четырех подстанций напряжением 500 кВ – Западная, Бескудниково, Очаково и Чагино и прилегающей сети 220 и 110 кВ по схеме, представленной на рис. 4.11, 4.12 [9].



**Рис. 4.8. Подстанция 500 кВ, Западная**



**Рис. 4.9. Подстанция 750/500 кВ, Белый Раст (ОРУ 110 кВ)**



**Рис. 4.10. Теплоэлектроцентраль № 26, г. Москва**

Таким образом, энергетические компании и МЭС Центра, в частности, рассматривают сотрудничество с операторами связи по строительству ВОЛС на ВЛ как в общем успешно зарекомендовавшую себя практику. Это сотрудничество позволяет энергетикам активно развивать собственную технологическую связь, рационально используя средства.

Немаловажной является возможность применения волоконно-оптических линий связи ЛЭП в релейной защите, а именно в продольных дифференциальных защитах линий [12].

Принцип действия продольной дифференциальной защиты кабельной или воздушной линий электропередачи основан на сравнении фазы и величины токов по концам защищаемой линии. При реализации такой защиты в традиционном исполнении обмен выполнялся при помощи аналоговых сигналов малой мощности (50 Гц или тональной частоты). При использовании современных терминалов релейной защиты обычно реализуется обмен данными представленными в двоичном коде.

При реализации дифференциальной защиты на традиционной элементной базе средой передачи данных являются металлические контрольные провода. Волоконно-оптические кабели стали активно применяться только в течение последних нескольких лет в таких проектах при коротких замыканиях на землю, а также импульсных помехах при коммутациях силового оборудования и при ударах молнии. Применение ВОЛС, встроенной в грозотрос, позволяет избежать всех этих проблем.

#### 4.1. Основные характеристики системообразующей сети 500 кВ «Московское Кольцо»

№	Наименование	Установленная мощность трансформатора (автотр-ра), МВ·А	Класс напряжения, кВ	Количество, шт.	Магистральные линии	Длина, км	Примечание
1	ПС 500 кВ, Бескудниково	500	500/220	4	Белый Раст – Бескудниково	46,5	
		200	220/110	2	Ногинск – Бескудниково	77,8	
		100	220/10	4	Трубино – Бескудниково	37,7	
2	ПС 500 кВ, Чагино	500	500/220	2	Пахра – Чагино	36,4	
		250	220/110	4	Ногинск – Чагино	52,1	
		100	220/10	2	Михайлов – Чагино	182,1	
3	ПС 500 кВ, Очаково	500	500/220/20	4	Белый Раст – Очаково	83	
		250	220/110/20	5	Очаково – ТЭЦ-26	26,9	
		100	220/20	4			
4	ПС 500 кВ, Ногинск	345	500/110	2	Ногинск – Бескудниково	77,8	Планируется в 2012 г. замена двух трансформаторов 500/110 на аппараты с мощностью 250 МВ·А
		180	220/110	2	Ногинск – Чагино	52,1	Планируется в 2012 г. замена двух трансформаторов 220/110 на аппараты с мощностью 250 МВ·А

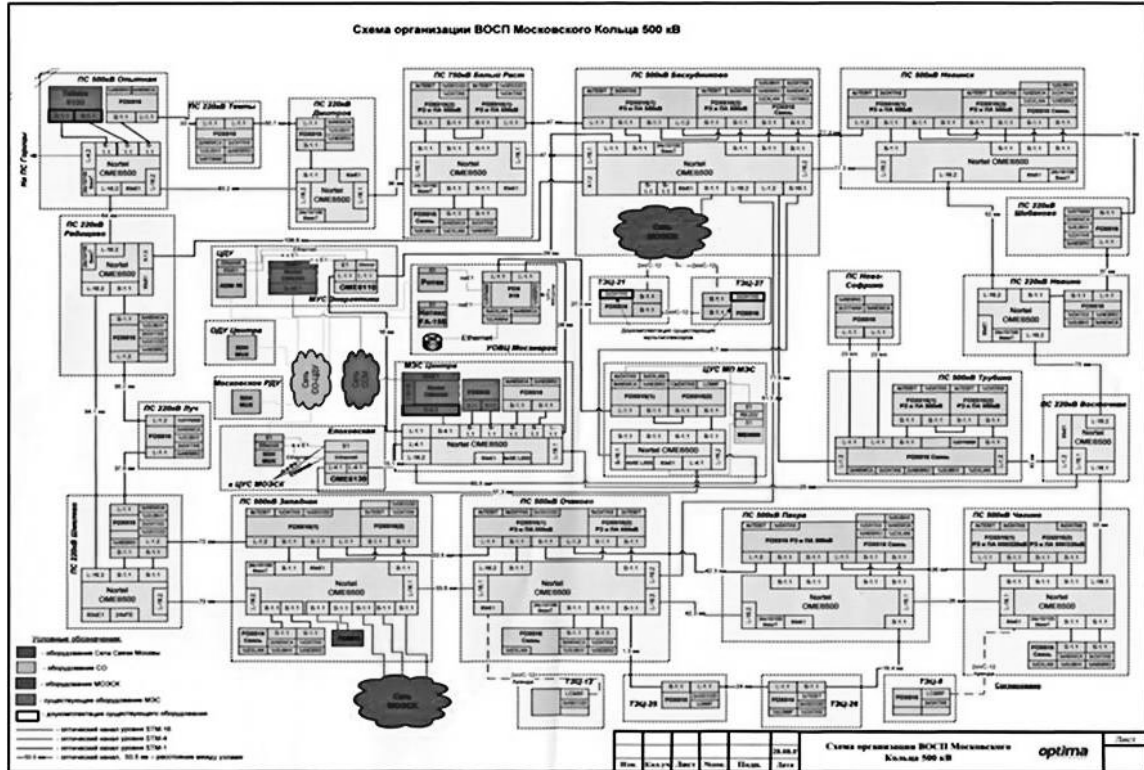


Продолжение табл. 4.1

4					Владимир – Ногинск	116,4	Планируется в 2012 г. установка двух трансфор- маторов 500/220 по 501 МВ·А
5	ПС 500 кВ, Трубино	501	500/220	2	Конаково – Трубино	152,7	Замена в 2011–2012 гг. на трансформаторы мощностью 801
		250	220/110	2	Трубино – Бескудниково	37,7	Установка еще 3 шт. в 2011–2012 гг.
		63	110/10	2	Загорская ГАЭС – Трубино	87,4	
					Владимир – Трубино	158,5	
6	ПС 500 кВ, Пахра	500	500/110	2	Пахра – ТЭЦ-26	17	Планируемое оборудова- ние (ввод в 2012 г.): два трансформатора 500/220 по 501 МВ·А
		125	220/110	2	Пахра – Чагино	36,4	Планируемое оборудова- ние (ввод в 2012 г.): два трансформатора 220/110 по 250 МВ·А
		63	110/10	1			

Окончание табл. 4.1

№	Наименование	Установленная мощность трансформатора (автотр-ра), МВ·А	Класс напряжения, кВ	Количество, шт.	Магистральные линии	Длина, км	Примечание
7	ПС 500 кВ, Западная	500	500/220	2	Магистральные линии – 9, в рамках кольца 500 кВ – станция подключена в разрыв 83-километровой линии Белый Раст – Очаково		
		63	220/20/20	2			
8	ПС 750/500 кВ, Белый Раст	417	750/500/10	6	Опытная – Белый Раст		750 кВ (2 группы по 3 шт.)
		250	500/110	2	Конаково (ГРЭС) – Белый Раст	88,9	
		40	110/10/10	2	Белый Раст – Бескудниково	46,5	
					Белый Раст – Очаково	83	
Итого: (МВ·А, шт., км)		5797		60		1367,4	Без пункта № 7



**Рис. 4.11.** Схема организации волоконно-оптической сети передачи «Московское Кольцо 500 кВ»

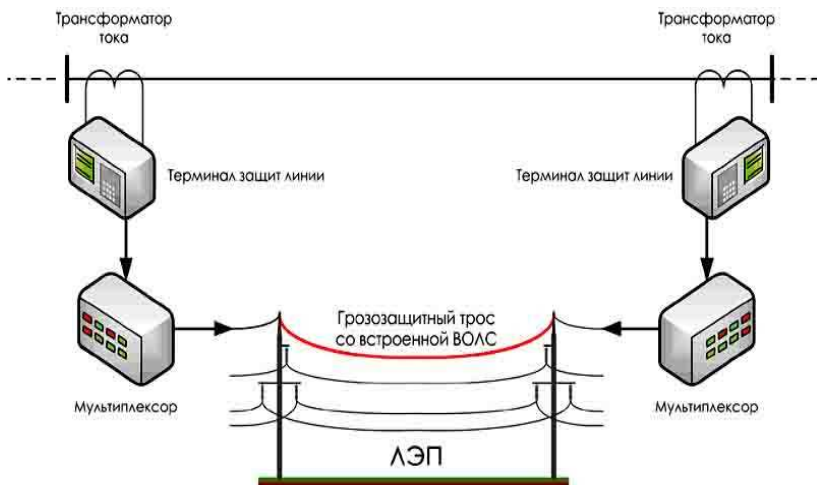


Упрощенная структурная схема применения волоконно-оптической линии связи в продольных дифференциальных защитах линий показана на рис. 4.13 [12].

Как было сказано ранее, чаще всего волоконно-оптические кабели связи используются в мультиплексном режиме, обеспечивая передачу данных различного назначения. Поэтому терминалы защит на подстанциях по обоим концам линии подключаются к волоконно-оптической линии связи через мультиплексоры. Подключение к мультиплексорам, как правило, осуществляется по стандарту G.703 (рассматриваемому электрические характеристики стыков цифровых интерфейсов передачи голоса или данных через цифровые каналы типа E1). В некоторых случаях для целей защиты выделяются отдельные волокна и в использовании мультиплексоров нет необходимости, в таком случае устройство защит должно иметь свои собственные оптические приемопередатчики.

Отметим ряд преимуществ использования волоконно-оптических линий связи в продольных дифференциальных защитах линий [12]:

- налаженный канал связи между двумя терминалами защит можно использовать для нужд телемеханики (например, для передачи команд телеотключений), а также для мониторинга электрических параметров и состояний коммутационных аппаратов подстанции на другом конце линии. Появляется возможность организовать оперативную блокировку линейных разъединителей с заземляющими ножами на подстанции с противоположенного конца линии;



**Рис. 4.13. Применение ВОЛС в продольных дифференциальных защитах линий**

- возможность использования такого типа защит на любых по длине линиях электропередачи;
- возможность организации работы защит по двум взаиморезервирующим друг друга волоконно-оптическим линиям связи.

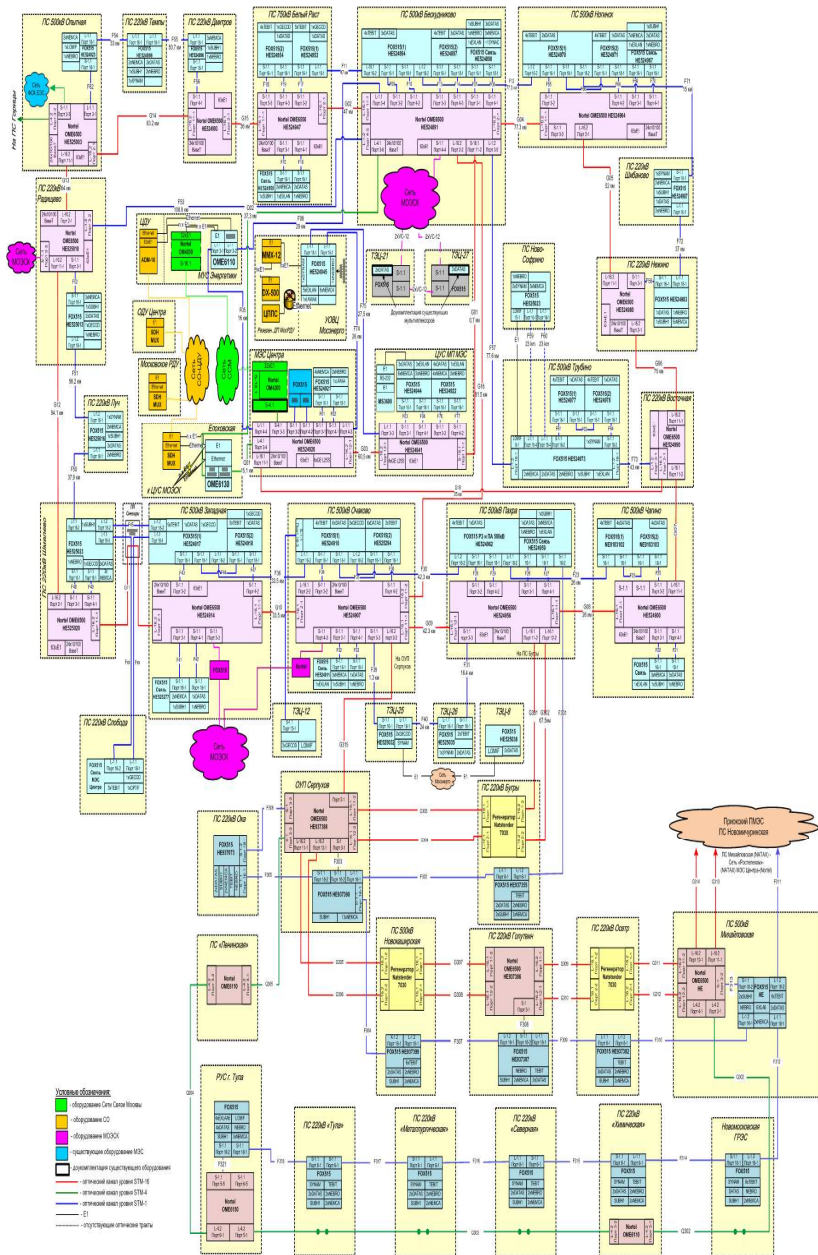
Таким образом, исходя из практики использования и опыта эксплуатации, можно сделать вывод об определенном удобстве и надежности применения ВОЛС, построенных с использованием инфраструктуры электроэнергетики, не только для решения коммерческих «телекоммуникационных» задач, таких как передача голоса, данных, видео, но и для успешного применения в области технологической связи, телемеханики и РЗА. Ниже в качестве примера рассмотрим технические требования, предъявляемые при проектировании ВОЛС в электроэнергетике, например в МЭС Центра (всегда сложный проект).

### **4.3. ПРИМЕР ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ НА СОЗДАНИЕ ВОЛС**

По титулу «Москва – Ростов-на-Дону» МЭС Центра (рис. 4.14 – 4.16), а также станционные сооружения в объеме второго «Тамбов – Липецк – Волгоград», третьего «Вешенская – Ростов-на-Дону – Тихорецк» и четвертого «Липецк – Воронеж – Белгород» пусковых комплексов, в зоне филиалов ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра и МЭС Юга [9, 18].

4.3.1. Требования к составу ВОЛС [18]. В состав цифровой сети передачи информации (ЦСПИ) должны входить:

- транспортное оборудование SDH и оптические усилители;
- оборудование для подключения пользовательских систем объектов (оборудование доступа), включающее в себя мультиплексоры SDH, маршрутизаторы, коммутаторы;
- оборудование тактовой сетевой синхронизации (первичный эталонный и вторичные задающие генераторы);
- система управления (аппаратное и программное обеспечение системы управления транспортной сетью, сетью доступа, оборудованием маршрутизации и коммутации, мониторинга системы электропитания);
- средства аварийной сигнализации и служебной связи, оборудование электропитания и электрической защиты, монтажно-сборочное оборудование, включая телекоммуникационные шкафы, кроссы, кабели, монтажные принадлежности и т.п.;
- контрольно-измерительное оборудование для ЦСПИ, волоконно-оптический кабель, оптические кроссы, оборудование и материалы для эксплуатации и ремонтно-восстановительных работ по линейно-кабельным сооружениям ВОЛС и запасные части и принадлежности и эксплуатационно-техническая документация.



**Рис. 4.14. Часть схемы организации волоконно-оптической системы передачи «Московское Кольцо + Москва + Ростов-на-Дону»**

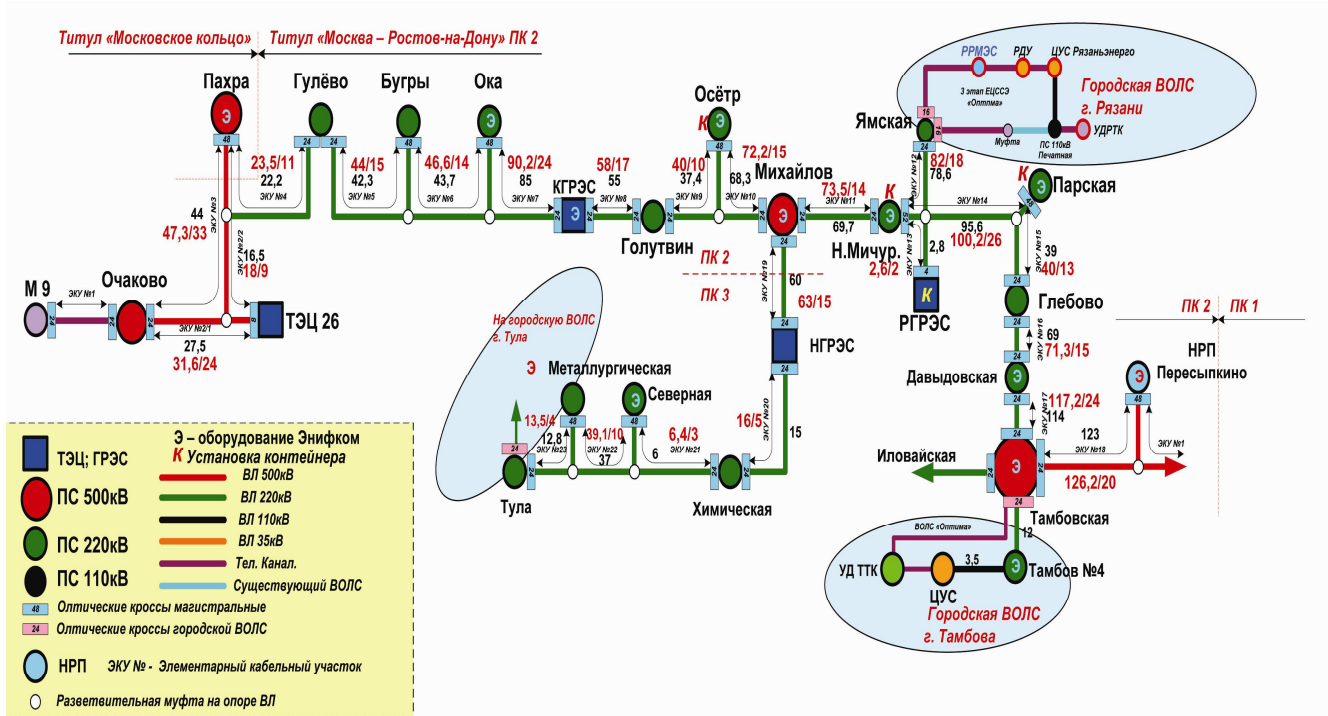


Рис. 4.15. Линейная схема ВОЛС по ВЛ титул «Москва – Ростов-на-Дону», участок МЭС Центра (часть 1)



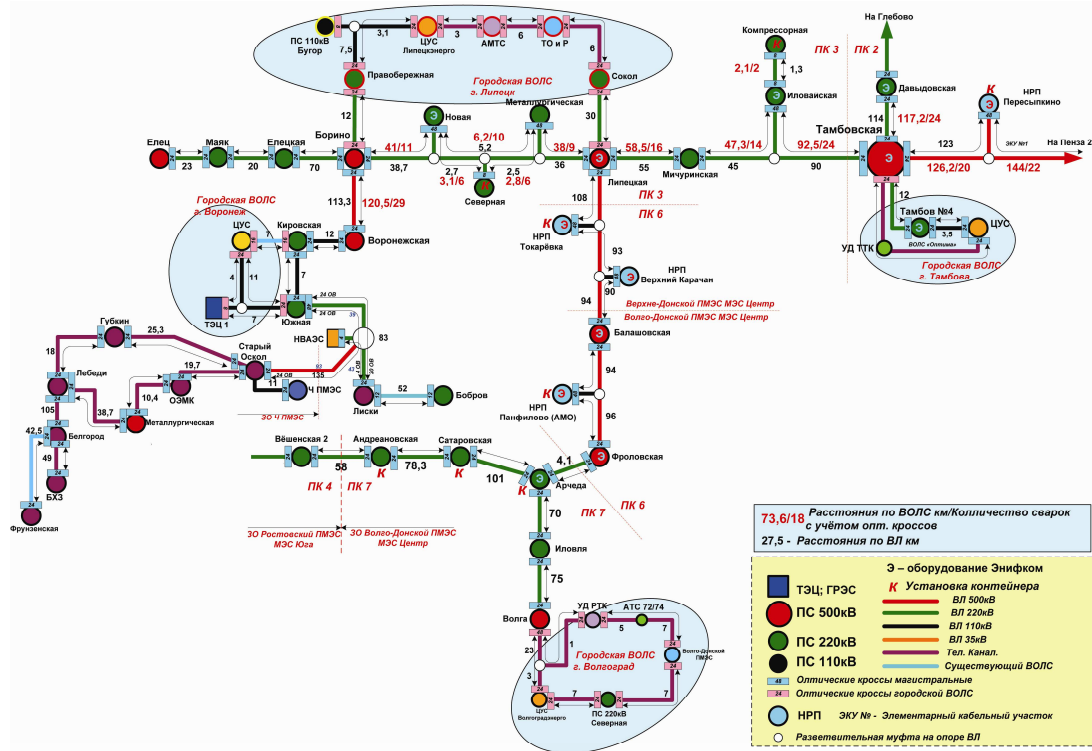


Рис. 4.16. Линейная схема ВОЛС по ВЛ титул «Москва – Ростов-на-Дону», участок МЭС Центра (часть 2)

4.3.2. Требования к функциям и сопряжению оборудования системы передачи ВОЛС [18]. Оборудование системы передачи должно обеспечивать подключение всех технологических и корпоративных систем объектов.

Проектируемая ВОЛС должна сопрягаться с:

1) ВОЛС «Москва – Ростов-на-Дону», первый пусковой комплекс на ПС 500 кВ Тамбовская;

2) ВОЛС, создаваемой в рамках титула «ПС 220 кВ Казинка ОЭЗ ППТ Липецк в Грязинском районе Липецкой области» на РУС/ЦУС «Липецкэнерго», ПС 220 кВ Иловайская и ПС 500 кВ Липецкая;

3) ВОЛС, создаваемой по титулу «Реконструкция и техническое перевооружение ПС 500 кВ Центральная»;

4) ВОЛС, создаваемой по титулу «Строительство ВЛ 500 кВ Волгодонская АЭС – Невинномысск, ПС 500 кВ Невинномысск и заходами ВЛ 330 кВ филиала ФСК – МЭС Юга»;

5) существующими ВОЛС в городах: Белгород, Воронеж, Липецк, Волгоград, Ростов-на-Дону, Пятигорск.

Оборудование системы передачи должно поддерживать следующие информационные интерфейсы [18]:

1) транспортное оборудование SDH:

– STM-16, STM-4, STM-1 (Рекомендация МСЭ-Т G.957, оборудование должно поддерживать оптические и электрические стыки STM-1), E3, E1, Ethernet с поддержкой протоколов GFP, LCAS, VCAT;

2) оборудование гибкого мультиплексирования:

– STM-1 (Рекомендация МСЭ-Т G.957, оборудование должно поддерживать оптические и электрические стыки STM-1), E3, E1,  $n \times 64$  кбит/с, Ethernet с поддержкой протоколов GFP, LCAS, VCAT;

– речевые интерфейсы (FXO, FXS), интерфейсы данных (V.24/V.28, X.21, RS-232), интерфейсы сопряжения с существующими устройствами РЗ и ПА: «сухой контакт» (детализируются на этапе разработки рабочей документации);

3) оборудование маршрутизации и коммутации:

– E1, Ethernet (10/100/1000 Мбит/с).

Оборудование системы передачи должно поддерживать следующие служебные интерфейсы:

– внешней синхронизации 2048 кГц и 2048 кбит/с (два входа и два выхода, Рекомендация МСЭ-Т G.703, входное/выходное сопротивление 120 Ом (симметричное));

– интерфейсы служебной связи (цифровые по Рекомендациям МСЭ-Т V. 11 и G.703 с возможностью выбора и доступом к байтам E1 и E2; аналоговые – 2- и/или 4-проводные (600 Ом, симметричное; вход – 0 дБ/выход – 0 дБ)), Ethernet с полосой пропускания 2 Мбит/с;

– интерфейс сигнализации стойки/ряда/станции, интерфейсы управления.

Оборудование системы передачи должно обеспечивать:

– автоматическое гашение лазера (система ALS) в случаях превышения допустимой оптической мощности передачи или пропадания приемного сигнала;

– кросс-коннект сигналов на уровнях VC-4-4с, VC-4, VC-3 и VC-12, совместимость с оборудованием, установленным на смежных ВОЛС, и возможность масштабирования.

4.3.3. Требования к качеству передачи [18]. Секции и тракты, образованные ВОЛС, должны удовлетворять требованиям Рекомендаций МСЭ-Т М.2100, М.2101, G.783, G.958, G.823, G.825, G.826 для международных соединений.

Задержка при передаче информации между любыми двумя пунктами ВОЛС (пользовательскими интерфейсами) не должна превышать 1 мс.

4.3.4. Требования к системе управления [18]:

1. Система управления (СУ) ВОЛС должна базироваться на принципах TMN в соответствии с Рекомендациями МСЭ-Т М.3010 и предусматривать уровни управления элементами сети (ЭС) и сетью.

Управление транспортным оборудованием, оборудованием доступа, маршрутизации и коммутации, оборудованием тактовой сетевой синхронизации должно осуществляться из создаваемых Центров управления – Волго-Донского ПМЭС, Черноземного ПМЭС, Ростовского ПМЭС, МЭС Центра и МЭС Юга. Мониторинг сети электропитания осуществляется с этих же объектов.

2. СУ должна обеспечивать управление всей организуемой ЦСПИ (транспортной сетью и сетью доступа) и обеспечивать непрерывные автоматизированное управление и контроль всего оборудования в реальном масштабе времени.

3. Все оборудование и функции, связанные с работой оборудования, должны наблюдаться и управляться как локально, так и дистанционно в реальном масштабе времени.

4. В рамках СУ должна быть реализована система удаленного информирования с помощью SMS-сообщений о тех или иных событиях. Список событий, текстов сообщений и список адресатов должны иметь возможность настройки.

5. СУ должна фиксировать и осуществлять оповещение:

– о случаях срабатывания аварийной сигнализации систем передач и внесении изменений в конфигурацию устройств, об осуществлении доступа (в том числе несанкционированного).

6. Для локального конфигурирования на объектах должны использоваться локальные терминалы операторов (ЛТО).

7. Аппаратные и программные средства ЛТО должны обеспечивать работу и доступ ко всем элементам сети.

4.3.5. Требования к управлению конфигурированием [12]. В области управления конфигурацией СУ должна обеспечивать:

- синхронизацию (автоматическую или по команде оператора) баз данных системы управления и ЭС (для всех типов и версий ЭС, подключенных к СУ);

- проведение аудита ЭС по всем параметрам, включая установки синхронизации, кросс-соединения, конфигурацию ЭС, функцию загрузки и чтения конфигурации ЭС и управление разбиением сети;

- управление иерархическими сетями.

Конфигурирование в рамках системы управления иерархической структурой сети (вся сеть, региональная подсеть и т.д.) включает:

- автоматическое и принудительное переключение с основного оборудования, каналов и трактов на резервные, установку пороговых значений качественных параметров для выработки аварийных сообщений, выбор источника синхронизации с соответствующими уровнями качества, установку приоритетов синхронизации;

- создание/удаление модификации оперативных переключений, конфигурацию и модификацию полезной нагрузки, конфигурацию трактов из конца в конец, графическое представление оборудования, установленных на нем плат и устройств, а также индикацию технического состояния и наличия аварийных сигналов для всех ЭС.

4.3.6. Требования к управлению неисправностями [18]. В области контроля и управления устранением неисправностей СУ должна обеспечивать:

- 1) предоставление информации о неисправностях и изменении состояния контролируемых ЭС в реальном масштабе времени (менее 1 мин);

- 2) поддержку и ведение подробных журналов регистрации неисправностей:

- журнал системных сообщений операционной системы, приложений и непосредственно системы управления – объемом не менее 100 тыс. сообщений;

- журнал администратора системы управления, в котором хранится информация по доступу в систему (санкционированный/несанкционированный доступ), состояние связи с элементами сети – объемом не менее 1 тыс. сообщений;

- журнал активных аварий, в который записываются и хранятся активные (неподтвержденные и подтвержденные) аварийные сообщения и неактивные (неподтвержденные) аварийные сообщения – объемом не менее 10 тыс. сообщений;

– журнал истории событий, в котором хранятся неактивные подтвержденные аварийные сообщения – объемом не менее 100 тыс. сообщений, журнал команд, выдаваемых от системы управления на оборудование (не менее 10 тыс. сообщений);

3) циклическое заполнение журналов без переполнения. Заполнение (частичное или полное) журналов не должно оказывать влияния на быстродействие серверов и рабочих станций и время реакции системы управления на команды оператора и на функциональность;

4) возможность выборки и сортировки информации журналов по типам аварий (событий), по категории срочности, по дате и времени, по типам ЭС;

5) управление режимами контроля работоспособности и поступления аварийных сигналов и других сообщений от ЭС, карт и портов ввода-вывода («маскирование» аварийных сообщений), изменение категории аварийных сигналов;

6) фильтрацию и корреляцию сигналов аварийных сообщений (срочные/несрочные);

7) поддержку датчиков контроля и управления аварийной внешней сигнализацией на объекте;

8) включение/отключение на рабочей станции звуковой сигнализации неисправности и изменение уровня ее громкости;

9) возможность распечатки выбранной информации в журналах по команде оператора рабочей станции на принтере системы управления, в том числе удаленном, и сохранения на внешнем магнитном или оптическом носителе в формате, читаемом в стандартных приложениях ОС Windows;

10) возможность внесения комментария для оператора (на русском и английском языках) для каждого типа аварийного и другого сообщения для занесения их в журналы;

11) поддержку цветовой индикации по авариям различной важности, по подтвержденным и неподтвержденным в журнале активным авариям, активным и завершившимся (неактивным) авариям для графического представления сетевых элементов и секций СЦИ, в том числе и на всех картах/схемах связи;

12) индцирование:

– аварии в случае превышения определенной величины тока смещения лазера, аварии в случае превышения определенной величины температуры оптического излучателя.

4.3.7. Требования к управлению качеством [18]. В области управления качеством СУ должна обеспечивать:

1) активацию/деактивацию измерений показателей качества на сетевых элементах, секциях и трактах. Периодический сбор данных по показателям качества с сетевых элементов в соответствии с Рекомендациями МСЭ-Т G.826, G.784, M.2100, M.2101, M.2120;

2) проведение измерений параметров оборудования без прекращения связи, в том числе:

- мощность сигнала на выходе передатчика и на входе приемника;

3) ведение подробного журнала регистрации параметров качества отдельно для 15-минутных и 24-часовых интервалов измерений с возможностью вывода всей доступной оператору информации на печать и сохранения на внешнем носителе;

4) время хранения журналов с информацией о параметрах качества для 15-минутных измерений – не менее 3 суток, а для 24-часовых измерений – не менее 30 суток.

4.3.8. Требования к управлению безопасностью [18]. В области управления безопасностью СУ должна обеспечивать:

- защиту информации в соответствии с требованиями Рекомендаций МСЭ-Т М.3016, многоуровневую авторизацию пользователя;

- возможность изменения всех паролей и пользователя ко всем ресурсам системы управления и операционной среды без вмешательства представителей поставщика. СУ должна обеспечивать регистрацию вхождения и выхода из системы каждого пользователя, а также запись действий оператора;

- режим разделения управляемых ресурсов и функций управления между различными операторами.

Организация контроля и управления системой бесперебойного электроснабжения объекта. Мониторинг проектируемых систем электропитания должен осуществляться из: РУС Волго-Донского ПМЭС, РУС Черноземного ПМЭС, РУС Ростовского ПМЭС, МЭС Центра и ЦУС МЭС Юга, а также обменом данными по протоколу SNMP с системой мониторинга, осуществляющей общие функции отображения об изменении состояния контролируемого объекта.

4.3.9. Требования к дополнительным функциям [18]:

1. СУ должна иметь возможность синхронизации показаний часов всех сетевых элементов ЭС со временем серверов и рабочих станций системы управления в автоматическом и ручном режиме, одновременно для всех ЭС (выполнение оператором только одной операции/функции) и отдельно для каждого.

2. На серверах и рабочих станциях должен быть обеспечен доступ из системы управления (для системного администратора) в операционную систему без выхода из системы управления и потери контроля за ЭС, подсетью и сетью.

3. Каждая выполняемая оператором функция системы управления должна сопровождаться визуальной индикацией состояния прогресса происходящего процесса и его завершения.

4. СУ должна взаимодействовать с ЭС с целью получения информации и передачи сигналов управления по встроенным цифровым служебным каналам. Допускается применение для этой цели выделенного цифрового канала.

5. СУ должна иметь функцию сохранения (в режиме «on-line» и «off-line») и восстановления (в режиме «off-line») информационной (с полной конфигурацией ЭС и соединений между ЭС) базы данных на магнитной ленте и оптическом носителе. Сохранение в режиме «on-line» должно быть обеспечено в ручном и автоматическом режиме.

4.3.10. Требования к аппаратному и программному обеспечению системы управления [18]:

1. Все программное обеспечение должно иметь интерфейс пользователя на русском языке, включая справочную информации (help). Все сообщения оператору (за исключением общепринятых аббревиатур) должны выдаваться на русском языке.

2. СУ должна обеспечивать функцию ввода и изменения справочной информации (help) на русском языке.

3. В СУ должны быть предусмотрены средства контроля, диагностики и восстановления системы управления при отказах и сбоях.

4. Вся поступающая информация должна сохраняться в базе данных на жестком диске сервера или рабочей станции СУ.

5. Для системы управления должно быть предусмотрено «горячее» резервирование баз данных, системного и прикладного СУ (сохранение на внешнем носителе).

6. Модификация/замена аппаратных средств СУ не должна требовать дополнительного лицензирования программного обеспечения.

7. Аппаратные и программные средства ЛТО должны обеспечивать работу и доступ ко всем элементам сети.

8. Доступ ЛТО к оборудованию должен производиться только с разрешения оператора рабочей станции с паролем, действующим ограниченный интервал времени, назначаемый оператором СУ.

9. Для случая максимальной загрузки каналов управления должны выполняться следующие условия:

9.1. Максимальное время открытия любого окна системы управления на рабочей станции до 3 с.

9.2. Максимальное время исполнения команды оператора с рабочей станции (время от активизации команды до получения ответа об исполнении команды):

– создание одного кроссового соединения на одном ЭС – до 10 с, при переключении тракта на резерв (любой вид резервирования) – до 10 с;

– активизация любой функции измерения качественных параметров до 10 с, исполнение любой иной команды (функции) – до 2 с;

- перезагрузка программного обеспечения (ПО) системы управления (без операционной системы) – до 1 мин;
- перезагрузка рабочей станции или сервера с выключением питания – до 3 мин, время полной загрузки информации о ЭС – до 5 мин.

10. СУ должна иметь достаточный запас производительности и комплектации для развития управляемого объекта (до 500 ЭС) без ухудшения перечисленных параметров по производительности и собственных технических параметров.

11. СУ должна поддерживать электронную почту (посылка и прием текстовых сообщений) между рабочими станциями (серверами), а также посылку сообщений на локальные и сетевые принтеры на русском и английском языках. Клавиатуры серверов и рабочих станций должны быть русифицированы:

11.1. Лицензии на системное и прикладное программное обеспечение должны давать право на неограниченное количество установок.

11.2. Все системное и прикладное программное обеспечение должно поставляться на оригинальных носителях фирмы-производителя с полным комплектом программной документации и сертификатов соответствия.

11.3. Исполнитель должен обеспечить настройку существующих и вновь устанавливаемых программно-технических комплексов СУ для реализации функций управления вновь устанавливаемым оборудованием.

11.4. Исполнитель на этапе разработки рабочей документации должен разработать схему организации системы управления в соответствии со схемой организации связи с отображением устанавливаемых и существующих программно-технических средств СУ, а также каналов управления.

4.3.11. Требования к надежности [18]. Срок службы оборудования при круглосуточном режиме работы должен быть не менее 20 лет.

Среднее время наработки на отказ (МТБФ) должно быть не менее 200 000 часов.

Готовность каналов передачи (без учета повреждений кабеля) должна быть не менее 0,9998.

4.3.12. Требования к системе тактовой сетевой синхронизации (ТСС) [18]:

1. Основным источником синхронизации для создаваемой ЦСПИ должна являться собственная сеть ТСС ОАО «ФСК ЕЭС».

2. При построении сети ТСС опорный синхросигнал должен приниматься от существующих и проектируемых первичных эталонных генераторов (ПЭГ) и вторичных задающих генераторов (ВЗГ).



3. Для обеспечения сетевых элементов синхросигналом нужного качества устанавливаются ПЭГ на:

– ПС 500 кВ Тихорецк (устанавливаются ВЗГ на следующих узлах: ПС 330 кВ Белгород, ПС 500 кВ Фроловская и ПС 500 кВ Дагомыс).

4. Резервным внешним источником синхронизации должен быть синхросигнал ТСС ОАО «Ростелеком».

5. В случае пропадания синхросигнала от перечисленных источников мультиплексоры получают синхросигнал от внутреннего генератора в режиме удержания частоты. При повреждении текущего источника синхронизации обеспечивается автоматическое переключение на другой источник с учетом уровня качества принимаемого сигнала и в соответствии с приоритетом.

6. Исполнитель на этапе разработки рабочей документации должен уточнить схему синхронизации ВОЛС в соответствии со схемой организации связи, с отображением распределения синхросигналов от источников ко всему оборудованию ВОЛС (включая резервные пути распространения сигнала синхронизации при возможных основных неисправностях ВОЛС), уровни качества, интерфейсы и приоритеты источников синхросигналов.

4.3.13. Проектом сформулированы требования к оборудованию ТСС [18]:

– первичный эталонный источник (ПЭИ) и первичный эталонный генератор (ПЭГ);

– вторичный задающий генератор (ВЗГ) и местный задающий генератор (МЗГ);

– распределитель сигналов синхронизации (РСС), преобразователь сигналов синхронизации (ПСС) и система управления тактовой сетевой синхронизацией (СУ ТСС).

4.3.14. Требования к генератору сигналов эталонному (ГСЭ) [18]. Генератор оборудования системы передачи должен иметь возможность синхронизироваться от следующих источников:

– линейный сигнал STM-N, компонентные сигналы, внешний сигнал синхронизации 2,048 МГц и 2,048 Мбит/с и внутренний генератор в режиме удержания частоты.

Внутренний генератор оборудования ГСЭ должен соответствовать Рекомендациям МСЭ-Т G.813 тип 1 и стандарту ETSI 300-462-5. Сигналы качества, передаваемые в SSM, должны соответствовать Рекомендациям МСЭ-Т G.781. Выходные сигналы синхронизации T4 должны отключаться при приеме сигнала синхронизации с качеством хуже установленного предела.

Оборудование должно обеспечивать возможность режима выделения выходных сигналов синхронизации (T4) непосредственно из линейного сигнала, минуя ГСЭ.

В составе ВЗГ должен находиться приемник эталонного сигнала GPS/ ГЛОНАСС. В составе ВЗГ необходимо наличие преобразователя синхросигналов ПСС (который называется также «ретаймер»). Сигналы 2048 кбит/с с выходов ПСС должны удовлетворять требованиям 3.8.5 и 3.8.6 настоящих технических требований ТТ вне зависимости от наличия искажений во входных сигналах того же ПСС (когда  $МОВИ \leq 10$  мкс на временном интервале  $10 \text{ с} \leq \tau \leq 100 \text{ с}$ ).

Первичный эталонный генератор должен соответствовать требованиям, изложенным в РД 45.034-99 «Аппаратура синхронизации первого уровня иерархии. Первичный эталонный генератор – ПЭГ. Технические требования». Вторичный задающий генератор должен соответствовать требованиям, изложенным в РД 45.035-99 «Аппаратура синхронизации второго уровня иерархии. Вторичный задающий генератор – ВЗГ. Технические требования».

4.3.15. Функции системы контроля и управления (СУ) [18]. Система управления должна выполнять функции контроля и управления на уровнях управления сетевыми элементами СЭ в следующих областях:

- управление обработкой неисправностей, качеством формирования и передачи синхросигналов, конфигурацией и безопасностью.

В области управления обработкой неисправностей СУ ТСС должна обеспечивать выполнение следующих функций:

- обнаружения и локализации неисправностей, индикации неисправностей входного сигнала, ведения журнала истории событий и аварий с указанием блока-источника события, типа события и времени возникновения.

В области управления качеством синхросигналов СУ ТСС выполняет:

- контроль параметров входных сигналов и сравнение их с устанавливаемыми масками, вывод результатов измерений и анализ результатов измерений.

В области управления конфигурацией СУ осуществляет:

1) для входных сигналов:

- выбор канала, установки приоритетов, типа входного сигнала и уровня допустимого качества входного сигнала;

2) для выходных сигналов:

- установку резервирования выходного сигнала, включения (выключения) выходного сигнала и уровня качества в формируемом сигнале 2048 кбит/с;

3) в части управления:

- включение (выключение) порта местного управления и установку скорости для последовательного порта.

В области управления безопасностью СУ ТСС обеспечивает:

– введение классов пользователей: с разрешением только на просмотр, с разрешением на просмотр и конфигурирование, с разрешением на просмотр, конфигурирование и управление пользователями СУ ТСС;

– введение паролей и идентификаторов для пользователей.

Оборудование должно управляться с помощью местного рабочего терминала, подключаемого через интерфейсы Ethernet, RS-232.

Оборудование должно обеспечивать круглосуточный непрерывный режим работы СУ ТСС.

В СУ ТСС должны быть в наличии средства контроля, диагностики и восстановления при отказах и сбоях.

4.3.16. Требования к системе резервирования [18]. Для оборудования должно быть предусмотрено «горячее» и «холодное» резервирование функциональных основных блоков.

Переход на резерв при «горячем» резервировании должен осуществляться как автоматически, так и принудительно (вмешательством эксплуатационного персонала).

При автоматическом резервировании переключение должно происходить без вмешательства оператора и без применения дополнительных сетевых устройств.

Резервирование с помощью вмешательства эксплуатационного персонала должно осуществляться как с помощью внешних команд СУ, так и ручной коммутации, проводимой путем переключения кабелей на оборудовании.

Время переключения на резерв при «горячем» резервировании должно составлять не более 10 мс.

Оборудование должно поддерживать два режима резервирования: без возврата и с возвратом.

Выбор режима резервирования должен обеспечиваться системой управления.

Элементы оборудования, отказ которых может привести к нарушению функционирования оборудования, должны резервироваться по схеме 1+1 (в том числе для линейного тракта).

Блоки интерфейсных модулей должны резервироваться по схеме N:1, N+1.

Схема резервирования для кольцевых участков должна быть предложена исполнителем, уточнена на стадии рабочего проектирования и согласована с заказчиком. Для канальных ресурсов должно быть предусмотрено резервирование SNCP.

4.3.17. Требования к электропитанию [18]. Система бесперебойного электроснабжения объекта должна содержать:

– автоматическое включение резерва (АВР), электропитающую установку (ЭПУ) постоянного тока, источник бесперебойного питания (ИБП) переменного тока для питания компьютерного оборудования.

4.3.18. Требования к аварийной сигнализации [18]. В оборудовании должны обеспечиваться программно-аппаратный контроль функционирования и аварийная сигнализация о возможных неполадках и отказах.

Аварийная сигнализация должна указывать поврежденные блоки (с помощью светодиодной индикации) и транслировать сигналы аварии в систему акустической и световой сигнализации объекта (на транспарант, входящий в состав настоящей поставки). Также должны вырабатываться необходимые сообщения для СУ.

Для аварийных сигналов должно быть обеспечено объединение их в смысловые группы и возможность установки категории срочности.

Должно индицироваться поступление аварийных сигналов, включая:

- пропадание входного сигнала и питания внешней сети;
- сигналы устройств охранной и пожарной сигнализации и пропадание внутреннего электропитания;
- пороговое значение коэффициента ошибок, при котором происходит отказ системы, и значение коэффициента ошибок, характеризующее снижение качества (предаварийная сигнализация);
- снятие платы, потерю синхронизации, ухудшение параметров лазера и появление сигнала AIS.

Все случаи срабатывания аварийной сигнализация должны транслироваться к СУ.

#### **4.4. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕТИ**

В настоящее время современные сети связи ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра пропускают высокоскоростной трафик, состоящий не только из каналов служебной и диспетчерской телефонии. Все большее значение в последнее время приобретает передача по локальным сетям данных телемеханики и телеуправления, РЗ и ПА, ОИК, АС-КУЭ, АСУТП, диспетчерской, бухгалтерской и финансовой информации между филиалами МЭС, ПМЭС и ФСК. Перечисленные виды трафика, передающиеся по сетям связи филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра, непосредственно и в очень высокой степени влияют на:

- обеспечение надежности и бесперебойности технологического процесса передачи и преобразования электроэнергии, как в филиалах, так и по всему ФСК в целом;

- обеспечение функций релейной защиты и противоаварийной автоматики;
- своевременный и достоверный сбор данных коммерческого учета электроэнергии (АИИСКУЭ);
- отображение в реальном времени оперативно-диспетчерских данных о состоянии электрических сетей филиалов ФСК;
- обеспечение конфиденциальности и финансовой безопасности компании.

При существующем уровне надежности нового оборудования сетей связи в МЭС Центра на первое место выходят задачи качественно и квалифицированного управления сетями и ресурсами сети, а также мониторинг их состояния. Эти задачи подразумевают:

- конфигурирование каналов связи;
- сбор и анализ данных по производительности и пропускной способности сетей;
- мониторинг ошибок, возникающих в сетях и их устранение;
- прием и подключение новых собственных и арендованных каналов связи;
- сбор данных по тарификации;
- предоставление клиентам сетей новых сервисов.

Для выполнения перечисленных задач требуется квалифицированный и обученный персонал служб ИТС, который в настоящее время имеется на узлах связи МЭС (ОУС) и ПМЭС (РУС) [9]. При этом техническое обслуживание нового оборудования практически не требуется и поэтому оно сведено к минимуму. Ремонт нового оборудования связи может быть выполнен только фирмой-производителем этого оборудования, но не в условиях филиалов ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС.

Таким образом, в МЭС Центра, учитывая стремительные темпы строительства и реконструкции телекоммуникационной структуры путем создания обширных территориально распределенных сетей связи сложной топологии на базе современного цифрового оборудования ведущих мировых производителей, на первое место выходят задачи качественного и квалифицированного управления инфокоммуникационными сетями и ресурсами, а также мониторинг их состояния.

В следующей пятой главе рассмотрим инфокоммуникационный техноценоз предприятий МЭС Центра.

## **Выводы**

1. Волоконно-оптические линии связи, системы спутниковой и высокочастотной связи обеспечивают производственную деятельность предприятий магистральных электрических сетей и управление техно-

логическими процессами в производстве на всех уровнях иерархии управления.

2. Энергетические компании и МЭС Центра, в частности, рассматривают сотрудничество с операторами связи по строительству ВОЛС на ВЛ, в общем, как успешно зарекомендовавшую себя практику. Это сотрудничество позволяет энергетикам активно развивать собственную технологическую связь, рационально используя свои средства.

3. Исходя из практики использования и опыта эксплуатации, можно сделать вывод об определенном удобстве и надежности применения ВОЛС, построенных с использованием инфраструктуры электроэнергетики, не только для решения коммерческих «телекоммуникационных» задач, таких как передача голоса, данных, видео, но и для успешного применения в области технологической связи, телемеханики и РЗА.

4. Рассмотрены пример организации волоконно-оптической сети передачи «Московское Кольцо 500 кВ» и прилегающей сети 220 и 110 кВ, а также технические требования на проектирование ВОЛС по титулу «Москва – Ростов-на-Дону» МЭС Центра (сложные проекты).

5. В МЭС Центра, учитывая стремительные темпы строительства и реконструкции телекоммуникационной структуры путем создания обширных территориально распределенных сетей связи сложной топологии на базе современного цифрового оборудования ведущих мировых производителей, на первое место выходят задачи качественного и квалифицированного управления инфокоммуникационными сетями и ресурсами, а также мониторинг их состояния.

## 5. ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЙ ТЕХНОЦЕНОЗ

---

---

Рассмотрены основные понятия техноценоза и сущность ценологического подхода, операционные затраты инфокоммуникационной сети, методология ценологического анализа количества оборудования систем связи и денежных расходов на услуги технологической связи МЭС Центра.

В настоящее время научно-технический прогресс достиг такой ступени развития, когда видовое разнообразие выпускаемых изделий соизмеримо с видовым разнообразием в природе. Законы развития техники и живой природы, состоящей из отдельных особей, имеют много общего. В связи с этим представляется возможным исследовать сложные технические системы на основе ценологических понятий.

Известно, что в XIX в. при исследовании свойств отдельных особей и совокупностей живых организмов немецкий ученый математик Клаус Фердинанд Мебиус ввел понятие «биоценоз». Биоценоз – совокупность живых организмов, обитающих на определенном участке, где условия внешней среды определяют его видовой состав.

### 5.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И СУЩНОСТЬ ЦЕНОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

По аналогии с живой природой термины «техноценоз» и «ценологический» подход предложены в 1974 г. замечательным ученым Б.И. Кудриным [7], который техноценоз определяет как сообщество всех изделий, включающее все популяции, ограниченное в пространстве и времени, имеющее слабые связи и слабые взаимодействия элементов (изделий), образующих систему искусственного происхождения, которая характеризуется несопоставимостью времени жизни ценоза и особи, невозможностью выделения однозначной системы показателей. Устойчивость технической системы обусловлена действием законов энергетического и информационного отборов по аналогии с живыми системами, где действует закон естественного отбора (табл. 5.1) [7].

Кудрин Б.И. предложил использовать модель Н-распределения (гиперболического) для математического описания видového и рангового распределения в технических системах:

$$A_i = \frac{A}{X_i^{1+\alpha}}, \quad (5.1)$$

где  $A_i$  – теоретическое значение числа видов для всех  $i$ ;  $X_i$  – численность популяции  $i$ ;  $A, \alpha$  – постоянные видového распределения.

## 5.1. Основные термины параллелизма био- и техноэволюции

Определение	Наименование	
	биологическое	технологическое
Самостоятельно функционирующая единица	Организм. Особь	Изделие. Особь
Элементарная единица эволюции, группа особей одного вида организмов, занимающая область пространства с определенными границами	Вид	Вид (типоразмер)
Ограниченное в пространстве и времени любое единство, включающее все популяции (все организмы (изделия))	Популяция	Популяция
Сообщество и неживая среда (физико-химические факторы), функционирующие совместно и рассматриваемые как единое; взаимосвязанный комплекс организмов, характерных для известных геофизических условий	Биоценоз, биотическое сообщество. Биогеоценоз (геобиоценоз), экосистема	Техноценоз. Экосистема
Направленное постепенное и закономерное изменение популяций в ряду поколений	Эволюция	Техноэволюция
Материальный объект, содержащий закрепленную информацию и предназначенный для ее передачи и использования	Ген	Документ
Устройство изделия, генетическая конституция, записанная с помощью символов; совокупность всех генов (документов), определяющая организм (изделие)	Генотип	Генотип
Внешнее видимое проявление наследуемых признаков, реализованный комплекс признаков организма	Фенотип	Фенотип
Возможность и способность к воспроизведению своего вида	Размножение	Изготовление
Внезапное наследственное изменение, любое изменение, внесенное в документ, по которому изготавливается изделие	Мутация	Вариофикация
Формирование экосистем количественно увеличивающимися видами так, что каждое из большинства видов представлено малым числом особей; по мере увеличения количества особей одного вида – число этих видов сокращается	Видовое разнообразие	Ассортица



Поясним существование идеальной технической системы с точки зрения гармонии [21]. Будем считать, что гармония и идеальное распределение ценоза как системы, выполняющей свое функциональное назначение, подчиняются правилу «Золотого сечения», а понятие «Золотое сечение» неразрывно связано с числами Фибоначчи (числовая последовательность, первые два элемента которой равны 1, а каждый последующий равен сумме двух предыдущих: 1, 1, 2, 3, 5, 8, ...).

Вместе с тем движение естествознания к исследованию и пониманию таких явлений, как самоорганизация и гармония, требует нового математического аппарата. В отличие от классической математики с доминированием фундаментальных математических констант  $\pi$  и  $e$ , в математике живой природы доминирует константа «Золотого сечения» –

$$\Phi = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} = 1,618. \text{ Здесь число } 1,618 \text{ обозначается буквой } \Phi \text{ в честь}$$

древнегреческого скульптора Фидия, который впервые показал, что единичный отрезок  $AB$  ( $0,382 + 0,618 = 1$ ) делится точкой  $C$  в соответствии с пропорцией  $1 : 0,618 = 0,618 : 0,382 = 1,618$ . Такое отношение и принято называть золотой пропорцией, а соответствующее деление отрезка – золотым делением.

На последние 20 лет приходится бурный всплеск исследований по проблеме золотого сечения. В эти годы в России и странах СНГ появились крупные работы в различных направлениях науки, где золотая пропорция и ее закономерности использованы как своеобразный методологический принцип, лежащий в основе анализа самоорганизующихся природных и технических систем, их структурной гармонии.

В работах многих ученых представлено множество проявлений закономерностей золотого сечения и чисел Фибоначчи в пропорциях биологии и эргономики, архитектуры и техники и т.д. На многочисленных примерах из различных областей знаний показано, что свойства и закономерности золотого сечения и чисел Фибоначчи проявляются в виде принципов оптимальности в организации и функционировании различных систем. Применение этих закономерностей для поиска оптимальных параметров функционирования систем служит одним из приемов, используемых в качестве методологической основы ценологических исследований технических систем.

Целью настоящей работы является проверка справедливости закона рангового  $H$ -распределения в контроле количества оборудования систем связи и оптимизации расхода денежных средств на услуги ЕТССЭ электроэнергетической отрасли, в частности филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра.

Будем пользоваться понятийным аппаратом, принятым в техноценологической теории согласно [7]. Тогда в зависимости от решаемой

задачи для эксплуатации и технического обслуживания ЕТССЭ в рамках МЭС Центра видами могут быть как сами ПМЭС (Валдайское, Верхне-Донское и т.д.), так и оборудование различных систем связи (аппаратура: уплотнения КЛС, ВЛС, ВОЛС; беспроводного доступа, спутниковой связи, регистраторов диспетчерских переговоров и т.д.). Популяции – это технологические системы, например волоконно-оптические сети передачи ВОСП, цифровые сети передачи информации ЦСПИ и т.д., а сама ЕТССЭ в рамках МЭС Центра в этом случае является *техноценозом*.

В то же время для задач контроля и оптимизации *бюджета годовых расходов на услуги технологической связи в МЭС Центра (экономический ценоз)* предприятия ПМЭС и ИА МЭС Центра могут выступать как *особи*. Впрочем, и конкретные *статьи расходов* бюджета годовых расходов на услуги технологической связи в ПМЭС и ИА МЭС Центра также могут быть *особями*.

Первая процедура в ранговом анализе – *ранжирование* – процедура упорядочения объектов по степени выраженности какого-либо качества: изучаемые объекты располагаются в ряд в порядке убывания уровня исследуемого качества. В результате получается *ранговое распределение*.

Если в качестве параметра рассматривается мощность популяции (численность, которой представлен вид в ценозе), то в этом случае распределение называется *ранговым видовым*. Если в распределении фигурирует какой-либо из видообразующих параметров, например, в техноценозе стоимость оборудования или услуг, то распределение будет называться *ранговым параметрическим*. Таким образом, в ранговом видовом распределении ранжируются виды, а в параметрическом – особи [3, 8].

В связи с вышеуказанным пояснением следует отметить, что особь – неделимый элемент ценоза, ее выбор – неоднозначная задача, от решения которой могут меняться как состав, так и границы ценоза.

Известна закономерность: чем меньше численность вида в ценозе (мощность популяции), тем выше его основные видообразующие (качественные) параметры [3]. В этой закономерности проявляется один из фундаментальных законов природы. Проиллюстрируем этот закон, например, для случая оборудования волоконно-оптической сети передачи ВОСП проекта ВОЛС «Московское Кольцо 500 кВ» Московского ПМЭС (см. рис. 4.11) [9].

Если рассмотреть в техноценозе ЕТССЭ популяцию оборудования ВОСП, то оборудование опорной сети каналов STM-1 мультиплексоры FOX 515 будут представлять самую мощную популяцию – «серийный вид» (49 комплектов). По терминологии Б.И. Кудрина, это есть «саранчовая каста», в которой сосредоточено большинство техно-

логических модулей–особей: аналоговые (NEMCA, EXLAN, SUBH1); передачи данных (DATAS, NEBRO); специальные (TEBIT) и т.д.

Второй по мощности популяцией этого техноценоза можно назвать мультиплексоры Nortel OME 6500 оптических каналов STM-16 или STM-4 опорной сети данного проекта (17 комплектов).

И, наконец, выделяются редкие популяции, представленные всего лишь несколькими видовыми экземплярами (по Б.И.Кудрину – «ноева каста»), например: регенераторы оптических каналов STM-16 Nats-tender 7030 (3 комплекта) с одной видообразующей функцией – усилением.

Как указано выше, закон рангового распределения особей в техноценозе (Н-распределение) имеет вид гиперболы [7]:

$$W = \frac{A}{r^\beta}, \quad (5.2)$$

где  $A$  – коэффициент аппроксимации или максимальное значение параметра особи с рангом 1, т.е. в первой точке (лучшая особь);  $r$  – номер ранга;  $\beta$  – ранговый коэффициент, характеризующий степень крутизны кривой распределения. Причем наилучшим состоянием техноценоза является такое состояние, при котором параметр  $\beta$  находится в пределах:  $0,5 \leq \beta \leq 1,5$ . Для идеального изолированного техноценоза, каких в природе не существует,  $\beta = 1$ .

В настоящей работе осуществлена проверка справедливости закона рангового распределения (5.2) для оборудования ЕТССЭ (по сути инфокоммуникационной сети) предприятий МЭС Центра. Представляется возможным применение данного подхода для оценки и контроля видового разнообразия оборудования систем связи ЕТССЭ в электроэнергетической отрасли, например при проектировании, строительстве или вводе новых энергообъектов (подстанций). Техноценоз целесообразен также в эксплуатации (обслуживании) – прогнозировании бюджета годовых расходов на корпоративные услуги технологической связи, контроле и оптимизации денежных расходов по различным статьям (оплаты), например в филиалах ОАО «МЭС Центра» – ПМЭС (сравнивая фактическое и идеальное гиперболическое Н-распределение).

## **5.2. ОПЕРАЦИОННЫЕ ЗАТРАТЫ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ**

5.2.1. Принципы формирования источников финансирования операционных затрат на инфокоммуникационную (технологическую) сеть связи служб ИТС и СС предприятий МЭС Центра. Согласно [2] для унификации процесса в сфере трудовых отношений в МЭС Центра

необходимо понять и скорректировать негативные принципы планирования в настоящее время (математический волюнтаризм и перекрестное финансирование) и далее:

- организовать тандем «экономисты – связисты» в МЭС Центра и ПМЭС;

- минимизировать информационный документооборот между службами систем связи МЭС Центра и ПМЭС и снизить трудозатраты в службах;

- повысить степень свободы работников служб ИТС и СС в плане работы и контроля их фактического исполнения на базе полного доверия.

Вследствие этого в сфере телекоммуникационного бизнеса необходимо повысить: прозрачность и управляемость бюджета на связь, точность планирования и оперативность выделения средств на эксплуатацию систем связи.

Известно, что финансовое обеспечение услуг связи и информационных технологий в ОАО «ФСК ЕЭС (рис. 5.1) зависит от финансового обеспечения его первичного производства (рис. 5.2), а основными положениями тарифного регулирования являются [2]:

- 1) тарифы устанавливаются на долгосрочный период, отдельно на каждый финансовый год в течение этого периода;

- 2) расчет тарифов осуществляется, исходя из необходимой валовой выручки, которая обеспечит:

- возврат инвестированного капитала (амортизация капитала);
- доход на инвестированный капитал;
- расходы, связанные с производством и реализацией продукции (услуг) по *регулируемым* видам деятельности;

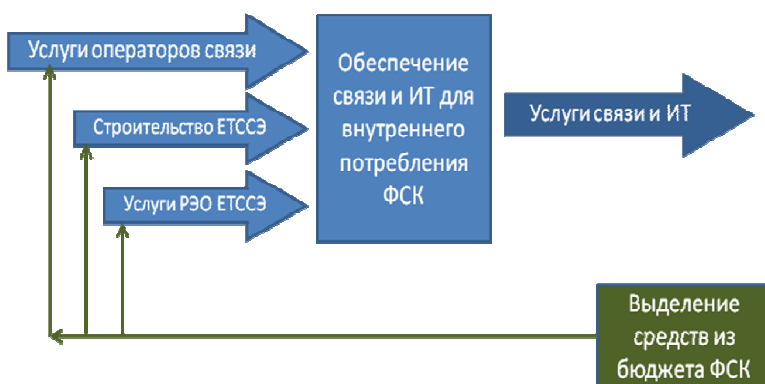
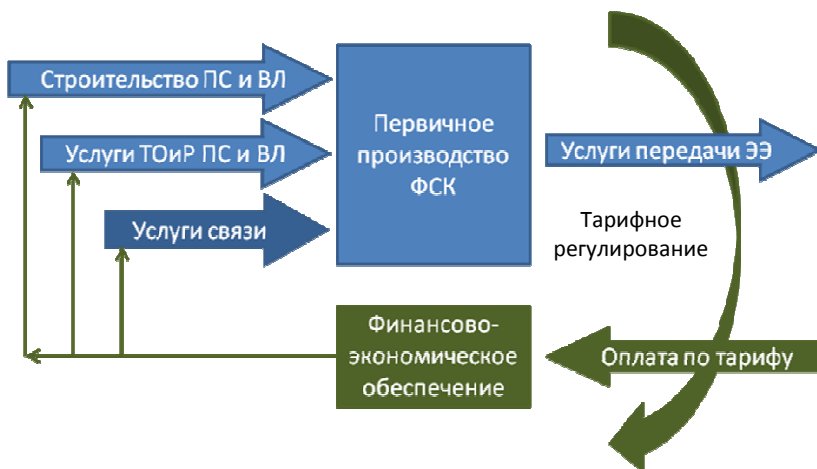


Рис. 5.1. Схема финансового обеспечения услуг связи и информационных технологий в ОАО «ФСК ЕЭС»



**Рис. 5.2. Схема финансового обеспечения первичного производства в ОАО «ФСК ЕЭС»**

3) органы регулирования вправе сглаживать тариф между годами в пределах одного долгосрочного периода. В течение долгосрочного периода регулирования ежегодно тарифы корректируются;

4) корректировка уровня операционных расходов рассчитывается по формулам:

$$\begin{aligned}
 OP_i &= OP_{i-1} \left( 1 - \frac{ИР}{100\%} \right) \left( 1 + \frac{ИПЦ_i}{100\%} \right) \left( 1 + Эл \frac{ИКА_i}{100\%} \right) \approx \\
 &\approx OP_i \left( 1 - \frac{ИР}{100\%} + \frac{ИПЦ_i}{100\%} + Эл \frac{ИКА_i}{100\%} \right),
 \end{aligned}$$

где  $OP_i$  – операционные расходы (подконтрольные расходы) в  $i$ -м году;  $ИР$  ( $= 2\%$ ) – индекс эффективности операционных расходов;  $ИПЦ_i$  – индекс потребительских цен, установленный на  $i$ -й год при расчете долгосрочных тарифов;  $ИКА_i$  – индекс изменения количества активов, установленный на  $i$ -й год при расчете долгосрочных тарифов;  $Эл$  ( $= 0,75$ ) – коэффициент эластичности операционных расходов по количеству активов, необходимых для осуществления регулируемой деятельности.

Ниже рассмотрим условные единицы (оборудование, аппаратура и т.п.) СДТУ, учтенные в составе ПС и ЛЭП и рекомендованные исполнительным аппаратом ОАО «ФСК ЕЭС» [2]:

– оборудование высокочастотных (ВЧ) устройств для организации каналов связи по ВЛ;

- аппаратура уплотнения воздушных линий связи (ВЛС);
- аппаратура УКВ-радиосвязи;
- проводная (телефонная) связь;
- аппаратура связи совещаний, радиотрансляции и оповещения;
- аппаратура для записи диспетчерских переговоров;
- аппаратура телемеханики;
- диспетчерские щиты на энергообъектах;
- устройства гарантированного электропитания, вычислительная и оргтехника.

Условные единицы современных систем связи и АСУ в ОАО «ФСК ЕЭС» сведены в табл. 5.2 [2].

### 5.2. Условные единицы систем связи и АСУ

Наименование	Единица измерения	Количество условных единиц на единицу измерения
Аппаратура спутниковой сети связи для передачи ТМ, голоса, данных АИИС КУЭ	Канал	9
Аппаратура плезियोхронной цифровой иерархии (PDH)	1 ед.	1,76
Аппаратура синхронной цифровой иерархии (SDH)	1 ед.	1,13
Кабель волоконно-оптической линии связи	1 км	0,56
Оперативно-диспетчерское обслуживание систем и средств связи	1 чел.	55,6
АСУ (АСУ ТП, АСТУ, АСУП): маршрутизаторы, роутеры, серверы	1 ед.	1,67
Система видеоконференцсвязи коллективного пользования	1 ед.	11,1
АИИС КУЭ: услуги по ремонту и техническому обслуживанию, метрологическое обеспечение	100 тыс. р. (в ценах 2010 г.)	2,72

Укрупненными показателями для расчета объемов обслуживания систем связи, АСУ и АИИС КУЭ являются:

– ВОЛС и аппаратура уплотнения ВОЛС – 0,6 усл. ед. на 1 км ВОЛС (иногда 0,56 условных единиц – УЕ);

– СС, АСУ, АСКУЭ (за исключением ВОЛС и аппаратуры уплотнения ВОЛС) – 0,2 усл. ед. на 1 усл. ед. ввода подстанций (иногда 0,16 УЕ или 0,13 УЕ). Стоимость одной условной единицы ~ 20 /25,7/ 36,8 тыс. р., трудоемкость одной условной единицы – 33,3 чел.-ч.

Согласно вышеуказанным рекомендациям ИА ОАО «ФСК ЕЭС» по оборудованию систем связи и АСУ [2] авторами было исследовано:

1. **Десять** ранговых распределений количества оборудования систем связи в ПМЭС и МЭС Центра (видовое распределение) (см. табл. 5.3) [4]:

– высокочастотные устройства для организации каналов связи по ВЛ;

– аппаратура уплотнения кабельных, воздушных и волоконно-оптических линий связи (КЛС, ВЛС, ВОЛС);

– аппаратура беспроводного доступа (РРЛ и др.);

– спутниковая связь (малые земные спутниковые станции – МЗСС);

– коммутационное оборудование проводной (телефонной) связи;

– регистраторы диспетчерских переговоров;

– аппаратура связи совещаний, радиотрансляции и оповещения;

– линейно-эксплуатационная связь (КВ, УКВ цифровые сети радиосвязи, спутниковые телефоны);

– активное сетевое оборудование (маршрутизаторы, коммутаторы) сети передачи данных;

– устройства электропитания, а также **девять** ранговых видовых распределений каждого предприятия ПМЭС и ИА МЭС Центра по всем системам связи МЭС Центра.

2. **Девять** ранговых распределений бюджета годовых расходов денежных средств по услугам технологической связи каждого ПМЭС и ИА МЭС Центра (параметрическое распределение), а также **шесть** параметрических распределений конкретных статей расходов (оплат) бюджета годовых расходов на услуги технологической связи по всем ПМЭС и ИА МЭС Центра в условных рублевых пропорциях (УРП) (табл. 5.4) [4].

Сущность ценологического метода заключается в том, что строится экспериментальное ранговое распределение исследуемой системы, затем строится теоретическая кривая (аппроксимированная), имеющая вид гиперболы и называемая Н-распределением. Обе кривые

### 5.3. Характеристика систем связи МЭС Центра

Предприятия МЭС Центра	1. Валдайское	2. Верхне-Донское	3. Волго-Донское	4. Волго-Окское	5. Вологодское	6. Приокское	7. Московское	8. Черноземное	9. ИА МЭС Центра	Всего
1. Оборудование высокочастотных устройств для организации каналов связи по ВЛ, комплект	26	72	90	33	13	46	12	64	0	444
2. Оборудование аппаратуры уплотнения кабельных, воздушных и волоконно-оптических линий связи (КЛС, ВЛС, ВОЛС), комплект	23	70	126	47	28	12 0	20 1	54	7	783
3. Оборудование аппаратуры беспроводного доступа (РРЛ и другие), комплект	2	53	149	51	13 0	0	0	58	0	445
4. Оборудование спутниковой связи (МЗСС), ед.	16	20	38	14	7	24	27	13	0	176
5. Коммутационное оборудование проводной (телефонной) связи, ед.	11	17	52	37	11	5	24	17	0	201
6. Регистраторы диспетчерских переговоров (марка), ед.	10	37	18	7	11	4	39	23	0	165
7. Оборудование аппаратуры связи совещаний, радиотрансляции и оповещения, ед.	11	18	3	9	13	4	39	13	18	144
8. Оборудование линейно-эксплуатационной связи (КВ, УКВ цифровые сети радиосвязи, спутниковые телефоны), ед.	15	31	105	38	12	53	18	30	2	392
9. Активное сетевое оборудование (маршрутизаторы, коммутаторы) сети передачи данных, ед.	17	38	57	19	38	26	88	10 0	0	567
10. Устройства электропитания, шт.	8	30	21	23	15	25	31	103	2	318
ИТОГО (шт., комплект, ед.)	139	386	659	278	278	307	479	475	29	3030/ 3635



#### 5.4. Бюджет годовых расходов на услуги технологической связи предприятий и МЭС Центра

Предприятия МЭС Центра	Статьи расходов в условных рублевых пропорциях (УРП)						Итого: расходы по услугам технологической связи филиалов МЭС/ПМЭС
	1. Расходы на услуги связи, УРП	2. Расходы на работы и услуги общепроизводственного характера	3. Расходы на работы и услуги производственного характера	4. Плата за аренду имущества, кроме зданий и офисов	5. Плата за аренду зданий и офисов	6. Расходы на ремонт и техническое обслуживание средств связи	
1. Валдайское	2,856	18,581	0	0,44	0,001776	0	10,04
2. Верхне- Донское	2,966	6,744	0	1,492	0	6,908	11,37
3. Волго- Донское	6,345	0	0,366	0	0,0809	1,994	8,8
4. Волго- Окское	2,068	0	0	2,464	2,456	0,464	7,7
5. Вологодское	3,133	0,158	0	0	0	0	3,13
6. Приокское	3,274	1,204	2,180	2,180	0	9,069	17,9
7. Московское	17,778	0	0	0	0	1,272	19,04
8. Черноземное	7,269	3,580	1,506	0	0,972	2,840	16,1
9. ИА МЭС Центра	208,203	6,630	0	0	0	214,833	429,7
Всего:	253,894	36,896	4,053	6,576	3,511	237,381	523,7

сравниваются друг с другом. Если экспериментальные точки выпадают из теоретической кривой, требуются анализ и оптимизация системы.

При сравнении этих кривых делают вывод о том, что реально нужно сделать в техноценозе (экономическом ценозе), чтобы точки реальной кривой стремились лечь на теоретическую кривую [3, 7]. Эта процедура заключается в определении способов и средств для устранения аномальных отклонений в ранговом распределении (т.е. тех точек, которые выпадают из теоретической кривой распределения).

Следует отметить, что оптимизация является одной из сложнейших и важнейших задач ценологической теории и осуществляется двумя путями:

1) номенклатурная оптимизация – целенаправленное изменение состава ценоза (отсев слабых особей), устремляющее видовое распределение техноценоза по форме к каноническому;

2) параметрическая оптимизация – целенаправленное улучшение параметров отдельных особей, приводящее ценоз к более устойчивому и эффективному состоянию [3, 8].

Применение закона рангового распределения в ЕТССЭ включает в себе огромные прогностические возможности, так как является мощным работающим *регулятивом* оптимизации любой технологической системы связи, входящей в ее состав (также техноценоз), позволяющим производить объективную оценку качества эксплуатационного процесса и указывать пути его оптимизации. Таким образом, *оптимизация техноценоза может осуществляться не только за счет изменения его параметров, но также и путем изменения численности особей данного вида в техноценозе*, так как в любом техноценозе существует глубокая, фундаментальная связь между численностью особей и уровнем их основных видообразующих параметров, выражаемая формулой (5.2).

### **5.3. МЕТОДОЛОГИЯ ЦЕНОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СИСТЕМ И УСЛУГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ**

Далее покажем более подробно оптимизацию ЕТССЭ (инфокоммуникационная сеть – техно- или экономценоз) в рамках предприятий МЭС Центра с использованием рангового анализа, предполагающего учет законов распределения количества оборудования в системах связи, входящих в состав ЕТССЭ. А также контроль и оптимизацию бюджета годового расхода денежных средств на услуги технологической связи в ПМЭС и ИА МЭС Центра. С этой целью проведем:

1) ценологические исследования количества оборудования в системах связи ЕТССЭ предприятий МЭС Центра (ранговое видовое распределение);

2) ценологические исследования бюджета годовых расходов денежных средств по статьям расходов на услуги технологической связи предприятий МЭС Центра (ранговое параметрическое распределение).

По полученным данным построим графики экспериментальных ранговых распределений оборудования исследуемых систем связи (видовые) и статей денежных расходов на услуги технологической связи в ПМЭС и ИА МЭС Центра (параметрические).

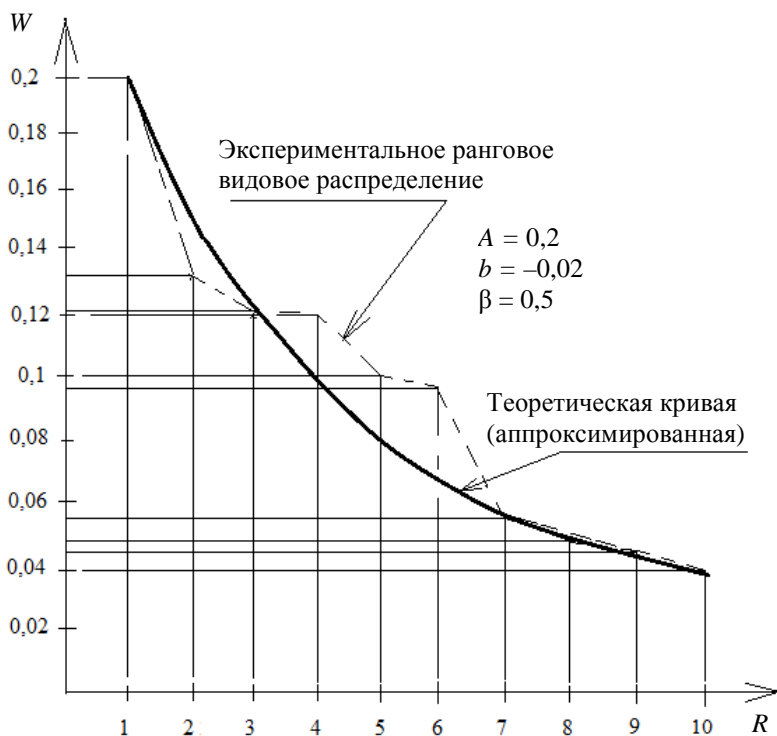
### 5.3.1. Ценологические исследования количества оборудования

*Вариант 1.* Проводились ценологические исследования количества оборудования, входящего в конкретную систему связи по всем предприятиям МЭС Центра. Первый ранг (рис. 5.3) присваивался системе связи, имеющей максимальное количество единиц (комплектов) оборудования по всем ПМЭС и ИА МЭС Центра (см. табл. 5.3, п. 2 – соответственно: оборудование аппаратуры уплотнения кабельных, воздушных и волоконно-оптических линий связи – КЛС, ВЛС, ВОЛС). Значения  $W$  для построения графика высчитывались как отношение количества оборудования конкретной системы связи, установленной во всех ПМЭС, к общему количеству оборудования во всех системах связи МЭС Центра.

Затем проводилось ранжирование оборудования систем связи по их количественному составу и графическое построение ранговых видовых распределений, которые представлены на рис. 5.3. График представляет собой экспериментальное ранговое видовое распределение оборудования каждой из десяти систем связи по всем ПМЭС и ИА МЭС Центра с постоянными константами:  $A = 0,2$ ;  $b = -0,02$ ;  $\beta = 0,5$ , а также теоретическую гиперболу (аппроксимированную, т.е. оптимальную), полученную методом компьютерного анализа. Экспериментальная кривая в точке системы связи с ранговым номером 3 и ее «хвост» (по рис. 5.3 это системы с рангами 7, 8, 9 и 10 – соответственно системы связи п. 5, 4, 6 и 7 табл. 5.3) идеально совпадают с теоретической кривой, что соответствует оптимальному соотношению количества оборудования в данных системах связи к общему количеству оборудования во всех системах технологической связи МЭС Центра.

Перечислим эти оптимальные системы по табл. 5.3: п. 5 – коммутационное оборудование проводной (телефонной) связи; п. 4 – оборудование спутниковой связи (малые земные спутниковые станции); п. 6 – регистраторы диспетчерских переговоров; п. 7 – оборудование аппаратуры связи совещаний, радиотрансляции и оповещения.

«Выпадение» на графике рис. 5.3 экспериментальной гиперболы от теоретической оборудования систем связи с ранговыми номерами 4, 5 и 6 (по табл. 5.3, п. 1 – оборудование высокочастотных устройств для



**Рис. 5.3. Кривая рангового распределения оборудования систем связи – видов:**

$R$  – ранговый номер оборудования систем связи, установленного во всех ПМЭС/ИА МЭС Центра;  $W$  – отношение количества оборудования конкретной системы связи, установленной во всех ПМЭС/ИА МЭС Центра, к общему количеству всего оборудования по всем системам технологической связи в МЭС Центра

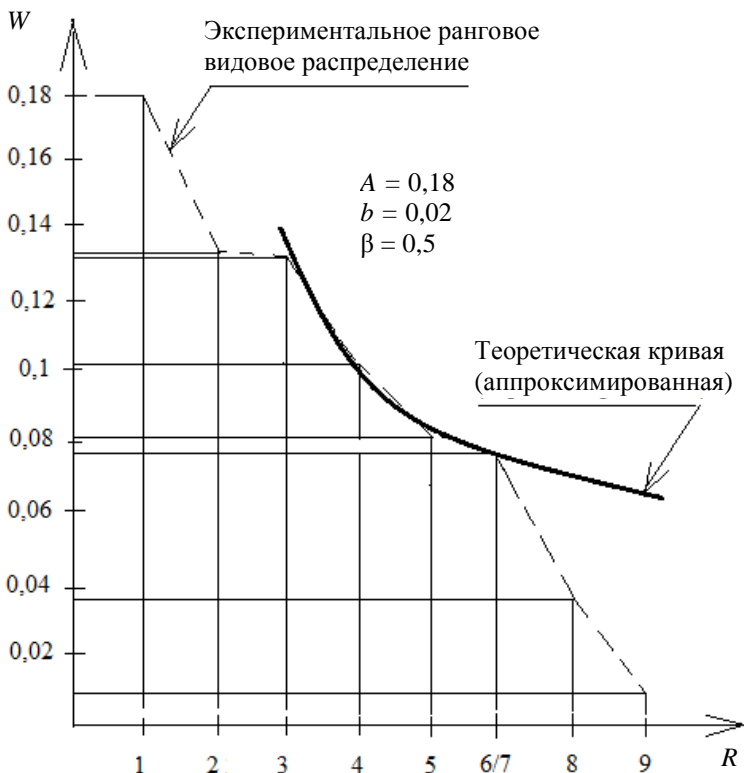
организации каналов связи по ВЛ; п. 8 – оборудование линейно эксплуатационной связи (КВ, УКВ цифровые сети радиосвязи, спутниковые телефоны); п. 10 – устройства электропитания) сигнализирует о необходимости мер оптимизации количественного состава оборудования в этих системах связи.

Излом реальной кривой на рис. 5.3 показывает, что общая система оборудования систем технологической связи находится в неустойчивом состоянии: необходимо увеличивать количество оборудования в системах связи с рангами 4, 5 и 6 во всех ПМЭС и ИА МЭС Центра. Оборудование системы связи с ранговым номером 2 завышено (по табл. 5.3, п. 9 – активное сетевое оборудование – маршрутизаторы,

коммутаторы сети передачи данных) и тоже требует процедуры оптимизации и перераспределения по ПМЭС и ИА МЭС Центра.

*Вариант 2.* Также проводились ценологические исследования рангового видового распределения оборудования систем связи в каждом ПМЭС. Первый ранг присваивался предприятию, имеющему наибольшее количество оборудования (комплектов) по всем системам связи (Волго-Донское ПМЭС см. табл. 5.3, п. 3 и рис. 5.4, ранг  $r = 1$ ).

Значения высчитывались как отношение количества оборудования всех систем связи в каждом ПМЭС и ИА МЭС Центра к общему количеству оборудования всех систем связи в МЭС Центра.



**Рис. 5.4.** Кривая рангового распределения ПМЭС/ИА МЭС Центра (по количеству оборудования во всех системах связи – видов):  
 $R$  – ранговый номер предприятия – вида;  $W$  – отношение количества оборудования во всех системах связи конкретного ПМЭС/ИА МЭС Центра к общему количеству оборудования во всех системах связи в МЭС Центра

Затем проводилось ранжирование ПМЭС/ИА МЭС Центра (по количественному составу оборудования во всех системах) и графическое построение их ранговых видовых распределений, которые представлены на рис. 5.4.

График представляет собой экспериментальное ранговое видовое распределение восьми ПМЭС и ИА МЭС Центра по количественному составу оборудования во всех системах связи и теоретическую гиперболу (аппроксимированную) с постоянными константами:  $A = 0,18$ ;  $b = 0,02$ ;  $\beta = 0,5$ .

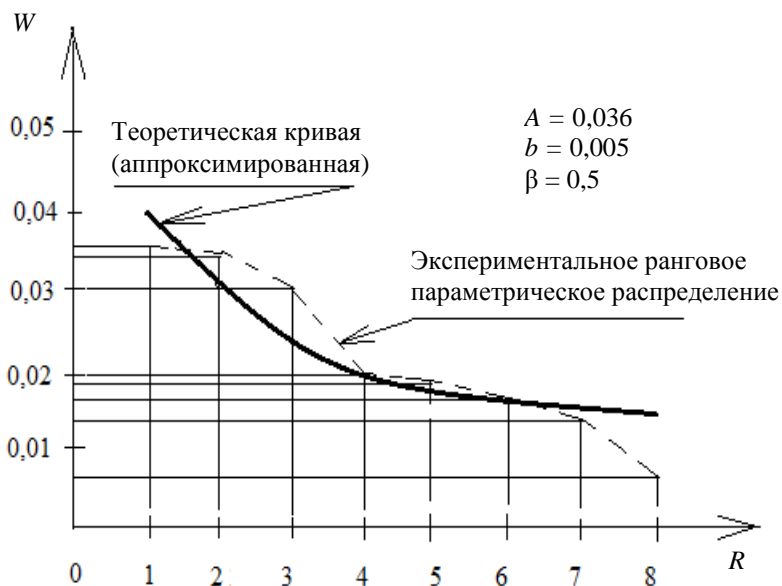
У построенной экспериментальной ранговой кривой «верх» (по рис. 5.4 ранговые номера 1 и 2 – Волго-Донское и Московское ПМЭС, соответственно) находится вне зоны и выше теоретической видового рангового распределения. Это обстоятельство говорит о том, что данные предприятия имеют избыточность количества оборудования в общем, для всех систем связи. В связи с этим необходимо провести дополнительное, в данном случае уже ранговое *параметрическое* исследование оборудования (особей) каждой системы связи с целью оптимизации необходимого его количества, близкого к теоретическому параметрическому распределению.

«Хвост» экспериментальной кривой ниже теоретической гиперболы (рис. 5.4, предприятия с рангами 8 и 9 – Валдайское ПМЭС и ИА МЭС Центра, соответственно). Данное расположение рангов указывает на небольшое количество оборудования в системах связи этих рангов. Для ранга с номером 9 (ИА МЭС Центра) это естественное обстоятельство, так как данный ранг имеет в основном оборудование одного центрального узла связи. А вот небольшое количество оборудования в системах связи Валдайского ПМЭС говорит о недостаточно развитой инфраструктуре ЕТССЭ в данном регионе, что указывает на необходимость дополнительного ее развития. Остальные предприятия с ранговыми номерами 3, 4, 5, 6 и 7 практически имеют оптимальное соотношение оборудования всех систем связи по каждому ПМЭС к их общему количеству во всех системах связи по МЭС Центра.

### **5.3.2. Ценологические исследования по расходу денежных средств**

*Вариант 1.* Проводились ценологические исследования рангового параметрического распределения по расходу денежных средств на все услуги связи ПМЭС/ИА МЭС Центра – особей (см. рис. 5.5 и табл. 5.4, в которой показаны оплаты услуг связи в денежной единице УРП – условная рублевая пропорция).

Первый ранг по рис. 5.5 присваивался предприятию, имеющему наибольшие расходы в условных рублевых пропорциях по всем услугам технологической связи – Московское ПМЭС (см. табл. 5.4, п. 7).



**Рис. 5.5. Кривая параметрического рангового распределения расходов денежных средств на все услуги технологической связи в ПМЭС – особой:**

$R$  – ранговый номер ПМЭС – особой;  $W$  – отношение общих расходов денежных средств на все услуги технологической связи в ПМЭС к общим расходам денежных средств на все услуги технологической связи в МЭС Центра

Значение параметра УРП высчитывалось как отношение денежных средств на все услуги технологической связи по предприятию к общей сумме затрат на технологическую сеть связи МЭС Центра.

Затем проводилось параметрическое ранжирование по остальным ПМЭС (за исключением ИА МЭС Центра) и графическое построение ранговых параметрических распределений, которые представлены на рис. 5.5.

График представляет собой экспериментальное ранговое параметрическое распределение по шести видам общих услуг в каждом ПМЭС и теоретическую гиперболу (аппроксимированную) с постоянными константами:  $A = 0,036$ ;  $b = 0,005$ ;  $\beta = 0,5$ .

Как видно по рис. 5.5, «хвост» экспериментальной кривой (предприятие с рангом 8, а по табл. 5.4, п. 4, т.е. Волго-Окское ПМЭС) находится ниже теоретической гиперболы, что показывает на низкие общие расходы услуг связи данного предприятия (требуется дополни-

тельное ранговое параметрическое исследование данного предприятия – особи по расходованию денежных средств каждой системы). Предприятия с рангами 4 и 6 (по табл. 5.4, п. 8 и п. 1, т.е. Черноземное и Валдайское ПМЭС, соответственно) имеют идеальное совпадение с теоретической гиперболой. А предприятия с рангом 5 (Верхне-Донское ПМЭС) и рангом 7 (Волго-Донское ПМЭС) имеют близкие к оптимальным значения денежных расходов по всем услугам на технологическую связь. Причем для Верхне-Донского ПМЭС требуется некоторое увеличение, а Волго-Донского ПМЭС – уменьшение бюджета денежных расходов на все оплаты услуг связи. Исполнительный аппарат ИА МЭС Центра отдельно не ранжирован, так как несет основное «бремя» расходов на оплату услуг по технологической связи Московского ПМЭС (табл. 5.4, п. 2 – 5 вертикальных столбцов).

*Вариант 2.* Далее проводились ценологические исследования параметрического рангового распределения конкретных услуг связи (оплат) – особей по всем ПМЭС в общем (см. рис. 5.6). Значения высчитывались в условной рублевой пропорции как отношение затрат на оплату конкретной услуги связи по всем ПМЭС к расходованию денежных средств на все услуги технологической связи в МЭС Центра.



**Рис. 5.6. Кривая параметрического рангового распределения расходов денежных средств конкретных услуг связи – особей (по всем ПМЭС/ИА МЭС Центра):**

$R$  – ранговый номер услуги (оплаты) по всем ПМЭС/МЭС Центра – особей;

$W$  – отношение общих денежных расходов на конкретную услугу технологической связи по всем ПМЭС/МЭС Центра к общим денежным расходам на все услуги технологической связи в МЭС Центра



Первый параметрический ранг присваивался услуге по технологической связи (оплате) – особи, имеющей наибольшее значение в УРП по всем ПМЭС, в общем (рис. 5.6, ранг 1 и табл. 5.4, п. 1 – услуги связи).

Значение высчитывалось как отношение затрат на конкретную услугу связи по всем ПМЭС к общему расходованию денежных средств на услуги технологической связи МЭС Центра (в УРП). Далее проводилось ранжирование по конкретной услуге связи во всех ПМЭС – особи и графическое построение их параметрических ранговых распределений, которые представлены на рис. 5.6.

График представляет собой экспериментальное ранговое параметрическое распределение расходов денежных средств на конкретную услугу по всем ПМЭС – особей в УРП и теоретическую гиперболу (аппроксимированную) с постоянными константами:  $A = 0,52$ ;  $b = -0,2$ ;  $\beta = 0,5$ . Услуги ИА МЭС Центра (рис. 5.6, ранг 1) в совпадении экспериментальной кривой и теоретической гиперболы не рассматривались (по вышеуказанной причине, т.е. оплаты денежных расходов за услуги технологической связи Московского ПМЭС).

На рис. 5.6 точки на экспериментальной кривой расходов денежных средств на технологические услуги связи с номерами рангов 3, 5 и 6 (по табл. 5.4, п. 2, 4 и 3 соответственно: другие работы и услуги общепроизводственного характера; плата за аренду имущества, кроме зданий и офисов; другие работы и услуги связи производственного характера) практически совпадают с теоретической гиперболой расходов денежных средств конкретных услуг по технологической связи, т.е. оптимальны.

Оплата услуги технологической связи с рангом 2 (см. табл. 5.4, п. 6 – услуга на ремонт и техническое обслуживание средств связи) выпадает из теоретической гиперболы и расположена гораздо выше ее. Объясняется это обстоятельство причиной постоянно возникающих дополнительных расходов на непредвиденные ремонтные работы.

Итак, проверено:

1. Кривые видового рангового распределения оборудования конкретной системы связи по всем ПМЭС и оборудования всех систем связи по каждому ПМЭС в МЭС Центра имеют гиперболический вид и аппроксимируются зависимостью (5.3) с разными значениями констант  $A$ ,  $b$  и  $\beta$ .

$$W = b + \frac{A}{r^\beta}. \quad (5.3)$$

2. Аналогично и то, что параметрическое ранговое распределение по расходу денежных средств на все услуги технологической связи в ПМЭС/ИА МЭС Центра – особей и параметрическое ранговое распределение конкретных услуг связи – особей по всем ПМЭС/ИА МЭС

Центра в МЭС Центра также подчиняются гиперболической зависимости (5.3).

Как видим, в ранговом параметрическом и видовом анализе заложен большой *прогностический потенциал*. Знание и учет закона рангового Н-распределения позволяет прогнозировать результаты видового распределения оборудования систем связи с целью оптимизации его количества, а также прогнозировать и корректировать такой важный параметр производства как оплата денежных расходов на технологическую связь ПМЭС/ИА МЭС Центра.

Таким образом, с помощью законов рангового видового и параметрического распределений можно производить качественно оценку видового состава оборудования систем связи в ПМЭС, а также рассматривать и оптимизировать денежные расходы как по конкретному ПМЭС на общие услуги технологической связи, так и на конкретную услугу связи по всем ПМЭС филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра.

#### **5.4. АДЕКВАТНОСТЬ ИННОВАЦИЙ**

Статистический анализ техноценоза оптимизирует нормирование функции образцовыми мерами границ адаптивного диапазона автоматического контроля для повышения адекватности технических средств физике эксперимента.

Проведен анализ методов идентификации математических моделей и алгоритмов, характеристик и параметров для оценки эффективности способов инноваций по сущности и новизне, работоспособности и практической применимости.

Адекватность инноваций физическим процессам обусловлена аналогией физики явлений и тождественностью математических операторов, дуальностью преобразований и метрологической симметрией [24 – 27]. Адекватность, как мера эффективности инноваций по сущности и новизне, работоспособности и промышленной применимости, отражает соответственно научную новизну и практическую значимость технических решений из сопоставительного анализа достижений науки и уровня техники, искусства творчества и оценок культуры. Для грамотной оценки адекватности инноваций необходимо систематизировать методы идентификации с позиций согласования математического обеспечения и метрологических средств.

Для этого необходимо изучить методы анализа адекватности для оценки и защиты эффективности инноваций.

##### **5.4.1. Модели**

Адекватность математических моделей регламентирована инвариантностью операторов счисления и исчисления при преобразовании

функциональных, пространственных и временных координат [20, 24, 26]. Это позволяет физику явления однозначно отражать различными математическими образами и оценивать метрологическую эффективность, согласовывать информационные процессы с технологией схем и адресацией программ [26, 27]. Приведем адекватность математических моделей на примерах анализа статических и динамических электрических характеристик, а также нестационарных теплофизических свойств.

*Моделирование статических явлений* наглядно отражает адекватность математических моделей вольтамперных характеристик (ВАХ). Адекватность доказывают тождественностью эквиваленту  $F_0(\Phi)$  исследуемой модели  $F(\Phi)$  с точностью погрешности  $\epsilon$  вычисления. Тождественность моделей анализируют рациональными операторами вычисления методами итерации или оптимизации. Статическую ВАХ представляют системой уравнений, например в дифференциальной и алгебраической форме [27]:

$$\begin{cases} U_0 \frac{dI}{dU} - I = I_0; \\ I_0 e^{\frac{U}{U_0}} - I = I_0, \end{cases} \quad (5.4)$$

где переменными служат ток  $I$  и напряжение  $U$  с предельными параметрами диффузии  $I_0$  и  $U_0$ .

Методом итерационного анализа из системы (5.4) следует уравнение

$$U_0 \frac{dI}{dU} = I_0 e^{\frac{U}{U_0}}, \quad (5.5)$$

доказать тождество которого позволяют методы интегрирования и дифференцирования.

*Метод интегрирования* предлагает разделение по частям переменных тока и напряжения:

$$\frac{dI}{I_0} = e^{\frac{U}{U_0}} \frac{dU}{U_0} \quad (5.6)$$

и вычисление их интегралов в границах диапазона с нулевыми начальными  $\{I_1, U_1\} = \{0, 0\}$  и текущими граничными условиями  $\{I_2, U_2\} = \{I, U\}$ :

$$\frac{1}{I_0} \int_0^I dI = \frac{1}{U_0} \int_0^U e^{\frac{U}{U_0}} dU.$$

После подстановки пределов интегрирования

$$I/I_0 \Big|_0^I = U_0 e^{\frac{U}{U_0}} / U_0 \Big|_0^U$$

получаем соотношение

$$\frac{I}{I_0} = e^{\frac{U}{U_0}} - 1, \quad (5.6a)$$

тождественное алгебраической модели ВАХ системы (5.4).

*Метод дифференцирования* доказывает тождественность исследуемой алгебраической модели эквиваленту в дифференциальной форме системы (5.4) при тождественности дифференциального эквивалента (5.5) производной напряжения по току исследуемой модели ВАХ. Продифференцируем алгебраическую модель системы (5.4):

$$\frac{I_0}{U_0} e^{\frac{U}{U_0}} - \frac{dI}{dU} = 0 \quad (5.7)$$

и преобразуем исследуемую производную (5.7) к эквиваленту дифференциального уравнения (5.5)

$$U_0 \frac{dI}{dU} = I_0 e^{\frac{U}{U_0}}, \quad (5.7a)$$

которое показывает тождественность выражений (5.5) и (5.7a).

Из тождественности производной алгебраической модели (5.7a) дифференциальному эквиваленту (5.5), соответственно исследуемого интеграла дифференциального уравнения (5.5) – алгебраическому эквиваленту ВАХ следует адекватность математических моделей в дифференциальной и интегральной форме системы (5.4).

Следовательно, тождественные методы интегрирования и дифференцирования доказывают инверсными преобразованиями адекватность математических моделей ВАХ в заданных границах диапазона.

**Моделирование динамических процессов** наглядно подтверждает адекватность математических моделей амплитудно-временных (АВХ) и частотных (АЧХ) характеристик в дифференциальных и интегральных уравнениях, в комплексной и алгебраической формах. Докажем адекватность моделей АВХ в форме алгебраического и интегрального уравнений, представленных системой

$$\begin{cases} U = E(1 - e^{-\frac{t}{T}}); \\ U = \frac{1}{T} \int_0^t (E - U) dt, \end{cases} \quad (5.8)$$

где напряжение  $U$  и время  $t$  являются переменными с параметрами предельной амплитуды  $E$  и постоянной времени  $T$ .

Первое уравнение системы (5.8) подставим во второе:

$$U = \frac{1}{T} \int_0^t [E - E(1 - e^{-\frac{t}{T}})] dt = \frac{E}{T} \int_0^t e^{-\frac{t}{T}} dt,$$

проинтегрируем его:

$$U = \frac{ET}{T} e^{-\frac{t}{T}} \Big|_0^t$$

и, подставив пределы интегрирования, получим решение в алгебраической форме экспоненциального вида

$$U = E(e^0 - e^{-\frac{t}{T}}) = E(1 - e^{-\frac{t}{T}}). \quad (5.8a)$$

Решение (5.8a) тождественно алгебраическому эквиваленту системы (5.8), что доказывает адекватность интегральных моделей АВХ системы (5.8).

Систематизируем дифференциальные модели АВХ и АЧХ в систему уравнений в дифференциальной форме и комплексных переменных  $p = j\omega$ :

$$\begin{cases} T \frac{dU}{dt} + U = E; \\ U = \frac{E}{1 + j\omega T}, \end{cases} \quad (5.9)$$

где  $\omega$  – циклическая частота.

Вычисляем из второго уравнения системы (5.9) производную напряжения по времени  $dU/dt$ , что в комплексной форме соответствует его перемножению на оператор  $p$ :

$$\frac{dU}{dt} = \frac{j\omega E}{1 + j\omega T}.$$

Производную и первообразную напряжения подставляем в первое уравнение системы (5.9):

$$T \frac{j\omega E}{1 + j\omega T} + \frac{E}{1 + j\omega T} = E,$$

а после приведения подобных членов получаем решение

$$E \frac{1 + j\omega T}{1 + j\omega T} = E,$$

тождественное правой части дифференциального уравнения системы (5.9).

Тождественность результатов математических преобразований подтверждает адекватность математических моделей АВХ в дифференциальной форме и АЧХ в комплексных переменных.

Аналогично методом подстановки первообразных и их производных интегральных моделей (5.8) в дифференциальные уравнения (5.9) доказывают адекватность математических моделей в интегральной (5.8) и дифференциальной (5.9) формах. Например, подставим интеграл второго уравнения системы (5.8) в первое выражение системы (5.9) с учетом, что подынтегральная функция является производной напряжения по времени:

$$\frac{T}{T}(E-U)+U=E. \quad (5.10)$$

Решение уравнения (5.10) тождественно правой части дифференциального уравнения системы (5.9), а это доказывает адекватность математических моделей АВХ в интегральном (5.8) и дифференциальном представлении.

Следовательно, тождественные математические преобразования доказывают адекватность математических моделей АВХ и АЧХ в алгебраической и комплексной формах в образах интегральных и дифференциальных уравнений.

**Моделирование теплофизических свойств (ТФС)** доказывает адекватность математических моделей нестационарных процессов в дифференциальных уравнениях и их интегральных решениях, представленных системой

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}; \\ T = \frac{b}{t} e^{-\frac{x^2}{4at}}, \end{cases} \quad (5.11)$$

где  $T$  – температура на расстоянии  $x$  в момент времени  $t$  с параметрами свойств веществ – температуропроводностью  $a$  и начальной температурой  $b$  нагрева.

Адекватность моделей (5.11) оценим методом подстановки частных производных исследуемого выражения в дифференциальное уравнение эквивалента. Вычислим производную температуры  $T$  по времени  $t$ :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial \frac{b}{t} e^{-\frac{x^2}{4at}}}{\partial t} = \frac{b(-x^2)(-1)}{t^2 4at^2} e^{-\frac{x^2}{4at}} - \frac{b}{t^2} e^{-\frac{x^2}{4at}},$$

а после приведения подобных членов получим

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{b}{t^2} e^{-\frac{x^2}{4at}} \left( \frac{x^2}{4at} - 1 \right) = \frac{T}{t} \left( \frac{\tau}{t} - 1 \right), \quad (5.11a)$$

где  $\tau = \frac{x^2}{4at}$  – время экстремума температуры.

Найдем приращение температуры  $T$  по расстоянию  $x$ :

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial \frac{b}{t} e^{-\frac{x^2}{4at}}}{\partial x} = \frac{b}{t} \left( \frac{-2x}{4at} \right) e^{-\frac{x^2}{4at}}$$

для вычисления второй частной производной

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{b}{t} \left( \frac{-2x}{4at} \right)^2 e^{-\frac{x^2}{4at}} - \frac{b}{t} \frac{1}{at} e^{-\frac{x^2}{4at}},$$

которая после приведения подобных имеет вид

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{b}{t^2} \frac{1}{at} e^{-\frac{x^2}{4at}} \left( \frac{x^2}{4at} - 1 \right) = \frac{T}{at} \left( \frac{\tau}{t} - 1 \right). \quad (5.11б)$$

Подставим частные производные по времени (5.11a) и расстоянию (5.11б) в дифференциальное уравнение (5.11):

$$\frac{T}{t} \left( \frac{\tau}{t} - 1 \right) = \frac{aT}{at} \left( \frac{\tau}{t} - 1 \right),$$

тождественность частей которого доказывает адекватность теплофизических моделей (5.11) нестационарного процесса в дифференциальной и интегральной формах.

Следовательно, тождественность операторов вычисления доказывает адекватность математических моделей статических динамических и теплофизических характеристик в дифференциальных и интегральных формах.

#### 5.4.2. Алгоритмы

Доказана адекватность алгоритмов вычисления информативных параметров способу бинарных напряжений ВАХ методом тождественности эквивалентам границ диапазона.

Метод основан на сравнении исследуемой математической модели  $F(X, Y, V_{0i})$  и эквивалента  $F_0(X, Y, V_0)$  по тождественности границ диапазона  $\{X_i, Y_i\}$  эквивалентам  $\{X_{0i}, Y_{0i}\}$  за счет синтеза алгоритмов расчета информативных параметров  $V_{0i}(X_{0i}, Y_{0i})$  способом-инноваций. Метод заключается в решении трех задач.

1. Синтез алгоритмов расчета параметров  $V_{0i}(X_{0i}, Y_{0i})$  в границах диапазона известных образцов эквивалентов  $\{X_{0i}, Y_{0i}\}$ , где  $i = 1, 2$  – число границ.

2. Синтез исследуемой математической модели  $F(X, Y, V_{0i})$  с вычисленными параметрами  $V_{0i}$  и переменными  $X, Y$  характеристиками.

3. Оценка тождественности эквиваленту  $F_0(X, Y, V_0)$  исследуемой модели  $F(X, Y, V_{0i})$  при сравнении с эквивалентами  $\{X_{0i}, Y_{0i}\}$  границ  $\{X_i, Y_i\}$  диапазона способа и инновации по правилам:

$$\text{если } X_i = X_{0i}, \text{ а } Y_i \begin{cases} = \\ \neq \end{cases} Y_{0i}, \text{ то } F \begin{cases} = \\ \neq \end{cases} F_0. \quad (5.12)$$

Алгоритм (5.12) отождествляет исследуемую модель  $F$  способа эквиваленту  $F_0$  при равенстве исследуемых границ  $\{X_i, Y_i\}$  заданным эквивалентам  $\{X_{0i}, Y_{0i}\}$ . Для известных границ  $X_i = X_0$ , но в случае несоответствия  $Y_i \neq Y_0$  математические модели неадекватны, а способ – неработоспособен.

**Метод тождественности эквивалентам границ диапазона** проиллюстрируем на примере способа определения ВАХ (пат. № 2211748, 2249798, 2444279) по бинарным напряжениям. Математическая модель вольтамперной характеристики (ВАХ) выбрана в экспоненциальной форме  $F_0(\Phi) = I(U, I_0, U_0)$ :

$$I = I_0(e^{\frac{U}{U_0}} - 1), \quad (5.13)$$

где переменные ток  $I$  и напряжение  $U$  определяются диффузионными параметрами  $I_0, U_0$ .

*Синтез алгоритмов расчета параметров диффузии тока  $I_0$  и напряжения  $U_0$*  организуют из решения систем уравнений, формируемых из моделей ВАХ (5.13).

Диффузионное напряжение  $U_0$  находят из системы уравнений для  $i = 1, 2$  границ диапазона  $I_i, U_i$  с известными мерами эквивалентов  $I_{0i}, U_{0i}$ :

$$\begin{cases} I_1 = I_0(e^{\frac{U_1}{U_0}} - 1); \\ I_2 = I_0(e^{\frac{U_2}{U_0}} - 1) \end{cases} \quad (5.13a)$$



для бинарных напряжений  $U_2 = 2U_1$ . Поделим второе уравнение системы (5.13а) на первое для исключения параметра  $I_0$ :

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{e^{\frac{2U_1}{U_0}} - 1}{e^{\frac{U_1}{U_0}} - 1} = e^{\frac{U_1}{U_0}} + 1.$$

После разделения арифметических и алгебраических операторов

$$e^{\frac{U_1}{U_0}} = \frac{I_2}{I_1} - 1,$$

в процессе логарифмирования находим алгоритм вычисления диффузионного напряжения

$$U_0 = \frac{U_1}{\ln(I_2/I_1 - 1)}. \quad (5.13б)$$

Диффузионный ток  $I_0$  рассчитывают из инверсной (5.13а) системы уравнений модели (5.13)

$$\begin{cases} U_1 = U_0 \ln(I_1/I_0 + 1); \\ U_2 = U_0 \ln(I_2/I_0 + 1). \end{cases} \quad (5.13в)$$

Поделим второе уравнение системы (5.13в) на первое и с учетом бинарности напряжений  $U_2 = 2U_1$  из логарифмического уравнения

$$2 \ln(I_1/I_0 + 1) = \ln(I_2/I_0 + 1),$$

после экспоненцирования, запишем квадратное уравнение

$$(I_1/I_0 + 1)^2 = (I_2/I_0 + 1).$$

Понизим степень уравнения за счет возведения в квадрат левой части и сокращения

$$I_1^2/I_0 + 2I_1 = I_2,$$

а после несложных преобразований находим алгоритм вычисления тока диффузии

$$I_0 = I_1/(I_2/I_1 - 2). \quad (5.13г)$$

*Синтез исследуемой модели*  $F(\Phi) = I[U, I_0, U_0(I_i, U_i)]$  получим из эквивалентной  $F(\Phi)$  модели (5.13) после подстановки алгоритмов расчета информативных параметров (5.13б) и (5.13г):

$$I = \frac{I_1}{I_2/I_1 - 2} [(I_2/I_1 - 1)^{\frac{U}{U_1}} - 1],$$

а также эквивалентов границ диапазонов  $I_{0i}$  и  $U_{0i}$

$$I = \frac{I_{01}}{I_{02}/I_{01} - 2} [(I_{02}/I_{01} - 1)^{\frac{U}{U_{01}}} - 1]. \quad (5.13д)$$

Модель (5.13д) служит для анализа границ диапазонов по правилам (5.12).

*Оценка тождественности* эквиваленту  $F_0(\Phi)$  исследуемой модели  $F(\Phi)$  осуществляется отдельно для нижней  $U_1$  и верхней  $U_2$  границ при подстановке в модель (5.13д) известных эквивалентов  $U_{0i}$  на место переменной  $U$ . Тождественность моделей и алгоритмов способа считается доказанной при равенстве эквивалентам  $I_{0i}$  исследуемых границ диапазона  $I_i$  модели (5.13д) согласно алгоритму (5.12).

– Оценим нижнюю границу тока  $I_1 = I(U_1)$  при замене напряжения  $U$  известным эквивалентом  $U_{01}$  исследуемой модели (5.13д):

$$I(U_1) = \frac{I_{01}}{I_{02}/I_{01} - 2} [(I_{02}/I_{01} - 1)^{U_{01}/U_{01}} - 1],$$

из которой находят уравнение

$$I(U_1) = \frac{I_{01}(I_{02}/I_{01} - 2)}{(I_{02}/I_{01} - 2)}$$

после сокращения степеней и суммирования единиц, а также желаемое тождество

$$I(U_1) = I_{01}. \quad (5.13е)$$

– Аналогично определим верхнюю границу тока  $I_2 = I(U_2)$  при замещении  $U$  известной мерой  $U_{02}$  в модели (5.13д):

$$I(U_2) = \frac{I_{01}}{I_{02}/I_{01} - 2} [(I_{02}/I_{01} - 1)^2 - 1]$$

и учете бинарности напряжений  $U_{02} = 2U_{01}$ . После возведения отношения токов в квадрат, сокращения единиц в квадратных скобках и вынесения за скобки отношения токов получим уравнение

$$I(U_2) = \frac{I_{02}(I_{02}/I_{01} - 2)}{(I_{02}/I_{01} - 2)},$$

из которого следует тождественность эквиваленту  $I_{02}$  анализируемой границы  $I_2 = I(U_2)$  диапазона

$$I(U_2) = I_{02}. \quad (5.13\text{ж})$$

Тождественности (5.13е) – (5.13ж) эквивалентам  $\{U_{0i}, I_{0i}\}$  границ  $\{U_i, I_i\}$  диапазонов напряжения  $U$  и тока  $I$  по правилам (5.12) доказывают тождество эквиваленту  $F_0(\Phi) = F_i(\Phi)$  исследуемой модели. Из этого следуют адекватность алгоритмов (5.13б), (5.13г) математической модели ВАХ (5.13) и доказательство реализации способа при моделировании адаптивности диапазона с заданной точностью мер границ контроля ВАХ.

Следовательно, метод тождественности эквивалентам границ диапазона доказывает адекватность алгоритмов вычисления информативных параметров способу инновации на примере моделирования способа бинарных напряжений ВАХ, что подтверждает существо инновации в полном объеме ограничительных и отличительных признаков относительно известных решений определения ВАХ по переменным значениям напряжения и тока. Адекватность моделирования сущности (существа) способа является необходимым условием реализации инновации, а достаточным условием работоспособности и промышленной применимости технического решения является тождественность моделируемой характеристики экспериментальной диаграмме для оценки научной новизны и практической значимости инновации.

### 5.4.3. Характеристики

Проанализирован метод идентификации характеристик экспериментальному эквиваленту на примере амплитудно-частотных преобразований для доказательства работоспособности и промышленной применимости способа-инновации.

**Метод идентификации** характеристик эксперименту основан на сравнении исследуемой характеристики  $F(\Phi)$  с нормированной зависимостью эксперимента, принятой за эквивалент  $F_0(\Phi)$  по погрешности  $F(\varepsilon)$  их идентификации с заданной мерой оценки  $F_0(\varepsilon)$  по алгоритму:

$$\text{если } F(\varepsilon) \left\{ \begin{array}{l} \leq \\ \geq \end{array} \right\} F_0(\varepsilon), \quad \text{то } F(\Phi) \left\{ \begin{array}{l} = \\ \neq \end{array} \right\} F_0(\Phi). \quad (5.14)$$

Алгоритм (5.14) отождествляет исследуемый способ  $F(\Phi)$  с эквивалентом  $F_0(\Phi)$  эксперимента, если погрешность их идентификации  $F(\varepsilon)$  меньше или равна эквивалентной мере  $F_0(\varepsilon)$ , в противном случае способ-инновация нетождественен эксперименту, подтверждающему работоспособность и промышленную применимость, метрологическую эффективность и практическую значимость. Метод идентификации

рассмотрим на примере анализа амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) – основы измерения и контроля, управления и регулирования микропроцессорных средств, систем и сетей для автоматизации различных областей народного хозяйства.

Метод идентификации способов состоит из последовательности трех этапов:

1. Построение графика АЧХ экспериментального процесса с известными параметрами  $V_0$  и его аппроксимация методами статистического анализа для создания АЧХ – эквивалента  $F_0(X, Y, V_0)$  в заданных границах  $\{X_i, Y_i\}$  диапазонов  $X_{01} \leq X \leq X_{02}, Y_{01} \leq Y \leq Y_{02}$ .

2. Синтез информативных параметров  $V_{0i}$  по эквивалентной АЧХ анализируемым способом для моделирования исследуемой АЧХ  $F(X_i, Y_i, V_{0i})$  в границах  $\{X_i, Y_i\}$  диапазонов  $X_1 \leq X \leq X_2, Y_1 \leq Y \leq Y_2$ .

3. Расчет погрешности  $\epsilon$  идентификации анализируемой АЧХ  $F(\Phi) = F(X_i, Y_i, V_{0i})$  эквиваленту  $F_0(\Phi) = F_0(X, Y, V_0)$  и ее сравнение с заданной мерой  $\epsilon_0$  по алгоритму (5.14) для оценки работоспособности и промышленной применимости исследуемого способа-инновации.

*График экспериментальной АЧХ* аппроксимирован операторным уравнением для наглядности идентификации

$$U = \frac{E}{(1 + P/\omega_0)}, \quad (5.15)$$

принятым за эквивалент АЧХ (рис. 5.7)  $F_0(\Phi) = U(P, E, \omega_0)$  с известными параметрами амплитуды  $E$  и резонансной частотой  $\omega_0$ , а также с переменными – напряжением  $U$  и частотой  $\omega$  оператора  $P = j\omega$  комплексной переменной. На границах частного диапазона  $\{\omega_1, \omega_2\} = \{1, 10\}$  кГц измерены напряжения  $\{U_1, U_2\} = \{7,5; 0,75\}$  мВ для определения АЧХ  $F(\Phi) = U_i(P_i, E_1, \omega_{01})$  исследуемого способа.

*Синтез информативных параметров  $\{E_1, \omega_{01}\}$*  проводим из решения системы уравнений

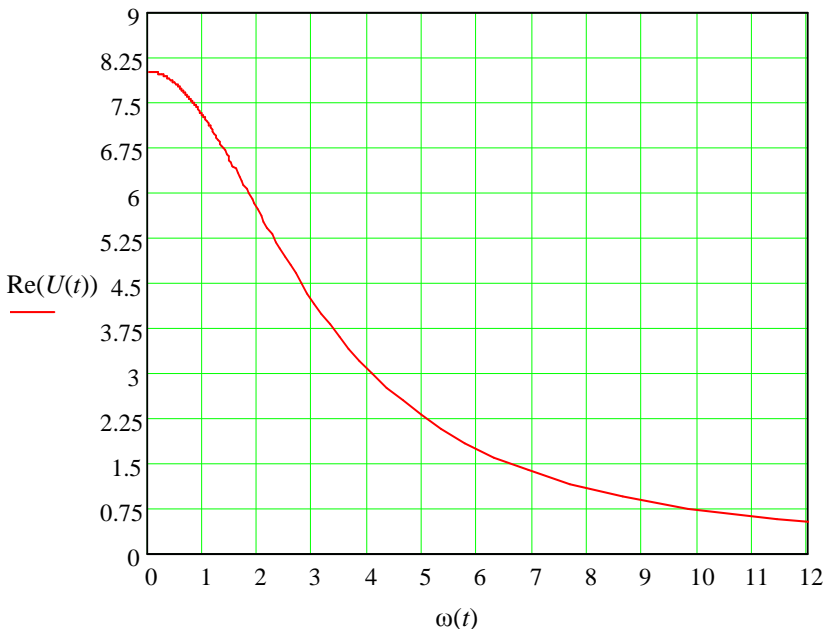
$$U_i = \frac{E_1}{(1 + P_i/\omega_{01})} \quad \text{для } i = 1, 2, \quad (5.15a)$$

сформированных из АЧХ эквивалента (5.15), по алгоритмам расчета резонансной частоты  $\omega_{01}$

$$\omega_{01} = \frac{U_2\omega_2 - U_1\omega_1}{U_1 - U_2} \quad (5.15б)$$

и амплитуды  $E_1$  напряжения

$$E_1 = \frac{U_1U_2(\omega_2 - \omega_1)}{U_2\omega_2 - U_1\omega_1} \quad (5.15в)$$



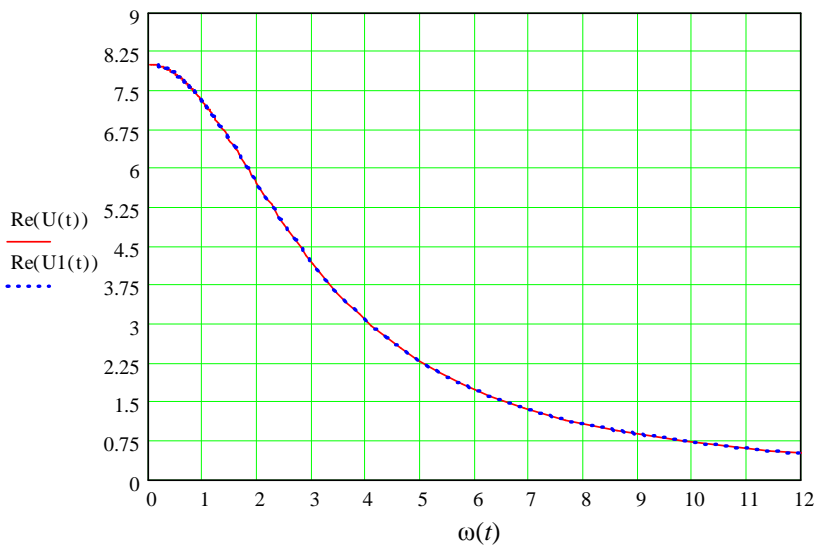
**Рис. 5.7.** График экспериментальной АЧХ

исследуемого способа. Из алгоритмов (5.15б), (5.15в) вычисленные параметры  $\{E_1, \omega_{01}\}$  соответствуют 8 мВ и 4 кГц. По расчетным параметрам строят исследуемую АЧХ  $F(\Phi) = U(P, E_1, \omega_{01})$  в границах  $\{U_i, \omega_i\}$  диапазонов напряжения  $0,75 \leq U \leq 7,5$  мВ и частоты  $1 \leq \omega \leq 10$  кГц (рис. 5.8).

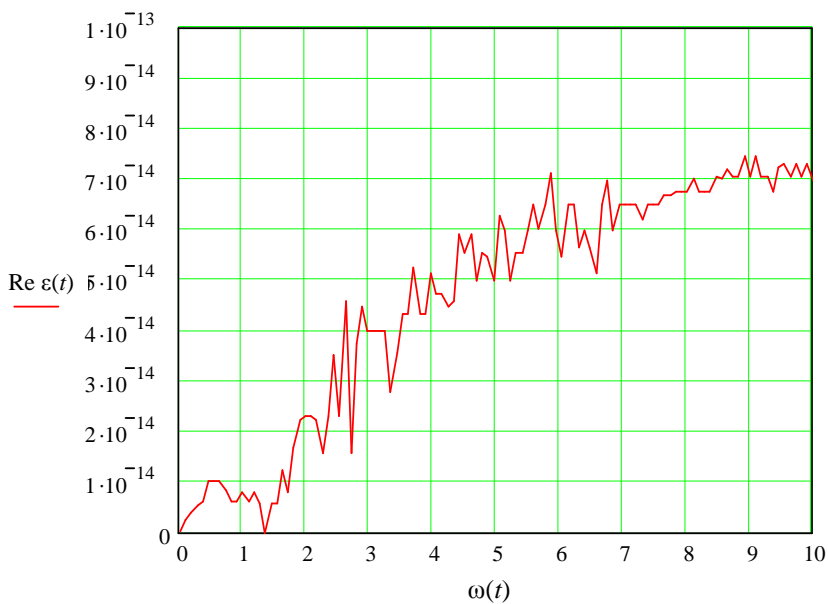
Рассчитывают погрешность  $\varepsilon$  идентификации эквиваленту  $F_0(\Phi)$  исследуемой АЧХ  $F(\Phi)$  по формуле

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{F(\Phi)}{F_0(\Phi)} \right|, \quad (5.15г)$$

которую представляют графиком погрешности  $\varepsilon(U, \omega)$  амплитуды напряжения  $U$  от частоты  $\omega$  (см. рис. 5.9). Из рис. 5.9 видно, что погрешность  $\varepsilon$  идентификации АЧХ не превышает  $10^{-13}$  %, что меньше заданной погрешности  $\varepsilon_0 = 10^{-12}$  % моделирования и согласно алгоритму (5.14) соответствует тождественности  $F(\Phi) = F_0(\Phi)$  АЧХ. Идентификация эквиваленту  $F_0(\Phi)$  эксперимента моделируемой  $F(\Phi)$  характеристики подтверждает работоспособность и практическую применимость способа определения АЧХ с высокой метрологической эффективностью и ценной практической значимостью.



**Рис. 5.8.** Диаграммы экспериментальной и исследуемой АЧХ



**Рис. 5.9.** Погрешность идентификации АЧХ

Следовательно, метод идентификации характеристик эквиваленту эксперимента на примере определения АЧХ доказывает работоспособность и промышленную применимость способа-инновации в частности, а также состоятельность оценки метрологической эффективности технических решений анализируемого метода в целом.

#### **5.4.4. Анализ методов идентификации**

Тождественность операторов счисления и исчисления доказывает адекватность математических моделей статических, динамических и теплофизических характеристик в дифференциальных и интегральных образах. Адекватность доказывают методом тождественности эквиваленту исследуемой модели итерационным анализом или оптимизацией. Метод тождественности математических моделей доказывает адекватность математической модели физике явления и процессам преобразования, физической модели и схемам замещения, операторам исчисления и счисления. Метод тождественности анализирует правильность синтеза исследуемой модели и правомерность схмотехнических и математических преобразований, в частности и технологию проектирования математических моделей в целом. Теоретический анализ тождественности моделей подтверждает научную новизну инновации за счет синтеза новой модели традиционными алгоритмами решения или правомерности использования известной модели по новому назначению для исследования неизвестного явления. Универсальность метода тождественности моделей доказана на примере анализа вольтамперных и амплитудно-временных электрических характеристик, а также теплофизических свойств нестационарного нагрева.

Следовательно, адекватность математического и физического моделирования доказывает метод тождественности эквиваленту исследуемой модели стационарных, динамических и нестационарных процессов для оценки уровня научной новизны инновации.

Существо и техническую новизну инновации оценивает метод тождественности эквивалентам границ диапазона за счет синтеза алгоритмов расчета информативных параметров и анализа по ним статических и динамических характеристик способов. Тождественность адаптивному диапазону подтверждает правильность моделирования алгоритмов и характеристик, новизну и существо инновации, как неделимой совокупности ограничительных и отличительных признаков для достижения цели (технической задачи) изобретения. Метод тождественности границ диапазона оценивает эффективность информативных параметров и алгоритмов их расчета, ширину адаптивного диапазона и

точность контроля известных мер границ. В процессе моделирования метод границ позволяет выявить закономерности линейного преобразования без температурного, временного и параметрического дрейфа с гальванической развязкой сигналов. Метод тождественности алгоритмов проиллюстрирован на примере моделирования способа бинарных напряжения ВАХ и целесообразен для определения как динамических характеристик, так и теплофизических свойств. Адекватность техническому решению модели сущности способа является необходимым условием реализации научной новизны инновации.

Следовательно, метод тождественности эквивалентам границ диапазона доказывает адекватность алгоритмов определения информативных параметров оптимальным характеристикам технического решения по закономерностям идеального конечного результата (ИКР) для подтверждения технического уровня и существа изобретения, как необходимого условия реализации научной новизны – практической значимости инновации в адаптивном диапазоне мониторинга.

Достаточным условием практической значимости служат работоспособность и промышленная применимость технического решения, которые доказывает тождественность моделируемой характеристики экспериментальной диаграмме. С этой целью проанализирован метод идентификации характеристик экспериментальному эквиваленту на примере амплитудно-частотных преобразований. Метод идентификации характеристик сравнивает моделируемую диаграмму с экспериментальной – эквивалентом по погрешности относительно заданной меры оценки, для доказательства адекватности теоретических предпосылок практической реализации, как достаточного условия научной новизны и практической значимости исследований. Метод идентификации характеристик, как и метод тождественности границ, показывает технический уровень и существо технического решения (адекватность алгоритмов оптимальным характеристикам, информативных параметров – закономерностям оптимизации) посредством математического моделирования – лишь необходимого условия реализации. Принципиальное отличие от теоретического моделирования алгоритмов и характеристик в методе идентификации заключается в сравнении моделирования с результатами натурального эксперимента, что особенно важно для объективной оценки технической экспертизы [25].

Следовательно, метод идентификации характеристик эквиваленту эксперимента доказывает технический уровень и существо технического решения, работоспособность и промышленную применимость инновации, как достаточного условия научной новизны и практической значимости исследований.



## Выводы

1. С учетом опыта развития живой природы можно предполагать, что при определении основных показателей и количества установленного оборудования целесообразно использовать понятие «Золотое сечение» и числа Фибоначчи. Поскольку эти соотношения существуют в природе, то человек бессознательно создает техноценозы таким образом, что их оптимальная структура определяется этими постоянными.

2. Подтверждена справедливость модели Н-распределения Б.И. Кудрина для Единой технологической сети связи (инфокоммуникационной сети) электроэнергетической отрасли в оценке видового разнообразия оборудования систем связи, а также расходования денежных средств на услуги технологической связи предприятий МЭС Центра.

3. Определено: оптимизация техноценоза может осуществляться не только за счет изменения его параметров, но также и путем изменения численности особей данного вида в техноценозе, так как в любом техноценозе существует глубокая, фундаментальная связь между численностью особей и уровнем их основных видообразующих параметров.

4. Рассмотрены условные единицы (оборудование, аппаратура и т.п.) СДТУ, учтенные в составе подстанций и линий электропередачи, а также укрупненные показатели для расчета объемов обслуживания систем связи, АСУ и АИИС КУЭ и рекомендованные для применения в МЭС и, в частности, МЭС Центра, исполнительным аппаратом ОАО «ФСК ЕЭС».

5. Показано, что с помощью закона видового рангового распределения можно качественно производить оценку количества оборудования систем связи в ПМЭС, а с помощью параметрического рангового распределения контролировать и оптимизировать денежные расходы на все услуги технологической связи как по конкретному ПМЭС, так и на конкретную услугу технологической связи по всем ПМЭС филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра.

6. Статистический анализ техноценоза оптимизирует нормирование метода рангового анализа Н-распределений образцовыми мерами границ адаптивного диапазона автоматического контроля для повышения адекватности технических средств физике эксперимента.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

---

1. МЭС Центра имеют обширные электрические сети, сложные информационно-технологические системы, проводят масштабную реконструкцию и пуск новых подстанций, внедряют новые технологии в автоматизированные и автоматические системы управления, предъявляют повышенные требования к организации новых рабочих мест. Построение ЕТССЭ в рамках МЭС Центра требует выработки скоординированной технической и технологической политики с сохранением надежности существующих средств диспетчерского технологического управления и сети связи в переходный период.

2. Для сопровождения эффективной эксплуатационной деятельности и обеспечения надежности управления энергопроизводством предприятий МЭС Центра необходимы разработка и пересмотр нормативно-технической документации, повышение квалификации производственного персонала информационно-технологических служб, а также развитие собственных систем связи – средств диспетчерского и технологического управления.

3. Конвергированные сети связи представляют собой новую и перспективную концепцию построения корпоративных сетей, объединяющую разнородные сетевые трафики и обеспечивающую наилучшие условия транспортировки технологической информации. В МЭС Центра необходима разработка специальной (централизованной) инвестиционной программы развития сети связи, не привязанной только к программам строительства энергообъектов и реконструкции основного технологического оборудования.

4. Проект построения корпоративных сетей связи в МЭС Центра требует оценки целого ряда стоимостных и функциональных параметров и взвешенного решения стороннего крупного системного интегратора, способного произвести обследование существующей инфраструктуры предприятия и выявить реальные задачи и потребности, разработать и внедрить необходимые решения и с максимальной экономической эффективностью использовать все преимущества мультисервисных технологий.

5. Рассмотрена технология PDH-сети, используемая в ИКМ-системах, с принципом плездохронного мультиплексирования и более сложная технология транспортной (опорной или первичной) SDH-сети с принципом синхронного мультиплексирования, позволяющая организовать непосредственный доступ к каналам PDH-сети в МЭС Центра.

6. Рассмотрена мультисервисная система UMUX и наиболее распространенный представитель данного семейства мультиплексор FOX 515, являющийся высокоэффективной телекоммуникационной

платформой, объединяющей технологии PDH и SDH-сетей в одном оборудовании, позволяющей данной платформе выступить системой доступа на предприятиях МЭС Центра.

7. Рассмотрены инфокоммуникационные сети: волоконно-оптические линии связи и технические требования к ним, системы спутниковой и высокочастотной связи, – обеспечивающие производственную деятельность предприятий магистральных электрических сетей и управление технологическими процессами в производстве на всех уровнях иерархии управления.

8. Энергетические компании рассматривают сотрудничество с операторами связи по строительству ВОЛС на ВЛ, в общем, как успешно зарекомендовавшую себя практику. Это сотрудничество позволяет энергетикам активно развивать собственную технологическую связь, рационально используя свои средства.

9. Исходя из практики использования и опыта эксплуатации, можно сделать вывод об определенном удобстве и надежности применения ВОЛС, построенных с использованием инфраструктуры электроэнергетики, не только для решения коммерческих «телекоммуникационных» задач, таких как передача голоса, данных, видео, но и для успешного применения в области технологической связи, телемеханики и РЗА.

10. Рассмотрен пример организации волоконно-оптической сети передачи «Московское Кольцо 500 кВ» и прилегающей сети 220 и 110 кВ, а также технические требования на проектирование ВОЛС по титулу «Москва – Ростов-на-Дону» МЭС Центра (сложные проекты).

11. В МЭС Центра, учитывая стремительные темпы строительства и реконструкции телекоммуникационной структуры, на первое место выходят задачи качественного и квалифицированного управления инфокоммуникационными сетями и ресурсами, а также мониторинг их состояния.

12. Рассмотрены условные единицы систем связи и СДТУ (технические системы), учтенные в составе подстанций и линий электропередачи, а также укрупненные показатели для расчета объемов обслуживания систем связи, АСУ и АИИС КУЭ и рекомендованные для применения в МЭС Центра департаментом эксплуатации систем связи и информационных систем ОАО «ФСК ЕЭС».

13. Рассмотрена возможность исследования сложных технических систем (техноценозов) с помощью метода *рангового анализа N-распределений*, предложенного ученым Б.И. Кудриным с целью их статистического анализа и оптимизации.

14. Подтверждена справедливость модели N-распределения Б.И. Кудрина для инфокоммуникационной сети связи в оценке видового разнообразия оборудования систем связи, а также в оценке расхода

ния денежных средств на услуги технологической связи предприятий МЭС Центра.

15. Показано, что с помощью закона видового рангового распределения можно качественно производить оценку количества оборудования систем связи в ПМЭС, а с помощью параметрического рангового распределения контролировать и оптимизировать денежные расходы на все услуги технологической связи как по конкретному ПМЭС, так и на конкретную услугу технологической связи по всем ПМЭС филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра.

16. Статистический анализ техноценоза оптимизирует нормирование метода рангового анализа  $N$ -распределений образцовыми эквивалентами границ адаптивного диапазона автоматического контроля для повышения адекватности технических средств и научного обеспечения физике эксперимента.

17. Вектор развития методов идентификации направлен от установления научной новизны математических моделей и алгоритмов до доказательства практической значимости характеристик и параметров для оценки эффективности способов инновации по техническому уровню и сущности, работоспособности и практической применимости.

18. Метод тождественности эквиваленту исследуемой модели показывает адекватность математического и физического моделирования для оценки уровня научной новизны инновации.

19. Метод тождественности эквивалентам границ диапазона оценивает адекватность эффективности технического решения цели (технической задачи) изобретения для подтверждения технического уровня и существования способа, как необходимого условия реализации научной новизны – практической значимости.

20. Метод идентификации моделируемой характеристики эквиваленту эксперимента анализирует адекватность теоретических предпосылок практической реализации для доказательства не только технического уровня и существования изобретения, но также работоспособности и промышленной применимости, как достаточного условия научной новизны и практической значимости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

---

1. Бакланов И.Г. Технологии измерений первичной сети. Ч. 1. Системы E1, PDH, SDH. – СПб.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000. – 138 с.
2. Востропяттов А.Ю. Принципы формирования источников финансирования операционных затрат ИТС и СС: Доклад заместителя начальника департамента эксплуатации систем связи и информационных систем ОАО «ФСК ЕЭС» на совещании ИТС и СС в МЭС Сибири. – Новосибирск, 2012. – 23 с.
3. Гнатюк В.И. Законы оптимального построения техноценозов. «Ценологические исследования» / Центр системных исследований. – Томск: Изд-во ТГУ, 2005. – Вып. 29. – 384 с.
4. Годовой отчет филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра [Текст]. – М., 2011. – 228 с.
5. Демин С.А. Совещание главных инженеров филиалов ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС: Доклад первого заместителя генерального директора – главного инженера филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра. – Геленджик, 2011. – 15 с.
6. Каверин Н.В. Перспективы развития и организация эксплуатации систем связи МЭС Центра. Проблемы, пути развития: Доклад директора по ИТС филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра на совещании по ВОЛС в МЭС Волги. – Самара, 2010. – 38 с.
7. Кудрин Б.И. Введение в технетику. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1993. – 552 с.
8. Кудрин Б.И. Математическое описание ценозов и закономерности технетики. Философия и становление технетики. Ценологические исследования / Центр системных исследований. – Абакан, 1996. – Вып. 1, 2. – 452 с.
9. Ли В.А. Информационно-технологические системы МЭС Центра: Доклад начальника службы ИТС филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра на совещании в ОАО «СО ЕЭС». – М., 2009. – 35 с.
10. Мисриханов М.Ш. Наследники Дальних передач. – М.: Другая галактика, 2009. – 350 с.
11. Милашенко В.И. О ходе развития и эксплуатации систем связи Единой технологической сети связи электроэнергетики, автоматизированной системы технологического управления и инфраструктуры информационных систем: Доклад заместителя директора по ИТС филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра на совещании ИТС и СС в МЭС Сибири. – Новосибирск, 2012. – 35 с.
12. Михайленко Я.В., Бойко А.С. Строительство волоконно-оптических линий связи методом замены грозозащитного троса ЛЭП и частный случай их применения в релейной защите [Электронный ре-

сурс]. – Новосибирск: Сибирский федеральный университет, 2010. – Режим доступа: <http://www.jurnal.org/articles/2010/enerj1.html>. – Загл. с экрана.

13. О развитии телекоммуникационной инфраструктуры электроэнергетики [Электронный ресурс] // Связь в энергетике. – 2010. – Режим доступа: <http://romvchvlcomm.pbworks.com/w/page/31841417/>. – Загл. с экрана.

14. Основные понятия и области применения ВОЛС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.spektr-svyaz.ru/index/0-2>. – Загл. с экрана.

15. Родионов В.Н. Итоги и основные задачи развития ЕТССЭ и АСТУ на период 2012–2013 гг.: Доклад начальника департамента развития систем связи ОАО «ФСК ЕЭС» на совещании ИТС и СС в МЭС Сибири. – Новосибирск, 2012. – 17 с.

16. Седунов В.Н. Подготовка МЭС Центра к прохождению отопительного сезона 2011–2012 гг.: Доклад генерального директора филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра. – Краснодар, 2012. – 17 с.

17. Седунов В.Н. Развитие электрических сетей ОАО «ФСК ЕЭС» на территории Московского региона: Доклад генерального директора филиала ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра министру энергетики РФ С.И. Шматко. – М., 2011. – 58 с.

18. Типовой альбом «Технические требования на создание ВОЛС по титулу «Москва – Ростов-на-Дону в зоне филиалов ОАО «ФСК ЕЭС» – МЭС Центра и МЭС Юга». – М.: Ин-т Энергосетьпроект, 2008. – 120 с.

19. Учебные материалы фирмы АВВ для повышения квалификации сотрудников МЭС Центра. – М., 2007. – 250 с.

20. Чичёв С.И., Калинин В.Ф., Глинкин Е.И. Корпоративная интегрированная система контроля и управления распределительным электросетевым комплексом. – М.: Издательский дом «Спектр», 2012. – 228 с.

21. Южанников А.Ю. Золотое сечение, числа Фибоначчи и ценологические параметры электропотребления промышленного предприятия / Под ред. А.А. Михеева // Вестн. Асоц.– 2005. – Вып. 12. – С. 165 – 169.

22. Ямщиков А.С. Начальник департамента эксплуатации систем связи и информационных систем ОАО «ФСК ЕЭС». За прошедшие сто лет продукт «электричество» стал необходим как воздух [Электронный ресурс] // CNews: Телеком, 2011. – Режим доступа: <http://www.cnews.ru/reviews/free/telecom2011/int/fsk/>. – Загл. с экрана.

23. Ямщиков А.С. Начальник департамента эксплуатации систем связи и информационных систем ОАО «ФСК ЕЭС». Сегодняшний

день Единой технологической сети связи электроэнергетики (ЕТССЭ) [Электронный ресурс] // Connect! Мир Связи. – 11.2009. – Режим доступа: <http://www.connect.ru/article.asp?id=9593>. – Загл. с экрана.

24. Метрология, стандартизация и сертификация / Под ред. В.В. Алексеева. – М.: Академия, 2008. – 384 с.

25. Указания по составлению заявки на изобретение (93-1-74). – М.: ВНИИПИ, 1981. – 140 с.

26. Чичёв С.И., Калинин В.Ф., Глинкин Е.И. Информационная система центра управления электрических сетей. – М.: Машиностроение, 2009. – 176 с.

27. Глинкин Е.И. Техника творчества. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 168 с.

28. Административный регламент исполнения Федеральной службой по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам государственной функции по организации приема заявок на изобретение и их рассмотрения, экспертизы и выдачи в установленном порядке патентов Российской Федерации на изобретение: Утв. приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 29 октября 2008 г. № 327.

## СОДЕРЖАНИЕ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ . . . . .	3
ВВЕДЕНИЕ . . . . .	4
1. ИНФРАСТРУКТУРА МЭС ЦЕНТРА . . . . .	6
1.1. Единая технологическая сеть связи энергетики . . . . .	6
1.2. Тенденции развития телекоммуникационной сети . . . . .	29
1.3. Электрические сети и информационно-технологические системы . . . . .	32
Выводы . . . . .	51
2. ЦИФРОВЫЕ ИЕРАРХИИ СЕТЕЙ СВЯЗИ . . . . .	53
2.1. Сетевые уровни . . . . .	53
2.2. Технологии стандарта PDH и SDH . . . . .	54
2.3. Мультисервисная система UMUX . . . . .	71
2.4. Универсальный PDH/SDH мультиплексор FOX 515 . . . . .	85
Выводы . . . . .	90
3. ЦИФРОВАЯ ПЕРВИЧНАЯ СЕТЬ . . . . .	92
3.1. Топология и архитектура сетей SDH . . . . .	92
3.2. Анализ и выбор сетевых технологий . . . . .	95
3.3. Теория и технология волоконно-оптических линий связи . . . . .	111
Выводы . . . . .	125
4. ИНФОКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ . . . . .	126
4.1. Высокочастотная, спутниковая и волоконно-оптическая связь . . . . .	126
4.2. Проект ВОЛС «Московское Кольцо» . . . . .	131
4.3. Пример технических требований на создание ВОЛС . . . . .	142
4.4. Общая характеристика сети . . . . .	156
Выводы . . . . .	157
5. ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЙ ТЕХНОЦЕНОЗ . . . . .	159
5.1. Основные понятия и сущность ценологического подхода . . . . .	159
5.2. Операционные затраты инфокоммуникационной сети . . . . .	163
5.3. Методология ценологического анализа систем и услуг технологической связи . . . . .	170
5.4. Адекватность инноваций . . . . .	178
Выводы . . . . .	193
ЗАКЛЮЧЕНИЕ . . . . .	194
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .	197