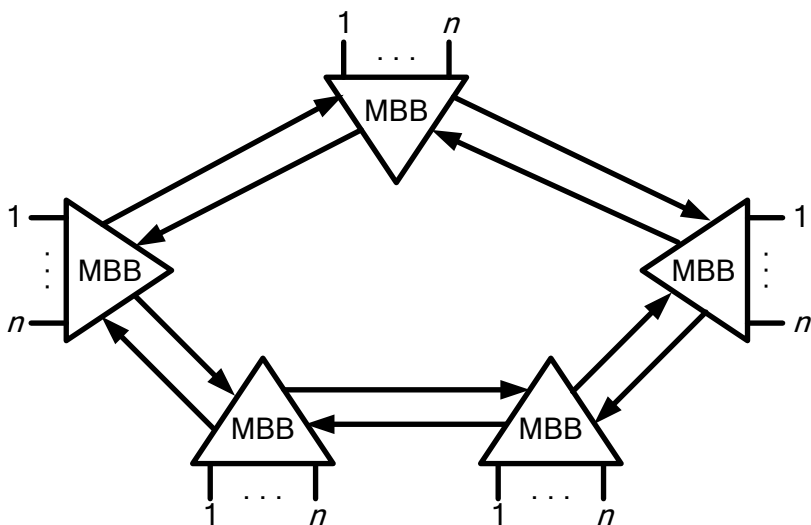


П. М. БУЙ, В. Н. ФОМИЧЕВ

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРВИЧНОЙ ЦИФРОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ



Гомель 2017

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Системы передачи информации»

П. М. БУЙ, В. Н. ФОМИЧЕВ

ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРВИЧНОЙ ЦИФРОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Одобрено методическими комиссиями электротехнического и заочного факультетов в качестве учебно-методического пособия по курсовому проектированию для студентов специальности 1-37 02 04 «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», специализации 1-37 02 04 01 «Автоматика и телемеханика»

Гомель 2017

УДК 656.254:621.372.8(075.8)

ББК 39.278

Б90

Рецензент – зав. кафедрой «Системы передачи информации» доцент
В. Г. Шевчук (учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»)

Буй, П. М.

Б90 Организация первичной цифровой сети связи железной дороги : учеб.-метод. пособие / П. М. Буй, В. Н. Фомичев ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 76 с.

ISBN 978-985-554-670-3

Изложены вопросы проектирования первичной цифровой сети связи железной дороги по дисциплине «Системы железнодорожной автоматики, телемеханики и связи». Приведены структура первичной цифровой сети связи железной дороги, особенности ее проектирования, расчет цифровых потоков и оптических параметров линейных трактов.

Предназначено для студентов специальности 1-37 02 04 «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте».

УДК 656.254:621.372.8(075.8)

ББК 39.278

ISBN 978-985-554-670-3

© Буй П. М., Фомичев В. Н., 2017

© Оформление. БелГУТ, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Средства связи на железнодорожном транспорте широко используются для планирования и управления процессами перевозки грузов и пассажиров, обеспечения их безопасности и хозяйственных нужд структурных подразделений железной дороги. Их развитие связано, прежде всего, с интенсивностью перевозок и обеспечением необходимого уровня безопасности движения. Для эффективного решения этих задач на железных дорогах большое значение имеют современные цифровые системы передачи (ЦСП) информации и волоконно-оптические сети связи. На Белорусской железной дороге (БЖД) происходит широкое внедрение цифровых систем передачи. Для управления перевозочным процессом и обеспечения безопасности перевозки грузов и пассажиров БЖД оснащена совершенными системами железнодорожной автоматики, телемеханики и связи (ЖАТС). Для организации работы и взаимодействия этих систем применяются кабельные линии автоматики, телемеханики и связи (КЛС) и воздушные высоковольтные линии автоблокировки.

По КЛС организуются первичные сети каналов и узлов связи, а по ним – вторичные сети каналов различных видов связи и телемеханики (телефонная, передача данных, телеуправления, телесигнализации, телеизмерения и др.).

До последнего времени на КЛС применялись исключительно электрические кабели с металлическими (медными) токопроводящими жилами. В настоящее время происходит переход к волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС).

Волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) идеально подходят для железнодорожного транспорта, особенно с появлением качественных оптических кабелей. Они обладают следующими преимуществами:

- широкая полоса пропускания сигналов (позволяет организовать необходимое число каналов);

- отсутствие мешающего влияния на ВОСП сигнальных цепей автоматики, телемеханики и высоковольтных тяговых цепей электрифицированных участков позволяет прокладывать кабель в непосредственной близости от этих цепей;

- независимость от используемой аппаратуры передачи (при смене аппаратуры нет необходимости менять линейную часть тракта);

- возможность подвески кабеля на опорах линий электропередачи (ЛЭП), что позволяет значительно снизить затраты на прокладку кабеля;
- стойкость против коррозии (допускает использование в агрессивных средах);
- сопоставимая с медным кабелем цена;
- отсутствие цветных металлов (повышает «вандалостойкость» магистрали).

На основе ВОСП на железных дорогах создаются дорожные и отделенческие цифровые сети связи, по которым осуществляется планирование и оперативное руководство работой железной дороги и ее хозяйственных подразделений. Непрерывно развиваются также сети автоматизированной цифровой общеслужебной телефонной связи (ОбТС), внедряются новые системы железнодорожной автоматики и телемеханики (автоблокировки, электрической и диспетчерской централизаций, автоматической локомотивной сигнализации и др.), обеспечивающих безопасность движения грузовых и пассажирских поездов.

К основным преимуществам ЦСП, которые позволяют говорить о перспективности их использования в сетях связи железнодорожного транспорта, относятся:

- высокая помехозащищенность, что значительно снижает требования к переходным влияниям и позволяет применять их на линиях с большим уровнем шумов;
- возможность практического устранения накопления шумов в линиях большой протяженности за счет регенерации цифровых сигналов;
- малая чувствительность к изменению параметров линий передачи;
- стабильность параметров организуемых каналов и их идентичность;
- высокая пропускная способность при передаче данных.

Основная цель проектирования цифровой сети связи железной дороги – выбрать наиболее рациональную архитектуру, технологии и аппаратуру передачи информации для планирования и управления перевозочным процессом. При этом сеть связи должна удовлетворять требованиям пользователей как в настоящее время, так и в будущем. Кроме того, архитектура сети должна быть «неуязвимой для будущего». Это означает, что сеть должна быть гибкой, масштабируемой (способной к развитию), модульной и обеспечивать в будущем требуемый рост емкости и пропускной способности без привлечения дополнительных капиталовложений. В сети должны использоваться стандартные международные интерфейсы (стыки), обеспечивая надежное и устойчивое ее функционирование, высокое качество обслуживания пользователей и взаимодействие с общегосударственной сетью связи.

Для электропитания оборудования цифровой сети связи дороги предполагается использовать существующую сеть электроснабжения системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ).

Верхний уровень в архитектуре топологии сети представлен цифровой первичной транспортной сетью. Для его реализации используется волоконно-оптический кабель (ВОК) и оборудование синхронной цифровой иерархии.

Требования к проектированию цифровой сети связи железной дороги. В курсовой работе по дисциплине «Системы железнодорожной автоматики, телемеханики и связи» решаются задачи организации цифровой первичной сети связи на железной дороге, выбора кабеля и систем передачи информации, расчет ее параметров.

Курсовая работа выполняется по индивидуальному заданию и оформляется в виде пояснительной записки и чертежей. При разработке курсовой работы студенты обязаны руководствоваться правилами выполнения и оформления схем, условными графическими обозначениями применяемых в схемах элементов, правилами оформления пояснительной записки, которые регламентируются государственными и международными стандартами. Текстовый материал следует излагать конкретно и четко.

Пояснительная записка должна быть иллюстрирована необходимыми схемами, чертежами, рисунками, поясняющими выбор тех или иных принятых в курсовой работе решений. При этом обязательны ссылки на использованную литературу, из которой заимствованы выбранные решения, данные и др.

При выполнении расчетов в пояснительной записке должна быть приведена в общем виде расчетная формула с расшифровкой всех входящих в нее буквенных обозначений и ссылкой на литературу, из которой взята эта расчетная формула или входящие в нее исходные данные. Для одной исходной величины расчет следует привести подробно, а при других исходных данных результаты расчета заносятся лишь в таблицы. Результаты расчета оформляются в виде таблиц и рисунков и сопровождаются выводами и анализом полученных результатов.

Основными литературными источниками при выполнении курсовой работы являются учебники [1, 2] и учебно-методические пособия [3, 4], а также статьи в научно-технических и производственно-технических отечественных и иностранных журналах.

1 БЕЛОРУССКАЯ ЖЕЛЕЗНАЯ ДОРОГА И ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Транспортный комплекс Республики Беларусь является важной составляющей ее социально-экономической инфраструктуры. В его состав входят железнодорожный, автомобильный, воздушный, водный, а также трубопроводный виды транспорта.

Взаимодействие различных видов транспорта Республики Беларусь заключается в слаженной и согласованной их работе в общем перевозочном процессе на основе единой транспортной системы (ЕТС). ЕТС как межотраслевая система – это принципиально новое образование, обслуживающая и реализующая связи всех отраслей производства и всех слоев населения на всех уровнях управления страной.

В рыночных условиях важным требованием ЕТС является своевременная и качественная доставка грузов и пассажиров. Кроме того, наша страна находится на пересечении целого ряда торговых путей, что даёт возможность получения дохода от перевозок транзитных грузов. Выполнить стоящие перед транспортом задачи возможно с применением **логистики** – управляющего процесса, который с помощью различных экономико-математических методов позволяет оптимизировать работу отдельных элементов перевозочного процесса и объединить их в единую систему, планировать, контролировать и регулировать движение материальных потоков, обеспечивать минимальные сроки и затраты по доставке товаров потребителям, выбирать рациональный вид транспорта.

Многообразие задач, стоящих перед транспортной отраслью, определено постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 1249 от 29 августа 2008 г., а также утверждена Программа развития логистической системы. В соответствии с этой программой планируется построить или создать путем модернизации существующей инфраструктуры 19 транспортно-логистических центров (ТЛЦ) общего пользования. С учетом внешнеторговых и транзитных грузопотоков и прохождения через территорию Беларуси международных транспортных коридоров такие центры предполагается создать в областных центрах и городах Жлобине, Мозыре, Пинске, Барановичах, Орше, Лиде, Борисове, Бобруйске.

ТЛЦ помогут решить проблему комплексного развития всех видов транспорта.

Республика Беларусь является естественным мостом между Российской Федерацией (РФ) и Западной Европой, что позволило БЖД занять достойное место в системе международной экономической интеграции, стать надежным партнером ведущих европейских держав в обеспечении и развитии эффективных транспортных связей на Европейском континенте.

По территории Беларуси проходят второй (Брест – Орша – Россия) и девятый (Литва – Молодечно – Минск – Осиповичи – Жлобин – Гомель – Украина и Россия – Витебск – Орша – Могилев – Жлобин – Гомель – Украина) общеевропейские транспортные коридоры, и это определяет важность транзитных перевозок для нашей страны (рисунок 1.1).

Белорусская железная дорога находится в пределах Республики Беларусь, которая граничит с Российской Федерацией, Украиной, Польшей, Латвией, Литвой и является транзитным государством. Обладая высокой

провозной и пропускной способностью, БЖД занимает ведущее место в транспортной системе республики.

В состав БЖД входят управление дороги (г. Минск) и следующие отделения (унитарные предприятия): Минское (НОД-1), Барановичское (НОД-2), Гомельское (НОД-3), Брестское (НОД-4), Могилёвское (НОД-5), Витебское (НОД-6), объединяющие 384 крупные и малые станции. Дорога граничит с Октябрьской и Московской железными дорогами России, Юго-Западной и Львовской железными дорогами Украины, с железными дорогами Прибалтики и Польши.

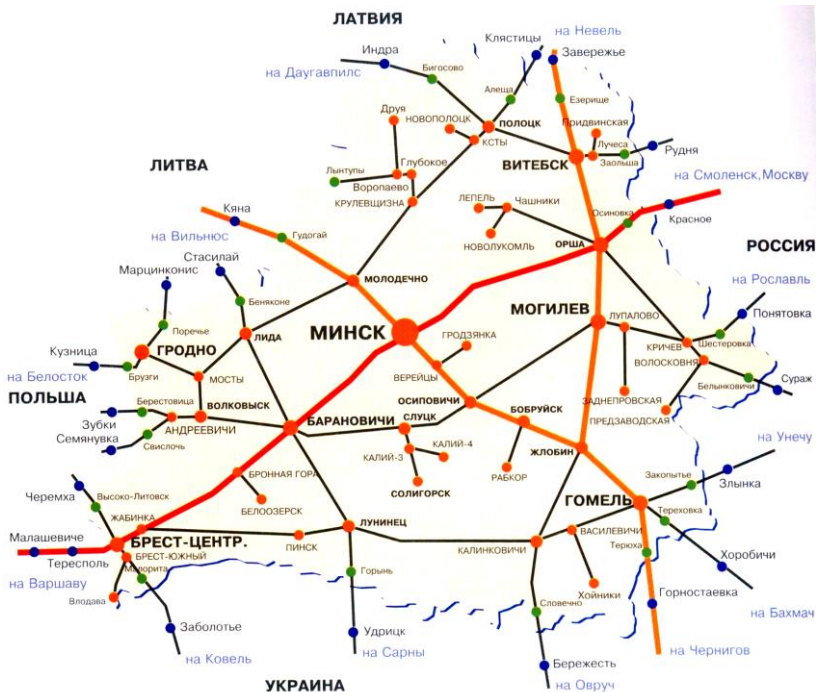


Рисунок 1.1 – Транспортная сеть Белорусской железной дороги

Крупные узловые станции БЖД (Минск, Молодечно, Орша, Барановичи, Гродно, Волковыск, Лида, Лунинец, Брест, Гомель, Жлобин, Калинковичи, Могилёв, Осиповичи, Кричев, Витебск, Полоцк) работают на 4–6 направлениях (рисунок 1.2). Белорусская железная дорога активно сотрудничает с железными дорогами России, Польши, Германии, Литвы в организации транзитных грузовых и пассажирских перевозок.

Белорусская железная дорога является одной из ведущих отраслей экономики Республики Беларусь. Среди других транспортных предприятий

страны железная дорога обеспечивает 94 % грузоперевозок и 60 % пассажиропотока. Дорогой выполняются значительные перевозки пассажиров в международном сообщении.

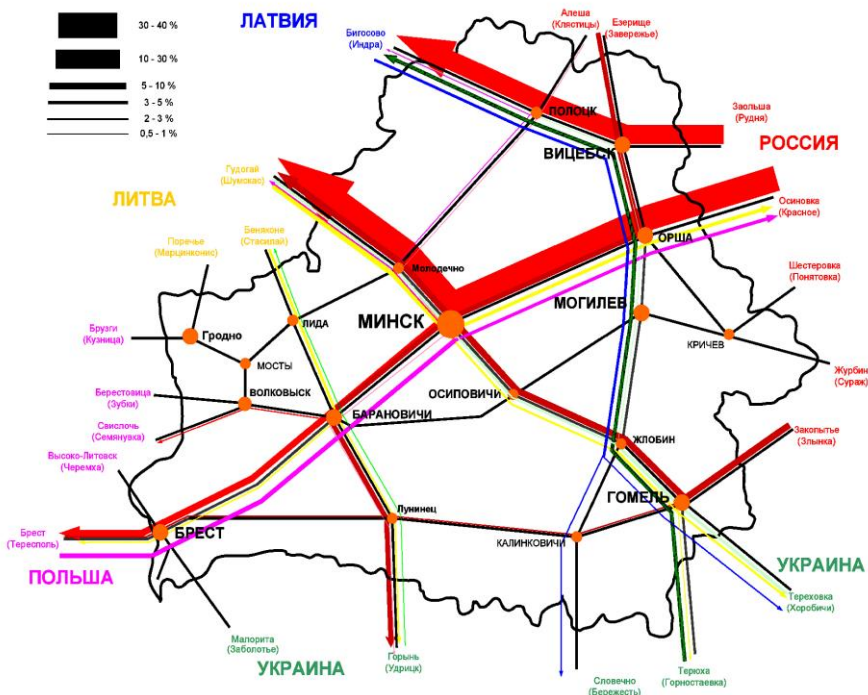


Рисунок 1.2 – Схема направлений транзитных грузопотоков БЖД

Оснащенность дороги системами железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ), средствами связи и вычислительной техники является одним из решающих показателей ее технического состояния, информационного обеспечения перевозки грузов и пассажиров.

Для обеспечения всего комплекса транспортных услуг дорога располагает на пограничных переходах необходимыми устройствами, способными переработать всю номенклатуру перевозимых грузов. Средства СЖАТ и связи обеспечивают внедрение современных информационных технологий и позволяют увеличить пропускную способность железнодорожных линий, перерабатывающую способность станций, улучшить условия труда железнодорожников и обеспечить высокий уровень безопасности движения поездов.

2 ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

2.1 Плезियोхронная цифровая иерархия

Теоретические исследования в области цифровых методов модуляции были известны давно. Так, метод импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) для передачи сигналов запатентован еще в 30-е годы прошлого века, однако практическая реализация их в аппаратуре сдерживалась отсутствием элементной базы и волоконно-оптических кабелей.

Исторически первой появилась плезиохронная (почти синхронная) иерархия, которая была единственной с начала 60-х до конца 80-х годов XX в., и поэтому свое теперешнее название – **«плезиохронная цифровая иерархия»** (Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH), в дальнейшем – ПЦИ) – она получила только с возникновением и началом использования систем передачи, основанных на принципах синхронной иерархии.

Первой системой передачи информации с ИКМ была 24-канальная система, которая послужила основой для североамериканского стандарта ПЦИ, получившего признание Международного консультативного комитета по телефонии и телеграфии (МККТТ), в последствии преобразованного в Международный союз электросвязи по телекоммуникациям (МСЭ-Т), и используется по настоящее время. Однако для Европейского региона МСЭ-Т принял другой стандарт иерархии, который основывается на первичной ЦСП типа ИКМ-30 со скоростью передачи цифрового сигнала в линии 2048 кбит/с (рисунок 2.1). На базе первичных были разработаны ЦСП последующих более высоких уровней иерархии – вторичные, третичные и четверичные, основные параметры которых также были стандартизированы. В нашей стране был организован выпуск аппаратуры, соответствующей стандартному ряду ИКМ-30, -120, -480 и -1920.

Первичная ЦСП ИКМ-30 была разработана для использования в телефонных сетях, с целью организации соединительных линий между автоматическими телефонными станциями (АТС). Она используется и как каналобразующая аппаратура для аналого-цифрового преобразования в системах передачи более высоких ступеней иерархии.

Современная терминология, применяемая в цифровой технике телекоммуникаций, все дальше отходит от традиционного названия ИКМ-30 и все чаще использует название **«первичный мультиплексор»**. Мультиплексирование – объединение сигналов как аналоговых, так и цифровых. Демультиплексирование – разъединение объединенного цифрового потока на соответствующие его компонентные составляющие (части).

Сравнение действующих в настоящее время в Европе, Северной Америке и Японии уровней цифровой иерархии представлено в таблице 2.1. Для европейской ПЦИ применяется обозначение цифровых потоков буквой E

(первого уровня – E1, второго – E2 и т. д.), а для североамериканской и японской ПЦИ – T, иногда DS или J (первого уровня – T1, второго – T2 и т. д.). Первичным потоком для всех типов ПЦИ является цифровой поток со скоростью передачи 64 кбит/с, который называется основным цифровым каналом (ОЦК) и обозначается E0, хотя в иерархию ПЦИ не входит. При передаче цифрового потока более высокого уровня иерархии помимо полезной информации цифровых потоков более низкого уровня иерархии в его состав входит служебная информация.

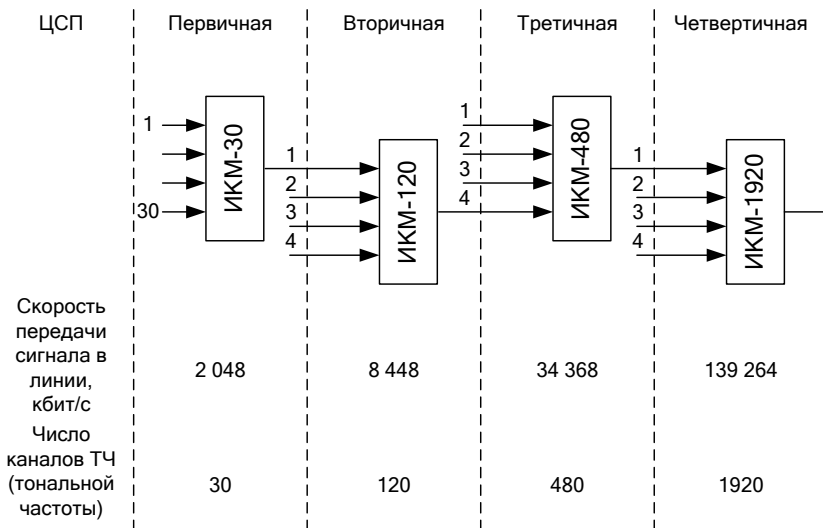


Рисунок 2.1 – Иерархия плезиохронных цифровых систем передачи

Таблица 2.1 – Скорости передачи информации в ЦСП с ПЦИ

Уровень цифровой иерархии	Европейская (Е)		Североамериканская (Т)		Японская (Т)	
	Скорость передачи, кбит/с	Кратность	Скорость передачи, кбит/с	Кратность	Скорость передачи, кбит/с	Кратность
E0	64	×30	64	×24	64	×24
E1/T1	2048	×4	1544	×4	1544	×4
E2/T2	8448	×4	6312	×7	6312	×5
E3/T3	34368	×4	44736	×6	32064	×3
E4/T4	139264	–	274176	–	97728	–

Дальнейшим объединением цифровых потоков четырех систем передачи можно получить более мощные пятеричные, шестеричные цифровые системы передачи. *Европейские пятеричные системы* со скоростью передачи

565 Мбит/с использовались в ряде магистральных волоконно-оптических линий связи за рубежом, однако они не нашли широкого применения, так как не выдержали конкуренции с новыми принципами организации цифровых систем передачи информации – *принципами синхронной цифровой иерархии*.

2.2 Синхронная цифровая иерархия

Семейство оборудования, разработанного на принципах синхронной цифровой иерархии [Synchronous Digital Hierarchy (SDH), в дальнейшем СЦИ], явилось качественно новым этапом развития техники систем передачи информации. Концепция СЦИ позволяет оптимальным образом сочетать процессы высококачественной передачи больших объемов цифровой информации с процессами автоматизированного управления, контроля и обслуживания сети в рамках единой системы, что существенно увеличивает эффективность передачи, гибкость цифровых сетей и их надежность.

Следующий этап в развитии ЦСП во многом был обусловлен освоением современных волоконно-оптических кабелей, скорость передачи цифрового сигнала в которых может достигать нескольких десятков Гбит/с (1 Гбит = 2^{30} бит, но 1 Гбит/с = 1 000 000 000 бит/с). Один из первых стандартов СЦИ, разработанный в США, где впервые появились системы синхронной иерархии, назывался SONET (Synchronous Optical NETwork).

Как и в ПЦИ, на каждом уровне СЦИ стандартизированы скорости передачи группового сигнала и структуры циклов.

Для первого уровня СЦИ установлена скорость передачи 155 520 кбит/с. Скорости высших уровней получаются умножением скорости первого уровня на число, соответствующее наименованию уровня. Кроме первого, стандартизированы и широко применяются в сетях связи четвертый уровень со скоростью передачи 622 080 кбит/с, шестнадцатый – 2 488 320 кбит/с и шестьдесят четвертый – 9 953 280 кбит/с (рисунок 2.2).

Для переноса информации в СЦИ используются синхронные транспортные модули (STM – Synchronouns Trunspord Modul), которые представляют собой циклическую структуру с периодом повторения 125 мкс. Основной модуль STM-1, модули высших уровней STM-4, STM-16 и STM-64. Кроме информационных STM передают значительный объем дополнительных сигналов, обеспечивающих функции контроля, управления и обслуживания, а также вспомогательные функции. Оборудование СЦИ может работать при различной организации линии передачи: при передаче цифровых сигналов между оконечными станциями, передаче цифровых сигналов между оконечными станциями с выделением каналов на промежуточных станциях, однако наибольшее распространение получили кольцевые структуры с защитным переключением каналов и трактов в случае повреждения кабельных линий или выхода оборудования из строя.

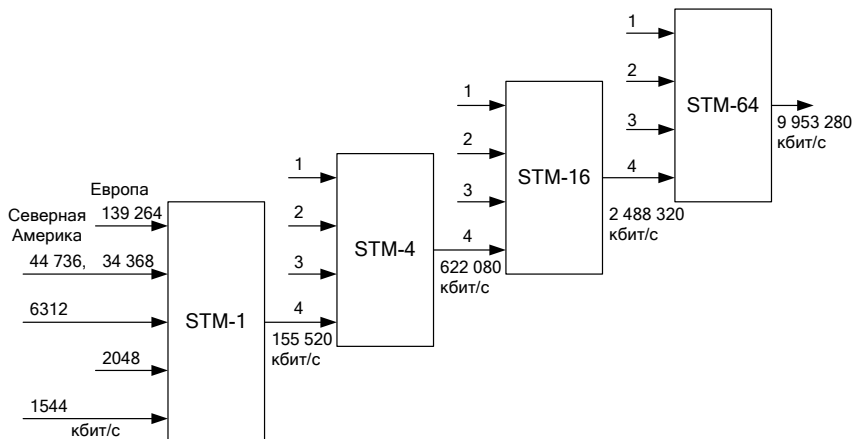


Рисунок 2.2 – Скорости передачи информации синхронными транспортными модулями разных уровней иерархии

Преимущества систем передачи синхронной цифровой иерархии.

Это прежде всего транспортирование больших объемов информации с использованием минимума оборудования по сравнению с оборудованием ПЦИ, гибкость организации надежных и живучих сетевых структур с ответвлениями и выделением цифровых потоков на промежуточных станциях, с автоматическими переключениями, резервированием и автоматизацией процессов контроля и управления сетью. Благодаря наличию стандартных интерфейсов действующих иерархий ПЦИ оборудование СЦИ встраивается в существующие цифровые сети и взаимодействует с ними, в максимальной степени обеспечивая использование уже работающей аппаратуры.

Благодаря своим преимуществам системы передачи СЦИ быстро завоевали свое место в сетях связи всего мира. Прежде всего, это магистральные и региональные линии связи, требующие большой пропускной способности, высокого качества передачи сигналов, надежности функционирования и возможности дистанционного мониторинга (контроля) и управления.

3 ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ СИНХРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ИЕРАРХИИ

3.1 Транспортная система синхронной цифровой иерархии

Развитие и совершенствование многоканальных систем передачи информации идет по пути создания универсальных транспортных систем СЦИ, которые не только осуществляют передачу и прием сигналов, но и

выполняют дополнительные функции контроля, обслуживания и управления как всей сетью, так и отдельными ее элементами. Для выполнения этих функций в состав транспортной системы СЦИ входят информационная сеть и система контроля, обслуживания и управления. В качестве нагрузки, транспортируемой системами СЦИ по информационной сети, могут служить сигналы аппаратуры ПЦИ европейской, американской или японской иерархий, или иные цифровые сигналы.

Основными принципами технологии СЦИ являются синхронное мультиплексирование, контейнеризация процесса переноса информации и объединение (интеграция) функций передачи, контроля, обслуживания и оперативного управления.

В сетях СЦИ используется внешняя синхронизация местных генераторов отдельных сетевых элементов от центрального опорного источника с относительной нестабильностью частоты не хуже 10^{-11} . Это позволяет получить высокостабильные потоки сигналов.

На вход аппаратуры СЦИ 1-го уровня (STM-1) в качестве компонентных потоков могут поступать стандартные сигналы ПЦИ европейской (Е1, Е3, Е4) и американской (Т1, Т2, Т3) иерархий. Это позволяет создавать и развивать сети СЦИ, не разрушая местные сети, которые построены на базе аппаратуры ПЦИ и выполняют функции сетей доступа. Компонентные потоки, скорости передачи которых соответствуют указанным выше стандартным скоростям ПЦИ, называются **трибами** ПЦИ.

За счет операции **инкапсуляции**, которая называется также методом последовательного вложения сигналов, по принципу «матрешки» из компонентных потоков ПЦИ формируется синхронный транспортный модуль 1-го уровня (STM-1).

Цифровые потоки (Е, Т), скорость передачи которых соответствует указанному выше стандартному ряду скоростей синхронной цифровой иерархии, называются трибами СЦИ.

3.2 Контейнеризация процесса передачи информации

В сетях СЦИ для обеспечения универсальных возможностей транспортирования разнородных сигналов используется **принцип контейнерных перевозок**. В контейнере *С-п* размещается компонентный цифровой поток, подлежащий передаче (рисунок 3.1). К контейнеру, направляемому по некоторому маршруту, добавляется маршрутный заголовок РОН (нижнего – LO-РОН или верхнего – HO-РОН уровней). В нем указываются все необходимые для управления и маршрутизации параметры. В результате контейнер *С* превращается в виртуальный контейнер *ВС-п*, который представляет собой информационную структуру, несущую полезную нагрузку, в качестве которой могут выступать сигналы аппаратуры ПЦИ.

В узлах сети происходит обмен виртуальными контейнерами. Если полезная нагрузка не предназначена для данного узла, то она преобразованию

в нем не подлежит. Операции с виртуальными контейнерами в сетях СЦИ выполняются независимо от вида сигналов, размещенных в них. Это делает сеть прозрачной для передачи по заданному маршруту различных видов сигналов. После доставки сигналов в конечную точку маршрута и «выгрузки» из контейнера они приобретают прежнюю форму компонентного потока (Е, Т). Сигналы, передаваемые аппаратурой американской ПЦИ, не смогут быть обработаны в точке приема аппаратурой европейской ПЦИ без принятия дополнительных мер.

Виртуальные контейнеры различаются по условному параметру – «емкости», в качестве которой принимается максимально допустимая скорость передачи размещаемого в нем компонентного цифрового потока. В зависимости от «емкости» виртуальному контейнеру присваивается *ранг*. Виртуальные контейнеры VC-11, VC-12 и VC-2 относятся к нижнему рангу, а VC-3, VC-4 – к верхнему. Полезной нагрузкой виртуального контейнера верхнего ранга могут быть виртуальные контейнеры более низкого ранга. Таким образом, он может формироваться методом инкапсуляции в него определенного числа контейнеров нижнего ранга. Однако если полезная нагрузка не помещается в один контейнер, может применяться метод «сцепки» контейнеров одного уровня, называемый также *конкатенацией* контейнеров. С точки зрения размещения нагрузки составной контейнер рассматривается как один большой. Это позволяет легко адаптировать технологию СЦИ к новым типам нагрузок, не известных на момент ее разработки.

Блоки нагрузки TU-*n* обеспечивают согласование по скорости между виртуальными контейнерами нижнего и верхнего рангов. Он состоит из информационной нагрузки, в качестве которой выступает виртуальный контейнер VC-*n*, и указателя блока нагрузки. *Указатель* показывает начало блока нагрузки в виртуальном контейнере верхнего ранга. Группу блоков нагрузки TUG-*n* составляют один или несколько блоков нагрузки, занимающих фиксированные позиции в нагрузке виртуального контейнера VC-*n* верхнего ранга. Группы дают возможность образовать смешанную нагрузку из блоков разных размеров для увеличения гибкости транспортной сети. Административный блок AU-*n* представляет собой информационную структуру, обеспечивающую согласование между виртуальными контейнерами верхнего ранга и синхронными транспортными модулями (STM-1). В состав AU-*n* входит виртуальный контейнер верхнего ранга VC-*n* в качестве информационной нагрузки и указатель административного блока. Он служит для обозначения начала административного блока в потоке STM-1.

Группу административных блоков AUG составляют один или более административных блоков, занимающих фиксированное положение в STM-1. К STM-1 добавляется секционный заголовок SOH.

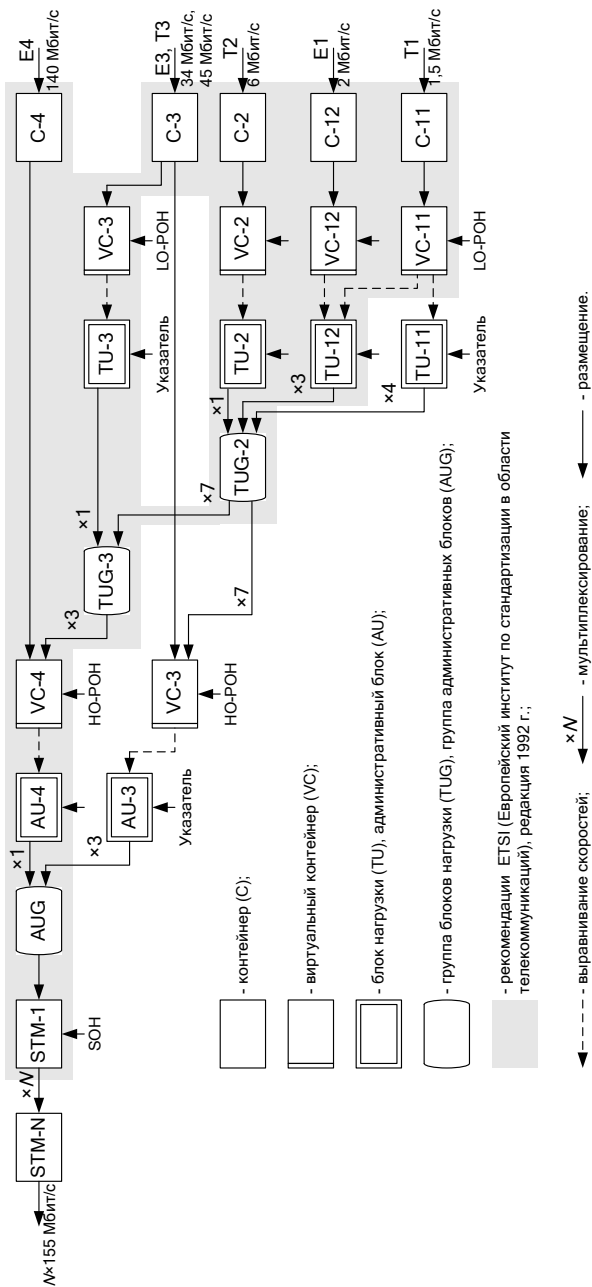


Рисунок 3.1 – Формирование синхронного транспортного модуля

Операция размещения нагрузки в виртуальных контейнерах представляет собой процедуру адаптации сигналов нагрузки к виртуальным контейнерам в границах сети СЦИ за счет согласования их скоростей при применении пустых (балластных) битов, если скорость источника нагрузки меньше стандартной скорости виртуального контейнера, и вставок, если скорость источника нагрузки больше.

Операция выравнивания скоростей представляет собой процедуру, при которой в блок нагрузки TU-*n* или административный блок AU-*n* вводится информация об «отступе» их циклов от эталонной точки отсчета. Это связано с необходимостью компенсации появляющихся в сети колебаний частоты и фазы сигналов, упакованных в виртуальные контейнеры, относительно потока STM-1.

Операция мультиплексирования представляет собой процедуру побайтного объединения нескольких блоков нагрузки или групп блоков нагрузки нижнего ранга в группу блоков нагрузки или виртуальный контейнер верхнего ранга либо нескольких административных блоков верхнего ранга в группу административных блоков.

3.3 Оборудование синхронной цифровой иерархии

Оборудование СЦИ является основой для создания первичной цифровой сети связи. Оно строится по принципу функциональных модулей, к которым относятся мультиплексоры, концентраторы, регенераторы и коммутаторы. **Функциональные модули** связаны между собой средой передачи и определенными логическими связями. Эти связи формируют топологию, или архитектуру, сети СЦИ.

Мультиплексоры являются основным функциональным модулем сетей СЦИ. Они выполняют сборку (мультиплексирование) высокоскоростного потока STM-N из низкоскоростных компонентных потоков ПЦИ или СЦИ в тракте передачи и разборку (демультиплексирование) высокоскоростного потока STM-N с целью выделения низкоскоростных потоков в тракте приема (рисунок 3.2). Высокоскоростной оптический сигнал поступает на линейный выход мультиплексора, называемый агрегатным выходом. *Агрегатный выход*, выполняющий функцию канала передачи/приема, содержит оптический передатчик и оптический приемник, которые подключаются к оптическим волокнам (ОВ) с помощью порта.

Мультиплексоры в силу своей универсальности и гибкости могут выполнять функции концентратора и коммутатора потоков, а также регенератора параметров сигналов.

Входящие в состав мультиплексоров интерфейсы (стыки), которые осуществляют передачу и прием компонентных сигналов, называют *трибными*, а передачу и прием линейных сигналов – *агрегатными*.

В зависимости от выполняемых функций мультиплексоры подразделяются на терминальные (оконечные) и мультиплексоры ввода-вывода.

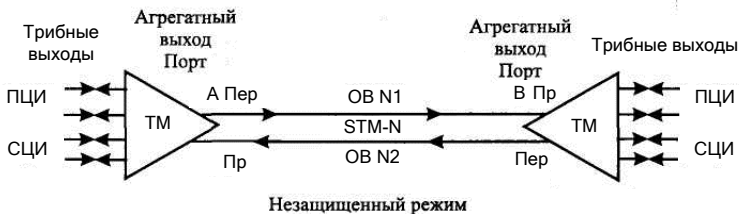


Рисунок 3.2 – Связь между терминальными мультиплексорами в незащищенном режиме

Терминальный мультиплексор (ТМ) (см. рисунок 3.2) выполняет в тракте передачи ввод компонентных сигналов со стороны трибных интерфейсов, мультиплексирование их до уровня STM-N и передачу в агрегатный линейный интерфейс. В тракте приема ТМ осуществляет демультиплексирование пришедшего из агрегатного линейного интерфейса сигнала в формате STM-N до уровня компонентных потоков и направляет их на выходы трибных интерфейсов.

Для повышения надежности процесса передачи информации и устойчивого функционирования сети СЦИ в ТМ устанавливаются два оптических агрегатных выхода (рисунок 3.3). Каждый из них выполняет функцию канала передачи/приема и подключается к оптическим волокнам с помощью портов А и В. Это позволяет обеспечить создание режима 100%-го резервирования, который называется также защитой процесса передачи информации по схеме «1+1».

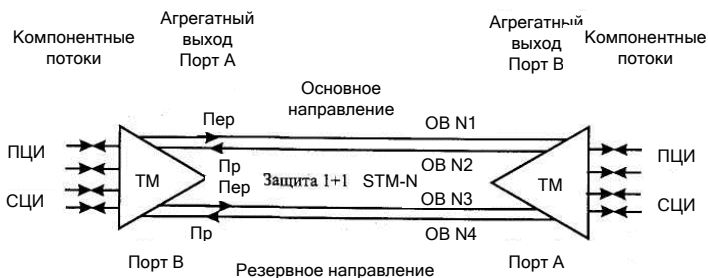


Рисунок 3.3 – Связь между терминальными мультиплексорами в защищенном режиме

При линейной топологии сети типа «точка – точка» агрегатные выходы ТМ обозначаются как основной и резервный. Чтобы реализовать функцию передачи/приема к основному порту подключаются оптические волокна (ОВ), например 1 и 2, а к резервному – ОВ 3 и 4. При выходе из строя основного направления выполняется переключение на резервное.

Мультиплексоры ввода-вывода (МВВ) устанавливаются в тех узлах сети, где необходимо осуществить ввод и вывод потоков, представляющих собой компонентные сигналы ПЦИ или СЦИ, без полного демультиплексирования всего потока STM-N (рисунок 3.4), а также сквозную передачу/прием выходных потоков в обоих направлениях.

Концентратор (К) представляет собой мультиплексор, объединяющий в один распределительный узел сети СЦИ несколько, как правило, однотипных со стороны входных портов потоков (например, ПЦИ и СЦИ), которые поступают от удаленных узлов. То есть концентратор позволяет уменьшить общее число каналов, подключенных к основной транспортной сети СЦИ, и предоставляет возможность удаленным узлам обмениваться между собой потоками информации, не загружая трафик основной транспортной сети. Таким образом, концентраторы способны развивать сеть СЦИ, не изменяя конфигурацию информационных потоков в ней.

Регенератор (Р) используется для увеличения допустимого расстояния между узлами сети СЦИ. Это достигается за счет регенерации (усиления и коррекции параметров) линейного сигнала, предварительно преобразованного из оптического в электрический. Регенерация выполняется путем восстановления амплитуды, формы, длительности, местоположения импульсов сигнала. При этом в регенераторе не происходит демультиплексирования сигналов STM-N, выделения или ввода компонентных потоков.

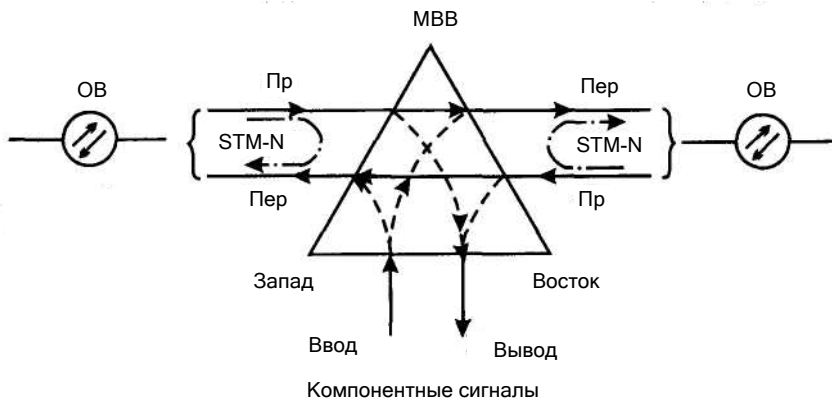


Рисунок 3.4 – Мультиплексор ввода-вывода

Коммутатор. Физически возможности внутренней коммутации каналов заложены в самом мультиплексоре SDH, что позволяет говорить о мультиплексоре как о внутреннем или локальном коммутаторе. В общем случае приходится использовать специально разработанные **синхронные коммутаторы** – SDXC, осуществляющие не только локальную, но и общую или проходную (сквозную) коммутацию высокоскоростных потоков и синхронных транспортных модулей STM-N. Важной особенностью таких коммутаторов является отсутствие блокировки других каналов при коммутации, когда коммутация одних групп TU не накладывает ограничений на процесс обработки других групп TU (такая коммутация называется неблокирующей).

3.4 Топология сетей синхронной цифровой иерархии

Оборудование СЦИ размещается в узлах, которые связаны между собой линиями передачи, образуя сети определенной топологии или конфигурации. Разветвленные сети сложной структуры можно представить в виде определенного набора стандартных топологий: «точка – точка», «линейная цепь», «звезда», «кольцо».

Топология цифровой сети связи в основном зависит от топологии железной дороги. При этом важнейшие характеристики сети связи определяются связностью узлов (характеризуется количеством альтернативных маршрутов передачи информации в сети), надежностью, устойчивостью и пропускной способностью сети. Топология цифровой сети основывается на разумном компромиссе между надежностью и устойчивостью работы сети, ее стоимостью и простотой технического обслуживания.

При проектировании цифровой сети связи железной дороги приоритетными являются показатели надежности и устойчивости работы сети, которые связаны со способностью восстановления после отказов линий связи, узлов и оконечных устройств. Топология цифровой сети должна обеспечивать локализацию неисправностей, возможность отключения отказавшего оборудования, введение обходных маршрутов и изменение ее конфигурации.

Простота технического обслуживания сети определяется тем, насколько выбранная топология позволяет упростить диагностирование, локализацию и устранение неисправностей.

Стоимость сети во многом зависит от числа и сложности оборудования узлов и протяженности линий связи. Выбранная топология сети должна, по возможности, обеспечивать оптимальное соединение узлов линиями связи так, чтобы общая стоимость передающего и приемного оборудования, а также программного обеспечения была минимальной.

Линейной топологией, или схемой «точка – точка», принято называть схему, связывающую два узла сети (ОС – оконечные станции), на каж-

дом из которых формируются и заканчиваются все информационные потоки между узлами. Для передачи потоков посредством ВОСП используются два волокна – по одному в каждом направлении передачи (рисунок 3.5, а). Такая топология является наиболее простой и используется при передаче больших цифровых потоков по высокоскоростным каналам связи.

Развитием линейной топологии при последовательном соединении узлов сети (или нескольких пунктов выделения каналов) является линейная последовательная цепь с возможностью многократного ввода-вывода потоков в узлах сети (пунктах выделения каналов) одного общего канала для всех пунктов выделения (схема «точка – многоточка») или разных каналов из единого цифрового потока (рисунок 3.5, б).

Звездная топология сети характеризуется тем, что каждый узел сети (пункт выделения каналов) имеет двухстороннюю связь по отдельной линии с центральным узлом – концентратором (обладающим функциями мультиплексора ввода-вывода), благодаря которому и обеспечивается полная физическая связность сети (рисунок 3.5, в). Необходимо отметить, что при общем стандартном наборе функций оборудования СЦИ, определяемом рекомендациями МСЭ-Т, мультиплексоры, выпускаемые конкретными производителями оборудования, могут не иметь полного набора перечисленных возможностей, либо, наоборот, иметь дополнительные.

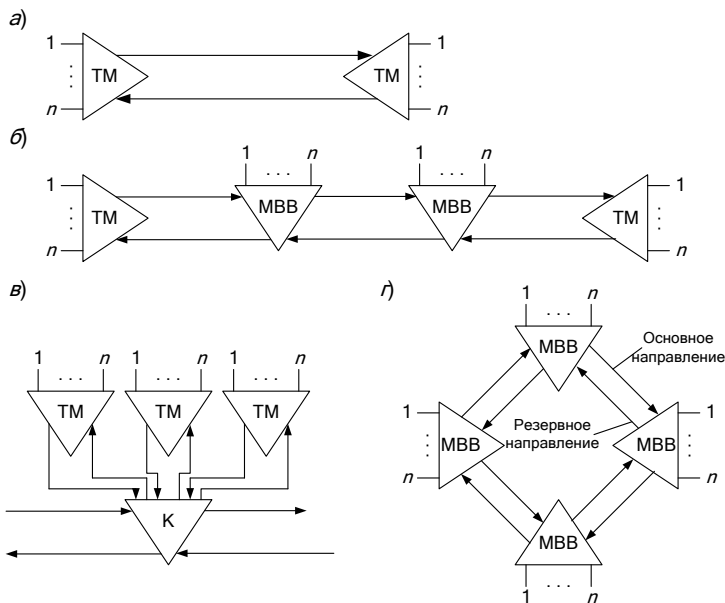


Рисунок 3.5 – Типы базовых топологий цифровых сетей

Наиболее характерной топологией для сетей СЦИ является кольцевая (рисунок 3.5, *з*). Она характеризуется тем, что узлы сети (пункты выделения каналов) связаны линейно, но последний из них соединен с первым, образуя замкнутую петлю (кольцо). В кольце возможна организация одно- и двунаправленной передачи цифрового потока между узлами сети. Основное преимущество этой топологии состоит в легкости организации защиты процесса передачи информации благодаря двум оптическим входам в мультиплексорах, позволяющих создать двойное кольцо со встречными цифровыми потоками передачами информации.

Кольцо, организованное оптическими волокнами внутри одного ВОК, называется «плоским». При использовании волокон кабелей, проложенных по разным трассам между узлами сети (пунктами выделения каналов) и двунаправленной передачи цифрового потока, кольцо является «вытуклым».

3.5 Способы повышения живучести сетей синхронной цифровой иерархии

Сети СЦИ относятся к самовосстанавливающимся сетям, которые обладают свойством восстанавливать свое нормальное состояние в случае каких-либо неисправностей без вмешательства человека. Это происходит за счет способности сети находить пути обхода неисправного оборудования и поддерживать связь до тех пор, пока действительная причина не будет определена и устранена. В случае отказа одного из элементов аппаратуры или участка кабеля самовосстанавливающиеся сети СЦИ сохраняют или восстанавливают (за десятки миллисекунд) работоспособность, продолжая выполнять свои функции и предоставлять услуги по передаче речевых сообщений, видеосигналов и данных без какого-либо ущерба для пользователя.

Существует несколько эффективных методов обеспечения быстрого восстановления работоспособности синхронных сетей: резервирование участков сети по схемам «1+1» и «1:1» по разнесенным трассам; организация самовосстанавливающихся кольцевых сетей, резервированных по схемам «1+1» и «1:1»; организация обхода неработоспособного узла; резервирование основных блоков оборудования по схемам «1:1» и «N:1»; использование систем оперативного переключения. Указанные методы могут быть применены как по отдельности, так и в комбинации.

При **резервировании участков**, которое может использоваться в сетях любой топологии, участки между двумя узлами соединяются двумя *разнесенными* трассами (100%-е резервирование). Сигналы по ним распространяются одновременно. В узле приема они могут обрабатываться по двум схемам.

Резервирование по схеме «1+1» – сигналы анализируются и выбирается тот, который имеет наилучшее соотношение параметров.

Резервирование по схеме «1:1» – альтернативным маршрутам назначаются высокий и низкий приоритеты. Ветвь с высоким приоритетом является основной, а с низким – находится в режиме «горячего» резерва (постоянной готовности). Переключение на нее происходит по аварийному сигналу от системы управления.

Как указывалось выше, наиболее распространена в сетях СЦИ кольцевая топология.

При организации самовосстанавливающихся кольцевых сетей защита маршрута в «сдвоенном кольце», которая соответствует типу «1+1», может быть получена двумя путями.

Первый путь – информация передается *одновременно* в противоположных направлениях по разным кольцам: основному (внешнему) и резервному (внутреннему) (рисунок 3.6). Допустим, в момент приема мультиплексором узла № 2 сигналов, посылаемых мультиплексором узла № 1, происходит нарушение процесса передачи в основном кольце. Тогда система управления, осуществляющая постоянный мониторинг (контроль) колец, автоматически выбирает такой же блок информации из резервного кольца. Эта защита носит распределенный по кольцу характер и наиболее часто используется на практике. При выходе из строя одного из мультиплексоров (например, зачеркнутого) канал между пользователями узлов № 1 и 2 сохранится. Это произойдет за счет того, что мультиплексор узла № 1, не получив информацию из основного кольца, автоматически переключится на прием сигналов из резервного. Схема будет работать также не только при аварии (обрыве связи), но и при снижении заданного уровня качества сигнала.

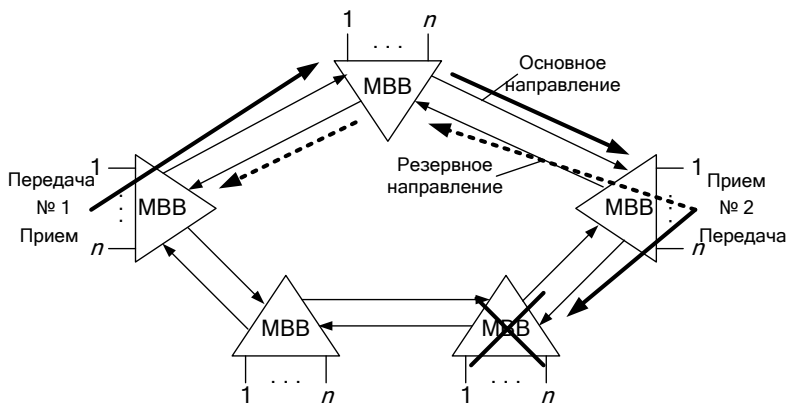


Рисунок 3.6 – Первый путь резервирования сети по схеме «1+1»

Второй путь – организуются два противоположно направленных кольца для передачи информации: одно используется как основное, другое – как резервное

(рисунок 3.7). Но информация в этом случае передается только в *одном* (основном) направлении. При аварии, например, обрыве кабеля на участке, происходит включение резервного кольца, а также замыкание основного и резервного колец на границах дефектного участка. Оно выполняется за счет включения петли обратной связи, замыкающей приемник и передатчик агрегатного блока на соответствующей стороне мультиплексора (восточной или западной). Путь прохождения информационного сигнала при этом несколько увеличивается, но все соединения между пользователями узлов № 1 и 2 сохраняются.

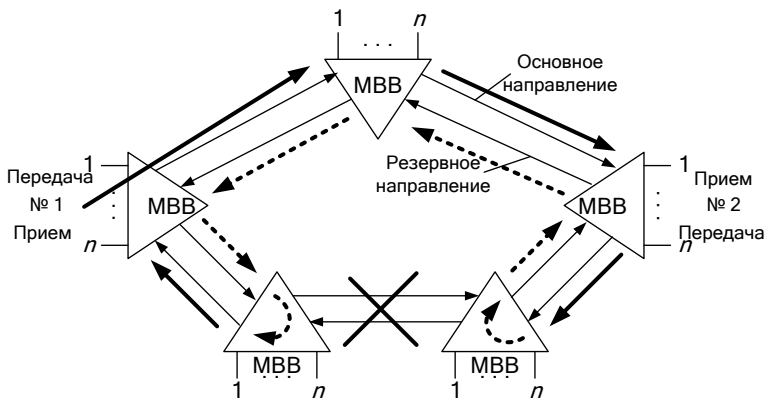


Рисунок 3.7 – Второй путь резервирования сети по схеме «1+1»

Современные схемы управления мультиплексорами обычно могут поддерживать оба метода защиты процесса передачи информации.

Резервирование основных блоков оборудования, влияющих на передачу информационных сигналов, обеспечивает «горячий» резерв, на который они переключаются автоматически. В качестве примера можно рассмотреть резервирование на уровне интерфейсов компонентных потоков. Схема резервирования, представленная в общем виде как «N:1», допускает различную степень резервирования. При схеме «1:1» выполняется 100%-е резервирование, а при «4:1» – 25%-е. Это означает, что на 4 функционирующих узла аппаратуры используется 1 резервный, который автоматически выбирается системой коммутации при отказе одного из основных. Этот метод используется для резервирования интерфейсных плат потоков 2 Мбит/с по схеме «4:1» или «3:1» в аппаратуре STM-1, либо «16:1» или «8:1» в STM-4. Наиболее важные узлы (коммутации, управления, питания) резервируются по схеме «1:1». При этом время переключения на резерв обычно не превышает 10 мс.

Наибольшей надежностью обладает кольцевая топология сети с организацией выпуклых колец между узлами и *двухнаправленной* передачей цифрового потока внутри кольца. Очевидно, что наибольшая надежность кольце-

вых структур достигается тогда, когда кабельные трассы кольца территориально разнесены. В зависимости от назначения ВОЛС можно организовать кольцевые структуры для магистральной и дорожной связи по территориально разнесенным железнодорожным направлениям. Если это невозможно, для повышения надежности ВОЛС можно замкнуть кабельное кольцо путем прокладки (подвески) кабеля по разные стороны железной дороги или организовать параллельный радиорелейный тракт СЦИ. На практике находит применение топология «плоского кольца», когда для замыкания кольца используются оптические волокна внутри одного кабеля.

Сочетания рассмотренных топологий позволяет создавать сети СЦИ с различной архитектурой. Как правило, все мультиплексоры СЦИ имеют возможность оснащения различными платами оптоэлектронных интерфейсов на длинах волн 1310 и 1550 нм, выбор которых позволяет оптимизировать структуру линии в зависимости от соотношения стоимости и длин регенерационных участков.

При выборе топологии сетей необходимо также учитывать число оконечных устройств (ОУ) и устройств обработки информации (УОИ); территориальное расположение ОУ и УОИ; функциональное назначение и показатели качества, надежности, стоимости сооружения сети; условия эксплуатации сети, требования к массе и габаритным размерам ее элементов.

Для железнодорожных СЦИ сетей наиболее целесообразно использовать кольцевые топологии и их варианты, при этом важным является не только правильный выбор оборудования, но и оптимальное расположение мультиплексоров в каждом кольце с учетом их взаимодействия. При этом должны быть обеспечены условия построения системы управления сети с кольцевыми структурами.

Плоские кольца целесообразно организовывать в пределах отделений железной дороги, а выпуклые кольца организуются на дорожном и магистральном уровнях.

4 СТРУКТУРА ПЕРВИЧНОЙ ЦИФРОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Первичная сеть связи представляет собой совокупность сетевых узлов и линий передачи, образующих типовые каналы, по которым передается информация без учета ее специфики. В первичной сети циркулируют крупные цифровые потоки с высокой скоростью передачи между узлами, в которых осуществляется доступ к этим потокам, их разделение на более мелкие цифровые потоки и распределение последних по вторичным сетям. На базе каналов первичной сети строятся вторичные сети, которые предназначены для предоставления пользователям услуг связи.

К **вторичным сетям** железнодорожного транспорта относятся оперативно-технологическая, общетехнологическая и передача данных. Вторичные сети характеризуются тем, какой цифровой информационный поток требуется абоненту или группе абонентов: 64 кбит/с (или $n \times 64$ кбит/с, где n – количество потоков), 2 Мбит/с (или $n \times 2$ Мбит/с), 34, 140, 155 или 622 Мбит/с.

Особенностью существующей железнодорожной первичной сети связи является ее иерархическая структура, отражающая структуру управления технологическими процессами на дорожном, отделенческом и местном (включая внутриобъектовый) уровнях (рисунок 4.1).

Дорожная сеть включает в себя дорожный (ДУ) и отделенческие (ОУ) узлы связи и соединяющие их линии передачи. По каналам и трактам дорожной первичной сети осуществляется передача информации между управлением железной дороги и ее отделениями, а также между самими отделениями железной дороги.

Отделенческая сеть связи имеет ряд специфических особенностей в построении ее первичной и вторичных сетей, которые заставляют считать целесообразным выделение отделенческих связей в отдельный уровень иерархии сети.

Отделенческая сеть включает в себя отделенческий узел связи, узлы связи участковых (УС), промежуточных (ПС) и оконечных (ОС) станций и линии передачи, их соединяющие. По каналам отделенческой сети осуществляется передача информации между отделением железной дороги и станциями, а также между железнодорожными станциями.

Местная сеть связи организуется в пределах крупных железнодорожных узлов и станций, чтобы обеспечить потребности в каналах для оперативного руководства эксплуатационной работой. Она включает в себя местные узлы, оконечные станции, соединительные и абонентские линии передачи.

Структура создаваемых цифровых сетей, сохраняя иерархическую преемственность, позволяет более гибко и эффективно решать задачи обмена информацией между различными категориями пользователей железнодорожного транспорта благодаря применению ВОСП СЦИ, встроенной в нее системы управления оборудованием сети, созданию кольцевых топологий.

На рисунке 4.2 приведен пример структуры сети, построенной на базе оборудования СЦИ. Вдоль железной дороги прокладывается ВОЛС с использованием систем передачи STM-4 (STM-16) для организации дорожной связи.

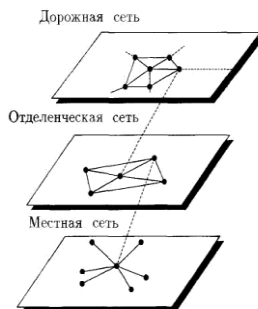
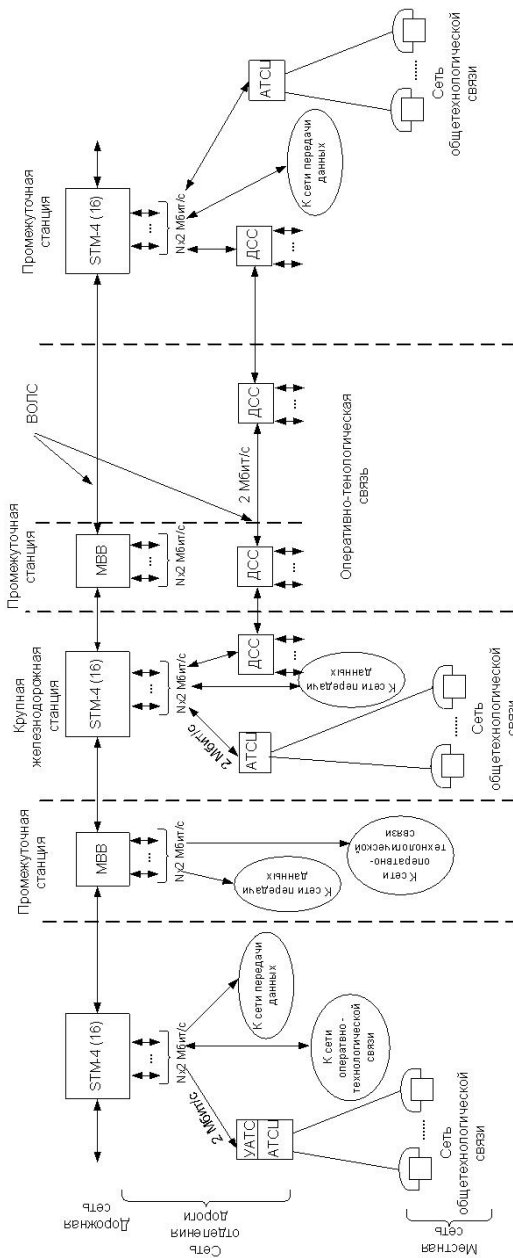


Рисунок 4.1 – Иерархическая структура первичной сети связи железной дороги



АТЦЦ – автоматическая телефонная станция цифровая;
 ДСС – дорожная связь совещаний;
 УАТС – учрежденческая автоматическая телефонная станция

Рисунок 4.2 – Пример структурной схемы железнодорожной цифровой сети связи

На крупных и средних станциях должны быть организованы сетевые узлы, оборудованные МВВ и обеспечивающие ответвление высокоскоростных потоков, распределение потоков, взаимодействие с системами STM-1, STM-4, STM-16 нижнего уровня и разветвление потоков 2 Мбит/с по направлениям на узловых железнодорожных станциях, а также выделение необходимого количества потоков 2,048 Мбит/с.

Терминалы (оконечные устройства) абонентов местной сети включаются в коммутационное оборудование вторичных сетей, которое в свою очередь через интерфейсы (стыки) 2,048 Мбит/с подключается к первичной сети СЦИ. Сеть связи железнодорожного транспорта представляет собой совокупность первичной и вторичных сетей. Вторичные сети связи железнодорожного транспорта предназначены для организации процессов управления движением поездов, осуществления эксплуатационной и коммерческой работы структурных подразделений. В зависимости от назначения, вида передаваемой информации и воздействия на управление процессом перевозок организуются вторичные сети оперативно-технологической связи (ОТС), общетехнологической связи (ОбТС) и сети передачи данных (СПД) (см. рисунок 4.2). Они служат для удовлетворения потребностей подразделений железнодорожного транспорта в передаче различного вида информации.

5 РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ЦИФРОВЫХ ПОТОКОВ НА УЧАСТКАХ СЕТИ СВЯЗИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Для расчета количества цифровых потоков первичной сети связи железной дороги необходимо построить стилизованные схемы дорожной и отделенческой сетей.

На рисунках 5.1–5.3 приведены примеры стилизованных схем дорожной и отделенческой сетей связи. В качестве исходных данных для расчета количества цифровых потоков на участках сети связи железной дороги выбраны следующие обозначения: K_1 – количество цифровых потоков от каждого отделения дороги к каждой станции этого отделения, K_2 – между соседними отделениями дороги, K_3 – между дорожным узлом и каждым отделенческим узлом.

Для упрощения расчетов в курсовой работе количество станций отделений дороги сокращено.

Согласно этому строятся структурные схемы с соответствующим количеством потоков на дорожном и отделенческом уровнях (рисунки 5.4 и 5.5).

Необходимо определить суммарные цифровые потоки для каждого уровня сети:

$$\begin{aligned} P_1 &= aK_1 E1 \text{ (СПД)} + bK_1 E0 \text{ (ОТС)} + cK_1 E0 \text{ (ОбТС)}; \\ P_2 &= aK_2 E1 \text{ (СПД)} + bK_2 E0 \text{ (ОТС)} + cK_2 E0 \text{ (ОбТС)}; \\ P_3 &= aK_3 E1 \text{ (СПД)} + bK_3 E0 \text{ (ОТС)} + cK_3 E0 \text{ (ОбТС)}, \end{aligned}$$

где Π_1, Π_2, Π_3 – суммарные двусторонние цифровые потоки отделенческой сети для всех вторичных сетей связи (СПД, ОТС, ОБТС) соответственно между отделением дороги и станциями, между соседними отделениями дороги и между дорожным узлом и отделениями дороги;

a, b, c – доли цифровых потоков отдельных вторичных сетей в суммарном цифровом потоке Π_1, Π_2 или $\Pi_3, a + b + c = 1$.

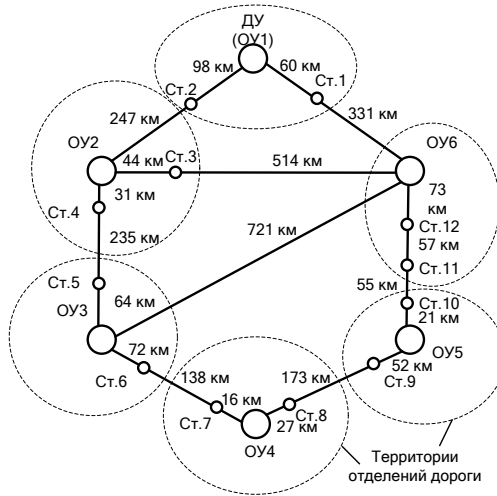


Рисунок 5.1 – Стилизованная схема железной дороги

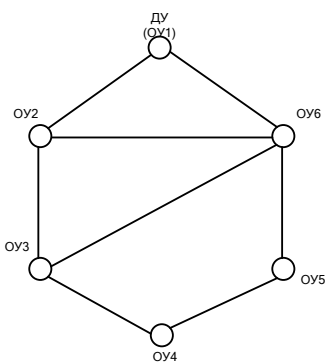


Рисунок 5.2 – Стилизованная схема дорожной сети связи

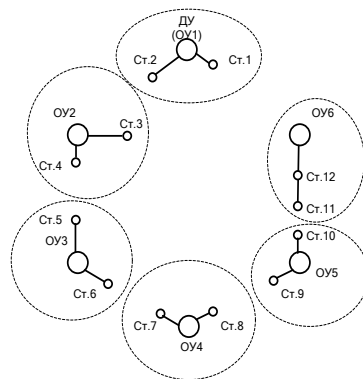


Рисунок 5.3 – Стилизованная схема отделенческой сети связи

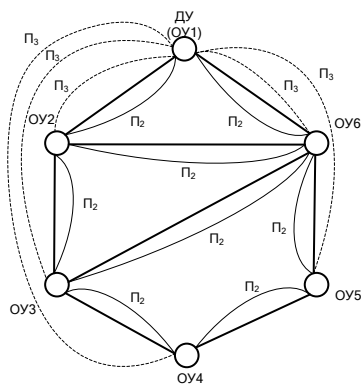


Рисунок 5.4 – Количество цифровых потоков на участках дорожной сети связи без учета резервирования

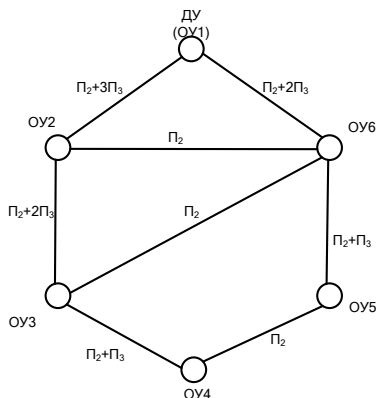


Рисунок 5.5 – Суммарное количество цифровых потоков на участках дорожной сети связи без учета резервирования

Для примера примем следующие значения: $K_1 = 60$; $K_2 = 410$; $K_3 = 940$; $a = 0,6$; $b = 0,3$; $c = 0,1$.

Тогда

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= 0,6 \cdot 60 \text{ E1} + 0,3 \cdot 60 \text{ E0} + 0,1 \cdot 60 \text{ E0} = 36 \text{ E1} + 18 \text{ E0} + 6 \text{ E0} = \\ &= 36 \text{ E1} + 24 \text{ E0}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_2 &= 0,6 \cdot 410 \text{ E1} + 0,3 \cdot 410 \text{ E0} + 0,1 \cdot 410 \text{ E0} = 246 \text{ E1} + 123 \text{ E0} + \\ &+ 41 \text{ E0} = 246 \text{ E1} + 164 \text{ E0}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi_3 &= 0,6 \cdot 940 \text{ E1} + 0,3 \cdot 940 \text{ E0} + 0,1 \cdot 940 \text{ E0} = 564 \text{ E1} + 282 \text{ E0} + \\ &+ 94 \text{ E0} = 564 \text{ E1} + 376 \text{ E0}. \end{aligned}$$

Поток Π_3 от ДУ (ОУ1) до ОУ3 проходит транзитом через оборудование ОУ2 без выделения (рисунок 5.4). Аналогичным образом потоки Π_3 от ДУ (ОУ1) до ОУ4 и от ДУ (ОУ1) до ОУ5 проходят транзитом через ОУ2, ОУ3 и ОУ6 соответственно.

На рисунке 5.6 представлены цифровые потоки на участках отделенческой сети связи без учета резервирования. Поток Π_1 от ОУ6 до Ст. 11 проходит транзитом через оборудование Ст. 12 без выделения.

Далее составляется сводная таблица с необходимым количеством цифровых потоков на всех участках железной дороги (таблица 5.1).

При проектировании цифровой сети связи железной дороги используются следующие цифровые потоки:

- СПД (E1) – систем передачи данных;
- ОТС (E0) – оперативно-технологической связи;
- ОбТС (E0) – общетехнологической связи.

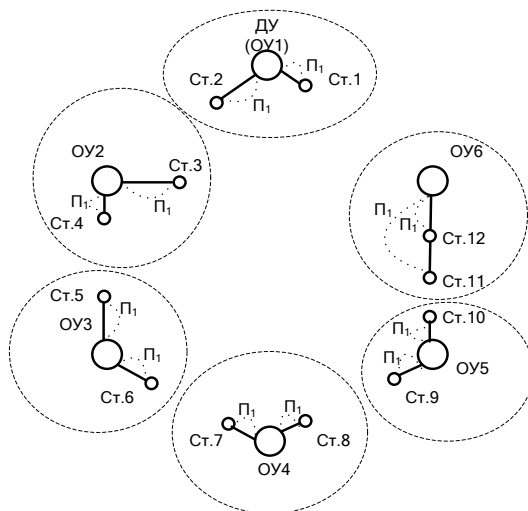


Рисунок 5.6 – Количество цифровых потоков на участках отделенческой сети связи без учета резервирования

Пересчет количества цифровых потоков из Е0 в Е1 и из Е1 в STM-1 производится следующим образом (один цифровой поток Е0 со скоростью передачи 64 кбит/с позволяет организовать один телефонный канал связи):

$$E1 = 30 E0 \text{ (см. таблицу 2.1);}$$

$$STM-1 = 63 E1 \text{ (см. рисунок 3.1).}$$

Количество цифровых потоков Е1 и STM-1 должно быть целым, поэтому результаты пересчета необходимо округлять до ближайших больших целых чисел.

Для каждого из участков железной дороги виды и количество цифровых потоков (N) рассчитываются с учетом рисунка 5.5 и полученных данных для Π_1, Π_2, Π_3 . Например, для участка ДУ (ОУ1) – ОУ2 виды и количество цифровых потоков определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} N_{ДУ(ОУ1)-ОУ2} &= \Pi_2 + 3\Pi_3 = 246 E1 + 164 E0 + 3 \times (564 E1 + 376 E0) = \\ &= 1938 E1 + 1292 E0 = 1938 E1 + (1292 / 30) E1 = \\ &= 1938 E1 + 43,07 E1 \approx 1938 E1 + 44 E1 = 1982 E1. \end{aligned}$$

Количество цифровых потоков $N_{ДУ(ОУ1)-ОУ2}$ составляет:

$$STM-1 - 1982 E1 / 63 = 31,46 STM-1 \approx 32 STM-1;$$

$$STM-4 - 32 STM-1 / 4 = 8 STM-4;$$

$$STM-16 - 8 STM-4 / 4 = 2 STM-16;$$

$$STM-64 - 2 STM-16 / 4 = 0,5 STM-64 \approx 1 STM-64.$$

Таблица 5.1 – Виды и количество цифровых потоков на каждом из участков железной дороги без учета резервирования

Участок	Количество потоков участка	Виды и количество потоков E1 и E0	Общее количество цифровых потоков (варианты)				
			E1	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64
ДУ (ОУ1) – ОУ2	$\Pi_2 + 3\Pi_3$	1938 E1 + 1292 E0	1982	32	8	2	1
ДУ (ОУ1) – ОУ6	$\Pi_2 + 2\Pi_3$	1374 E1 + 916 E0	1405	23	6	2	1
ОУ2 – ОУ3							
ОУ3 – ОУ4	$\Pi_2 + \Pi_3$	810 E1 + 540 E0	828	14	4	1	–
ОУ5 – ОУ6							
ОУ2 – ОУ6	Π_2	246 E1 + 164 E0	252	4	1	–	–
ОУ3 – ОУ6							
ОУ4 – ОУ5							
ОУ6 – Ст.12	$2\Pi_1$	72 E1 + 48 E0	74	2	1	–	–
ДУ(ОУ1) – Ст.1	Π_1	36 E1 + 24 E0	37	1	–	–	–
ДУ(ОУ1) – Ст.2							
ОУ2 – Ст.3							
ОУ2 – Ст.4							
ОУ3 – Ст.5							
ОУ3 – Ст.6							
ОУ4 – Ст.7							
ОУ4 – Ст.8							
ОУ5 – Ст.9							
ОУ5 – Ст.10							
Ст.11 – Ст.12							

Нецелесообразно рассматривать варианты использования цифровых потоков более высоких уровней иерархии при наличии одного потока более низкого уровня. Например, для участков ОУ3 – ОУ4 и ОУ5 – ОУ6 нет необходимости использовать поток STM-64 в связи с тем, что на данных участках достаточно одного потока STM-16.

Результаты расчетов количества цифровых потоков выполнены с округлением в большую сторону до ближайшего целого числа.

Для повышения надежности функционирования дорожной цифровой сети связи используют резервирование по схеме «1+1» по *разнесенным трассам*, которые формируются в процессе использования кольцевой топологии данной сети (рисунок 5.7).

Для определения количества цифровых потоков дорожной сети с учетом резервирования по направлениям выбирается первое кольцо ДУ (ОУ1) – ОУ2 – ОУ6 – ДУ (ОУ1). Количество цифровых потоков во всех участках устанавливается равным сумме количества цифровых потоков всех участков кольца (рисунок 5.8).

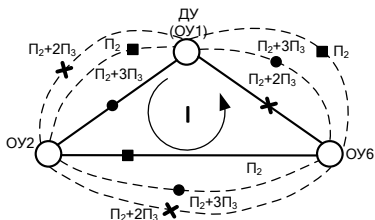


Рисунок 5.7 – Количество цифровых потоков на дорожном уровне и их резервирование в первом кольце

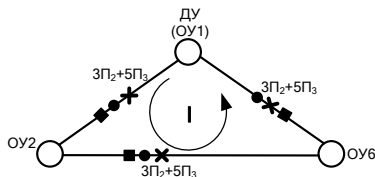


Рисунок 5.8 – Суммарное количество цифровых потоков в первом кольце с учетом резервирования

Если на некоторых участках одного кольца передается один и тот же цифровой поток, то повторно этот поток учитывать не надо. В примере на рисунках 5.7 и 5.8 таких потоков нет, но если бы отсутствовал участок ОУ2 – ОУ6, то один и тот же двойной цифровой поток $2П_3$ (★ на рисунке 5.9) присутствовал бы на участках ДУ (ОУ1) – ОУ2 и ОУ2 – ОУ3 (рисунки 5.9 и 5.10).

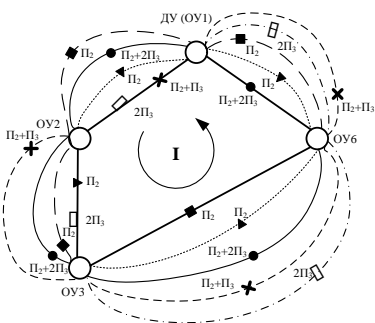


Рисунок 5.9 – Количество цифровых потоков на дорожном уровне

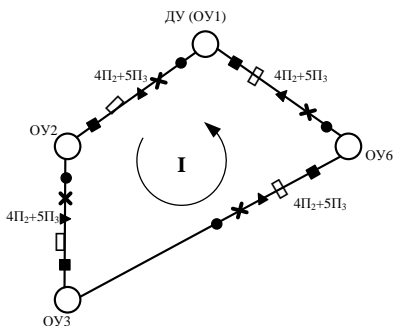


Рисунок 5.10 – Суммарное количество потоков с учетом резервирования

Количество цифровых потоков на участках других колец также определяется как сумма количества цифровых потоков всех участков кольца, но за исключением участков, вошедших в предыдущие кольца (рисунок 5.11) и т. д. Количество цифровых потоков участков, по которым проходят несколько колец, равно сумме количества потоков этих колец (рисунок 5.12).

При невозможности построения выпуклой кольцевой сети на дорожном уровне необходимо использовать плоские кольца. Подробное описание организации плоских колец приведено ниже для отделенческой цифровой сети связи.

На отделенческом уровне резервирование потоков строится с использованием плоских колец. При этом одним плоским кольцом охватываются все станции, расположенные между отделенческими узлами и входящие в их отделения дороги. Плоское кольцо предполагает использование *разных* оптических волокон *одного (или нескольких)* кабелей для передачи основного и резервного цифровых потоков. Одна пара волокон проходит через все мультиплексоры отделенческой сети станций участка, а вторая – транзитом через станции и соединяет только мультиплексоры в отделениях дороги, ограничивающих данный участок (см. рисунок 5.13).

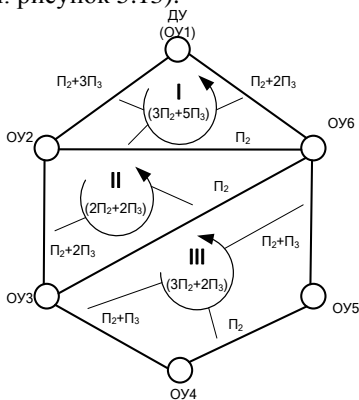


Рисунок 5.11 – Количество цифровых потоков между отделениями в кольцах на дорожном уровне с учетом их резервирования в кольцах

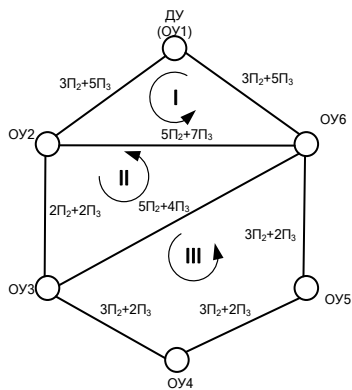


Рисунок 5.12 – Общее количество цифровых потоков между отделениями на дорожном уровне с учетом резервирования потоков колец

В качестве второй пары волокон плоского кольца отделенческой сети могут использоваться волокна, отведенные в кабеле для организации дорожной сети. В этом случае количество цифровых потоков дорожной сети на этих направлениях необходимо увеличить за счет добавления цифровых потоков отделенческой сети.

Общее количество цифровых потоков, передачу которых необходимо организовать в плоском кольце, равно сумме количества потоков между каждой из станций и соответствующим ей отделенческим узлом (рисунки 5.14 и 5.15). Поток Π_1 (●) от ОУ6 до Ст.11 является транзитным на участке ОУ6 – Ст.12 (см. рисунок 5.6).

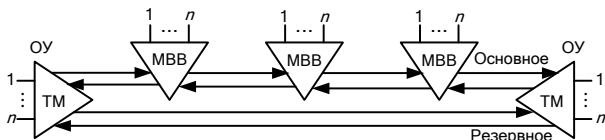


Рисунок 5.13 – Плоское кольцо отделенческой цифровой сети связи железной дороги

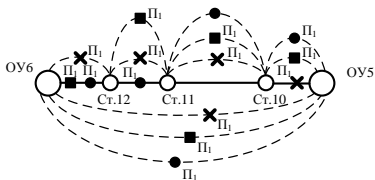


Рисунок 5.14 – Определение количества потоков при их резервировании в плоском кольце

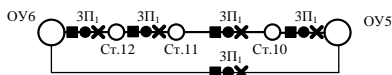


Рисунок 5.15 – Общее количество потоков в плоском кольце

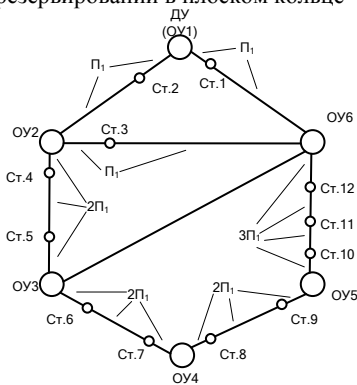


Рисунок 5.16 – Количество цифровых потоков на участках отделенческой сети связи с учетом резервирования плоских колец

Для выбранной в примере структуры цифровой сети связи железной дороги резервирование с использованием плоских колец на участках отделенческой сети представлено на рисунке 5.16.

Далее составляется сводная таблица с необходимым количеством цифровых потоков на всех участках железной дороги с учетом резервирования (таблица 5.2). Методика расчета количества цифровых потоков Е1 и STM-1 с учетом резервирования аналогична расчету без резервирования (см. таблицу 5.1).

Таблица 5.2 – Виды и количество цифровых потоков на каждом из участков железной дороги с учетом резервирования

Участок	Количество потоков участка	Виды и количество потоков E1 и E0	Общее количество цифровых потоков (варианты)				
			E1	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64
ОУ2 – ОУ6	5П ₂ + 7П ₃	5178 E1 + 3452 E0	5294	85	22	6	2
ДУ (ОУ1) – ОУ2	3П ₂ + 5П ₃	3558 E1 + 2372 E0	3638	58	15	4	1
ДУ (ОУ1) – ОУ6							
ОУ3 – ОУ6	5П ₂ + 4П ₃	3486 E1 + 2324 E0	3564	57	15	4	1
ОУ3 – ОУ4	3П ₂ + 2П ₃	1866 E1 + 1244 E0	1908	31	8	2	1
ОУ4 – ОУ5							
ОУ5 – ОУ6							
ОУ2 – ОУ3	2П ₂ + 2П ₃	1620 E1 + 1080 E0	1656	27	7	2	1
ОУ5 – Ст.10	3П ₁	108 E1 + 72 E0	111	2	1	–	–
ОУ6 – Ст.12							
Ст.10 – Ст.11							
Ст.11 – Ст.12							
ОУ2 – Ст.4	2П ₁	72 E1 + 48 E0	74	2	1	–	–
Ст.4 – Ст.5							
ОУ3 – Ст.5							
ОУ3 – Ст.6							
Ст.6 – Ст.7							
ОУ4 – Ст.7							
ОУ4 – Ст.8							
Ст.8 – Ст.9							
ОУ5 – Ст.9							
ДУ (ОУ1) – Ст.1	П ₁	36 E1 + 24 E0	37	1	–	–	–
ДУ (ОУ1) – Ст.2							
ОУ2 – Ст.2							
ОУ2 – Ст.3							
ОУ6 – Ст.1							
ОУ6 – Ст.3							

6 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЦИФРОВОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ

6.1 Расчет длины усилительного участка

Для компенсации затухания оптического сигнала по мере его прохождения по линии связи чаще всего используют оптические усилители, построенные на волокне, легированном эрбием EDFA (Erbium-Doped Fiber Amplifier). Данный вид усилителей имеет ряд преимуществ, которые обусловили их широкое распространение в последнее время. Во-первых, для работы данного класса усилителей не требуется подстройка под частоту передаваемого сигнала. Во-вторых, усиление ведется в широкой полосе частот. Эти преимущества позволяют легко наращивать емкость сети, не изменяя оборудования линий связи. В-третьих, для усиления сигнала не требуется его преобразования в электрическую форму. Также оптические усилители работают с сигналами любой формы и назначения. Но наряду со своими преимуществами оптические усилители имеют ряд особенностей, которые необходимо обязательно учитывать при проектировании волоконно-оптических линий связи.

Помимо затухания, вносимого оптическим волокном, его также вносят разъемные и неразъемные (сварные) соединения волокна. Поэтому необходимо учесть потери мощности сигнала при его вводе в волокно и обеспечить определенный технологический запас.

Суммарные потери A участка усиления линейного тракта можно определить по формуле

$$A = n_p \beta_p + n_n \beta_n + A_{\text{зап}} + \alpha_{\text{км}} L_y + \beta_{\text{вв}}, \quad (6.1)$$

где n_p – количество разъемных соединений в линейном тракте;
 β_p – затухание в разъемных соединениях, дБ;
 n_n – количество неразъемных соединений на участке усиления,

$$n_n = \frac{L_y}{L_{\text{стр}}} - 1; \quad (6.2)$$

L_y – длина участка усиления, км;
 $L_{\text{стр}}$ – строительная длина используемого ВОК, км;
 β_n – затухание в неразъемном (сварном) соединении, дБ;
 $A_{\text{зап}}$ – необходимый энергетический запас мощности сигнала, связанный с потерями из-за старения элементов оптического тракта: источника излучения, волоконно-оптического кабеля, оптоэлектронного преобразователя, изменение параметров электрических схем, дБ;

$\alpha_{\text{км}}$ – километрическое затухание оптического кабеля, дБ/км;
 $\beta_{\text{вв}}$ – потери при вводе оптической энергии в волокно, когда источник оптического излучения непосредственно подсоединяется к станционному кабелю, дБ.

В связи с тем, что

$$A = P_{\text{пер}} - P_{\text{пр}}, \quad (6.3)$$

где $P_{\text{пер}}$ – уровень сигнала на передающей стороне, $P_{\text{пер}} = 7$ дБ;
 $P_{\text{пр}}$ – требуемый уровень сигнала на приемной стороне, $P_{\text{пр}} = -13$ дБ,
то окончательная формула для расчета длины участка усиления примет следующий вид:

$$L_y = \frac{P_{\text{пер}} - P_{\text{пр}} - n_p \beta_p - A_{\text{зап}} - \beta_{\text{вв}} + \beta_n}{\alpha_{\text{км}} + \beta_n / L_{\text{стр}}}. \quad (6.4)$$

Для примера выполним расчет длины участка усиления на направлении ДУ (ОУ1) – ОУ2. Для этого примем следующие числовые значения: $n_p = 2$; $\beta_p = 0,4$ дБ; $\beta_n = 0,05$ дБ; $\beta_{\text{вв}} = 2$ дБ; $A_{\text{зап}} = 3$ дБ; $\alpha_{\text{км}} = 0,22$ дБ/км; $L_{\text{стр}} = 6$ км.

Тогда

$$L_y = \frac{7 - (-13) - 2 \cdot 0,4 - 3 - 2 + 0,05}{0,22 + 0,05 / 6} \approx 62,41 \text{ км.}$$

Рассчитанная таким образом длина усилительного участка справедлива для обоих направлений передачи информации, если используется одинаковое оборудование с одинаковыми уровнями сигнала.

6.2 Расчет длины регенерационного участка

Расчет мощности шума, вносимого усилителем. Используемые оптические усилители имеют ряд отличительных особенностей. Одна из них состоит в том, что при *отсутствии* входного сигнала усилитель является источником *спонтанного* излучения фотонов, которое является шумом с мощностью $P_{\text{ш ASE}}$. Спонтанно образованные фотоны, распространяясь по волокну в активной зоне волоконно-оптического усилителя, тиражируются, в результате чего создаются вторичные фотоны на той же длине волны, с той же фазой, поляризацией и направлением распространения. Результирующий спектр спонтанных фотонов называется *усиленным спонтанным излучением* (ASE – amplified spontaneous emission). Его мощность нормируется в расчете на 1 Гц и имеет размерность Вт/Гц. Если на вход усилителя подается полезный сигнал от лазера, то определенная доля энергетических переходов, ранее работавшая на усиленное спонтанное излучение, начинает уси-

ливать выходной сигнал мощностью $P_{с\text{ вых}}$ под действием сигнала от лазера. Таким образом, происходит не только усиление полезного входного сигнала, но и ослабление ASE. Но, несмотря на это, необходимо все же учитывать шумы мощностью $P_{ш\text{ вых}}$, вносимые оптическими усилителями. Накопленный шум влияет на качество передаваемого сигнала, и в случае уменьшения величины отношения сигнала к шуму (ОСШ) ниже требуемого уровня необходима регенерация сигнала:

$$\text{ОСШ} = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_{с\text{ вых}}}{P_{ш\text{ вых}}} \right). \quad (6.5)$$

Потому следует рассчитать максимально возможное количество усилителей оптического сигнала, расположенное между регенераторами.

Мощность усиленного одним оптическим усилителем спонтанного излучения можно найти по формуле

$$P_{ASE} = h\nu \frac{n_{sp}}{\eta} (G - 1), \quad (6.6)$$

где h – постоянная Планка, $h = 6,6252 \cdot 10^{-34}$ Вт·с²;

ν – частота в соответствии с используемой длиной волны, Гц;

n_{sp} – коэффициент спонтанной эмиссии; $n_{sp} = 2$, поскольку распространяются две моды поляризации;

η – квантовая эффективность, $\eta = 1$;

G – коэффициент усиления усилителя. Примем $G = 100$, что соответствует коэффициенту усиления по мощности в 20 дБ:

$$p = 10 \cdot \lg \frac{P_{пер}}{P_{пр}} = 10 \cdot \lg 100 = 20 \text{ дБ}.$$

Мощность шума усилителя для полосы частот, в которой осуществляется передача сигнала (Δf),

$$P_{ш ASE} = P_{ASE} \cdot \Delta f. \quad (6.7)$$

Примем: $\Delta f = 100$ ГГц (STM-64), $\Delta f = 50$ ГГц (STM-16).

Располагая вычисленными характеристиками шума, вносимого оптическим усилителем, можно найти их максимально возможное количество, при которых сохраняется требуемое ОСШ.

Расчет ОСШ. При передаче сигнала по волоконно-оптической линии связи с усилителями EDFA происходит накопление шумов. Данное явление обусловлено двумя факторами: усилением усилителями входного шума и добавлением к нему шума усиленного спонтанного излучения. Входным

шумом для первого оптического усилителя является мощность шума нулевых флуктуаций, которым можно пренебречь.

Для нахождения ОСШ (по мощности) на выходе k -го усилителя используется формула

$$\text{ОСШ}_k = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_{\text{с вых}}}{P_{\text{ш вых } k}} \right). \quad (6.8)$$

Начальная мощность шума на входе первого усилителя пренебрежительно мала. Потому можно считать $P_{\text{ш вых } 0} = 0$. С учетом этого мощность шума на выходе k -го усилителя

$$P_{\text{ш вых } k} = kP_{\text{ш ASE}}. \quad (6.9)$$

Абсолютный уровень шума на выходе k -го усилителя

$$p_{\text{ш вых } k} = 10 \cdot \lg \left(\frac{kP_{\text{ш ASE}}}{P_0} \right), \quad (6.10)$$

где P_0 – нормированное абсолютное значение мощности сигнала нулевого уровня, $P_0 = 10^{-3}$ Вт.

Подставив выражение (6.9) в (6.8), получаем

$$\text{ОСШ}_k = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_{\text{с вых}}}{kP_{\text{ш ASE}}} \right). \quad (6.11)$$

Для нахождения ОСШ как разницу уровней сигнала и шума формулу (6.11) можно записать в виде

$$\text{ОСШ}_k = p_{\text{пер}} - p_{\text{ш вых } k}. \quad (6.12)$$

По формуле (6.12) можно рассчитать отношение сигнал/шум на выходе оптической линии, содержащей несколько оптических усилителей, и представить их в виде графика на рисунке 6.1, где k – порядковый номер усилителя.

Для примера в качестве исходных данных выберем длину волны передачи оптического сигнала $\lambda = 1550$ нм. Тогда частота в соответствии с используемой длиной волны

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{1550 \cdot 10^{-9}} = 193,548 \cdot 10^{12} \text{ Гц},$$

где c – скорость света в вакууме ($3 \cdot 10^8$ м/с).

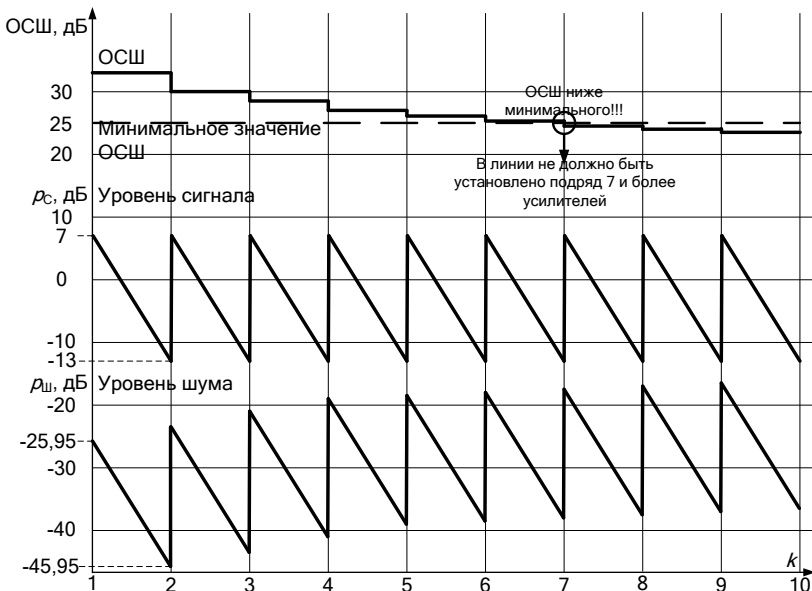


Рисунок 6.1 – ОСШ, P_c , $P_{ш}$ линии связи с несколькими оптическими усилителями

Тогда

$$P_{ASE} = 6,6252 \cdot 10^{-34} \cdot 193,548 \cdot 10^{12} \frac{2}{1} (100-1) \approx 2,54 \cdot 10^{-17} \text{ Вт/Гц.}$$

При $\Delta f = 100 \text{ ГГц}$ ($1 \text{ ГГц} = 10^9 \text{ Гц}$)

$$P_{ш ASE} = 2,54 \cdot 10^{-17} \cdot 10^{11} = 2,54 \cdot 10^{-6} \text{ Вт.}$$

Найдем уровень шума (6.10) и ОСШ (6.12) на выходе первого усилителя:

$$P_{ш \text{ вых } 1} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1 \cdot 2,54 \cdot 10^{-6}}{10^{-3}} \right) = -25,95 \text{ дБ; ОСШ} = 7 - (-25,95) = 32,95 \text{ дБ.}$$

Для второго ($k = 2$) и последующих усилителей уровни шума на выходах будут равны:

$$P_{ш \text{ вых } 2} = 10 \cdot \lg \left(\frac{2 \cdot 2,54 \cdot 10^{-6}}{10^{-3}} \right) = -22,94 \text{ дБ; ОСШ} = 7 - (-22,94) = 29,94 \text{ дБ;}$$

$$P_{\text{ш вых } 3} = 10 \cdot \lg\left(\frac{3 \cdot 2,54 \cdot 10^{-6}}{10^{-3}}\right) = -21,18 \text{ дБ}; \text{ ОСШ} = 7 - (-21,18) = 28,18 \text{ дБ};$$

$$P_{\text{ш вых } 4} = 10 \cdot \lg\left(\frac{4 \cdot 2,54 \cdot 10^{-6}}{10^{-3}}\right) = -19,93 \text{ дБ}; \text{ ОСШ} = 7 - (-19,93) = 26,93 \text{ дБ};$$

$$P_{\text{ш вых } 5} = 10 \cdot \lg\left(\frac{5 \cdot 2,54 \cdot 10^{-6}}{10^{-3}}\right) = -18,96 \text{ дБ}; \text{ ОСШ} = 7 - (-18,96) = 25,96 \text{ дБ};$$

$$P_{\text{ш вых } 6} = 10 \cdot \lg\left(\frac{6 \cdot 2,54 \cdot 10^{-6}}{10^{-3}}\right) = -18,17 \text{ дБ}; \text{ ОСШ} = 7 - (-18,17) = 25,17 \text{ дБ};$$

$$P_{\text{ш вых } 7} = 10 \cdot \lg\left(\frac{7 \cdot 2,54 \cdot 10^{-6}}{10^{-3}}\right) = -17,50 \text{ дБ}; \text{ ОСШ} = 7 - (-17,50) = 24,50 \text{ дБ}.$$

Помимо этого, на рисунке 6.1 показаны уровни сигнала и шума после прохождения нескольких оптических усилителей, а также нормированное (минимальное) ОСШ, равное 25 дБ. Эти результаты справедливы для двух направлений передачи информации. Видно, что с увеличением количества оптических усилителей возрастает уровень накопленного шума в линии. Это ведет к уменьшению отношения сигнал/шум. Для приведенного примера требуемое ОСШ сохраняется на выходе линии с использованием 6 оптических усилителей. Далее необходима регенерация сигнала, поскольку уровень накопленного шума превышает пороговое значение, при котором ОСШ меньше 25 дБ. Дальнейшее увеличение уровня шума приведет к снижению качества передаваемой информации.

Для примера, представленного на рисунке 6.1, длина регенерационного участка определяется по следующей формуле:

$$L_{\text{рг}} = 7L_{\text{у}}. \quad (6.13)$$

Для длины усилительного участка, рассчитанного в подразделе 6.1 ($L_{\text{у}} = 62,41 \text{ км}$),

$$L_{\text{рг}} = 7 \times 62,41 = 436,87 \text{ км}.$$

На выходе 7-го усилителя ОСШ ниже нормированного уровня, поэтому вместо 7-го усилителя необходимо устанавливать регенератор. И максимальное расстояние от аппаратуры передачи до регенератора или от одного регенератора до другого составит 7 усилительных участков. Если по расчетам на линии связи необходимо установить один или несколько регенераторов, то целесообразно размещать их равномерно вдоль линии. Например, если длина регенерационного участка равна 7 усилительным, а линия связи

включает 9 усилителей, то регенератор необходимо установить вместо 5-го усилителя, а не вместо 7-го.

6.3 Расстановка усилительных пунктов

Для расстановки усилителей необходимо найти общее количество усилительных участков между всеми станциями железной дороги:

$$N^y = \frac{L}{L_y}. \quad (6.14)$$

где L – расстояние между двумя станциями дороги.

Расчет количества регенерационных участков производится аналогичным образом.

Для двух направлений передачи сигнала целесообразно устанавливать усилители в одном и том же месте и на одинаковом расстоянии, обеспечивая тем самым одинаковые параметры передаваемых сигналов.

Результаты расчетов количества усилительных и регенерационных участков целесообразно свести в общую таблицу, характеризующую проектируемую цифровую сеть связи железной дороги в целом. В таблице 6.1 представлены характеристики всех участков цифровой сети связи дороги при заданных условиях приведенного выше примера:

- длина усилительного участка – $L_y = 62,41$ км;
- длина регенерационного участка – $L_{pr} = 436,87$ км.

Для участков первого кольца (ДУ (ОУ1) – ОУ2 – ОУ6 – ДУ (ОУ1)) расчет количества усилительных и регенерационных *участков* производится следующим образом:

$$N_{ДУ(ОУ1)-ОУ2}^y = \frac{345}{62,41} \approx 5,53 \leq 7; \quad N_{ДУ(ОУ1)-ОУ2}^{pr} = \frac{345}{436,87} \approx 0,79;$$

$$N_{ОУ2-ОУ6}^y = \frac{558}{62,41} \approx 8,94 > 7; \quad N_{ОУ2-ОУ6}^{pr} = \frac{558}{436,87} \approx 1,28;$$

$$N_{ДУ(ОУ1)-ОУ6}^y = \frac{391}{62,41} \approx 6,26 \leq 7; \quad N_{ДУ(ОУ1)-ОУ6}^{pr} = \frac{391}{436,87} \approx 0,90;$$

$$N_{ДУ(ОУ1)-Ст.2}^y = \frac{98}{62,41} \approx 1,57 \leq 7; \quad N_{ДУ(ОУ1)-Ст.2}^{pr} = \frac{98}{436,87} \approx 0,22;$$

$$N_{ОУ2-Ст.2}^y = \frac{247}{62,41} \approx 3,96 \leq 7; \quad N_{ОУ2-Ст.2}^{pr} = \frac{247}{436,87} \approx 0,57;$$

$$N_{\text{ОУ2-Ст.3}}^y = \frac{44}{62,41} \approx 0,71 \leq 7;$$

$$N_{\text{ОУ2-Ст.3}}^{\text{пр}} = \frac{44}{436,87} \approx 0,10;$$

$$N_{\text{ОУ6-Ст.3}}^y = \frac{514}{62,41} \approx 8,24 > 7;$$

$$N_{\text{ОУ6-Ст.3}}^{\text{пр}} = \frac{514}{436,87} \approx 1,18;$$

$$N_{\text{ОУ6-Ст.1}}^y = \frac{331}{62,41} \approx 5,30 \leq 7;$$

$$N_{\text{ОУ6-Ст.1}}^{\text{пр}} = \frac{331}{436,87} \approx 0,76;$$

$$N_{\text{ДУ(ОУ1)-Ст.1}}^y = \frac{60}{62,41} \approx 0,96 \leq 7;$$

$$N_{\text{ДУ(ОУ1)-Ст.1}}^{\text{пр}} = \frac{60}{436,87} \approx 0,14.$$

Таблица 6.1 – Характеристика участков цифровой сети связи железной дороги

Участок цифровой сети связи железной дороги	Характеристики участка		
	расстояние, км	количество усилителей	количество регенераторов
ДУ (ОУ1) – ОУ2	345	5	0
ОУ2 – ОУ6	558	7	1
ДУ (ОУ1) – ОУ6	391	6	0
ОУ2 – ОУ3	330	5	0
ОУ3 – ОУ6	721	10	1
ОУ3 – ОУ4	226	3	0
ОУ4 – ОУ5	252	4	0
ОУ5 – ОУ6	206	3	0
ДУ (ОУ1) – Ст.2	98	1	0
ОУ2 – Ст.2	247	3	0
ОУ2 – Ст.3	44	0	0
ОУ6 – Ст.3	514	7	1
ОУ6 – Ст.1	331	5	0
ДУ (ОУ1) – Ст.1	60	0	0
ОУ2 – Ст.4	31	0	0
Ст.4 – Ст.5	235	3	0
ОУ3 – Ст.5	64	1	0
ОУ3 – Ст.6	72	1	0
Ст.6 – Ст.7	138	2	0
ОУ4 – Ст.7	16	0	0
ОУ4 – Ст.8	27	0	0
Ст.8 – Ст.9	173	2	0
ОУ5 – Ст.9	52	0	0
ОУ5 – Ст.10	21	0	0
Ст.10 – Ст.11	55	0	0
Ст.11 – Ст.12	57	0	0
ОУ6 – Ст.12	73	1	0

Для того, чтобы установить количество усилителей по рассчитанному значению количества усилительных участков (N^y), необходимо округлить последнее до ближайшего *бóльшего* целого числа и отнять единицу.

Аналогичным образом производится определение количества регенераторов. После этого необходимо уменьшить количество усилителей на всех участках цифровой сети связи железной дороги на количество регенераторов на соответствующих участках. Тем самым устраняются те усилители, вместо которых необходимо устанавливать регенераторы.

Например, на участке ОУ2 – ОУ6 количество усилительных и регенерационных *участков* в соответствии с расчетами, приведенными выше, $N_{\text{ОУ2-ОУ6}}^y = 8,94$ и $N_{\text{ОУ2-ОУ6}}^{\text{пр}} = 1,28$. Округлив количество регенерационных *участков* (1,28) до ближайшего *бóльшего* целого числа (2) и отняв единицу, получим 1 регенератор. Затем, округлив количество усилительных участков (8,94) до ближайшего *бóльшего* целого числа (9), отняв единицу и вычтя 1 регенератор, получим 7 усилителей. Эти данные указаны в таблице 6.1.

7 ПОСТРОЕНИЕ УЗЛОВ СЕТИ СВЯЗИ СИНХРОННОЙ ЦИФРОВОЙ ИЕРАРХИИ

При построении узлов сети связи синхронной цифровой иерархии необходимо учитывать рассчитанное количество цифровых потоков на участках железной дороги с учетом резервирования (см. таблицу 5.2). В соответствии с количеством потоков следует определить требуемое количество мультиплексоров синхронной цифровой иерархии как для дорожной, так и для отделенческой цифровых сетей.

Введем упрощенное обозначение мультиплексоров на схемах узлов цифровой сети в виде прямоугольников с указанием уровня синхронной цифровой иерархии (STM-1, STM-4, STM-16 или STM-64) без обозначения их типа и интерфейсов. Один прямоугольник будет соответствовать одному мультиплексору. Между собой мультиплексоры связаны оптическими волокнами, которые обозначаются на схемах линиями с кругами, содержащими две стрелки и номера волокон ВОК, используемых в кольце.

Для примера построим структурную схему отделенческого узла (ОУ6) цифровой сети связи железной дороги как наиболее сложного узла в разрабатываемой сети.

Узел ОУ6 присутствует в трех кольцах. Для первого кольца [ДУ (ОУ1) – ОУ2 – ОУ6 – ДУ (ОУ1)] необходимо организовать суммарный цифровой поток в 58 STM-1 (см. таблицу 5.2). Этот поток можно организовать, используя один синхронный мультиплексор уровня STM-64. Для второго (ОУ2 – ОУ3 – ОУ6 – ОУ2) и третьего (ОУ3 – ОУ4 – ОУ5 – ОУ6 – ОУ3) колец необходимо организовать суммарные цифровые потоки в 27 и 31 STM-1

соответственно. Эти суммарные потоки можно также организовать, используя по одному синхронному мультиплексу уровня STM-64 на каждое кольцо.

На отделенческом уровне от узла ОУ6 необходимо организовать три плоских кольца в направлении станций с номерами 1, 3 и 12. Суммарные цифровые потоки в этих направлениях составляют 1, 1 и 2 STM-1 соответственно. Для их организации подойдут синхронные мультиплексы уровня STM-1 и STM-4.

Составленная структурная схема отделенческого узла ОУ6 проектируемой цифровой сети связи железной дороги представлена на рисунке 7.1. Аналогичным образом составляются структурные схемы остальных отделенческих узлов цифровой сети (рисунки 7.2–7.6).

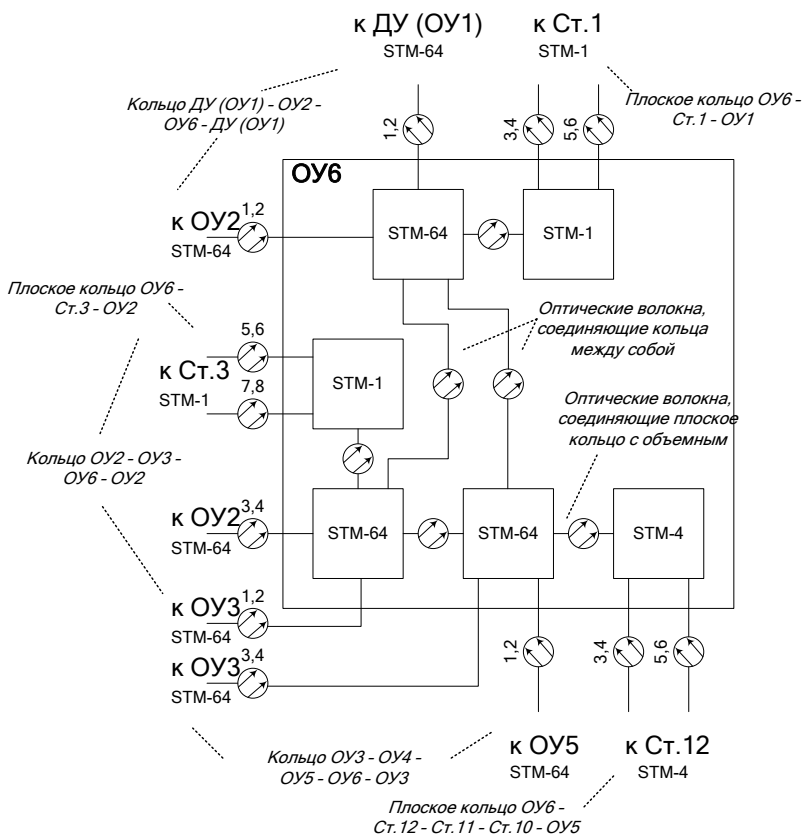


Рисунок 7.1 – Структурная схема отделенческого узла ОУ6 цифровой сети связи железной дороги

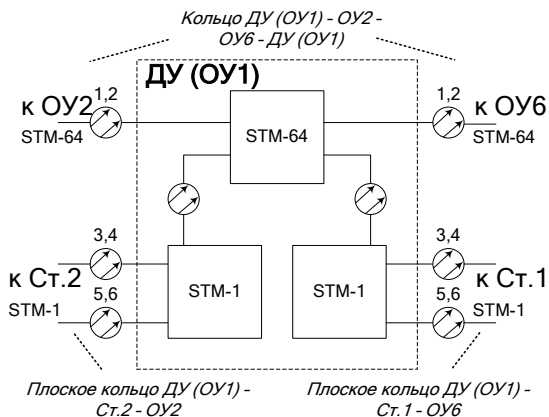


Рисунок 7.2 – Структурная схема дорожного узла ДУ (ОУ1) цифровой сети связи железной дороги

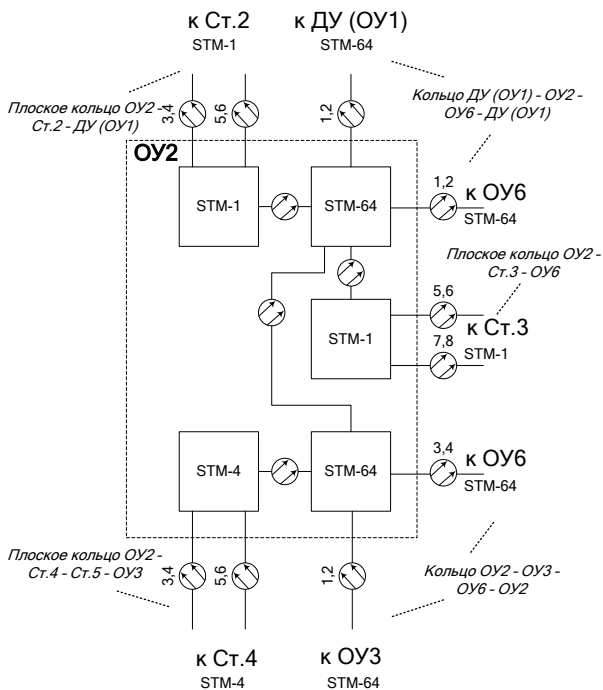


Рисунок 7.3 – Структурная схема отделенческого узла ОУ2 цифровой сети связи железной дороги

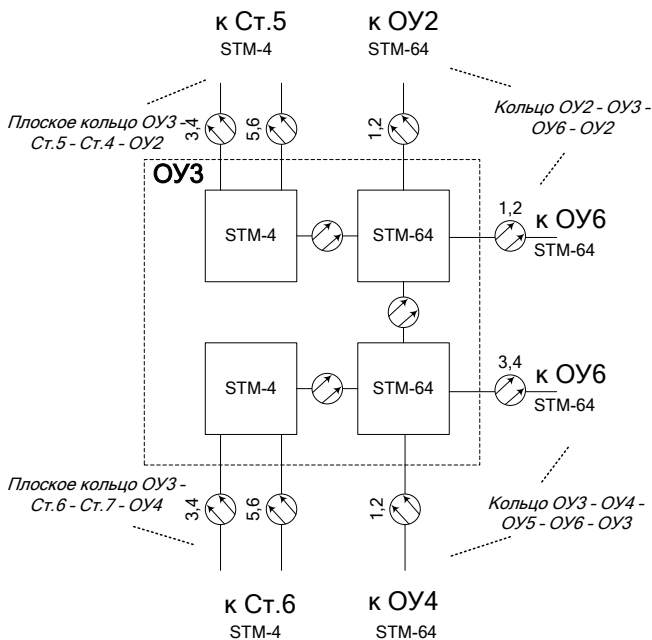


Рисунок 7.4 – Структурная схема отделенческого узла ОУ3 цифровой сети связи железной дороги

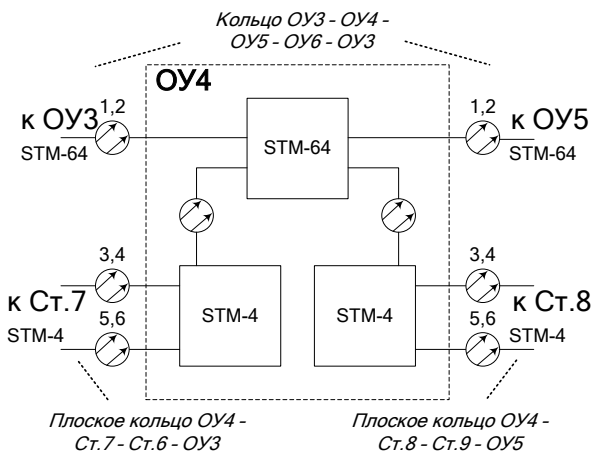


Рисунок 7.5 – Структурная схема отделенческого узла ОУ4 цифровой сети связи железной дороги

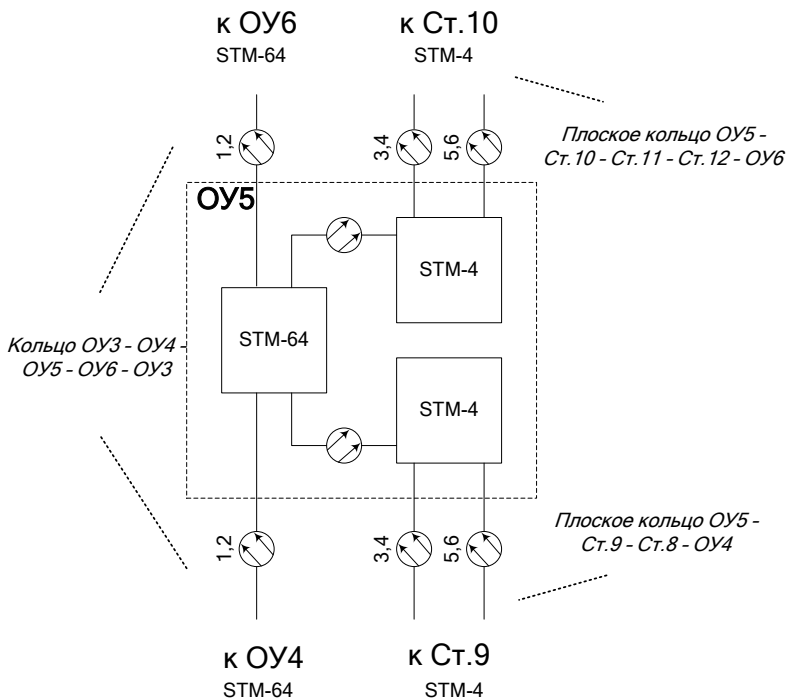


Рисунок 7.6 – Структурная схема отделенческого узла OУ5 цифровой сети связи железной дороги

На схемах отделенческих узлов каждая линия, исходящая из мультиплексора в направлении мультиплексора на другом железнодорожном узле, включает в себя два оптических волокна, которые имеют уникальные номера в ВОК, начиная с единицы. Между двумя железнодорожными узлами прокладывается один кабель, номера волокон в котором не должны повторяться.

8 ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ПЕРВИЧНОЙ СЕТИ СВЯЗИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Структурная схема организации цифровой сети связи железной дороги должна содержать структурные схемы всех отделенческих узлов и станций, соединительные линии связи между ними с указанием пар волокон, мест расположения усилительных и регенерационных пунктов.

Полная структурная схема должна быть представлена на одном листе, однако, для удобства, в данном пособии она будет разделена на шесть ча-

стей, каждая из которых будет представлять половину структурной схемы одного кольца (рисунки 8.1–8.6).

Для определения мест установки усилительных и регенерационных пунктов необходимо руководствоваться следующими условиями:

1) длина волоконно-оптического кабеля без установленного на него промежуточного оборудования (усилитель или регенератор) не должна превышать длины усилительного участка, рассчитанного в подразделе 6.1 (для выбранного примера $L_y = 62,41$ км);

2) длина волоконно-оптического кабеля от мультиплексора до мультиплексора, от мультиплексора до регенератора или от регенератора до регенератора не должна превышать длины регенерационного участка, рассчитанного в подразделе 6.2 (для выбранного примера $L_{pr} = 436,87$ км);

3) усилители и регенераторы вдоль волоконно-оптических волокон необходимо размещать максимально равномерно, чтобы усилительные и регенерационные участки имели одинаковую длину на участке цифровой сети связи;

4) усилители и регенераторы отдельных оптических волокон кабеля целесообразно объединять в группы и, при возможности, располагать на территории железнодорожных станций;

5) номера оптических волокон в кабелях, с помощью которых организованы кольца на дорожном уровне цифровой сети, и плоские кольца на отделенческом должны совпадать.

На рисунках 8.1 и 8.2 представлена структурная схема первого кольца цифровой сети связи железной дороги. Это кольцо объединяет структурные схемы дорожного узла ДУ (ОУ1) и отделенческих узлов ОУ2 и ОУ6. Кроме того, на структурной схеме обозначены станции с номерами 1, 2 и 3.

Участок между ДУ (ОУ1) и ОУ2 имеет протяженность 345 км. Станция Ст.2 расположена в 247 км от ОУ2 и в 98 км от ДУ (ОУ1). Согласно расчетам из подраздела 6.3 для оптических волокон дорожного уровня цифровой сети, а также для резервных оптических волокон плоского кольца на данном участке необходимо установить 5 усилителей на каждое волокно. Установка регенераторов, согласно этим же расчетам, не требуется. На этом участке на схеме цифровой сети связи необходимо указать 6 волокон с номерами от 1 до 6. Волокна 1 и 2 предназначены для организации дорожного уровня сети и входят в кольцо 1 [ДУ (ОУ1) – ОУ2 – ОУ6 – ДУ (ОУ1)]. Волокна 3 и 4 используются для передачи основного потока в плоском кольце отделенческого уровня цифровой сети связи на данном участке, а волокна 5 и 6 – резервного.

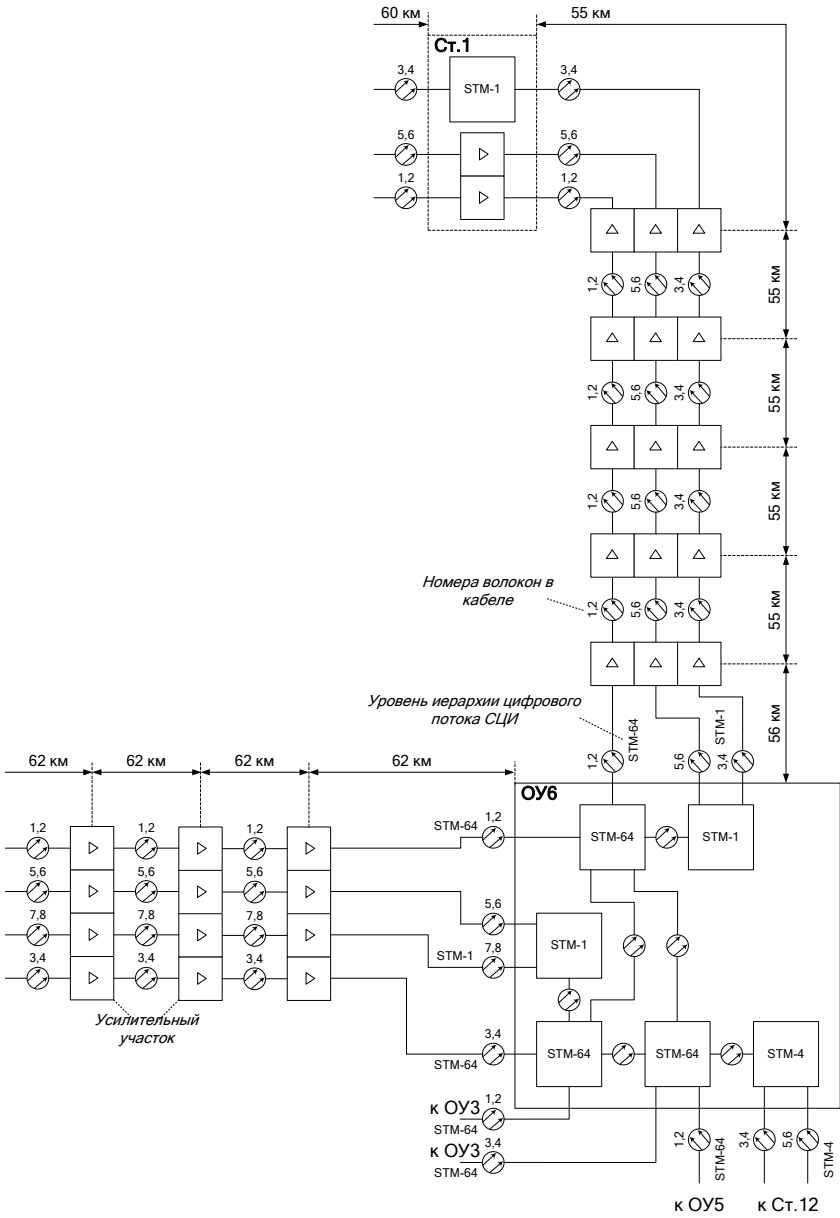


Рисунок 8.2 – Правая часть структурной схемы первого кольца цифровой сети связи железной дороги

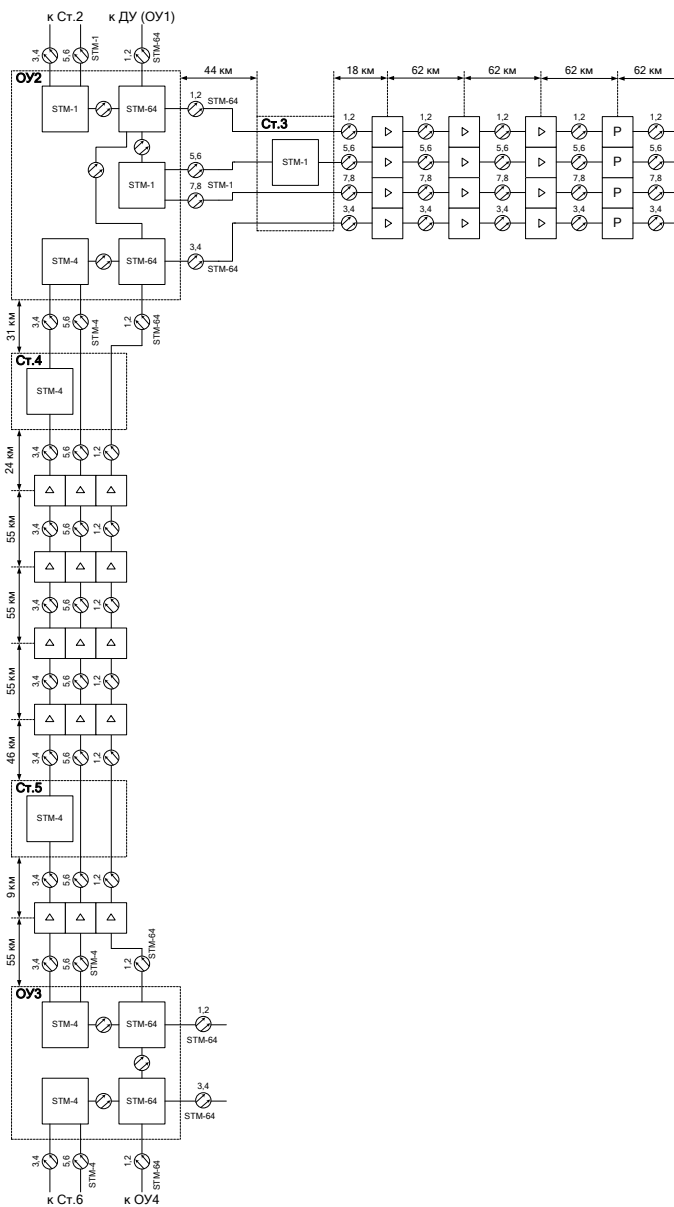


Рисунок 8.3 – Левая часть структурной схемы второго кольца цифровой сети связи железной дороги

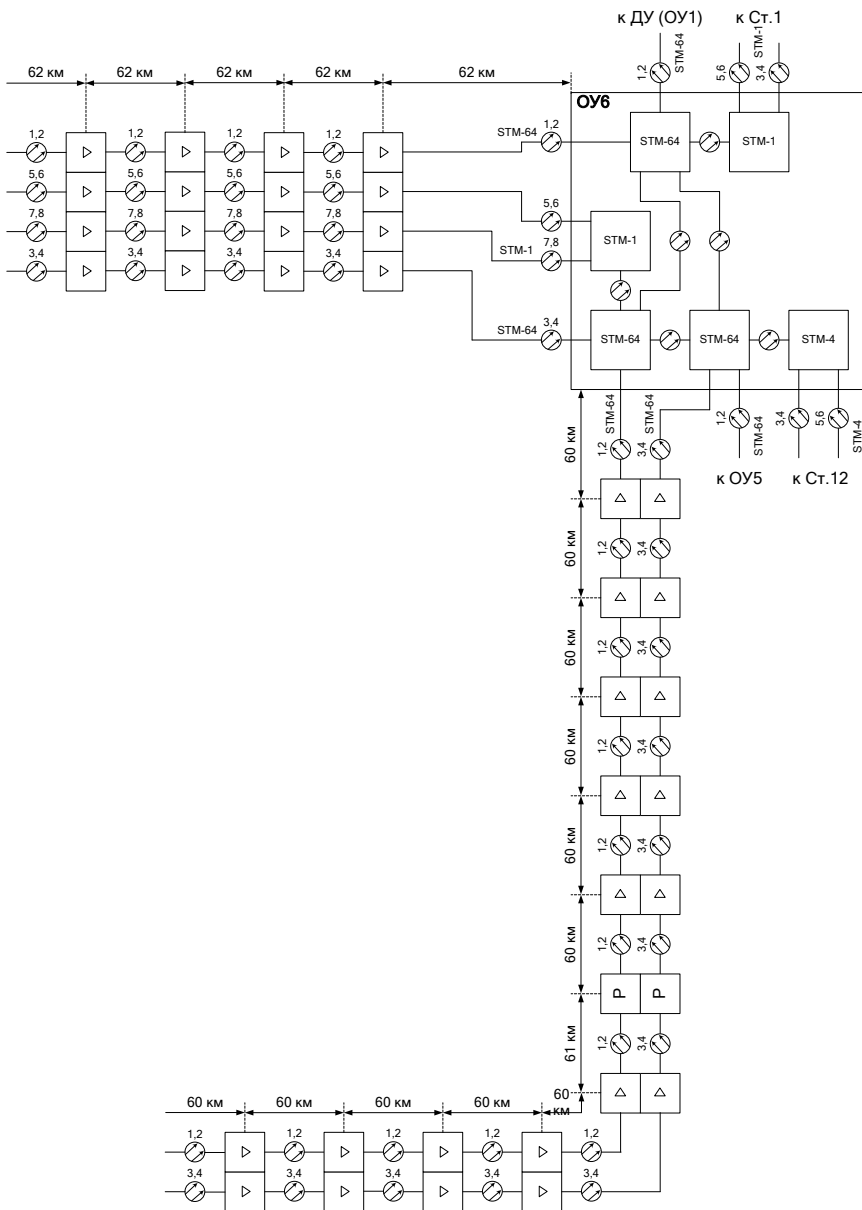


Рисунок 8.4 – Правая часть структурной схемы второго кольца цифровой сети связи железной дороги

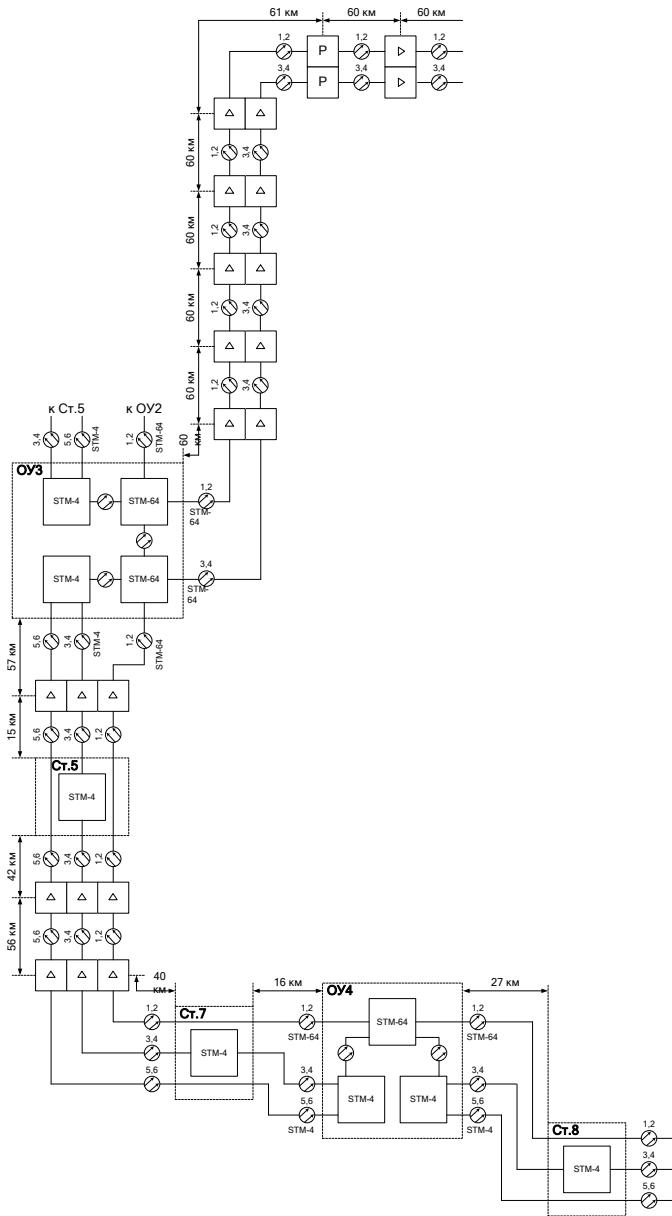


Рисунок 8.5 – Левая часть структурной схемы третьего кольца цифровой сети связи железной дороги

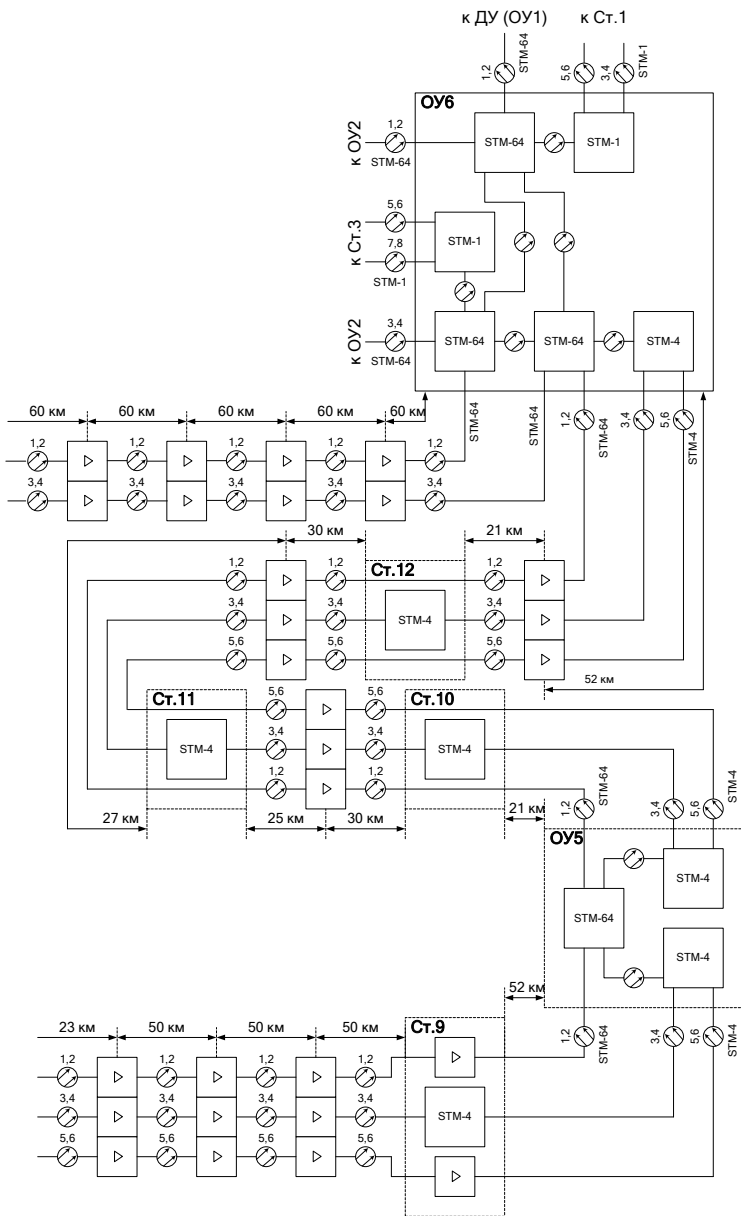


Рисунок 8.6 – Правая часть структурной схемы третьего кольца цифровой сети связи железной дороги

Если равномерно устанавливать группы усилителей на участке от ДУ (ОУ1) до ОУ2, то их необходимо расположить на расстоянии $345 / 6 = 57,5$ км друг от друга и от соответствующих участку мультиплексов. Для того чтобы расставить группы усилителей равномерно, целесообразно поступить следующим образом:

1) на участке ДУ (ОУ1) – Ст.2 установить одну группу усилителей на расстоянии 57,5 км от ДУ (ОУ1) и 40,5 км от Ст.2;

2) на участке ОУ2 – Ст.2 установить 4 группы усилителей через каждые 57,5 км, начиная от ОУ2. Таким образом, расстояние от последней группы усилителей на этом участке до Ст.2 составит 17 км (см. рисунок 8.1).

Участок ДУ (ОУ1) – ОУ6 имеет протяженность 391 км. Станция Ст.1 расположена в 60 км от ДУ (ОУ1) и в 331 км от ОУ6. Согласно расчетам из подраздела 6.3 для оптических волокон дорожного уровня цифровой сети, а также для резервных оптических волокон плоского кольца на данном участке необходимо установить 6 усилителей на каждое волокно. Установка регенераторов, согласно этим же расчетам, не требуется. На этом участке на схеме цифровой сети связи необходимо указать 6 волокон с номерами от 1 до 6. Волокна 1 и 2 предназначены для организации дорожного уровня сети и входят в кольцо 1. Волокна 3 и 4 используются для передачи основного потока в плоском кольце отделенческого уровня цифровой сети связи на данном участке, а волокна 5 и 6 – резервного.

Если равномерно устанавливать группы усилителей на участке от ДУ (ОУ1) до ОУ6, то их необходимо расположить на расстоянии $391 / 7 = 55,857$ км друг от друга и от соответствующих участку мультиплексов. Для того чтобы расставить группы усилителей равномерно, целесообразно поступить следующим образом:

1) на участке ДУ (ОУ1) – Ст.1 нет необходимости устанавливать группы усилителей;

2) на Ст.1 необходимо установить группу усилителей для волокон с номерами 1, 2, 5 и 6;

3) на участке ОУ6 – Ст.1 установить 5 групп усилителей через каждые 55 км, начиная от Ст.1. Длина последнего усилительного участка, примыкающего к ОУ6, составит 56 км (см. рисунок 8.2).

Участок ОУ2 – ОУ6 имеет протяженность 558 км. Станция Ст.3 расположена в 44 км от ОУ2 и в 514 км от ОУ6. Согласно расчетам из подраздела 6.3 для оптических волокон дорожного уровня цифровой сети связи, а также для резервных оптических волокон плоского кольца на данном участке необходимо установить регенератор. Установка регенераторов также необходима для основных оптических волокон плоского кольца в связи с тем, что длина участка ОУ6 – Ст.3 (514 км) больше максимальной длины регенерационного участка (436,87 км, согласно расчетам в подразделе 6.2). На этом участке на схеме цифровой сети связи необходимо указать 8 волокон с номерами от 1

до 8. Волокна 1–4 предназначены для организации дорожного уровня сети и входят в кольца 1 и 2. Волокна 5 и 6 используются для передачи основного потока в плоском кольце отделенческого уровня цифровой сети связи на данном участке, а волокна 7 и 8 – резервного.

Регенераторы всех волокон на участке ОУ2 – ОУ6 целесообразно разместить в одном месте в качестве регенерационной группы. По расчетам из подраздела 6.3 необходимо на данном участке установить 8 усилителей, вместо одного из которых должен быть регенератор. Лучшие качества сигналов на двух регенерационных участках будут в том случае, когда регенератор будет располагаться в середине участка. В данном случае регенератор должен быть установлен вместо 4-го или 5-го усилителей.

Если равномерно устанавливать группы усилителей на участке ОУ2 – ОУ6, то их необходимо расположить на расстоянии $558 / 9 = 62$ км друг от друга и от соответствующих участку мультиплексоров. Для того чтобы расставить группы усилителей равномерно, целесообразно поступить следующим образом:

1) на участке ОУ1 – Ст.3 нет необходимости устанавливать группы усилителей;

2) на участке ОУ6 – Ст.3 установить 7 групп усилителей через каждые 62 км, начиная от ОУ6. Длина последнего усилительного участка, примыкающего к Ст.3, составит 18 км;

3) группа регенераторов устанавливается вместо 5-й группы усилителей, считая от ОУ6 на расстоянии 310 км от ОУ6, 248 км от ОУ2 и 204 км от Ст.3 (см. рисунки 8.1 и 8.2).

Похожим образом строятся структурные схемы второго и третьего колец цифровой сети связи железной дороги (см. рисунки 8.3–8.6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Волоконно-оптическая линия связи – сложный и многофункциональный комплекс ВОК, оборудования оконечных и промежуточных пунктов ВОЛП, опор, арматуры и монтажных устройств, домов связи, систем энергоснабжения и служебной связи, автоматики и телемеханики и др. Сеть связи входит в систему управления перевозочным процессом, где полностью должны быть исключены случаи потери управления и, следовательно, потери прибыли. Поэтому основной проблемой является проектирование, эксплуатация и техническое обслуживание сети связи, обеспечение ее бесперебойного функционирования при заданных показателях качества передачи сообщений, надежности и устойчивости.

Перспективность ВОЛП обусловлена:

– большой пропускной способностью ОВ;

- большой непосредственной дальностью связи по сравнению с дальностью по электрическим кабелям;
- защищенностью от внешних электромагнитных полей, вследствие чего не требуется применять специальные меры по защите от мешающих и опасных влияний линий электропередачи и электрифицированных железных дорог;
- возможность прокладки кабеля между точками с большой разностью потенциалов;
- высокой помехозащищенностью линейных трактов магистральной;
- малой металлоемкостью и отсутствием цветных металлов (медь, свинец, алюминий) в кабеле;
- малым значением коэффициента затухания в широкой полосе частот, что обеспечивает большие длины регенерационных (усилительных) участков по сравнению с электрическими кабелями;
- небольшой массой и размерами кабеля.

Проблемой ближайшего будущего является увеличение пропускной способности ВОЛП на основе технологии спектрального уплотнения WDM/DWDM. В ближайшее время пропускная способность ВОЛП на основе технологии WD/DWDM возрастет на один-два порядка и достигнет 10 Тбит/с.

Перспективным направлением развития является также создание мультисервисной сети связи с использованием преимущественно пакетных методов передачи и широкополосных каналов. Теоретической предпосылкой этого служит концепция сетей нового поколения Next Generation Networks (NGN). Она позволяет сформировать общие системные решения, обеспечивающие совместимость и взаимодействие существующих и будущих сетей связи.

Отметим также, что важной задачей для железнодорожного транспорта является проблема волоконно-оптических линий на так называемой «последней миле» для обеспечения на участках железных дорог подключения к ВОЛП оконечных устройств связи и СЖАТ.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 В чем заключается преимущество использования ВОСП?
- 2 В чем заключается преимущество использования ЦСП?
- 3 Какие виды транспорта входят в состав транспортного комплекса Республики Беларусь?
- 4 Для обслуживания и реализации кокой связи предназначена единая транспортная система?
- 5 Каковы требования к единой транспортной системе?
- 6 Что такое логистика?
- 7 Сколько общеевропейских транспортных коридоров проходит по территории Республики Беларусь?

- 8 Назовите отделения Белорусской железной дороги.
- 9 Что такое плезиохронная цифровая иерархия?
- 10 С каких годов появилась плезиохронная цифровая иерархия?
- 11 Какой метод является основой плезиохронной цифровой иерархии?
- 12 Какая система передачи информации с ПЦИ была первой?
- 13 Что такое МСЭ-Т?
- 14 Какая система является первичной европейской ЦСП ПЦИ?
- 15 Какова скорость передачи первичного цифрового сигнала в линии для североамериканской ПЦИ?
- 16 Какова скорость передачи первичного цифрового сигнала в линии для европейской ПЦИ?
- 17 Назовите стандартный ряд числа каналов для североамериканской ПЦИ.
- 18 Назовите стандартный ряд числа каналов для европейской ПЦИ.
- 19 Что такое мультимплексирование?
- 20 Что такое демультимплексирование?
- 21 Какова скорость передачи вторичного цифрового сигнала в линии для европейской ПЦИ?
- 22 Какова скорость передачи вторичного цифрового сигнала в линии для североамериканской ПЦИ?
- 23 Как обозначаются уровни цифровой иерархии потоков европейской ПЦИ?
- 24 Как обозначаются уровни цифровой иерархии потоков североамериканской ПЦИ?
- 25 У какого цифрового потока ПЦИ скорость передачи информации выше?
- 26 Чему равна скорость передачи информации в 1 кбит/с?
- 27 Чему равна скорость передачи информации в 1 Мбит/с?
- 28 Чему равна скорость передачи информации в 1 Гбит/с?
- 29 Что такое STM?
- 30 Какие уровни СЦИ используются в настоящее время?
- 31 Какие уровни европейской ПЦИ можно включать в STM-1?
- 32 Какие уровни североамериканской ПЦИ можно включать в STM-1?
- 33 Какова относительная нестабильность частоты центрального опорного генератора СЦИ?
- 34 Назовите трибы ПЦИ, включаемые в СЦИ.
- 35 Из чего состоит виртуальный контейнер VC-n СЦИ?
- 36 Из чего состоит виртуальный контейнер VC-11 СЦИ?
- 37 Из чего состоит виртуальный контейнер VC-12 СЦИ?
- 38 Из чего состоит виртуальный контейнер VC-2 СЦИ?
- 39 Из чего состоит виртуальный контейнер VC-3 СЦИ?
- 40 Из чего состоит виртуальный контейнер VC-4 СЦИ?
- 41 По какому параметру различаются виртуальные контейнеры VC?
- 42 Какой виртуальный контейнер относится к нижнему рангу?
- 43 Какой виртуальный контейнер относится к верхнему рангу?
- 44 Укажите виртуальный контейнер с максимальной емкостью.
- 45 Укажите виртуальный контейнер с минимальной емкостью.
- 46 Какой функциональный модуль не относится к оборудованию СЦИ?
- 47 Сборку каких потоков выполняет мультиплексор?

- 48 Ввод каких сигналов в тракте передачи выполняет терминальный мультиплексор?
- 49 Какова роль терминального мультиплексора в тракте приема?
- 50 Для чего предназначен мультиплексор ввода-вывода?
- 51 Что такое концентратор?
- 52 Для чего предназначен концентратор?
- 53 Что не предоставляет возможность сделать концентратор?
- 54 Для чего используются регенераторы в сетях с СЦИ?
- 55 Что восстанавливается с помощью регенерации цифрового сигнала?
- 56 Назовите стандартные топологии сети СЦИ.
- 57 Что такое связность узлов?
- 58 Какими параметрами характеризуется топология цифровой сети?
- 59 Что должна обеспечивать топология цифровой сети?
- 60 Чем связана простота технического обслуживания сети и ее топология?
- 61 От чего зависит стоимость сети?
- 62 Укажите виды топологий.
- 63 В каких случаях используется линейная топология?
- 64 В каких случаях используется линейная последовательная цепь?
- 65 Что имеет каждый узел сети при организации звездной топологии?
- 66 Что образуют узлы при кольцевой топологии?
- 67 Что такое «Выпуклое кольцо»?
- 68 Что такое «Плоское кольцо»?
- 69 Назовите свойства самовосстанавливающихся сетей.
- 70 На что способны самовосстанавливающиеся сети?
- 71 Какими схемами резервирования обеспечиваются методы быстрого восстановления работоспособности синхронных сетей?
- 72 Какими схемами резервирования обеспечиваются методы быстрого восстановления основных блоков оборудования синхронных сетей?
- 73 Какой сигнал выбирается приемником в качестве основного при резервировании по схеме «1+1»?
- 74 Какой сигнал назначается альтернативным при резервировании по схеме «1:1»?
- 75 В каком режиме находится маршрут с низким приоритетом при резервировании по схеме «1:1»?
- 76 Каким образом организуется защита маршрута в «сдвоенном кольце» типа 1+1?
- 77 По какой схеме выполняется резервирование основных блоков оборудования цифровых систем передачи?
- 78 Какое значение не должно превышать время переключения на резервное оборудование цифровых систем передачи?
- 79 Какие волокна используются для организации «плоского кольца»?
- 80 Что такое первичная сеть связи?
- 81 Для чего предназначена вторичная сеть?
- 82 Какие сети железнодорожного транспорта относятся к вторичным сетям?
- 83 Что включает в себя дорожная сеть связи?
- 84 Какая информация передается по каналам дорожной первичной сети?
- 85 Что включает в себя отделенческая сеть связи?

- 86 Как организуется местная сеть связи?
- 87 Какие цифровые потоки составляют поток K_1 ?
- 88 Какие цифровые потоки составляют поток K_2 ?
- 89 Какие цифровые потоки составляют поток K_3 ?
- 90 Какие цифровые потоки составляют поток P_1 ?
- 91 Какие цифровые потоки составляют поток P_2 ?
- 92 Какие цифровые потоки составляют поток P_3 ?
- 93 Как соотносятся цифровые потоки E_1 и E_0 ?
- 94 Сколько максимально цифровых потоков E_1 в STM-1?
- 95 По какой формуле определяются суммарные потери A участка усиления линейного тракта?
- 96 По какой формуле определяется количество неразъемных соединений на участке усиления?
- 97 По какой формуле определяется длина участка усиления?
- 98 По какой формуле определяется отношение сигнала к шуму?

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шмыгинский, В. В.** Многоканальная связь на железнодорожном транспорте / В. В. Шмыгинский, В. П. Глушко, Н. А. Казанский; под ред. В. В. Шмыгинского. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 704 с.
- 2 Кириллов, В. И.** Многоканальные системы передачи : учеб. для вузов / В. И. Кириллов. – М. : Новое знание, 2002. – 751 с.
- 3 Семенюта, Н. Ф.** Волоконно-оптические линии связи и телекоммуникационные системы передачи на железнодорожном транспорте : учеб.-метод. пособие / Н. Ф. Семенюта, П. М. Буй. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 205 с.
- 4 Буй, П. М.** Проектирование волоконно-оптической сети связи железной дороги : учеб.-метод. пособие / П. М. Буй, Н. Ф. Семенюта. – Гомель : БелГУТ, 2014. – 99 с.
- 5 Виноградов, В. В.** Волоконно-оптические линии связи : учеб. пособие для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. / В. В. Виноградов, В. К. Котов, В. Н. Нуприк. – М. : ИПК «Желдориздат», 2002. – 278 с.
- 6 Портнов, Э. Л.** Оптические кабели связи: Конструкции и характеристики / Э. Л. Портнов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 232 с.
- 7 Слепов, Н. Н.** Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи / Н. Н. Слепов. – М. : Радио и связь, 2000. – 488 с.
- 8 Убайдуллаев, Р. Р.** Волоконно-оптические сети / Р. Р. Убайдуллаев. – М. : Эко-Трендз, 2001. – 267 с.
- 9 Шмалько, А. В.** Цифровые сети связи: основы планирования и построения / А. В. Шмалько. – М. : Эко-Трендз, 2001. – 282 с.
- 10 Фриман, Р.** Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман. – М. : Техносфера, 2003. – 440 с.
- 11 Иоргачев, Д. В.** Волоконно-оптические кабели и линии связи / Д. В. Иоргачев, О. В. Бондаренко. – М. : Эко-Трендз, 2002. – 283 с.
- 12 Москвитин, В. Д.** От взаимозвязанной сети связи к Единой сети электросвязи / В. Д. Москвитин // Вестник связи. – 2003. – № 8. – С. 33–48.

13 Здоровцов, И. А. Магистральные цифровые сети связи на железных дорогах : учеб.-метод. пособие / И. А. Здоровцов, Н. Ф. Семенюта. – Гомель : БелГУТ, 2002. – 64 с.

14 Здоровцов, И. А. Магистральная цифровая сеть связи российских железных дорог / И. А. Здоровцов, Н. Ф. Семенюта // Веснік сувязі. – 2003. – № 5. – С. 45–49.

15 Здоровцов, И. А. Основы теории надежности волоконно-оптических линий передачи железнодорожного транспорта / И. А. Здоровцов, В. Ю. Королев. – М. : МАКС Пресс, 2004. – 308 с.

16 Инфокоммуникации Российских железных дорог. Состояние и перспективы развития. – М. : МАС, 2006. – 192 с.

17 НТИ ЦТКС–ФЖД-2002 Нормы технологического проектирования телекоммуникационных сетей на федеральном железнодорожном транспорте. – М. : Трансиздат, 2002. – 236 с.

18 Семенюта, Н. Ф. Новый этап развития магистральных цифровых сетей связи / Н. Ф. Семенюта, И. А. Здоровцов // Веснік сувязі. – 2004. – № 1. – С. 32–34.

19 Семенюта, Н. Ф. Проблемы надежности волоконно-оптических линий передачи / Н. Ф. Семенюта, И. А. Здоровцов, Д. Н. Шевченко // Веснік сувязі. – 2009. – № 4. – С. 37–40.

20 Правила технической эксплуатации Белорусской железной дороги : приказ начальника Белорусской железной дороги от 04.12.2002 № 292Н.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

Содержание пояснительной записки курсовой работы

ВВЕДЕНИЕ

1 АНАЛИЗ ПЕРВИЧНОЙ ЦИФРОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

1.1 Описание железной дороги

1.2 Выбор топологии построения первичной цифровой сети связи

1.3 Структура первичной цифровой сети связи и расчет каналов на ее участках

1.4 Резервирование каналов на участках первичной цифровой сети связи

1.5 Выбор технологии и оборудования передачи данных первичной цифровой сети связи

2 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЕРВИЧНОЙ ЦИФРОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

2.1 Расчет длины усилительного участка первичной цифровой сети связи

2.2 Расчет длины регенерационного участка первичной цифровой сети связи

2.3 Расстановка усилительных и регенерационных пунктов на участках первичной цифровой сети связи

3 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПЕРВИЧНОЙ ЦИФРОВОЙ СЕТИ СВЯЗИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

Исходные данные для выполнения курсовой работы

1 Железная дорога выбирается в соответствии с шифром из таблицы Б.1.

Таблица Б.1

Первая цифра шифра	Название железной дороги	Первая цифра шифра	Название железной дороги
0	Белорусская	5	Одесская
1	Горьковская	6	Октябрьская
2	Красноярская	7	Северная
3	Куйбышевская	8	Юго-Восточная
4	Московская	9	Юго-Западная

2 Требуемое число потоков для различных видов связи на участках железной дороги: P_1 (отделенческая сеть, между станциями и отделением дороги); P_2 (дорожная сеть, между соседними отделениями дороги); P_3 (дорожная сеть, между дорожным узлом и отделениями дороги) – выбирается в соответствии с шифром из таблицы Б.2.

3 Количество потоков $E1$ и $E0$ для вторичных сетей (СПД, ОТС, ОБТС) выбирается в соответствии с шифром из таблицы Б.2. K_i – количество каналов, равное K_1 , K_2 , или K_3 , в зависимости от вида связи.

Таблица Б.2

Сумма двух последних цифр шифра	Требуемое число каналов			Доли цифровых потоков отдельных вторичных сетей в суммарном цифровом потоке		
	K_1	K_2	K_3	СПД	ОТС	ОБТС
0	50	530	1000	$0,1K_i \cdot E1$	$0,6K_i \cdot E0$	$0,3K_i \cdot E0$
1	55	470	970	$0,1K_i \cdot E1$	$0,5K_i \cdot E0$	$0,4K_i \cdot E0$
2	60	410	940	$0,1K_i \cdot E1$	$0,4K_i \cdot E0$	$0,5K_i \cdot E0$
3	65	350	910	$0,2K_i \cdot E1$	$0,3K_i \cdot E0$	$0,5K_i \cdot E0$
4	70	290	880	$0,3K_i \cdot E1$	$0,6K_i \cdot E0$	$0,1K_i \cdot E0$
5	75	260	850	$0,2K_i \cdot E1$	$0,7K_i \cdot E0$	$0,1K_i \cdot E0$
6	80	320	820	$0,1K_i \cdot E1$	$0,8K_i \cdot E0$	$0,1K_i \cdot E0$
7	85	380	790	$0,2K_i \cdot E1$	$0,6K_i \cdot E0$	$0,2K_i \cdot E0$
8	90	440	760	$0,2K_i \cdot E1$	$0,5K_i \cdot E0$	$0,3K_i \cdot E0$
9	95	500	730	$0,2K_i \cdot E1$	$0,4K_i \cdot E0$	$0,4K_i \cdot E0$
10	45	520	930	$0,3K_i \cdot E1$	$0,3K_i \cdot E0$	$0,4K_i \cdot E0$
11	120	460	960	$0,2K_i \cdot E1$	$0,6K_i \cdot E0$	$0,2K_i \cdot E0$
12	35	430	920	$0,1K_i \cdot E1$	$0,7K_i \cdot E0$	$0,2K_i \cdot E0$
13	110	370	890	$0,5K_i \cdot E1$	$0,4K_i \cdot E0$	$0,1K_i \cdot E0$
14	25	300	870	$0,4K_i \cdot E1$	$0,4K_i \cdot E0$	$0,2K_i \cdot E0$
15	105	270	840	$0,3K_i \cdot E1$	$0,5K_i \cdot E0$	$0,2K_i \cdot E0$
16	30	340	810	$0,3K_i \cdot E1$	$0,4K_i \cdot E0$	$0,3K_i \cdot E0$
17	115	390	780	$0,4K_i \cdot E1$	$0,3K_i \cdot E0$	$0,3K_i \cdot E0$
18	40	450	750	$0,4K_i \cdot E1$	$0,5K_i \cdot E0$	$0,1K_i \cdot E0$

4 Строительная длина волоконно-оптического кабеля выбирается в соответствии с шифром из таблицы Б.3.

Таблица Б.3

Сумма всех цифр шифра	Строительная длина волоконно-оптического кабеля, км	Сумма всех цифр шифра	Строительная длина волоконно-оптического кабеля, км
0	3,5	14	4,9
1	3,6	15	5,0
2	3,7	16	5,1
3	3,8	17	5,2
4	3,9	18	5,3
5	4,0	19	5,4
6	4,1	20	5,5
7	4,2	21	5,6
8	4,3	22	5,7
9	4,4	23	5,8
10	4,5	24	5,9
11	4,6	25	6,0
12	4,7	26	6,1
13	4,8	27	6,2

5 Километрическое затухание оптических волокон выбирается в соответствии с шифром из таблицы Б.4.

Таблица Б.4

Сумма первой и второй цифр шифра	Километрическое затухание оптических волокон, дБ/км	Сумма первой и второй цифр шифра	Километрическое затухание оптических волокон, дБ/км
0	0,20	10	0,30
1	0,21	11	0,31
2	0,22	12	0,32
3	0,23	13	0,33
4	0,24	14	0,34
5	0,25	15	0,35
6	0,26	16	0,36
7	0,27	17	0,37
8	0,28	18	0,38
9	0,29		

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)

Упрощенные структурные схемы железных дорог

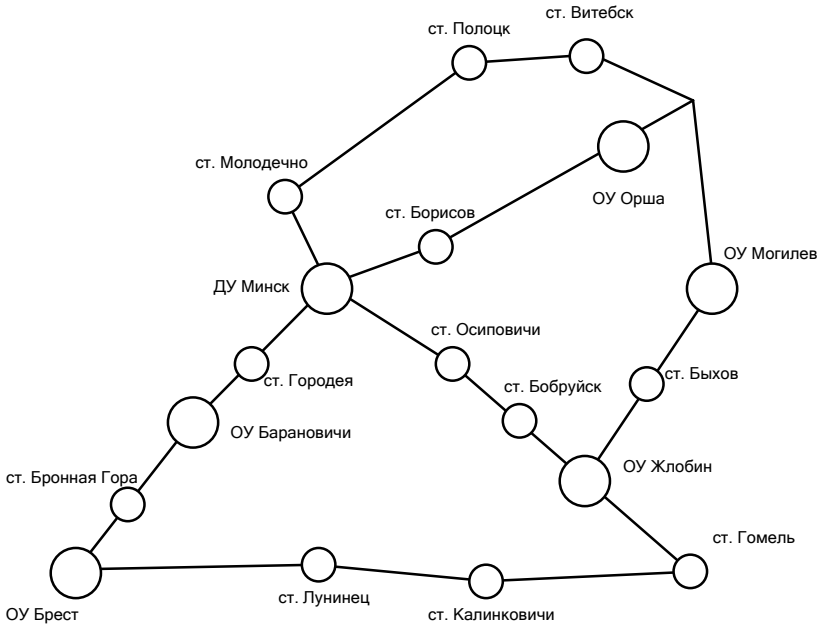


Рисунок В.1 – Упрощенная структурная схема
Белорусской железной дороги

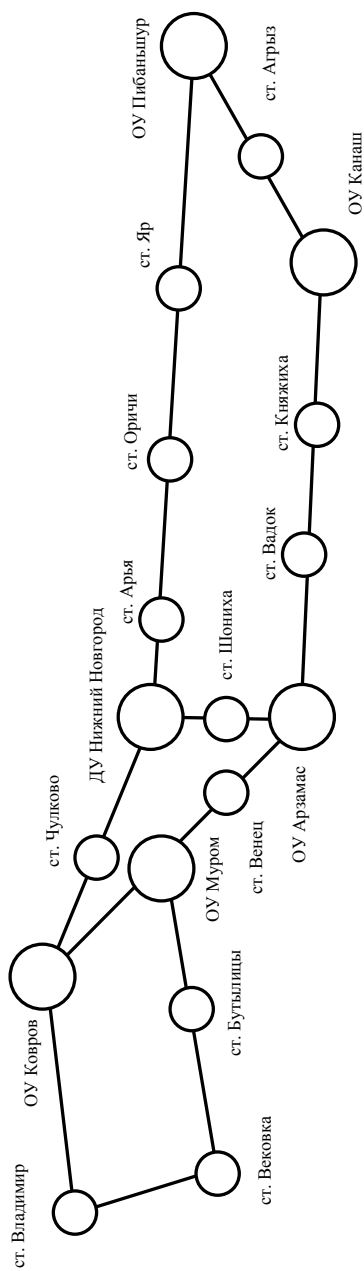


Рисунок В.2 – Упрощенная структурная схема Горьковской железной дороги

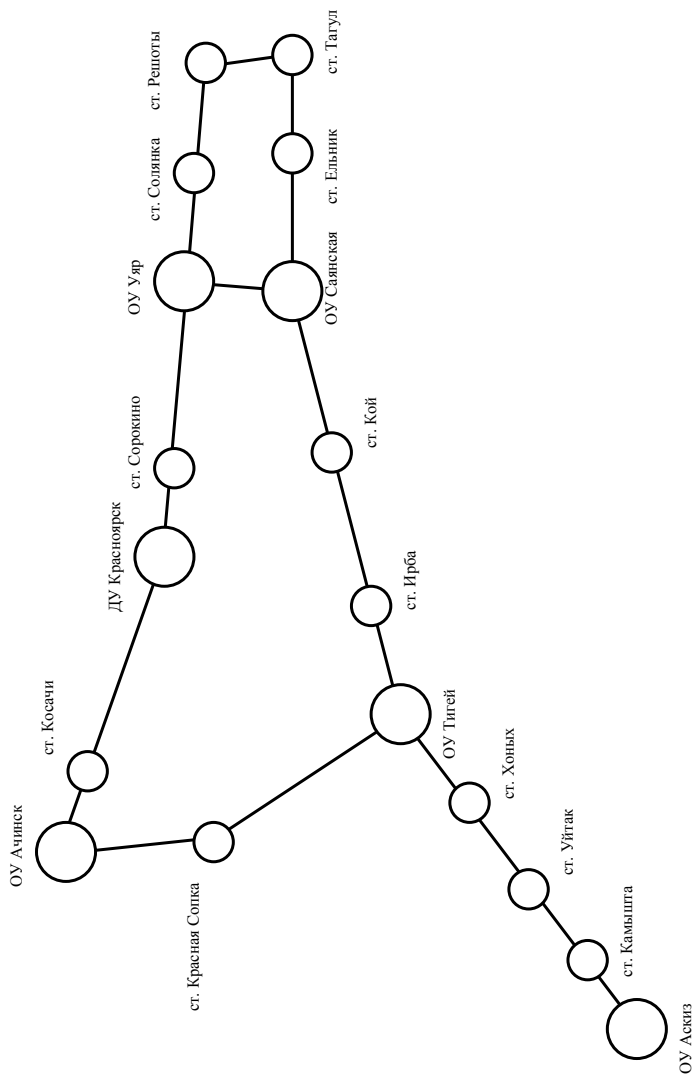


Рисунок В.3 – Упрощенная структурная схема Красноярской железной дороги

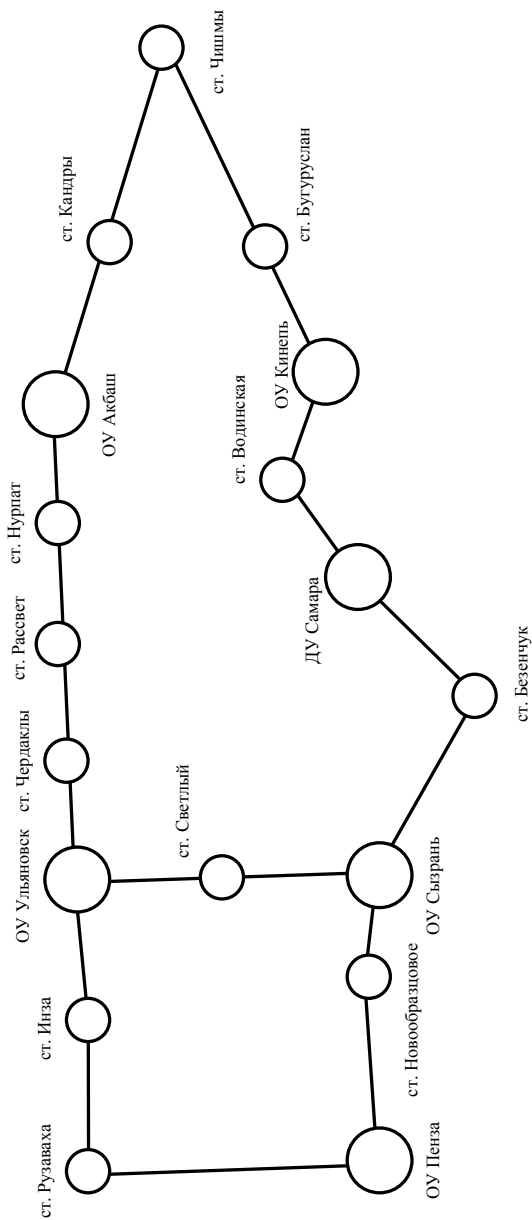


Рисунок В.4 – Упрощенная структурная схема Куйбышевской железной дороги

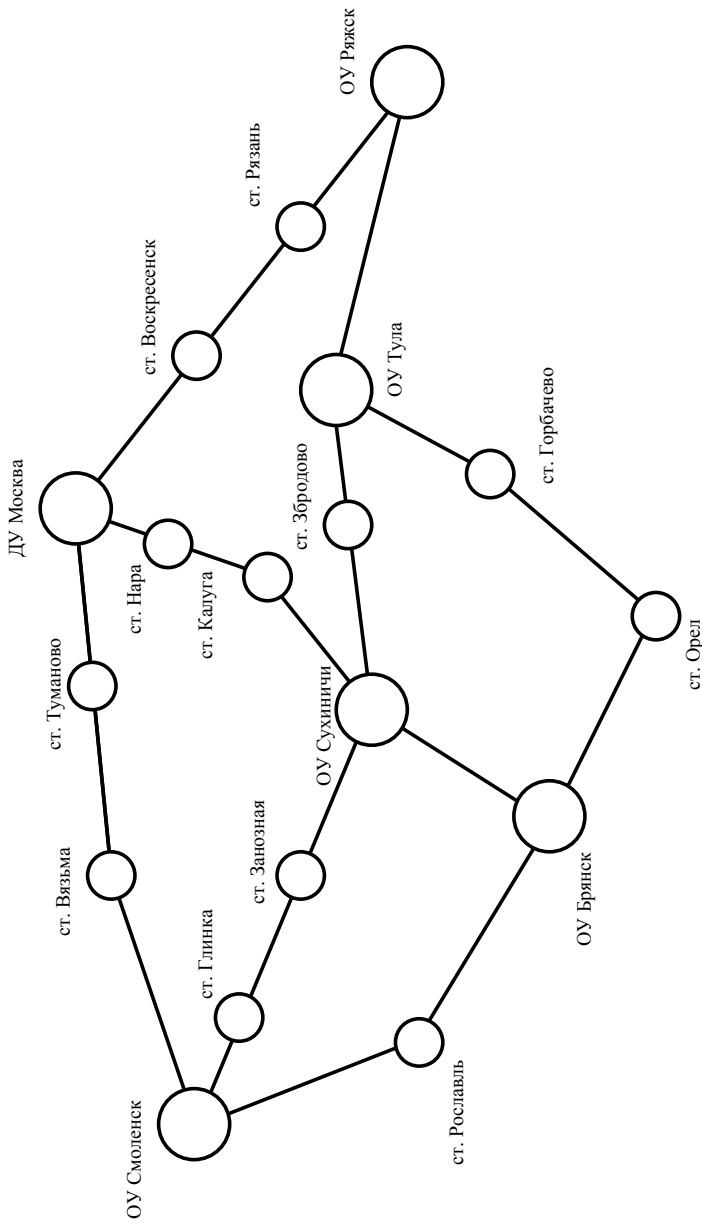


Рисунок В.5 – Упрощенная структурная схема Московской железной дороги

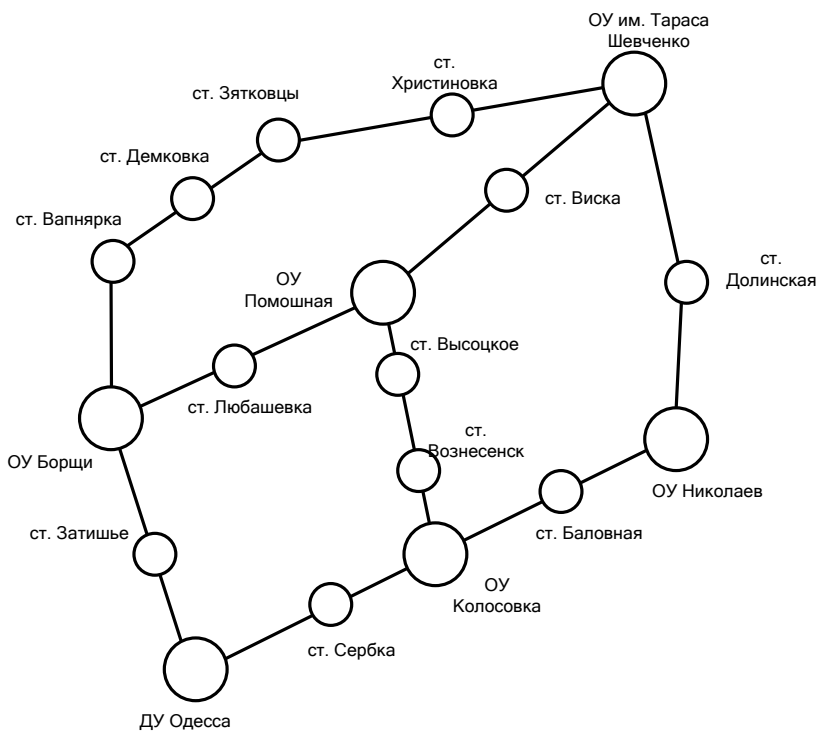


Рисунок В.6 – Упрощенная структурная схема Одесской железной дороги

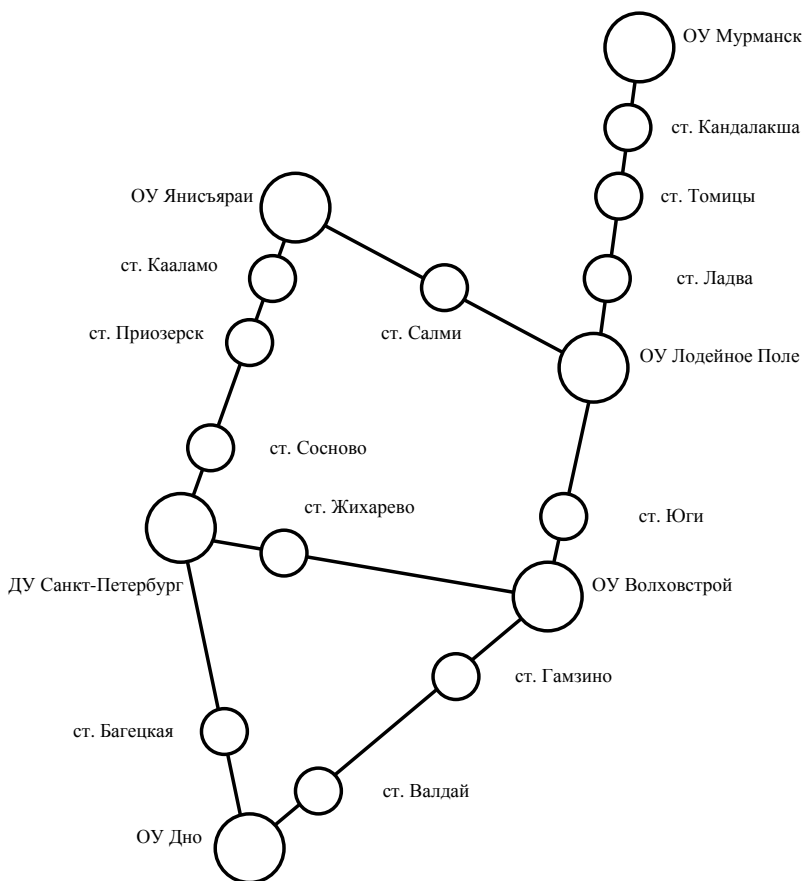


Рисунок В.7 – Упрощенная структурная схема Октябрьской железной дороги

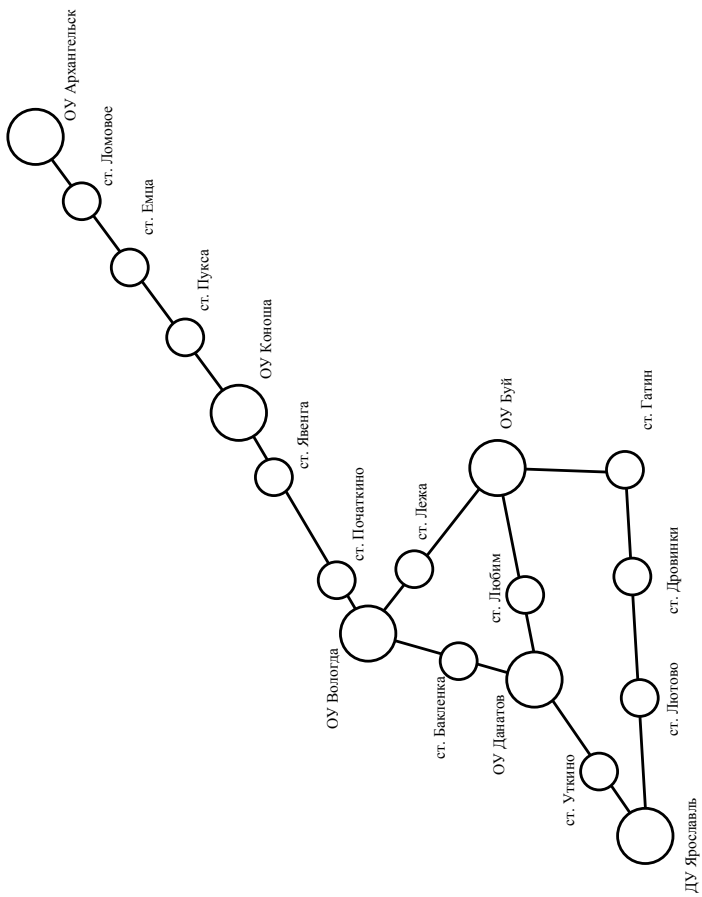


Рисунок В.8 – Упрощенная структурная схема
Северной железной дороги

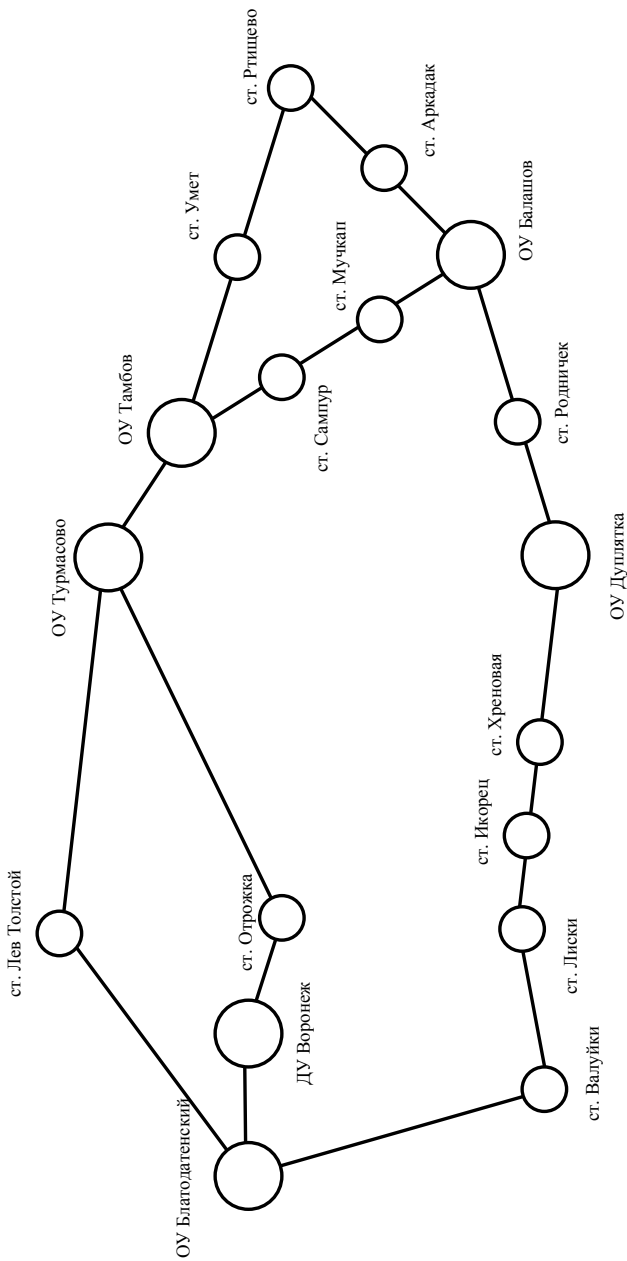


Рисунок В.9 – Упрощенная структурная схема
Юго-Восточной железной дороги

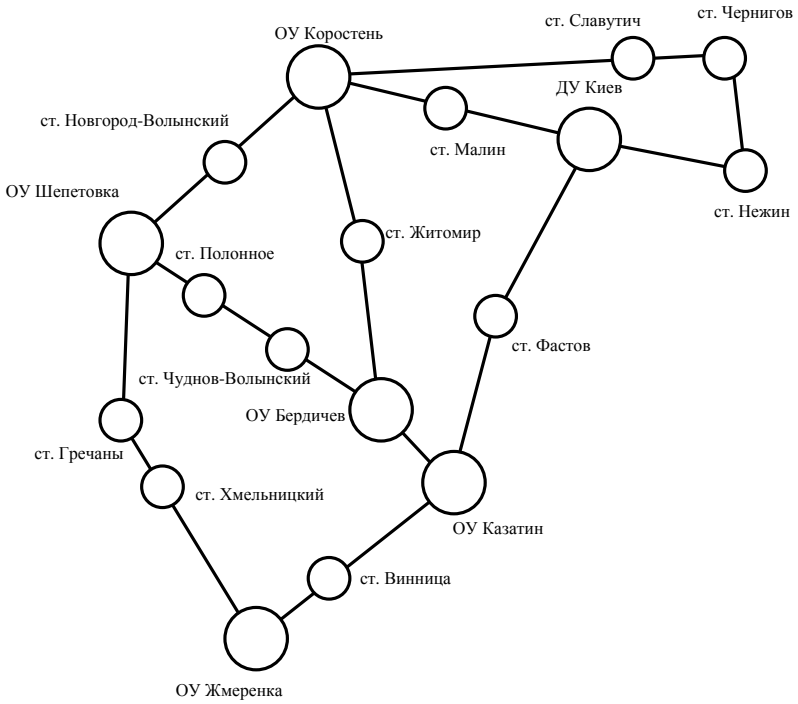


Рисунок В.10 – Упрощенная структурная схема Юго-Западной железной дороги

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1 Белорусская железная дорога и транспортно-логистическая система Республики Беларусь	5
2 Цифровые системы передачи информации	9
2.1 Плезиохронная цифровая иерархия	9
2.2 Синхронная цифровая иерархия.....	11
3 Принципы построения систем синхронной цифровой иерархии	12
3.1 Транспортная система синхронной цифровой иерархии	12
3.2 Контейнеризация процесса передачи информации	13
3.3 Оборудование синхронной цифровой иерархии	16
3.4 Топология сетей синхронной цифровой иерархии	19
3.5 Способы повышения живучести сетей синхронной цифровой иерархии.....	21
4 Структура первичной цифровой сети связи железной дороги	24
5 Расчет количества цифровых потоков на участках сети связи железной дороги	27
6 Расчет параметров цифровой оптической линии связи	36
6.1 Расчет длины усилительного участка	36
6.2 Расчет длины регенерационного участка	37
6.3 Расстановка усилительных пунктов.....	42
7 Построение узлов сети связи синхронной цифровой иерархии	44
8 Построение структурной схемы первичной сети связи железной дороги ...	48
Заключение	57
Контрольные вопросы	58
Список рекомендуемой литературы	61
Приложение А. Содержание пояснительной записки курсовой работы	63
Приложение Б. Исходные данные для выполнения курсовой работы	64
Приложение В. Упрощенные структурные схемы железных дорог	66

Учебное издание

Буй Павел Михайлович
Фомичев Владимир Николаевич

ОРГАНИЗАЦИЯ
ПЕРВИЧНОЙ ЦИФРОВОЙ
СЕТИ СВЯЗИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Учебно-методическое пособие

Редактор *И. И. Эвентов*
Технический редактор *В. Н. Кучерова*
Корректор *А. А. Павлюченкова*

Подписано в печать 29.09.2017 г. Формат бумаги 60x84¹/₁₆
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 4,42. Уч.-изд. л. 4,21. Тираж 100 экз.
Зак № . Изд. № 83

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель