

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 05.09.2024 14:17:33

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668ab013a50426d39e57c11ea0b175e945d14a4851fda56d089

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреж-**  
**дение высшего образования**  
**«Юго-Западный государственный университет»**  
**(ЮЗГУ)**

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
« 08 » 08 2024



## ЗАЩИТА СОЕДИНЕНИЙ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

Методические указания по выполнению лабораторной работы для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Информационные технологии и системы связи» направленность «Проектирование систем связи малых космических аппаратов» по дисциплине «Проектирование транспортных оптических систем передачи»

Курск 2024



УДК 004.716

Составители: А. А. Гуламов

Рецензент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
Зав. кафедры КПиСС *В.Г. Андронов*

**Защита соединений транспортных сетей:** методические указания по выполнению лабораторной работы для студентов направления подготовки 11.04.02 направленность «Проектирование систем связи малых космических аппаратов» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.А. Гуламов. - Курск, 2024. – 37 с.: ил. 24, табл. 2. – Библиогр.: с. 32.

Методические указания по выполнению лабораторной работы содержат теоретические сведения о различных вариантах защиты оптических транспортных сетей, а также задания для выполнения работы и перечень вопросов для самопроверки изучаемого материала.

Методические указания соответствуют учебному плану обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Информационные технологии и системы связи» направленность «Проектирование систем связи малых космических аппаратов» по дисциплине «Проектирование транспортных оптических систем передачи».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Информационные технологии и системы связи» направленность «Проектирование систем связи малых космических аппаратов» по дисциплине «Проектирование транспортных оптических систем передачи».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *28.08.24* Формат 60x84/16.  
Усл. печ. л. 2,15 .Уч.-изд. л. 1,95. Тираж 100 экз. Заказ. *814* . Бесплатно  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

|   |      |
|---|------|
| Инструкция по технике безопасности  | - 4  |
| 1. Цель работы  | - 9  |
| 2. Краткие теоретические сведения   | - 9  |
| 2.1 Защита секции мультиплексирования 1+1 (1:1)   | - 13 |
| 2.2 Защита секции мультиплексирования в кольцевой сети                                    | - 16 |
| 2.3. Защита соединения тракта   | - 21 |
| 3. Защитные переключения в сети с многоканальной передачей WDM                            | - 25 |
| 4. Задание  | - 30 |
| 5. Контрольные вопросы  | - 31 |
| Библиографический список  | - 32 |
| Заключение  | - 33 |
| Приложение А Форма титульного листа отчета обучающегося о выполняемой лабораторной работе | - 37 |



## ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ

### *Общие положения*

Настоящая инструкция предназначена для студентов и работников, выполняющих работы на персональном компьютере и на сетевом оборудовании (коммутаторы, маршрутизаторы, межсетевые экраны и т.д.).

К выполнению работ допускаются лица:

- не моложе 16 лет;
- прошедшие медицинский осмотр;
- прошедшие вводный инструктаж по охране труда, а также инструктаж по охране труда на рабочем месте;
- прошедшие обучение безопасным приемам труда на рабочем месте по выполняемой работе.

Работник обязан:

- выполнять правила внутреннего трудового распорядка, установленные в положениях и инструкциях, утвержденных ректором ЮЗГУ, или его заместителями;
- выполнять требования настоящей инструкции;
- сообщать руководителю работ о неисправностях, при которых невозможно безопасное производство работ;
- не допускать присутствия на рабочем месте посторонних лиц;
- уметь оказывать первую помощь и при необходимости оказывать ее пострадавшим при несчастных случаях на производстве, по возможности сохранив обстановку на месте происшествия без изменения и сообщив о случившемся руководителю;
- выполнять требования противопожарной безопасности не разводиться открытый огонь без специального на то разрешения руководителя работ;
- периодически проходить медицинский осмотр в сроки, предусмотренные для данной профессии.

Работник должен знать опасные и вредные производственные факторы, присутствующие на данном рабочем месте:

- возможность травмирования электрическим током при отсутствии или неисправности заземляющих устройств;

- вредное воздействие монитора компьютера при его неправильной установке или неисправности;
- возможность возникновения заболеваний при неправильном расположении монитора, клавиатуры, стула и стола;
- вредное воздействие паров, газов и аэрозолей, выделяющихся при работе копировальной и печатающей оргтехники в непроветриваемых помещениях.

Работник при выполнении любой работы должен обладать здоровым чувством опасности и руководствоваться здравым смыслом. При отсутствии данных качеств он к самостоятельной работе не допускается.

### ***Требования охраны труда перед началом работы***

Перед началом работы работник обязан:

- получить от руководителя работ инструктаж о безопасных методах, приемах и последовательности выполнения производственного задания;
- привести в порядок одежду, застегнуть на все пуговицы, чтобы не было свисающих концов, уложить волосы, чтобы они не закрывали лицо и глаза;
- привести рабочее место в безопасное состояние;
- запрещается носить обувь на чрезмерно высоких каблуках;

Перед включением компьютера или сетевого оборудования убедиться в исправности электрических проводов, штепсельных вилок и розеток. Вилки и розетки должны соответствовать Евро-стандарту. Отличительной особенностью этих вилок и розеток является наличие третьего провода, обеспечивающего заземление компьютера или другого прибора. При отсутствии третьего заземляющего провода заземление должно быть выполнено обычным способом с применением заземляющего проводника и контура заземления;

Убедиться, что корпус включаемого оборудования не поврежден, что на нем не находятся предметы, бумага и т.п. Вентиляционные отверстия в корпусе включаемого оборудования не должны быть закрыты занавесками, завалены бумагой, заклеены липкой лентой или перекрыты каким-либо другим способом.

### *Требования охраны труда во время работы*

Запрещается во время работы пить какие-либо напитки, принимать пищу;

Запрещается ставить на рабочий стол любые жидкости в любой таре (упаковке или в чашках);

Помещения для эксплуатации компьютеров, сетевого оборудования должны иметь естественное и искусственное освещение, естественную вентиляцию и соответствовать требованиям действующих норм и правил. Запрещается размещать рабочие места вблизи силовых электрических кабелей и вводов трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе и отрицательно влияющие на здоровье операторов;

Окна в помещениях, где установлены компьютеры должны быть ориентированы на север и северо-восток. Оконные проемы оборудуются регулируемыми устройствами типа жалюзи или занавесками;

Площадь на одно рабочее место пользователей компьютера должна составлять не менее  $6 \text{ м}^2$  при рядном и центральном расположении, при расположении по периметру помещения –  $4 \text{ м}^2$ . При использовании компьютера без вспомогательных устройств (принтер, сканер и т.п.) с продолжительностью работы менее четырех часов в день допускается минимальная площадь на одно рабочее место  $5 \text{ м}^2$ ;

Полимерные материалы, используемые для внутренней отделки интерьера помещений с ПК, должны подвергаться санитарно-эпидемиологической экспертизе. Поверхность пола должна обладать антистатическими свойствами, быть ровной. В помещениях ежедневно проводится влажная уборка. Запрещается использование удлинительных устройств, фильтров, тройников и т.п., не имеющих специальных заземляющих контактов;

Экран видеомонитора должен находиться от глаз оператора на расстоянии 600-700 мм, минимально допустимое расстояние 500 мм;

Продолжительность непрерывной работы с ПК должна быть не более 2 часов.

### ***Требования охраны труда по окончании работы***

По окончании работы работник обязан выполнить следующее:

- привести в порядок рабочее место;
- убрать инструмент и приспособления в специально отведенные для него места хранения;
- обо всех замеченных неисправностях и отклонениях от нормального состояния сообщить руководителю работ;
- привести рабочее место в соответствие с требованиями пожарной безопасности.

### ***Действие при аварии, пожаре, травме***

В случае возникновения аварии или ситуации, в которой возможно возникновение аварии немедленно прекратить работу, предпринять меры к собственной безопасности и безопасности других рабочих, сообщить о случившемся руководителю работ.

В случае возникновения пожара немедленно прекратить работу, сообщить в пожарную часть по телефону 01, своему руководителю работ и приступить к тушению огня имеющимися средствами.

В случае получения травмы обратиться в медпункт, сохранить по возможности место травмирования в том состоянии, в котором оно было на момент травмирования, доложить своему руководителю работ лично или через товарищей по работе.

### ***Ответственность за нарушение инструкции***

Каждый работник ЮЗГУ в зависимости от тяжести последствий несет дисциплинарную, административную или уголовную ответственность за несоблюдение настоящей инструкции, а также прочих положений и инструкций, утвержденных ректором ЮЗГУ или его заместителями.

Руководители подразделений, заведующий кафедрой, начальники отделов и служб несут ответственность за действия своих подчиненных, которые привели или могли привести к авариям и травмам согласно действующему в РФ законодательству в зависимости от тяжести последствий в дисциплинарном, административ-

ном или уголовном порядке.

Администрация ЮЗГУ вправе взыскать с виновных убытки, понесенные предприятием в результате ликвидации аварии, при возмещении ущерба работникам по временной или постоянной утрате трудоспособности в соответствии с действующим законодательством.



## 1 Цель работы

Изучение вариантов организации защиты оптических транспортных сетей.

Освоение методики прохождения сигналов при различных вариантах защиты оптических транспортных сетей.

## 2 Краткие теоретические сведения

Важнейшим качеством транспортных оптических сетей является защищённость аппаратуры, секций и трактов от неисправностей и повреждений. Это достигается благодаря избыточности аппаратных средств (линии, интерфейсные модули, кроссовые коммутаторы и т.д.) и использованию систем управления с программными средствами управления физическими и логическими ресурсами.

Базовые принципы защиты транспортных сетей изложены в рекомендациях МСЭ-Т G.805, G.808.1, G.841, G.842 и в рекомендациях соответствующих технологий:

- для сетей SDH это G.803, G.783 и др.;
- для сетей ATM это I.630, I.731;
- для сетей OTN/OTN это G.798, G.873.1;
- для сетей Ethernet это G.8031 и G.8032;
- для сетей T-MPLS это G.8131. Ниже рассматриваются варианты построения схем физической и логической защиты различных участков транспортных сетей, соединений и аппаратуры.

Соединения пользователей в транспортной сети различаются на защищенные и незащищенные. Защищенность соединений может определяться физическим построением сети (структурой физических связей сетевых элементов, маршрутами передачи цифровых циклических блоков) и логической организацией соединений (виртуальных каналов и виртуальных трактов, образованных потоками случайных ячеек и кадров).

Соединение пользователей транспортной сети может проходить через ряд участков: секцию мультиплексирования; подсеть; тракт транспортной сети (Рисунок 1).

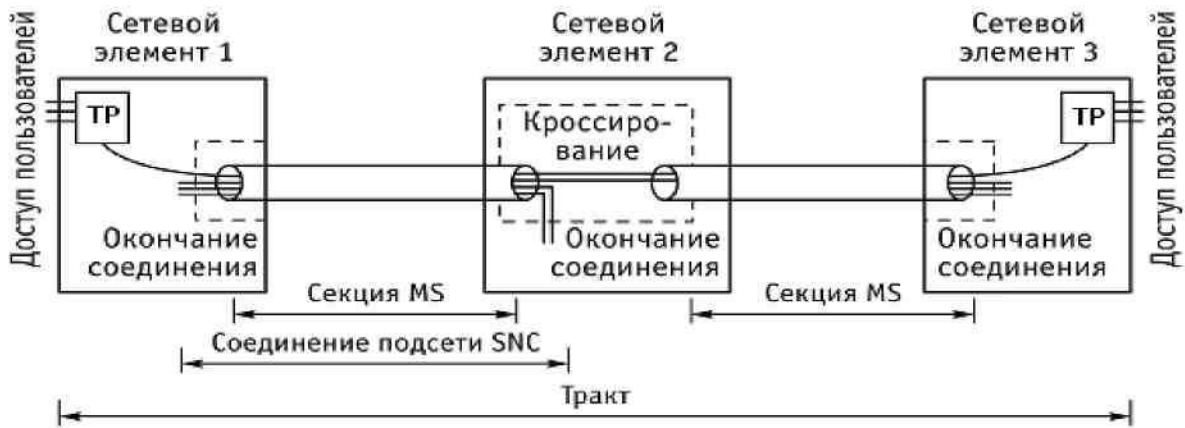


Рисунок 1 – Участки соединения пользователей в транспортной сети

Маршрут передачи называется трактом, если на его концах находятся две точки окончания ТР (Termination Point) тракта. Например, точка окончания тракта в сети SDH выполняет функции окончания тракта для получения виртуального контейнера (VC-p/m) с заголовком тракта (РОН). Тракт может проходить через другие сетевые элементы в составе других соединений и при этом контролироваться через встроенные функции тандемных соединений (TCM).

Соединение подсети SNC (Sub-Net Connection) является частью тракта, завершаемого двумя точками окончания соединения, рассчитанными на функцию контроля соединения. В точке окончания соединения осуществляется только мониторинг сигналов. Например, эти точки реализуются в сетевых элементах с интерфейсами SDH. На соединении подсети SNC между двумя точками могут быть установлены другие сетевые элементы (регенераторы, оптические усилители, мультиплексоры).

Секцией мультиплексирования MS (Multiplex Section) является участок соединения (линии) между двумя мультиплексорами (SDH, ОН, АТМ, Ethernet) наделённый функциями окончания секции мультиплексирования MST (Multiplex Section Termination), используемыми для обмена сигналами (STM-N, ODUk, OCh, OTM-p,m). На таком пути передачи могут быть установлены регенераторы, оптические усилители, оптические мультиплексоры и демультиплексоры и могут быть образованы секции регенерации и оптической передачи.

Соединения в транспортной сети подразделяют на односто-

ронные и двухсторонние. Кроме того, двухсторонние соединения, в свою очередь, подразделяют на соединения в одном маршруте и в различных маршрутах. Все виды соединений представлены на Рисунке 2а, б, в.

Принцип однонаправленного и двунаправленного соединения широко применяется в линейных и кольцевых сетях.

На Рисунке 3а и 3б представлены примеры схем однонаправленного и двунаправленного соединений в кольцевой транспортной сети.



Рисунок 2а – Пример однонаправленного соединения

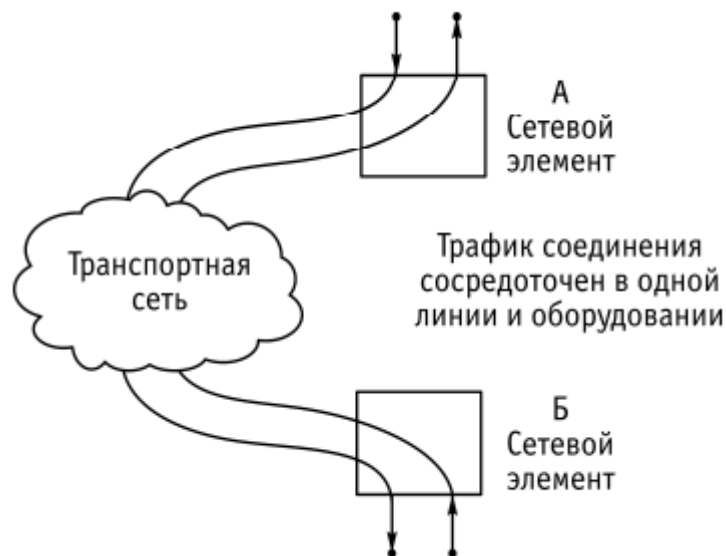


Рисунок 2б – Пример двунаправленного соединения с общей передачей





Рисунок 2в – Пример двунаправленного соединения с раздельной передачей

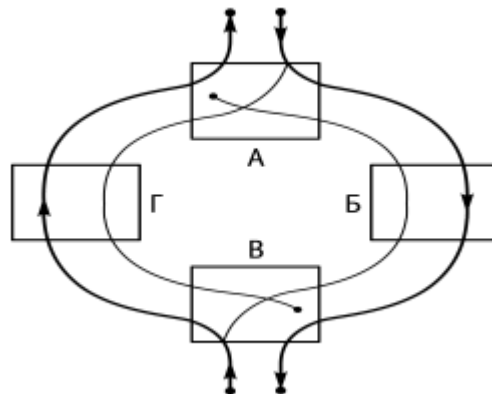


Рисунок 3а – Пример организации соединения в кольцевой сети с однонаправленной передачей

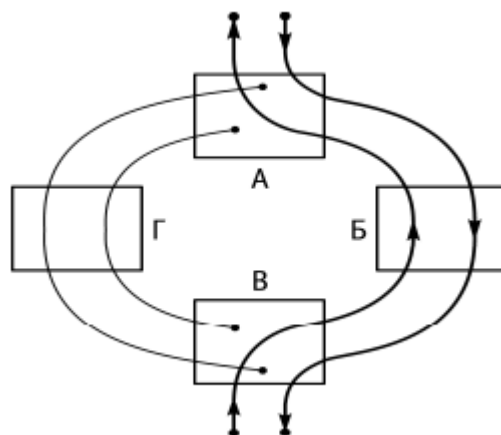


Рисунок 3б – Пример организации соединения в кольцевой сети с двунаправленной передачей.

Как видно из рисунков в кольцевой сети при любом из видов передачи (однонаправленной или двунаправленной) существует

потенциальный резерв соединения, который может быть использован для защиты соединения с передачей трафика.

Приведенные способы организации соединений в транспортных сетях применимы не только для передачи и защиты электрических сигналов, но и подходят для оптических канальных и групповых сигналов в многоканальной сети WDM.

## 2.1 Защита секции мультиплексирования 1+1 (1:1)

Защита секции мультиплексирования вида 1+1 (1:1) относится к защите линейного тракта за счет резервного кабеля и оборудования. При этом в этой защите различают две возможности:

- (1+1) это одна рабочая секция мультиплексирования непрерывно дублируется одной резервной секцией мультиплексирования (Рисунок 4). При аварии рабочей секции селектор приёмной стороны подключит резервную секцию;

- (1:1) это одна рабочая секция мультиплексирования может быть продублирована в аварийном состоянии резервной секцией, которая в нормальном режиме переносит дополнительный (резервный) трафик. Этот трафик автоматически сбрасывается мостом и селектором при аварии рабочей секции (Рисунок 5).

Признаками для выполнения защитного переключения в секции мультиплексирования могут быть следующие сигналы:

- потеря сигнала на приеме (LOS, Loss of Signal);
- потеря цикла (LOF, Loss of Frame);
- избыточный коэффициент ошибок по битам ( $BER > 10^{-10}$ ).

Управление процессами переключения с рабочей секции мультиплексирования на резервную происходит в служебных байтах (например, в STM-N байты K1, K2 заголовков MSON резервной секции).

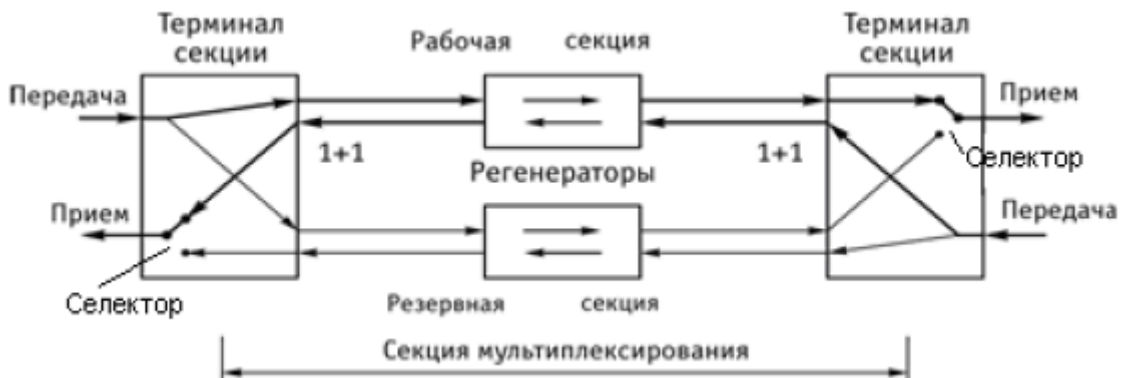


Рисунок 4 – Принцип резервирования секции 1+1

Учитывая, что передача линейных сигналов может происходить по одной или двум параллельным системам, возможны различные варианты переключений:

- синхронизированный;
- несинхронизированный.

При двунаправленной передаче в рабочей секции переключение на резерв производится в двустороннем режиме, т.е. передатчик и приемник синхронно переключаются на резерв.

При однонаправленной передаче в рабочей и резервной секциях переключение на резерв производится в одностороннем режиме, т.е. приемник выбирает лучший по качеству сигнал. Это может привести к ситуации, когда по рабочей секции происходит передача только в одном направлении, например, слева направо (по рис. 4.4), а передача в другом направлении ведется в резервной секции.

Защита секции мультиплексирования может реализовываться в обратимом и необратимом режимах. Обратимый режим предусмотрен с возвратом с резервной секции на рабочую, как только на этой секции восстанавливается соответствующее качество передачи, и это состояние сохраняется в течение определенного периода времени, называемого «ожидание перед восстановлением».





Рисунок 5 – Резервирование секции мультиплексирования 1:1

Необратимый режим предусмотрен без автоматического возврата на рабочую секцию, однако этот возврат возможен при снижении качества передачи в резервной секции ниже качества рабочей секции. Кроме того, предусматривается принудительное (ручное) переключение на резервную секцию и обратно на рабочую.

При защите секции оптического мультиплексирования WDM OMS предусматривается деление мощности многоканального сигнала WDM пополам с последующей передачей в различных волокнах различных кабельных линий (Рисунок 6.). На приемной стороне оптический коммутатор, управляемый пороговым устройством контроля оптической мощности, гарантированно быстро (не более чем за 50 мс) может изменить направление приема оптического сигнала.

Помимо оптического защитного переключения в оптической сети OTN возможна реализация электронной схемы защитного переключения с использованием байт управления APS (Automatic Protection Switch) в заголовке ODUk [1].

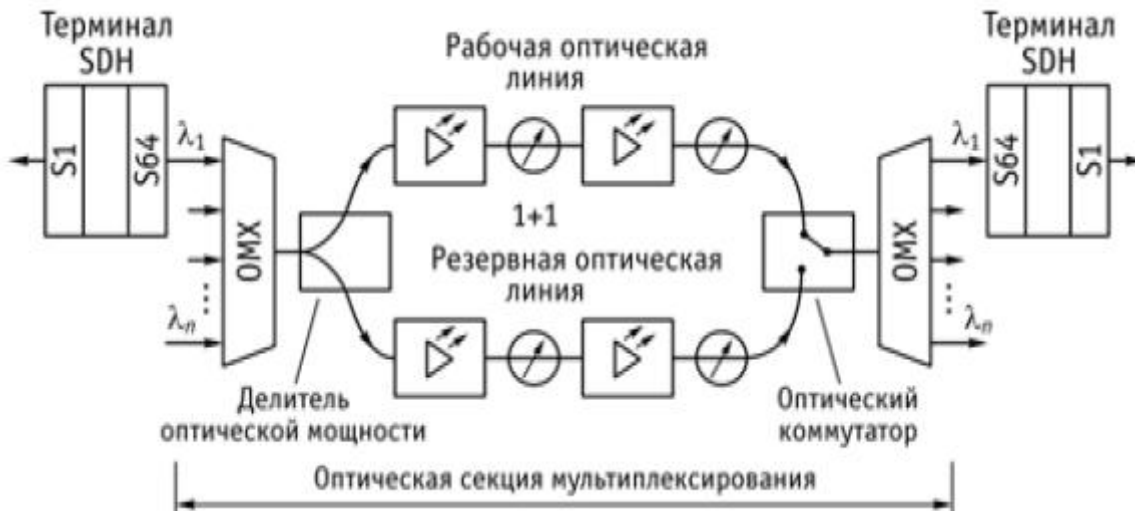


Рисунок 6 – Защита секции оптического мультиплексирования

Электрический разветвитель сигнала пользователя ESpl (Electrical Splitter – электрический сплиттер) делит сигнал между отдельными каналами, организуемыми через транспондеры (TPD) и оптические мультиплексоры и демultipлексоры (OMX, ODMX), а электрический коммутатор ESw (Electrical Switch) обеспечивает выбор лучшего сигнала на приёме (Рисунок 7).

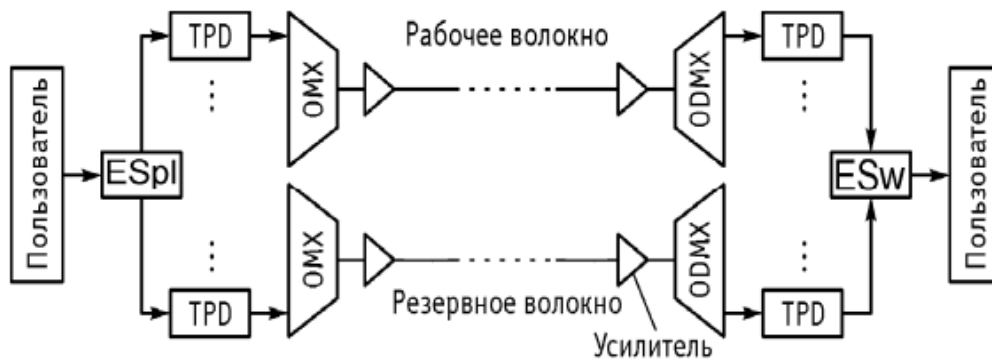


Рисунок 7 – Схема электрической защиты в оптической сети

Протокол защитного переключения APS уровня блока данных оптического канала ODUk реализуется через четыре байта заголовка ODUk [1].

## 2.2 Защита секции мультиплексирования в кольцевой сети

Кольцевая транспортная сеть может иметь ряд вариантов по организации защиты трафика пользователей в однонаправленном и двунаправленном кольцах. При этом различают защиту секций

мультиплексирования и защиту соединений подсети (защиту отдельных трактов). В предлагаемом разделе рассматривается защита секции мультиплексирования, обозначаемая MS-SPRing (Multiplex Section Shared Protected Rings). При такой защите независимо от организации кольца (одно или двунаправленное) все тракты переключаются на резервные ресурсы одновременно.

Пример построения схемы однонаправленного кольца на 2-х волокнах и функционирование защиты представлено на Рисунке 8а,б, где находятся пять сетевых элементов (А, Б, В, Г, Д) SDH (мультиплексоры выделения/ввода), через которые организовано соединение, например, тракт низкого порядка VC-12. Этот тракт заканчивается в сетевых элементах А и В, но проходит транзитом благодаря внутренней кроссовой коммутации через сетевые элементы Б, Г, Д.

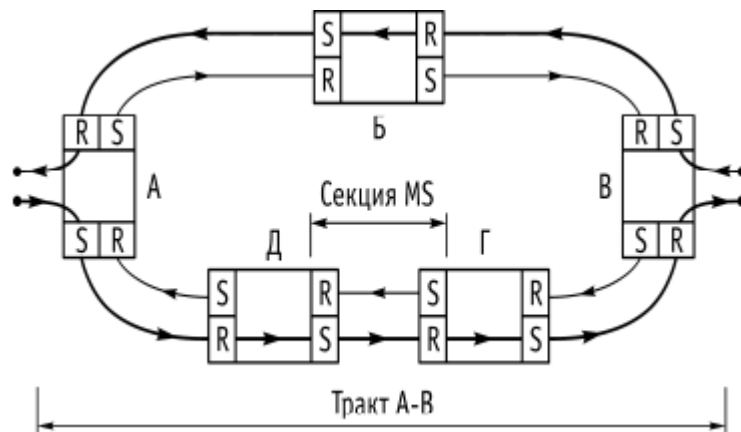


Рисунок 8а – Однонаправленное кольцо с защитой секции MS

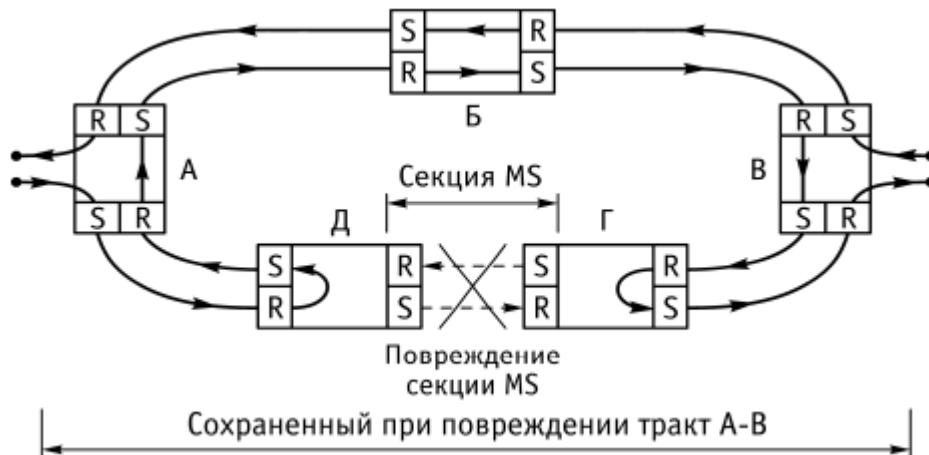


Рисунок 8б – Однонаправленное кольцо с защитой секции MS при повреждении линии



Аналогично можно организовать соединение между любой парой сетевых элементов. При этом между соседними сетевыми элементами организована 2-х волоконная передача STM-N между точками S и R, (S, sender – передача, R, receive – прием). Таким образом, создано два направления (два кольца) передачи независимые друг от друга (внутреннее и внешнее кольца). Все рабочие соединения транспортной сети в интересах пользователей организуются во внешнем кольце. Внутреннее кольцо на всех секциях мультиплексирования остается свободным от трафика и рассматривается как резерв для защиты любой секции мультиплексирования. Пример защитной реконфигурации в кольце показан на рис. 4.8б. Поврежденная секция мультиплексирования MS между сетевыми элементами Д и Г обходится за счет переконфигурации передачи из внешнего кольца на внутреннее и тем самым сохранения тракта А-В в рабочем состоянии, как и для других возможных трактов между любой парой сетевых элементов. Такие функции переключения реализуются на уровне VC-12 и VC-4. При большом количестве VC-12 и VC-4, например, в STM-64, реализовать эти функции одновременно представляет сложность в построении оборудования и программ управления. По этой причине подобные защиты секции MS рекомендованы для колец малой емкости, т.е. обычно не выше STM-4.

Для кольцевых сетей средней емкости (например, STM-16) может быть применена защита в двунаправленном кольце при работе каждой секции в 2-волоконном режиме (Рисунок 9а, б).

Каждая секция MS содержит два волокна, в каждом из которых ведется передача STM-N. При такой организации передачи необходимо иметь половину емкости STM-N свободной от соединений пользователей. Эта свободная емкость будет использоваться в качестве защитной (Рисунок 9б).

После устранения повреждения в кольце происходит восстановление рабочего состояния. Норматив времени на защиту составляет 50 мс. Однако при большом числе сетевых элементов выполнение этого норматива может быть затруднено длительным процессом обмена информацией между взаимодействующими мультиплексорами посредством байта K1, K2 в заголовках MSON.

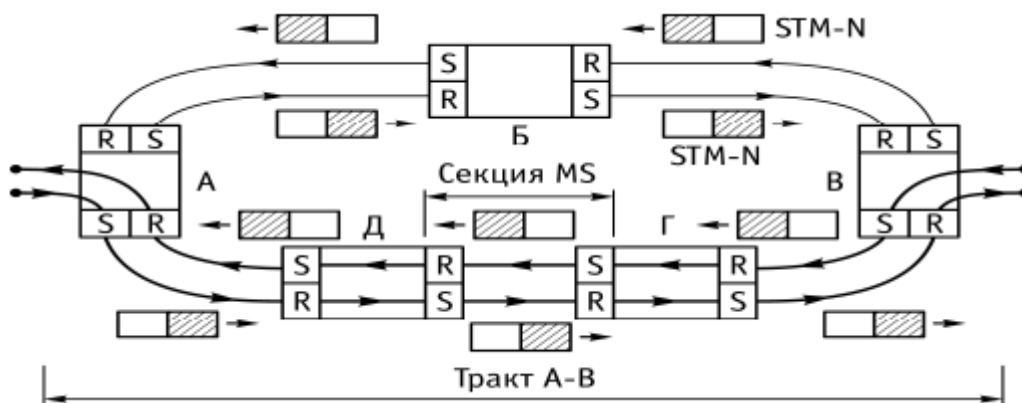


Рисунок 9а – Двухнаправленное кольцо с защитой секции MS

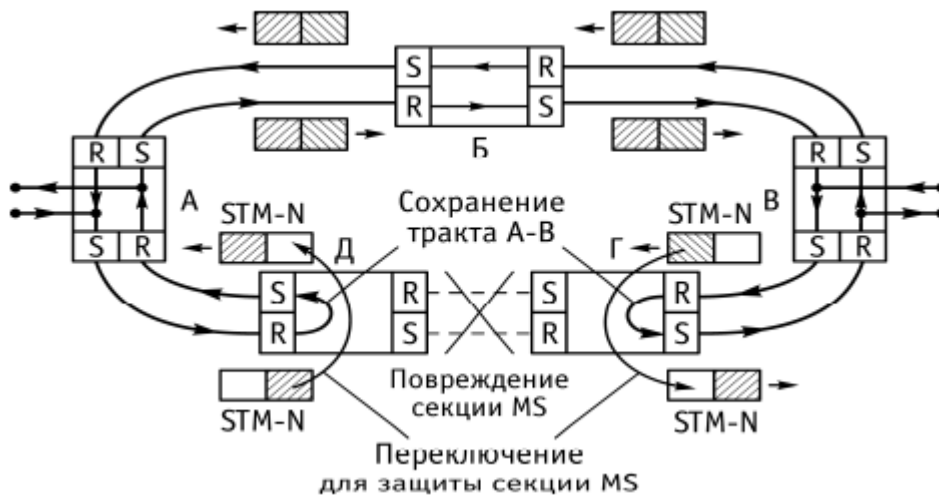


Рисунок 9б – Двухнаправленное кольцо с защитой секции MS при повреждении

Для кольцевой транспортной сети большой емкости, например, STM-64, может использоваться 4-х волоконное кольцо с двухнаправленной передачей и защитой секции мультиплексирования. В этом случае все соседние сетевые элементы в кольце должны соединяться двумя кабельными линиями с использованием двух пар волокон в каждой. Аппаратура сетевых элементов должна оснащаться четырьмя агрегатными интерфейсами (Рисунок 10а).

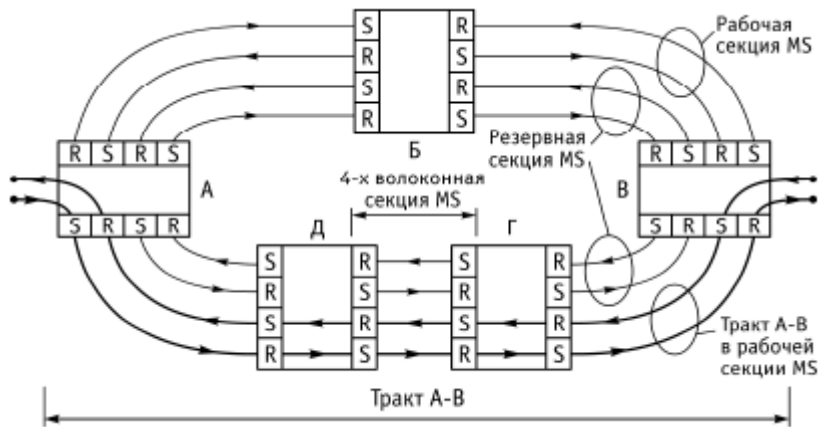


Рисунок 10а – 4-х волоконное кольцо с защитой секции MS

В 4-х волоконном кольце каждая секция мультиплексирования MS между соседними сетевыми элементами может быть использована полностью для соединений. При этом резервная секция, организованная по другим волокнам, полностью свободна от соединений на всех участках кольца. При повреждении любой секции MS в кольце должно произойти переключение на резервную секцию всех соединений сети. При этом все тракты сохраняются (Рисунок 10б).

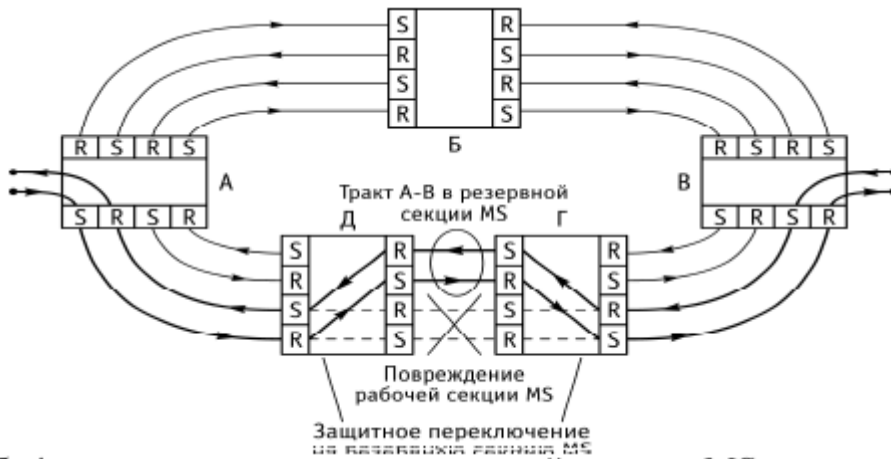


Рисунок 10б – 4-х волоконное кольцо с защитой секции MS при повреждении

Переключение происходит через функции MSP соседних мультиплексоров. Эти функции поддерживаются обменом байтами K1, K2 заголовков MSON резервной секции MS. Четырехволоконные кольцевые сети сохраняют свою работоспособность и при двойном повреждении любой из секций мультиплексирования MS (Рисунок 10в).

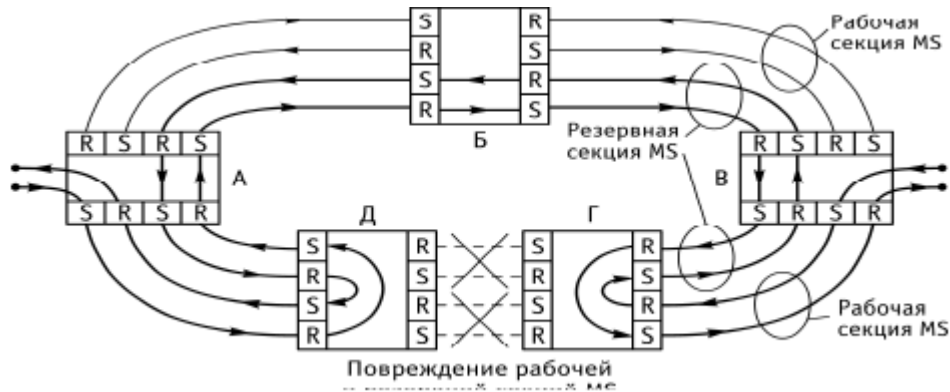


Рисунок 10в – 4-х волоконное кольцо с защитой секции MS при двойном повреждении

### 2.3 Защита соединения тракта

Защита соединений тракта транспортной сети может быть рассмотрена для линейной и кольцевой топологий. Функции защиты трактов высокого и низкого уровней поддерживаются оконечными (терминальными) и промежуточными и мультиплексорами. Кроме того, поддержка функций защиты программируется в матрицах коммутации, а промежуточный контроль качества трактов выполняется блоками функций тандемного контроля. Тракт, организованный в сложной разветвленной сети, разбивается на участки (подсети), где может быть реализована защита соединения SNC/P (Sub Network Connection Protection). Различают подвиды SNC/P:

- SNC/I, Sub Network Connection Protection with Inherent Monitoring – резервирование/защита на уровне соединения подсетей с внутренним мониторингом;
- SNC/N, Non-intrusively Monitored Sub-Network Connection protection – резервирование/защита на уровне соединения подсетей без внутреннего мониторинга.

Защита SNC/P проводится по схеме 1+1, т.е. на рабочий тракт должен быть предусмотрен свободный резервный. Защита SNC/P возможна и в смешанных сетях (кольцевых и линейных). При этом соединения могут выполняться одно- и двунаправленными. Пример построения однонаправленного соединения в кольцевой сети приведен на Рисунок 11а. Защитное переключение в этой сети показано на Рисунок 11б. При этом переключении соединение из однонаправленного преобразуется в двунаправленное. Время переключе-

ния для защиты соединения нормировано величиной 30мс, что при его соблюдении сохраняет трафик этого соединения, например, телефонные каналы.

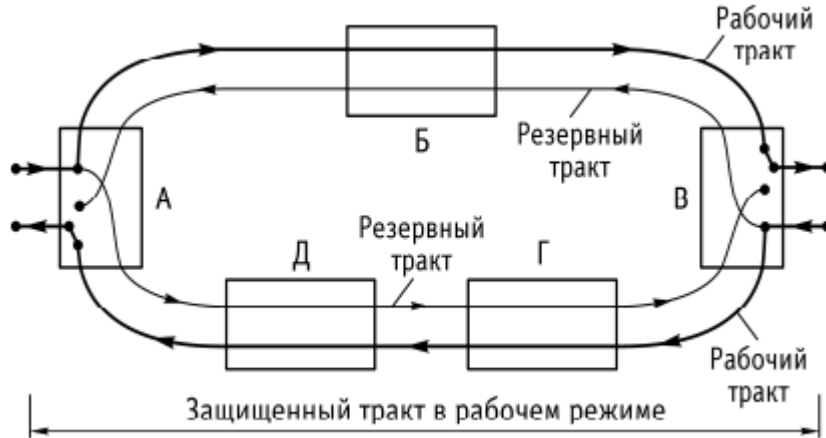


Рисунок 11а – Однонаправленное кольцо с защищенным трактом

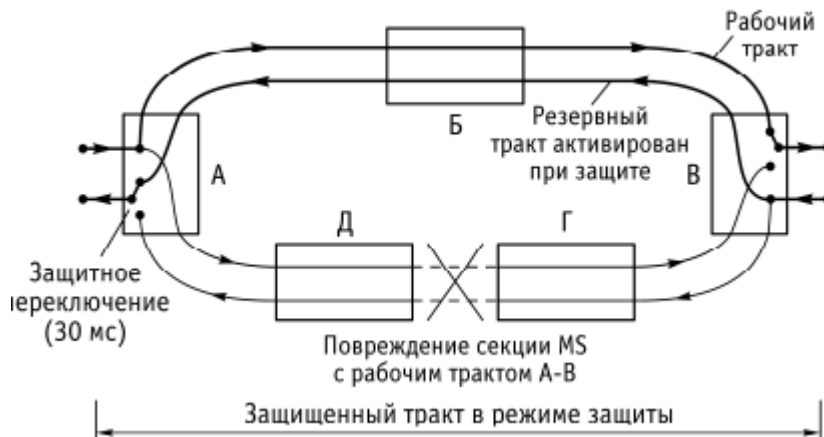


Рисунок 11б – Однонаправленное кольцо с защищенным трактом при повреждении секции мультиплексирования

Сложные смешанные линейные и кольцевые транспортные сети имеют развитый механизм защиты SNC/P. Этот механизм реализуется через кроссовые коммутаторы, через двойные пересечения транспортных колец и т.д. Тракты, состоящие из цепочек соединений SNC должны иметь в таких сетях надежную защиту. На рис. 4.12а приведен пример организации соединения типа SNC/P в двойной кольцевой сети. На Рисунке 12 а и б показаны примеры защитных коммутаций SNC/P на отдельных участках соединения тракта.

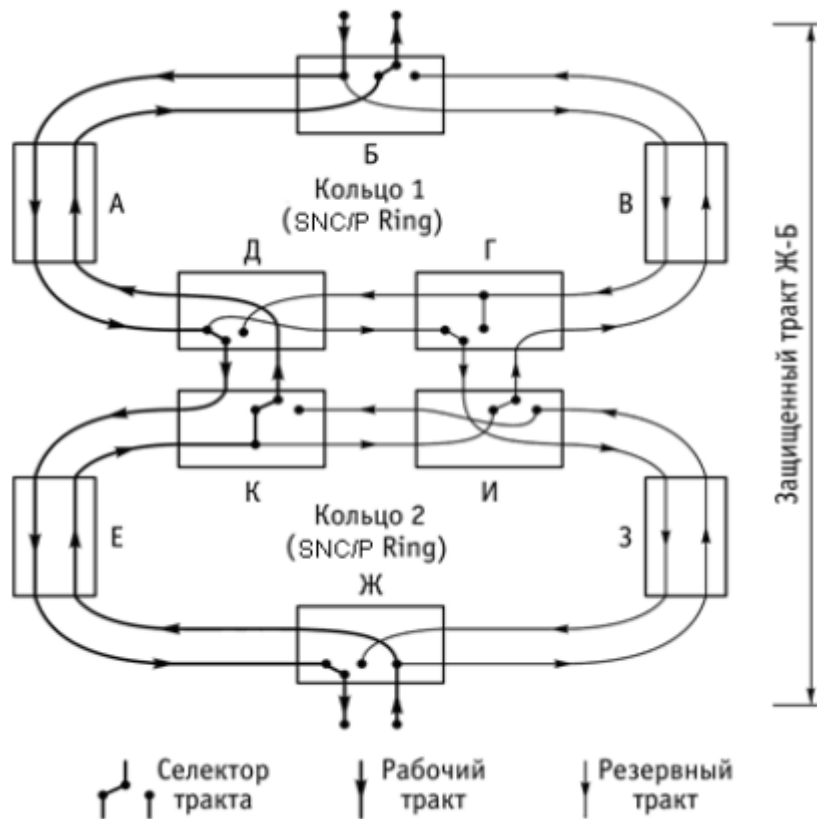


Рисунок 12а – Структура защищаемого тракта в двух взаимодействующих кольцевых подсетях (SNC/P) в рабочем режиме

Поставщики сетевого оборудования для транспортных сетей используют различные системы обозначений механизмов организации защитных переключений.

в Европе принято обозначать:

- 2F-MS-SPRing, 2 Fiber Multiplex Section Shared Protected Rings – 2-х волоконная секция мультиплексирования с применением защиты колец;

- 4F-MS-SPRing, 4 Fiber Multiplex Section Shared Protected Rings – 4-х волоконная секция мультиплексирования с применением защиты колец;

- 2F-SNC/P, 2 Fiber-Sub-Network Connection Protection Ring – 2-х волоконное соединение подсети с защитой в кольце. В Северной Америке и некоторых других странах принято обозначать:

- 2F BLSR, 2 Fiber Bi-directional Line-Switched Ring – 2-х волоконное двунаправленное кольцо с защитным переключением линейных сегментов;



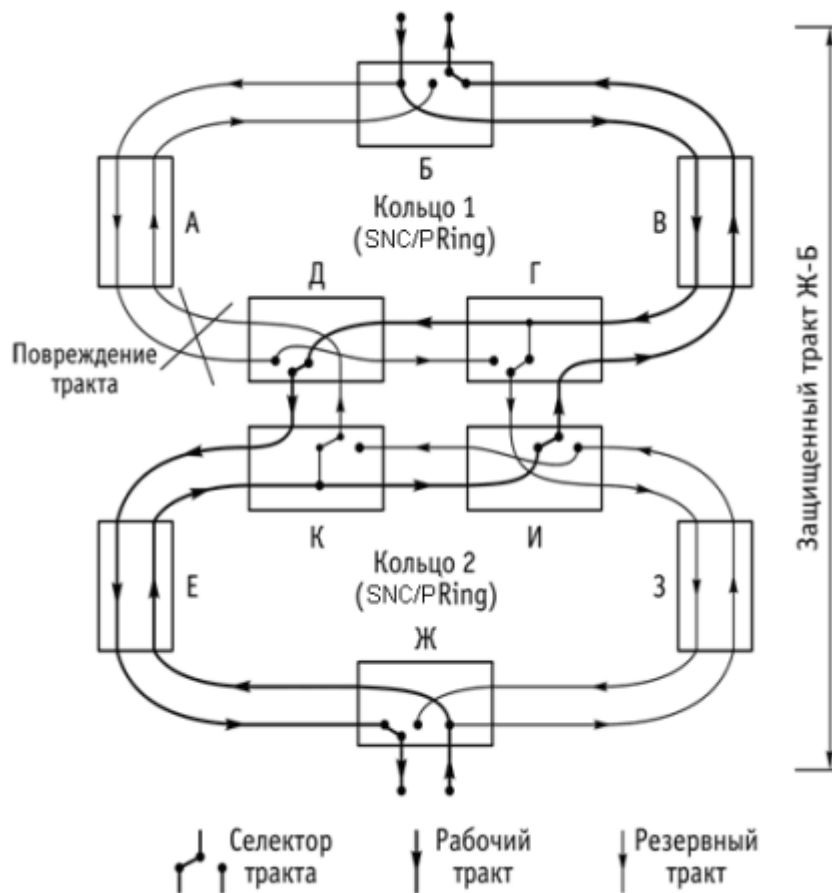


Рисунок 12б – Структура защищаемого тракта в двух взаимодействующих кольцевых подсетях (SNC/P) в режиме повреждения тракта в первом кольце

4F BLSR, 4 Fiber Bi-directional Line-Switched Ring – 4-х волоконное двунаправленное кольцо с защитным переключением линейных сегментов; 2F UPSR, 2 Fiber Unidirectional Path-Switched ring – 2-х волоконное однонаправленное кольцо с переключением тракта. Эти обозначения в своем порядке перечисления соответствуют: 2F-MS-SPRing и 2F BLSR; 4F-MS-SPRing и 4F BLSR; 2F-SNCP и 2F UPSR.

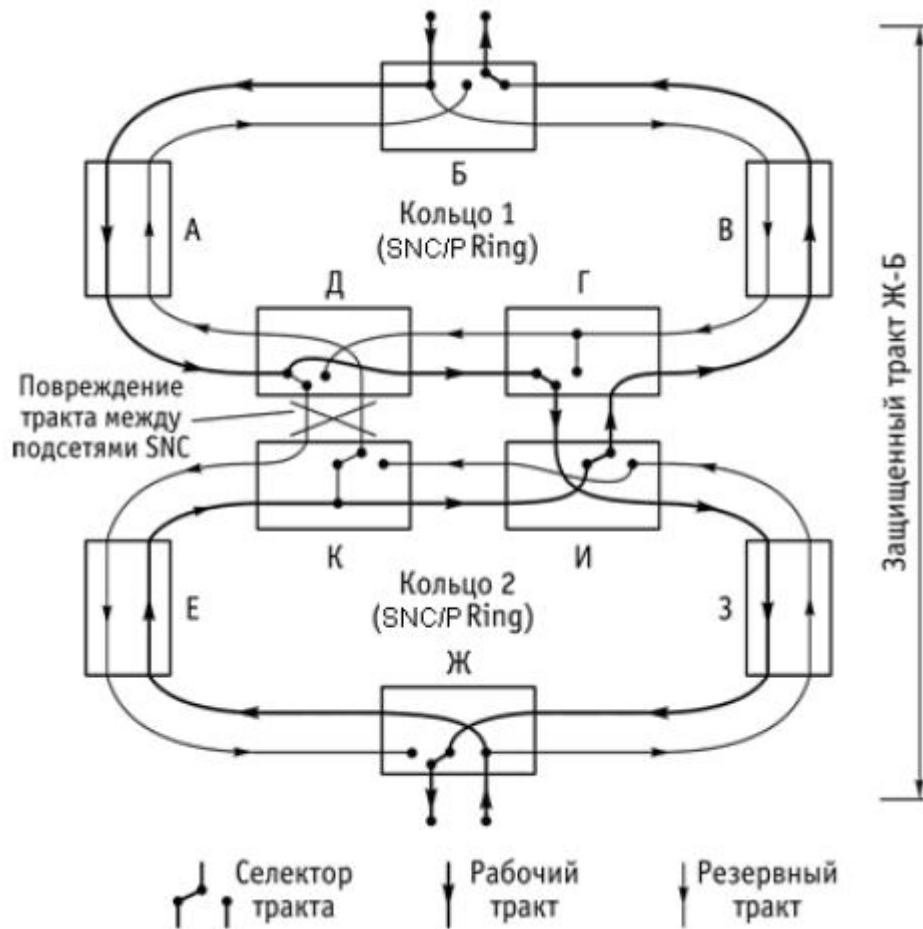


Рисунок 12в – Структура защищаемого тракта в двух взаимодействующих кольцевых подсетях (SNC) в режиме повреждения тракта между подсетями

### 3 Защитные переключения в сети с многоканальной передачей WDM

Функции защитных переключений оптических каналов в сети с многоканальной передачей возлагаются на фотонные коммутаторы. Эти коммутаторы имеют различные конструкции и характеристики, в частности, что важно для переключения, быстродействие. Применение указанных коммутаторов в транспортных сетях определяется этапом развития последних. Защита соединений на уровнях трактов, секций и каналов в кольцевых и ячеистых оптических сетях возможно только с развитым сервисным управлением по отдельным каналам. Это обусловлено необходимостью маршрутизации рабочих и защитных оптических соединений, преобразованием

волн в узлах и их динамическим управлением. В оптических сетях с коммутацией волн и пакетов на волнах динамическая защита является непременным условием реализации. Для реализации динамической защиты на уровне соединений каналов и трактов оптической сети необходимо применение быстродействующих коммутаторов и частотных селекторов WSS (Wavelength Selective Switch). Такой WSS обеспечивает коммутацию волновых каналов по направлениям (маршрутам), поддерживает выделение и ввод волновых каналов, регулирует уровень мощности каждого канала (Рисунок 13).

Использование групп WSS совместно с оптическими мультиплексорами и демультимплексорами позволяет строить узлы выделения /ввода с защитой волновых каналов, групп волновых каналов (оптических модулей), маршрутов (трактов) и секций мультиплексирования и передачи. Пример построения сети с переключением волн в WSS и использованием этой коммутации для защиты соединений отдельных волнах приведен на Рисунке 14.

Для обозначения защитных функций в оптических сетях кольцевого типа используются обозначения с приставкой «O»:

O-ULSR или OMS-DPRing (1+1) – (1:1);

O-BLSR или OMS-SPRing (1:N) – (M:N);

O-UPSR или OCh-DPRing (1+1) – (1:1);

O-BPSR или OCh-SPRing (1:N) – (M:N).

Буквенные индексы D и S обозначают:

D – *dedicated fiber line* или Wavelength, т.е. переключение на назначенное резервное волокно или оптическую волну (волновой канал OCh);

S – *shared fiber link* и Wave length, т.е. переключение на определенную волоконную линию или волну (оптический канал OCh).

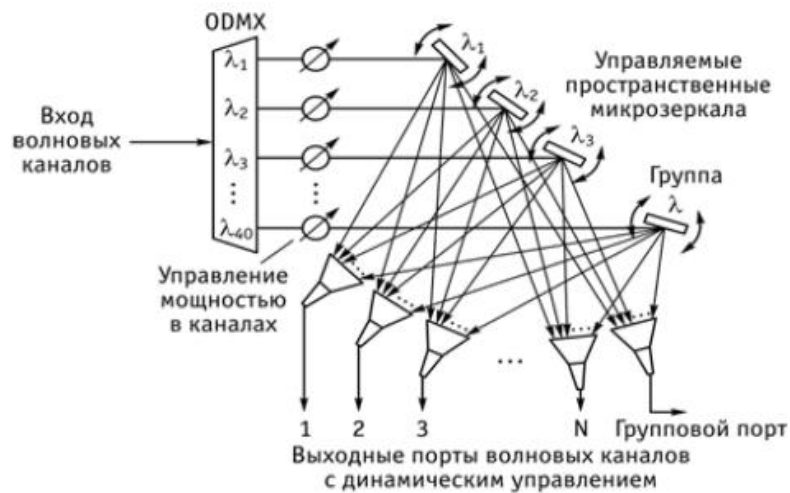


Рисунок 13 – Пример общего построения динамически управляемого частотного селектора-коммутатора WSS

Возможности защитного переключения на уровне АТМ согласно Рекомендации МСЭ-Т I.630 могут быть обеспечены на уровне виртуальных путей VP или виртуальных каналов VC.

Определены пять различных схем защиты VP и VC:

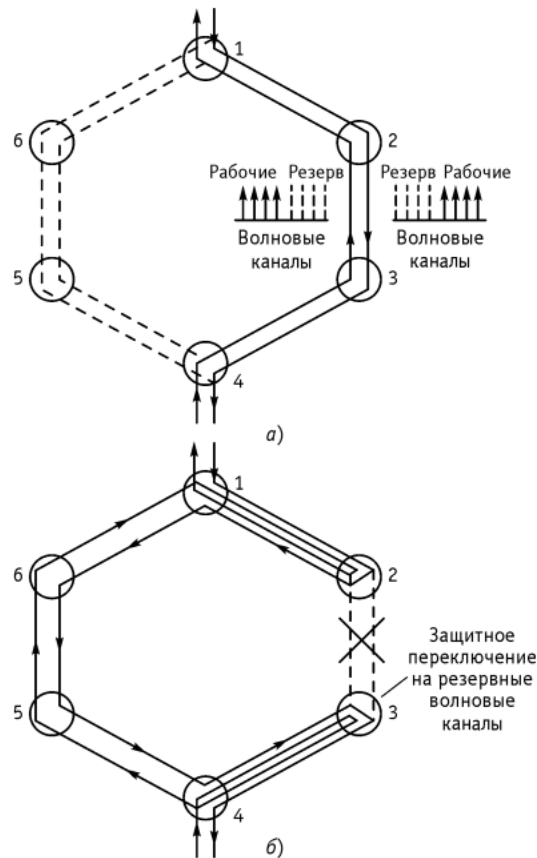
1) 1+1/1:1 защита тракта; 1+1/1:1 защита соединения SNC/S (1+1/1:1 sublayer monitored subnetwork connection protection) с внутренним мониторингом соединения подсети;

2) 1+1 защита соединения SNC/N (1+1 non-intrusive monitored individual VP/VC subnetwork connection protection - только однонаправленная) без внутреннего мониторинга;

3) 1+1/1:1 групповая защита тракта/Т;

4) 1+1/1:1 групповая защита соединения SNC/Т (1+1/1:1 test trail monitored subnetwork connection protection) с тестируемым мониторингом тракта.

Все эти виды защиты обеспечиваются потоком служебных ячеек управления сети АТМ.



а) рабочее состояние; б) состояние защиты

Рисунок 14 – Пример защищенного двунаправленного оптического соединения в кольцевой сети OMS-SPRing

Соединения в транспортных сетях Ethernet могут защищаться как средствами физического уровня, так и протокольными средствами.

Средства физического уровня используются при организации соединений через среды SDH, OTN, RPR, PDH, в которых предусмотрены встроенные средства автоматического защитного переключения в интервале времени менее 50 мс. Это гарантирует сохранение соединений сети Ethernet. Однако при построении локальных сетей, сетей доступа, местных и внутризональных транспортных сетей Ethernet с использованием различных электрических и оптических интерфейсов для поддержки физических соединений типа «точка-точка» средств APS физического уровня может и не быть.

Для разветвленной физической конфигурации сети Ethernet может использоваться протокол «охвата деревьев» STP (Spanning

Tree Protocol), который создает несколько путей прохождения трафика. Один из путей в нормальном режиме используется, а остальные заблокированы. При аварии происходит активизация одного из резервных путей. Время защитного переключения может составлять от 10мс до 1с в зависимости от топологии сети, что не гарантирует высокого качества соединения сети Ethernet. По этой причине МСЭ-Т ведет непрерывную работу над стандартизацией функций защитного переключения в транспортных сетях Ethernet. Примером этому являются рекомендации G.8031 и G.8032, в которых определены протоколы E-APS (Ethernet Automatic Protection Switching). Они предусматривают защитные переключения соединений сети Ethernet следующих видов:

- 1+1, т.е. трафик одновременно следует от одной точки к другой двумя независимыми виртуальными путями с выбором лучшего на приеме;

- 1:1, т.е. трафик следует только в одном пути от точки к точке, а другой альтернативный путь создан, но не используется до аварийного состояния рабочего пути;

- архитектура защиты может иметь одно или два направления;
- протокол G.8031 не поддерживает кольцевые и смешанные физические соединения в сети, протокол G.8032 поддерживает эти соединения;

- протоколы не поддерживают защитные соединения STP;
- протоколы реализуются через служебные кадры Ethernet, поддерживающие соединения с функциями технической эксплуатации OAM и TCM.

При реализации E-APS для линейной сети гарантируется время переключения до 50мс.

Согласно рекомендации G.8032 в кольцевых сетях Ethernet протоколом RAPS может поддерживаться режим защитных переключений соединений также за время 50 мс.

Механизмы защитных переключений в транспортных сетях с использованием технологии T-MPLS аналогичны рассмотренным для ATM.



#### 4 Задание

Используя вышеизложенный материал и базе прошлых лабораторных работ, схематично изобразить тип резервирования согласно варианту (таблица 1) с кратким письменным пояснением каждого этапа прохождения сигнала транспортной сети.

Таблица 1 – Варианты заданий лабораторной работы

| Номер варианта | Тип структуры резервирования   |
|----------------|--|
| 1              | Структура защищаемого тракта в двух взаимодействующих кольцевых подсетях (SNC) в режиме повреждения тракта между подсетями   |
| 2              | Структура защищаемого тракта в двух взаимодействующих кольцевых подсетях (SNC/P) в режиме повреждения тракта в первом кольце |
| 3              | Структура защищаемого тракта в двух взаимодействующих кольцевых подсетях (SNC/P) в рабочем режиме                            |
| 4              | Однонаправленное кольцо с защищенным трактом   |
| 5              | 4-х волоконное кольцо с защитой секции MS  |
| 6              | 4-х волоконное кольцо с защитой секции MS при повреждении  |
| 7              | Двунаправленное кольцо с защитой секции MS при повреждении   |
| 8              | Однонаправленное кольцо с защитой секции MS при повреждении линии  |
| 9              | Однонаправленное кольцо с защитой секции MS  |
| 10             | Защита секции оптического мультиплексирования  |

## **5 Контрольные вопросы**

1. Почему необходима защита аппаратуры и соединений в транспортных сетях?
2. Где определены базовые принципы защиты транспортных сетей?
3. Какие участки соединений транспортной сети подлежат защите?
4. Что называют защищенным трактом?
5. Что называют соединением подсети?
6. Какие секции мультиплексирования подлежат защите?
7. Чем отличаются однонаправленные и двунаправленные соединения транспортных сетей?

## Библиографический список

1. Фокин, В. Г. Оптические системы с терабитными и петабитными скоростями передачи : учебное пособие / В. Г. Фокин, Р. З. Ибрагимов. – Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. – 156 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=694669> (дата обращения 16.11.2023). – Режим доступа : по подписке. – Текст : электронный.
2. Современные информационные каналы и системы связи : учебник / В. А. Майстренко, А. А. Соловьев, М. Ю. Пляскин, А. И. Тихонов. - Омск : Издательство ОмГТУ, 2017. - 452 с. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=493441> (дата обращения 16.11.2023) . - Режим доступа : по подписке. - Текст : электронный.
3. Скляр, О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи : учебное пособие / О. К. Скляр. – Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 266 с. – URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=117684> (дата обращения 27.10.2023). – Режим доступа : по подписке. – Текст : электронный.
4. Фокин, В. Г. Гибкие транспортные сети : учебное пособие / В. Г. Фокин, Р. З. Ибрагимов. – 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2022. – 272 с. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=695042> (дата обращения 26.10.2023). – Режим доступа : по подписке. – Текст : электронный.
5. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей : учебное пособие / Е. Б. Алексеев [и др.] ; под ред. В. Н. Гордиенко и М. С. Тверецкого. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2014. - 391 с. - Текст : непосредственный.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполнения лабораторных работ студент формирует следующие компетенции:

| Код компетенции/<br>этап<br>(указывается название этапа из п.7.1) | Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)  | Критерии и шкала оценивания компетенций   |   |   |  |
|---|---|---|---|---|--|
|   |   | Недостаточный уровень («неудовл.»)  | Пороговый уровень («удовлетворительно»)   | Продвинутый уровень («хорошо»)  | Высокий уровень («отлично»)  |
| 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  |
| ПК-2/<br>Основной, завершающий.                                   | ПК-2.1<br>Контролирует соблюдение утвержденных проектных решений при подготовке исполнительной документации.<br>ПК-2.2<br>Уточняет проектную документацию и вносит изменения при изменении тех- | <b>Знать:</b><br>Отдельные методы проектирования и разработки интерфейсных модулей сетевых узлов, создания структурированных кабельных систем, в том числе для малых космических аппаратов.<br>Демонстрирует менее 60% знаний, указанных в таблице 1.3 для ПК-2. Обу- | <b>Знать:</b><br>Основные методы проектирования и разработки интерфейсных модулей сетевых узлов, создания структурированных кабельных систем, в том числе для малых космических аппаратов.<br>Демонстрирует 60-74% знаний, указанных в таблице 1.3 для ПК-2. Знания | <b>Знать:</b><br>Методы проектирования и разработки интерфейсных модулей сетевых узлов, создания структурированных кабельных систем, в том числе для малых космических аппаратов.<br>Демонстрирует 75-89% знаний, указанных в таблице 1.3 для ПК-2. | <b>Знать:</b><br>Эффективные современные методы проектирования и разработки интерфейсных модулей сетевых узлов, создания структурированных кабельных систем, в том числе для малых космических аппаратов.<br>Демонстрирует 90-100% знаний, указан- |

| Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1) | Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной)                   | Критерии и шкала оценивания компетенций  |  |   |  |
|---|--|--|--|---|--|
|   |  | Недостаточный уровень («неудовл.»)   | Пороговый уровень («удовлетворительно»)  | Продвинутый уровень (хорошо)  | Высокий уровень («отлично»)  |
| 1   | 2  | 3  | 4  | 5   | 6  |
|   | <p>нических решений. ПК-2.3 Разрабатывает исполнительную документацию в составе группы соисполнителей-смежников.</p> | <p>чающийся нуждается в постоянных подсказках; допускает грубые ошибки, которые не может исправить самостоятельно.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять отдельные методы проектирования и разработки интерфейсных модулей сетевых узлов, создания структурированных кабельных систем, в том числе для малых космических аппаратов.</p> | <p>обучающегося имеют поверхностный характер, имеют место неточности и ошибки.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять основные методы проектирования и разработки интерфейсных модулей сетевых узлов, создания структурированных кабельных систем, в том числе для малых космических аппаратов. В целом сформированные, но вызы-</p> | <p>Обучающийся имеет хорошие, но не исчерпывающие знания; допускает неточности.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять методы проектирования и разработки интерфейсных модулей сетевых узлов, создания структурированных кабельных систем, в том числе для малых космических аппаратов. Сформированные и самостоятельно</p> | <p>ных в таблице 1.3 для ПК-2. Знания обучающегося являются прочными и глубокими, имеют системный характер. Обучающийся свободно оперирует знаниями.</p> <p><b>Уметь:</b> Применять эффективные современные методы проектирования и разработки интерфейсных модулей сетевых узлов, создания структу-</p> |

| Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1) | Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной) | Критерии и шкала оценивания компетенций  |  |  |   |
|---|--|--|--|--|---|
|   |  | Недостаточный уровень («неудовл.»)   | Пороговый уровень («удовлетворительно»)  | Продвинутый уровень (хорошо)   | Высокий уровень («отлично»)   |
| 1   | 2  | 3  | 4  | 5  | 6   |
|   |  | <p>Демонстрирует менее 60% умений, установленных в таблице 1.3 для ПК-2.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения отдельных методов проектирования и разработки интерфейсных модулей сетевых узлов, создания структурированных кабельных систем, в том числе для малых космических аппаратов.</p> <p>Навыки, указанные в таблице 1.3 для</p> | <p>вающие затруднения при самостоятельном применении умения, указанные в таблице 1.3 для ПК-2.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения основных методов проектирования и разработки интерфейсных модулей сетевых узлов, создания структурированных кабельных систем, в том числе для малых космических аппаратов.</p> <p>Навыки, ука-</p> | <p>применяемые умения, указанные в таблице 1.3 для ПК-2.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения методов проектирования и разработки интерфейсных модулей сетевых узлов, создания структурированных кабельных систем, в том числе для малых космических аппаратов.</p> <p>Навыки, указанные в таблице 1.3 для ПК-2,</p> | <p>рированных кабельных систем, в том числе для малых космических аппаратов.</p> <p>Хорошо развитые, уверенно и успешно применяемые умения, указанные в таблице 1.3 для ПК-2.</p> <p><b>Владеть:</b> Навыками применения эффективных современных методов проектирования и разработки интерфейсных модулей сетевых уз-</p> |



| Код компетенции/ этап (указывается название этапа из п.7.1) | Показатели оценивания компетенций (индикаторы достижения компетенций, закрепленные за дисциплиной) | Критерии и шкала оценивания компетенций |  |                              |  |
|---|--|---|--|------------------------------|--|
|   |  | Недостаточный уровень («неудовл.»)      | Пороговый уровень («удовлетворительно»)                        | Продвинутый уровень (хорошо) | Высокий уровень («отлично»)  |
| 1   | 2  | 3                                       | 4  | 5                            | 6  |
|   |  | ПК-2, не развиты                        | занные в таблице 1.3 для ПК-2, развиты на элементарном уровне. | хорошо развиты.              | лов, создания структурированных кабельных систем, в том числе для малых космических аппаратов. Навыки, указанные в таблице 1.3 для ПК-2, хорошо развиты. |

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

(обязательное)

**Форма титульного листа отчета, обучающегося о выполненной лабораторной работе****МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет»

Кафедра космического приборостроения и систем связи

**ОТЧЕТ**

о выполненной лабораторной работе по дисциплине

«Проектирование оптических сетей доступа»

на тему «\_\_\_\_\_»

Выполнил

\_\_\_\_\_  
(подпись)

/Фамилия, инициалы/

Проверил

\_\_\_\_\_  
(подпись)

/Фамилия, инициалы/

Курск 20\_\_\_\_\_