

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

Факультет инфокоммуникаций

Кафедра инфокоммуникационных технологий

**А. С. Зеленин, Н. В. Тарченко, В. Н. Урядов**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ.  
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

*Рекомендовано УМО по образованию в области информатики  
и радиоэлектроники в качестве учебно-методического пособия для направлений  
специальности 1-45 01 01-01 «Инфокоммуникационные технологии (системы  
телекоммуникаций)», 1-45 01 01-03 «Инфокоммуникационные технологии  
(системы телекоммуникаций специального назначения)»*

Минск БГУИР 2018

УДК 654.1:004-027.31(076)

ББК 32.883-02я73

3-48

**Р е ц е н з е н т ы:**

кафедра связи учреждения образования  
«Военная академия Республики Беларусь»  
(протокол №12 от 13.02.2017);

доцент кафедры робототехнических систем  
факультета информационных технологий и робототехники  
Белорусского национального технического университета,  
кандидат технических наук, доцент Ф. Л. Сиротин

**Зеленин, А. С.**

3-48 Проектирование инфокоммуникационных сетей. Курсовое проектирование: учеб.-метод. пособие / А. С. Зеленин, Н. В. Тарченко, В. Н. Урядов. – Минск : БГУИР, 2018. – 84 с. : ил.  
ISBN 978-985-543-376-8.

Содержит методические указания по выполнению курсового проектирования.

**УДК 654.1:004-027.31(076)**  
**ББК 32.883-02я73**

**ISBN 978-985-543-376-8**

© Зеленин А. С., Тарченко Н. В.,  
Урядов В. Н., 2018

© УО «Белорусский государственный  
университет информатики  
и радиоэлектроники», 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ .....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	7
<b>1 СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ ...</b>	<b>8</b>
<b>2 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ .....</b>	<b>12</b>
2.1 Общие сведения .....	12
2.2 Общие принципы построения первичных сетей .....	16
2.3 Расчет пропускной способности каналов внутризонавой телефонной сети.....	18
2.4 Расчет пропускной способности каналов внутризонавой сети передачи данных.....	25
<b>3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ТОПОЛОГИИ СЕТИ .....</b>	<b>29</b>
<b>4 ГРУППИРОВАНИЕ И МАРШРУТИЗАЦИЯ ТРАФИКА.....</b>	<b>31</b>
<b>5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ОБОРУДОВАНИЯ ВНУТРИЗОНОВОЙ СЕТИ .....</b>	<b>34</b>
5.1 Оборудование сетевого узла внутризонавой телефонной сети .....	34
5.2 Конфигурация мультиплексорных узлов внутризонавой сети передачи данных .....	36
<b>6 ОСОБЕННОСТИ И АРХИТЕКТУРА ТЕХНОЛОГИИ OTN .....</b>	<b>37</b>
6.1 Технология OTN как технология транспортного уровня .....	37
6.2 Иерархия скоростей OTN.....	40
6.3 Архитектура и состав оборудования OTN .....	46
<b>7 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА ВНУТРИЗОНОВОЙ СЕТИ .....</b>	<b>60</b>
7.1 Выбор оборудования транспортной сети .....	60
7.2 Основные характеристики используемого оптического волокна.....	61
7.3 Расчет диаграммы уровней в линейном тракте .....	62
7.4 Расчет накапливаемой дисперсии в линейном тракте .....	63
7.5 Конфигурация мультиплексорных узлов транспортной внутризонавой сети .....	66
<b>8 РАСЧЕТ НОРМ НА ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ .....</b>	<b>68</b>
<b>9 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТИ ТАКТОВОЙ СЕТЕВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ .....</b>	<b>74</b>
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	80
ЛИТЕРАТУРА.....	81

## СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ADM	Add-drop Multiplexer – мультиплексор ввода-вывода
BBE	Background Block Error – блок с фоновой ошибкой
BBER	Background Block Error Ratio – коэффициент блоков с фоновыми ошибками
DCM	Dispersion Compensation Module – модуль компенсации дисперсии
DWDM	Dense Wavelength-Division Multiplexing – плотное спектральное уплотнение
EOW	Engineering Order Wire – канал служебной связи
ES	Errored Second – секунда с ошибками
ESCON/ FICON	Enterprise Server CONnection / FIber CONnection – волоконный канальный интерфейс, обеспечивающий обмен информацией между сервером и периферийными устройствами
ESR	Errored Second Ratio – коэффициент секунд с ошибками
FA	Frame Alignment – выравнивание кадра
FC	Fiber Channel – семейство протоколов для высокоскоростной передачи данных
FE	Fast Ethernet – протокол передачи данных со скоростью 100 Мбит/с
FEC	Forward Error Correction – прямая коррекция ошибок
FOADM	Fixed Optical Add-Drop Multiplexer – фиксированный оптический мультиплексор ввода-вывода
GE	Gigabit Ethernet
IMS	IP Multimedia Subsystem – мультимедийная подсистема на основе протокола IP
IP-TV	Internet Protocol Television – телевидение по IP-протоколу
ITU-T	International Telecommunication Union (Telecommunication Standardization) – Международный союз электросвязи (сектор стандартизации)
MSP	Multiplex Section Protection – защита линейной мультиплексорной секции
OADM	Optical Add-Drop Multiplexer – оптический мультиплексор ввода-вывода
OCh	Optical Channel – оптический канал
ODU	Optical Channel Data Unit – блок данных оптического канала
OMS	Optical Multiplex Section – оптическая мультиплексорная секция

OP	Optical Protection – оптическая защита
OPS	Optical Physical Section – оптическая физическая секция
OPU	Optical Channel Payload Unit – блок пользовательских данных оптического канала
OTH	Optical Transport Hierarchy – оптическая транспортная иерархия
OTM	Optical Transport Module – оптический транспортный модуль
OTN	Optical Transport Network – оптическая транспортная сеть
OTR	Optical Transponder – оптический транспондер
OTS	Optical Transmission Section – оптическая транспортная секция
OTU	Optical Channel Transport Unit – транспортный блок оптического канала
OWSP	Optical Wavelength Shared Protection – защита с совместным использованием ресурсов спектральных каналов
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy – плезиохронная цифровая иерархия
PMD	Polarization Mode Dispersion – поляризационно-модовая дисперсия
PRC	Primary Reference Clock – первичный эталонный генератор
ROADM	Reconfiguration Optical Add-Drop Multiplexer – реконфигурируемый оптический мультиплексор ввода-вывода
SAN	Storage Area Network – сеть хранения данных
SDH	Synchronous Digital Hierarchy – синхронная цифровая иерархия
SEC	SDH Equipment Clock – генератор оборудования SDH
SES	Severely Errored Second – секунда, пораженная ошибками
SESR	Severely Errored Second Ratio – коэффициент секунд пораженных ошибками
SNCP	Sub-Network Connection Protection – защита соединений подсети
SPRing	Shared Protection Ring – защита кольца с разделением ресурсов
SSM	Synchronization Status Message – сообщение о статусе синхронизации
SSU	Synchronization Supply Unit – ведомый задающий генератор
STM-n	Synchronous Transport Module – синхронный транспортный модуль уровня $n$
TM	Terminal Multiplexer – терминальный мультиплексор
VoIP	Voice over Internet Protocol – IP-телефония
VPN	Virtual Private Network – виртуальная частная сеть
WDM	Wavelength-Division Multiplexing – спектральное уплотнение
AMTC	автоматическая междугородная телефонная станция

АТС	автоматическая телефонная станция
ВКС	видео-конференц-связь
ВПС	внутризоновая первичная сеть
ВС	вторичная сеть
ГТС	городская телефонная сеть
ЕСЭ	единая сеть электросвязи
ЗСЛ	заказно-соединительные линии
КП	курсовое проектирование
ЛС	линия электросвязи
МСП	местная сеть первичная
НЦ	номинальная цепь
ОВ	оптическое волокно
ОЦК	основной цифровой канал
ПЗ	пояснительная записка
ПП	переговорный пункт
ПС	первичная сеть
ПЦК	первичный цифровой канал
ПЦС	первичный цифровой сигнал
РАТС	районная автоматическая телефонная станция
РЦ	районный центр
СЛМ	соединительные линии междугородные
СМП	сеть магистральная первичная
СПД	сеть передачи данных
СС	сетевая станция
СТС	сельская телефонная сеть
СУ	сетевой узел
ТЗ	техническое задание
ТСС	тактовая сетевая синхронизация
ТфОП	телефонная сеть общего пользования
УЭТ	условный эталонный тракт
ЦС	центральная станция района
ЦСП	цифровая система передачи
ШПД	широкополосный доступ
ЭС	электросвязь

## ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень развития телекоммуникаций требует от грамотного инженера знаний основных принципов построения и проектирования инфокоммуникационных сетей различного назначения. В связи с этим студентам направлений специальности «Инфокоммуникационные технологии (*системы телекоммуникаций*)» и «Инфокоммуникационные технологии (*системы телекоммуникаций специального назначения*)» предлагаются дисциплины, освещающие все основные вопросы в области построения цифровых систем и сетей телекоммуникаций. Однако в определенной мере овладеть знаниями в данных областях можно, только применив их при решении конкретных задач на этапе проектирования. В пособии рассматриваются вопросы проектирования инфокоммуникационных сетей на примере участка транспортной (внутризоновой) сети.

В ходе выполнения курсовой работы студент знакомится с основными этапами проектирования, методиками расчета основных характеристик сети, структурной схемой и функциональными блоками оборудования транспортных сетей.

Немаловажным является и то, что при написании курсовой работы студент получает возможность пройти основные этапы проектирования, понять взаимосвязь между ними, необходимость корректирующих действий при проектировании, знакомится с характеристиками телекоммуникационного оборудования и учится обоснованно выбирать оборудование для реализации сети с требуемыми характеристиками.

# 1 СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Содержание расчетно-пояснительной записки определяется характером технического задания и включает следующие компоненты.

Титульный лист.

Задание по курсовой работе (на бланке установленного образца).

Содержание.

Введение.

1. Расчет объема трафика, передаваемого в проектируемой сети.
2. Оптимизация физической топологии сети.
3. Выбор оборудования для передачи сигналов клиентского трафика.
  - 3.1. Обоснование выбора уровня STM-n.
  - 3.2. Выбор оборудования SDH и определение сетевых интерфейсов.
  - 3.3. Расчет номенклатуры и объема устанавливаемых в сетевых узлах сменных блоков.
  - 3.4. Выбор оборудования для передачи данных и определение сетевых интерфейсов.
4. Проектирование линейного тракта.
  - 4.1. Выбор оборудования транспортной сети.
  - 4.2. Разработка схемы организации связи.
  - 4.3. Выбор компонентов оптического тракта и их основных характеристик.
  - 4.4. Расчет энергетических и спектральных характеристик оптического линейного тракта.
5. Расчет норм на параметры качества проектируемой сети.
6. Проектирование системы тактовой сетевой синхронизации.

Заключение.

Список использованных источников.

Приложения.           Физическая топология проектируемой сети.

                                  Схема организации связи сети.

                                  Структурная схема сетевого узла.

Ведомость документов.

Задание на курсовое проектирование является отчетным документом, без которого пояснительная записка на проверку не принимается.

Во введении указывается назначение и особенности проектируемой инфокоммуникационной сети.

Проектирование сети целесообразно выполнять согласно методике, изложенной в последующих разделах учебно-методического пособия. Допускается использование других возможных методик с обязательным указанием источников, из которых они заимствованы.



В ходе курсового проектирования студенту необходимо:

- разработать схему организации связи внутризоновой сети;
- разработать схему распределения сигнала синхронизации;
- рассчитать основные нормы на параметры качества проектируемой сети.

Задание на проектирование содержит следующие пункты:

- перечень населенных пунктов, входящих в состав внутризоновой сети, с указанием количества проживающего в них населения;
- физическая и логическая топологии сети;
- виды передаваемого трафика;
- используемые телекоммуникационные технологии;
- характеристики направляющей системы;
- характеристики тракта для расчета показателей ошибок.

Следует помнить, что все структурные схемы и расчеты, присутствующие в пояснительной записке, должны сопровождаться обстоятельными пояснениями и выводами. При защите курсовой работы студент должен уметь объяснить ход выполнения расчетов, смысл символов, входящих в расчетные формулы, обосновать правильность принятых технических решений.

В пояснительной записке (ПЗ) не должно быть общего описательного материала, заимствованного из учебников и широко распространенной технической литературы. Достаточно сослаться на соответствующий источник и привести краткие выводы или формулы, если они необходимы для дальнейшего изложения.

Пояснительная записка выполняется в соответствии со стандартом предприятия СТП 01–2013 «Дипломные проекты (работы). Общие требования» [1].

Пояснительная записка к курсовой работе распечатывается на листах формата А4, печать односторонняя. Текст пояснительной записки разбивается на разделы и подразделы, снабженные заголовками, четко и кратко отражающими их содержание. Нумерация разделов осуществляется в пределах всей ПЗ, нумерация подразделов – в пределах соответствующего раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. Введение, заключение, перечень принятых сокращений, список литературы и приложения выступают в ПЗ на правах разделов и не нумеруются. Страницы должны быть пронумерованы.

Содержание пояснительной записки должно быть изложено литературным языком, без сокращений и упрощений (кроме общеупотребительных).

Формулы, по которым ведется расчет, должны быть приведены в тексте

полностью, с объяснением буквенных обозначений. Численные значения при расчете подставляются в основных единицах измерения системы СИ. Окончательный результат дается с указанием размерности. Формулы нумеруют в пределах раздела арабскими цифрами. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой.

Иллюстрации в ПЗ должны пояснять излагаемый текст. Их располагают по тексту ПЗ или на отдельных страницах после первой ссылки на первый рисунок. Иллюстрации нумеруют арабскими цифрами в пределах раздела. Номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации. При необходимости иллюстрации могут иметь наименование и пояснительные данные (подрисовочный текст).

Каждый раздел ПЗ следует начинать с нового листа.

Заголовки АННОТАЦИЯ, СОДЕРЖАНИЕ, ВВЕДЕНИЕ, ЗАКЛЮЧЕНИЕ, ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ, СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ, ПРИЛОЖЕНИЕ печатают с выравниванием по центру.

Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте ПЗ. Каждое приложение начинают с новой страницы с указанием наверху посередине строки слова «Приложение» и его обозначения без точки в конце. Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с буквы А.

Нумерация таблиц для представления материала пояснительной записки производится арабскими цифрами в пределах раздела. Номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой. На все таблицы ПЗ приводят ссылки в тексте документа, при ссылке следует писать слово «Таблица» с указанием ее номера. Таблицу в зависимости от ее размера помещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на нее, или на следующей странице, а при необходимости – в приложении к документу.

Обозначения, приведенные в заголовках граф таблицы, должны быть пояснены в тексте или графическом материале. Заменять кавычками повторяющиеся в таблице цифры, математические знаки, знаки процента, номера, обозначения и прочее не допускается. При отсутствии отдельных данных в таблице следует ставить прочерк (тире). В интервале, охватывающем числа ряда, между крайними числами ряда в таблице допускается ставить тире.

Числовое значение показателя проставляют на уровне последней строки его наименования. Значение показателя, приведенное в виде текста, записывают на уровне первой строки наименования показателя. Цифры в графах таблиц проставляют так, чтобы разряды чисел во всей графе были расположены один под другим, если они относятся к одному показателю. В одной графе должно

быть соблюдено, как правило, одинаковое количество десятичных знаков для всех значений величин.

Иллюстрации и таблицы допускается размещать на отдельных, свободных от текста страницах. Возможно их расположение с применением альбомной ориентации (текст должен читаться путем поворота по часовой стрелке).

В последующих разделах пособия представлены методические указания и дополнительные материалы, необходимые для выполнения курсовой работы.

Библиотека БГУИР

## 2 ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ СЕТЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

### 2.1 Общие сведения

*Сеть электросвязи (ЭС) страны* – комплекс технических и программных средств, взаимодействующих на основе определенных принципов и обеспечивающих возможности **своевременно, качественно и полно** удовлетворить все потребности населения страны, отраслей народного хозяйства, органов государственного управления и обороны и т. д. в разнообразных услугах связи [2]. Сеть электросвязи – это технологическая система, включающая в себя средства электросвязи и линии электросвязи. Под *средствами электросвязи* понимают совокупность технических и программных средств, используемых для формирования, обработки, хранения, передачи или приема сообщений электросвязи, а также иных технических и программных средств, используемых при оказании услуг электросвязи или обеспечении функционирования сетей электросвязи. *Линии электросвязи (ЛС)* – линии передачи, физические цепи и линейно-кабельные сооружения электросвязи.

Основой электросвязи Республики Беларусь является Единая сеть электросвязи (ЕСЭ) [2, 3], обеспечивающая предоставление услуг электросвязи пользователям услуг на всей территории РБ.

ЕСЭ Республики Беларусь включает сети электросвязи общего пользования, выделенные, технологические и специального назначения, обеспечивающие связь между пользователями внутри страны и выход на международную сеть.

ЕСЭ РБ функционально строится по иерархической схеме и имеет три уровня [3]:

- первичные сети ЭС (ПС);
- вторичные сети ЭС (ВС);
- системы (службы) ЭС в зависимости от типа предоставляемых услуг.

Основой ЕСЭ РБ являются первичные сети, которые предназначены для организации и предоставления вторичным сетям типовых сетевых трактов, каналов передачи и физических цепей.

Вторичные сети обеспечивают коммутацию и распределение сигналов ЭС в службах электросвязи и организуются на базе узлов коммутации и типовых трактов, каналов передачи и физических цепей первичных сетей.

В зависимости от основного вида электросвязи вторичная сеть может быть телефонной, телеграфной, сетью передачи данных, сетью распределения программ телевизионного и звукового вещания и др.

По территориальному признаку как первичные, так и вторичные сети ЭС подразделяются на:

- магистральные;
- внутризоновые;
- местные (городские и сельские).

**Сеть магистральная первичная (СМП)** – часть ПС, обеспечивающая соединение между собой типовых каналов передачи и сетевых трактов различных внутризоновых сетей на всей территории страны (между столицей РБ и областными центрами, а также областных центров между собой). Имеет ячеистую структуру, при которой между любой парой сетевых узлов организуется до трех независимых путей. На рисунке 2.1 представлена магистральная транспортная сеть РУП «Белтелеком» на 01.01.2017 с указанием точек выхода на международную сеть [4].

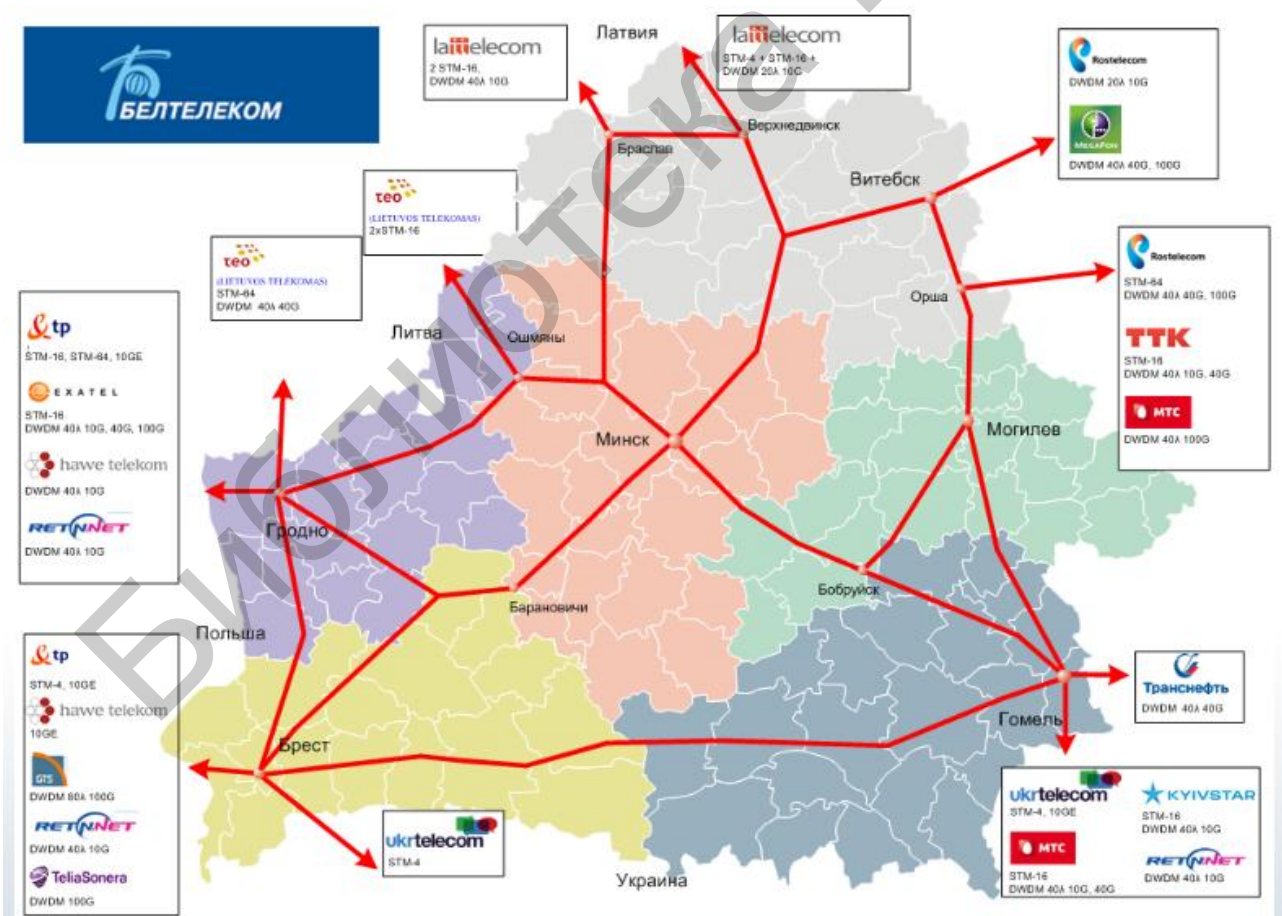


Рисунок 2.1 – Магистральная первичная сеть РБ

**Внутризоновая первичная сеть (ВПС)** – часть ПС, которая ограничена территорией, совпадающей с одной зоной нумерации телефонной сети (в пределах РБ это территория области), и обслуживает соединение ее местных ПС (районов) с помощью типовых каналов передачи и сетевых трактов. Строится по радиально-узловому принципу.

Нижнее звено ПС – **местная первичная сеть (МПС)** – часть ПС в пределах города или района, которая состоит из каналов и трактов, соединяющих узлы и станции города или сельского района друг с другом. Строится также по радиально-узловому принципу.

Первичные сети реализуются на основе взаимодействия сетевых узлов (СУ) и сетевых станций (СС).

**Сетевые узлы** ПС представляют собой комплекс технических средств, обеспечивающий соединение сетевых станций первичной сети, образование и перераспределение сетевых трактов, типовых каналов передачи и типовых физических цепей, а также предоставление их вторичным сетям или другим пользователям. В зависимости от первичной сети, к которой принадлежит сетевой узел, он может быть магистральным, внутризоновым, местным, а в зависимости от объема и вида выполняемых функций – транзитным сетевым узлом, сетевым узлом переключения или выделения. На сетевых узлах переключения осуществляется переключение (кросс-коммутация) каналов. Сетевые узлы выделения предназначены для организации выделения каналов потребителям.

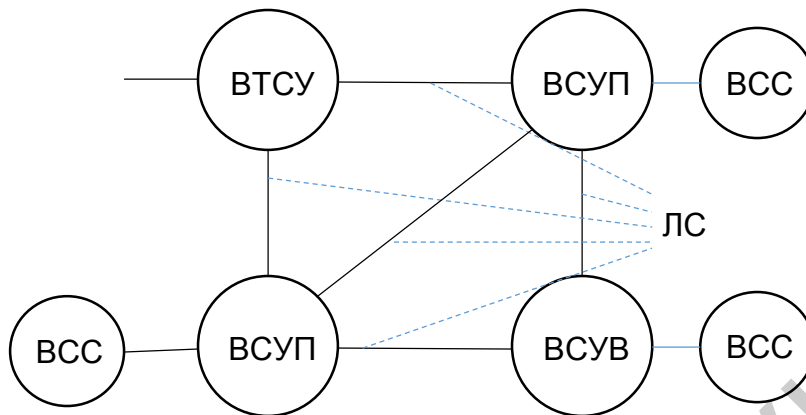
**Сетевая станция** ПС – комплекс технических средств, обеспечивающий образование и предоставление вторичным сетям типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, а также их транзит между различными видами первичной сети.

Фрагмент внутризоновой первичной сети показан на рисунке 2.2. Сетевому узлу присваивают названия «сетевой узел переключения» или «сетевой узел выделения» в зависимости от объема и вида выполняемых функций.

Основой сетевых узлов и станций ПС является аппаратура систем передачи различных телекоммуникационных технологий, предназначенная для формирования и перераспределения типовых каналов передачи и сетевых трактов и подключения ВС, служб электросвязи и пользователей сети. Соединяются сетевые узлы и сетевые станции с помощью линий электросвязи.

В настоящее время трехуровневое построение первичной сети заменяется на двухуровневое [5], состоящее из транспортной сети и сети доступа. При этом магистральная, внутризоновая и часть местной первичных сетей являются ос-

новой транспортной сети. Двухуровневая структура построения ПС представлена на рисунке 2.3.



ВТСУ – внутрizonовый транзитный сетевой узел;  
 ВСУП – внутрizonовый сетевой узел переключения; ВСУВ – внутрizonовый сетевой узел выделения; ВСС – внутрizonовая сетевая станция, ЛС – линии электросвязи

Рисунок 2.2 – Фрагмент построения внутрizonовой первичной сети

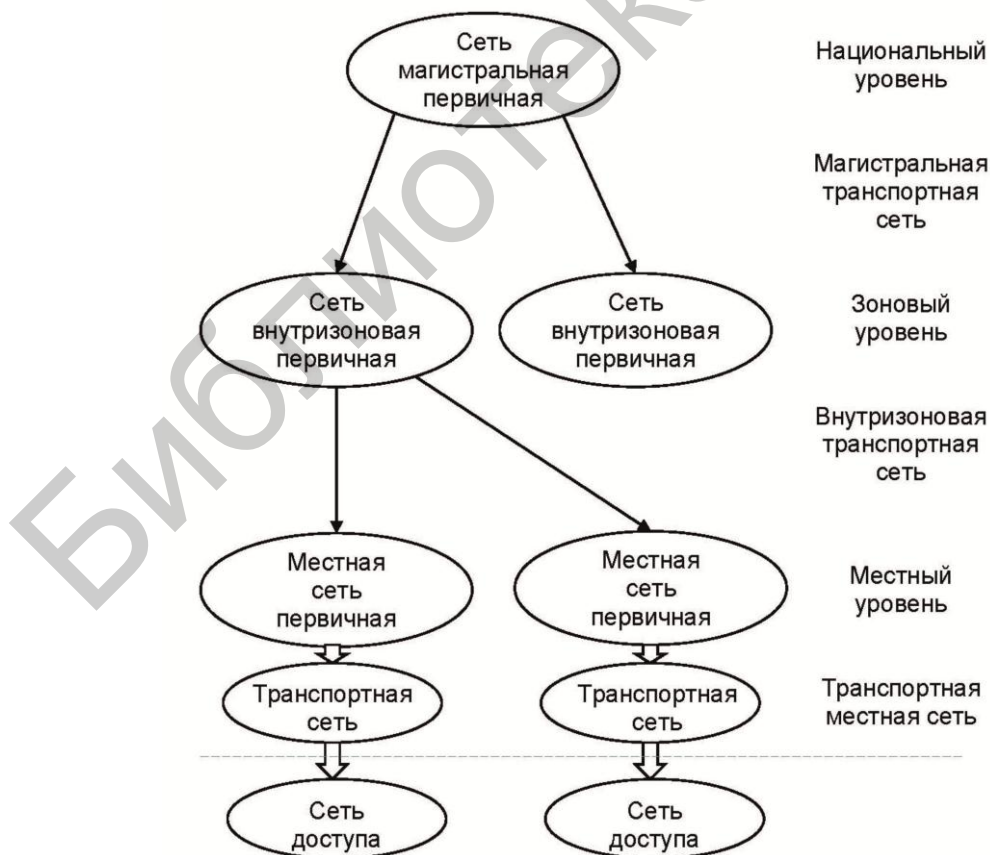


Рисунок 2.3 – Двухуровневая структура первичной сети

## 2.2 Общие принципы построения первичных сетей

Как уже отмечалось, первичная сеть ЕСЭ РБ является технологической системой, включающей в себя средства электросвязи и линии электросвязи. В настоящее время на всех уровнях первичной сети в качестве физической цепи, образующей направляющую среду для передачи сигналов электросвязи, используется оптическое волокно (волоконно-оптический кабель) [5].

Первым этапом проектирования сетей является определение мест расположения СУ и СС. При проектировании первичных сетей всех уровней должно сохраняться их существующее географическое расположение. При этом ВПС должны базироваться на внутризональных СУ переключения и выделения, размещаемых в областных и районных центрах, и соединяющих их линиях передачи, а МСП – на местных сетевых узлах переключения и выделения, размещаемых в административных центрах, и соединяющих их линиях передачи.

Структура первичной сети должна отвечать требованиям по передаче сообщений с заданными показателями качества и надежности. Для выполнения последнего на сети должно быть организовано не менее двух независимых путей между сетевыми узлами.

Первичные сети должны создаваться на базе перспективных телекоммуникационных технологий транспортного уровня.

Основные функции сетевого узла:

- организация и транзит типовых каналов передачи и сетевых трактов;
- организация переключений типовых каналов передачи и сетевых трактов в процессе управления сетью;
- предоставление типовых каналов передачи и сетевых трактов вторичным сетям и пользователям услуг ЭС;
- оперативно-технический контроль и обслуживание аппаратуры сетевых узлов, линейных трактов, сетевых трактов и каналов передачи.

В состав СУ входит оконечное оборудование систем передачи, линейные тракты, сетевые тракты, средства переключения сетевых трактов и каналов передачи, технические и программно-технические средства контроля состояния и технического обслуживания аппаратуры, а также другие средства поддержки функционирования сетевого узла.

Сетевые станции являются оконечными точками соответственно магистральных и внутризональных ПС и выполняют следующие функции:

- организация типовых физических цепей, каналов передачи и сетевых трактов;



- обеспечение транзита некоммутируемых типовых каналов передачи и сетевых трактов между разными по иерархии первичными сетями;
- предоставление типовых физических цепей, каналов передачи и сетевых трактов вторичным сетям и другим пользователям;
- оперативно-технический контроль и обслуживание аппаратуры сетевых станций, линейных трактов, сетевых трактов и каналов передачи.

Вторичные сети в зависимости от вида передаваемых сигналов делятся на телефонные сети, сети распределения телевизионных и радиопрограмм, сети передачи данных, сеть сотовой подвижной электросвязи и т. д.

Международная и междугородная телефонные сети строятся следующим образом [5]. Узлы ЭС размещаются на территории РБ. Узлы ЭС международной телефонной сети размещаются не менее чем в двух административно-территориальных точках РБ, связываются между собой независимыми линиями электросвязи и являются смежными с узлами телефонной сети иностранных государств.

Узлы ЭС междугородной телефонной сети размещаются в каждой области РБ, каждый из узлов связан не менее чем с двумя узлами международной телефонной сети и с пятью (по одному на каждую область) узлами ЭС междугородной телефонной сети.

Узлы ЭС внутризональной телефонной сети располагаются в пределах территории одной области, каждый СУ связан не менее чем двумя независимыми линиями с узлом ЭС междугородной сети, расположенным в этой области.

Узлы ЭС местной телефонной сети располагаются в пределах территории города или сельского населенного пункта. Местная телефонная сеть имеет присоединение к внутризональной сети.

Сеть передачи данных общего пользования (СПД) строится подобно телефонной сети общего пользования.

Узлы ЭС междугородной СПД размещаются в каждом областном центре РБ. Междугородная сеть передачи данных может иметь присоединение к сетям передачи данных иностранных государств, при этом к СПД иностранного государства должно быть подключено не менее двух узлов междугородной СПД. Точки присоединения внутризональных и местных СПД к междугородным СПД размещаются в каждом областном центре РБ.

Узлы ЭС внутризональной СПД размещаются в каждом районном центре в пределах одной области и должны быть связаны не менее чем по двум независимым линиям связи не менее чем с двумя другими узлами ЭС внутризональной сети. Внутризональная СПД присоединяется к междугородной СПД не менее чем по двум независимым линиям. Взаимодействие внутризональных сетей передачи

данных различных операторов осуществляется только через междугородную сеть передачи данных.

Узлы ЭС местной СПД располагаются в пределах территории города или сельского населенного пункта. Местная сеть передачи данных присоединяется к внутрizonовой и междугородной сети.

## **2.3 Расчет пропускной способности каналов внутрizonовой телефонной сети**

### **2.3.1 Структура внутрizonовой телефонной сети**

Итак, по определению *внутрizonовая телефонная сеть* – телефонная сеть, обеспечивающая услугами телефонной связи пользователей различных местных телефонных сетей внутри одной области, а также выход на междугородную и международную телефонные сети.

Каждая внутрizonовая сеть включает в себя городские и сельские местные телефонные сети. Коммутационным центром зоны является автоматическая междугородная телефонная станция (АМТС) в областном центре, через которую осуществляется связь между местными сетями зоны. Выход за пределы зоны осуществляется только через соответствующую АМТС.

В связи с этим внутрizonовая сеть строится по радиально-узловому принципу (логическая топология), при этом в пределах зоны возможна организация связи по различным физическим топологиям в зависимости от того, какое оборудование ЦСП используется.

Логическая структура внутрizonовой сети связи с одной АМТС в зоне представлена на рисунке 2.4.

Соединительные линии от районной автоматической телефонной станции (РАТС) к АМТС называются заказно-соединительными линиями (ЗСЛ), а линии от АМТС к РАТС называются соединительными линиями междугородными (СЛМ).

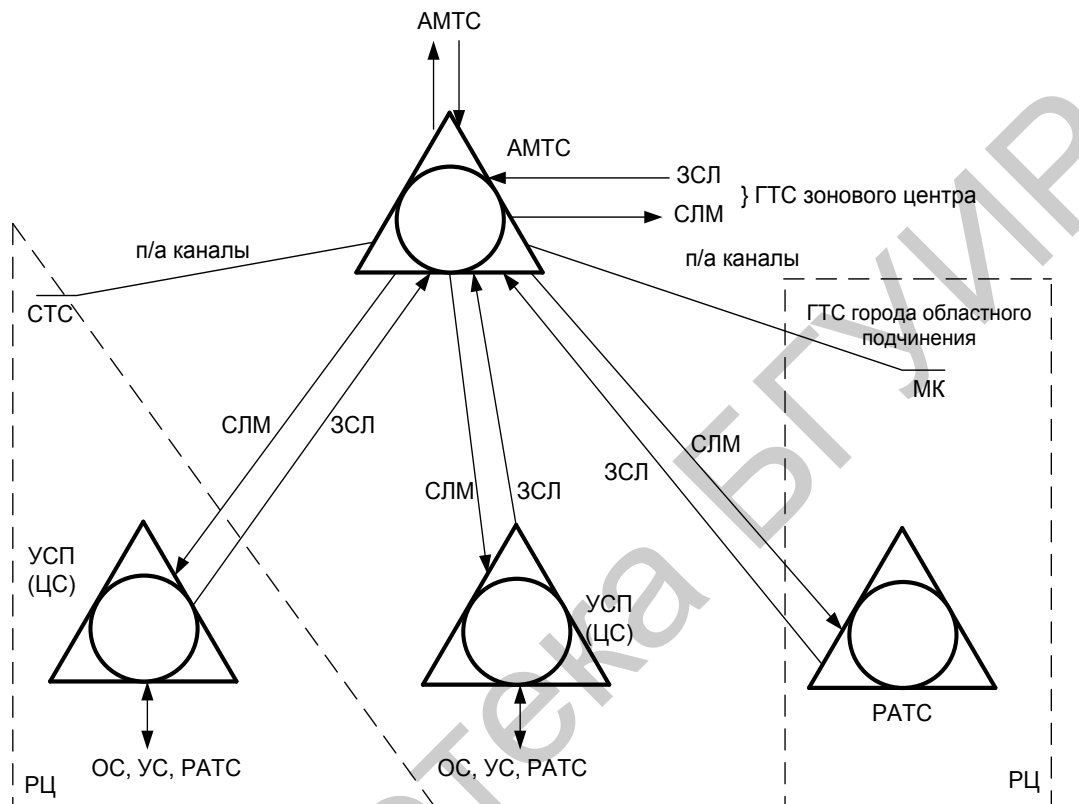
Развитие местных и внутрizonовых сетей определяется следующими факторами:

- изменением численности населения;
- нормами телефонной плотности;
- уровнем развития существующих сетей телекоммуникаций в отдельных населенных пунктах.

При разработке схем развития внутрizonовых телефонных сетей, проектировании АМТС и дооборудования АТС райцентров и городов аппаратурой

внутризоновой связи возникает необходимость в определении числа ЗСЛ, СЛМ и каналов, связывающих местные телефонные сети районов и городов с АМТС и обеспечивающих передачу трафика между местными телефонными сетями и от местных телефонных сетей на междугородную сеть страны.

Как видно из рисунка 2.4, логической топологией при организации внутризоновой телефонной сети связи является топология «звезда».



СТС – сельская телефонная станция; УСП – узел сельский пригородный;  
 ЦС – центральная станция местной сети; ОС – оконечная станция;  
 УС – узловая станция; РАТС – районная АТС;

ЗСЛ – заказно-соединительные линии; МК – междугородный коммутатор;  
 СЛМ – соединительные линии междугородные; РЦ – районный центр

Рисунок 2.4 – Структура внутризоновой сети связи

### 2.3.2 Расчет заказно-соединительных линий, соединительных линий междугородных и каналов внутризоновой телефонной сети

Определение нагрузки на ЗСЛ осуществляется исходя из среднего количества междугородных и внутризоновых телефонных разговоров, приходящих на один телефонный аппарат (удельная нагрузка).

Общий обмен в разговорах за сутки  $Q_{исх}$ , исходящий от местной телефонной сети административного района или города, определяется по формуле

$$Q_{\text{исх}} = C_{\text{аб.гор}} \cdot N_{\text{аб.гор}} + C_{\text{аб.сел}} \cdot N_{\text{аб.сел}},$$

где  $C_{\text{аб}}$  – удельный обмен в разговорах за сутки на одного абонента города  $C_{\text{аб.гор}}$  и села  $C_{\text{аб.сел}}$  соответственно;

$N_{\text{аб}}$  – число абонентов местной телефонной сети (городской и сельской) на планируемый период, имеющих автоматический выход на внутрizonовую и междугородную телефонные сети.

Число абонентов  $N_{\text{аб}}$  на планируемый период определяется на основе расчета стационарной емкости местных телефонных сетей – городской (ГТС) и сельской (СТС) – и коэффициентов задействования этой емкости: для ГТС  $K_{\text{з.гтс}} = 0,92$ , для СТС  $K_{\text{з.стс}} = 0,82 \dots 0,85$ .

Методика расчета стационарной емкости базируется на данных телефонной плотности  $a_j$  и численности городского  $N_{\text{гор}}$  и сельского  $N_{\text{сел}}$  населения на планируемый период.

Значение  $N_{\text{аб}}$  вычисляется по нижеприведенным формулам с учетом численности как городского, так и сельского населения района:

$$N_{\text{аб.гор}} = N_{\text{гор}} \cdot a_j \cdot K_{\text{з.гтс}}; \quad N_{\text{аб.сел}} = N_{\text{сел}} \cdot a_j \cdot K_{\text{з.стс}}.$$

Средние нормы телефонной плотности  $a_j$  выбираются исходя из статистических данных, приведенных на сайте Национального статистического комитета Республики Беларусь по соответствующим областям для городской и сельской местности на год написания работы [6]. Удельный обмен в разговорах за сутки на одного абонента  $C_{\text{аб}}$  в зависимости от численности населения города и района (сельской местности) приведен в таблице 2.1.

Переход от обмена в разговорах к нагрузке в эрлангах осуществляется по формуле

$$Y_{\text{зсл}} = \frac{Q_{\text{исх}} \cdot t_{\text{зсл}} \cdot K_{\text{чнн}}}{60} \text{ [Эрл]},$$

где  $Q_{\text{исх}}$  – исходящий обмен в разговорах в сутки;

$K_{\text{чнн}}$  – коэффициент концентрации обмена в час наибольшей нагрузки для автоматической связи, равный  $K_{\text{чнн}} = 0,1 \dots 0,12$ ;

$t_{\text{зсл}}$  – время занятия ЗСЛ в минутах.

Таблица 2.1 – Удельный обмен в разговорах за сутки

Численность населения городов, тыс. чел.	$C_{аб}$ , разг./сутки
до 10	0,7
10...20	0,7
20...50	0,6
50...100	0,5
100...500	0,4
выше 500	0,3
сельские населенные пункты	0,12

Входящий обмен и входящая нагрузка, т. е. обмен и нагрузка в расчете на междугородные соединительные линии СЛМ, определяются суммированием входящих обменов к данной местной сети от местных телефонных сетей данной зоны и от междугородной телефонной сети, т. е. от других зон. При проектировании АТС местных телефонных сетей она определяется по формуле

$$Q_{вх} = \frac{C_{аб.гор} \cdot N_{аб.гор} + C_{аб.сел} \cdot N_{аб.сел}}{K_{п}},$$

где  $K_{п}$  – существующее соотношение исходящего и входящего обменов:

$$K_{п} = \frac{Q_{исх}}{Q_{вх}} = 0,7 \dots 0,8.$$

Переход от обмена в разговорах к нагрузке в эрлангах осуществляется по формуле

$$y_{слм} = \frac{Q_{вх} \cdot t_{слм} \cdot K_{чнн}}{60} \text{ [Эрл]},$$

где  $t_{слм}$  – среднее время занятия СЛМ.

При определении времени занятия ЗСЛ и СЛМ принимаются следующие значения средней продолжительности чистого разговора на ЗСЛ и СЛМ:

- для автоматической междугородной связи  $t_m = 4$  мин;
- для автоматической внутризоновой связи  $t_3 = 3$  мин.

Время занятия ЗСЛ определяется по формуле

$$t_{зсл} = (t_{p1} + t_y \cdot n_{зсл}) K_{п} \text{ [мин]},$$

где  $t_y = 0,5$  мин – время установления соединения для одной попытки;

$n_{ЗСЛ}$  – число попыток на одно установленное соединение, закончившееся разговором. Согласно статистическим данным  $n = 2,5$ ;

$K_{\Pi}$  – коэффициент, учитывающий различие во времени занятия ЗСЛ и СЛМ, определен ранее;

$t_{p1}$  – время разговора на ЗСЛ, определяемое из выражения

$$t_{p1} = p_{m1} \cdot t_m + p_{z1} \cdot t_z \text{ [мин]},$$

где  $p_{m1}$ ,  $p_{z1}$  – доли обмена, направляемые на междугородную и внутризональную телефонную сети соответственно и определяемые на основе статистического анализа, при этом должно выполняться условие  $p_{m1} + p_{z1} = 1$ . При расчетах принять  $p_{m1} = 0,6$ ;  $p_{z1} = 0,4$ .

Время занятия СЛМ определяется по формуле

$$t_{СЛМ} = (t_{p2} + t_y \cdot n_{СЛМ}) \text{ [мин]},$$

где  $n_{СЛМ}$  – число попыток на одно установленное соединение, закончившееся разговором. Согласно статистическим данным  $n = 1,5$ ;

$t_{p2}$  – время разговора на СЛМ, определяемое из выражения

$$t_{p2} = p_{m2} \cdot t_m + p_{z2} \cdot t_z \text{ [мин]},$$

где  $p_{m2}$ ,  $p_{z2}$  – доли автоматизированного входящего междугородного и внутризонального обменов соответственно. При расчетах принять  $p_{m2} = 0,5$ ,  $p_{z2} = 0,5$ .

Среднее количество ЗСЛ и СЛМ определяется исходя из рассчитанной нагрузки в зависимости от величины потерь на участках внутризональной телефонной сети и типа оборудования АТС и АМТС. Нормы потерь для основных направлений межстанционных связей принять равными 1 %.

Определение количества ЗСЛ и СЛМ, включенных в АТС, осуществляется по таблицам Эрланга для полнодоступного включения при вероятности потерь  $P = 0,01$ . В таблице приложения А приведена зависимость числа линий от нагрузки в эрлангах для полнодоступного пучка при потерях  $P = 0,01$  (1 %).

Если нагрузка больше 160 Эрл, то можно воспользоваться данными таблицы 2.2.

Количество ЗСЛ и СЛМ, включенных в АТС, может также рассчитываться на основе аналитического выражения первой формулы Эрланга:

$$P = \frac{Y_P^{V_{СЛ}}}{V_{СЛ}! \cdot \sum_{i=1}^{V_{СЛ}} \left( \frac{Y_P^i}{i!} \right)},$$

где  $Y_P$  – расчетное значение нагрузки;  
 $V_{СЛ}$  – количество соединительных линий;  
 $P$  – норма потерь.

Таблица 2.2 – Число линий в зависимости от нагрузки (в эрлангах)  
для полнодоступного пучка при потерях 1 %

Нагрузка	Количество линий	Нагрузка	Количество линий
160	179	500	525
200	221	600	626
240	262	700	726
280	302	800	827
320	343	900	927
360	384	1000	1027
400	424		

Количество потоков E12 для ЗСЛ и СЛМ вычисляется по приведенной ниже формуле с последующим округлением результата к большему целому числу:

$$N_{E12} = \frac{V_{СЛ}}{31}.$$

При расчете количества потоков E12 для ЗСЛ и СЛМ необходимо учесть 30%-й запас, связанный с возможным увеличением объема передаваемого телефонного трафика на перспективу.

При расчете пропускной способности сети необходимо учесть трафик, связанный с арендой каналов. Такая услуга предоставляется РУП «Белтелеком» для юридических лиц. При расчетах необходимо принять, что услугой аренды каналов E12 (пропускная способность 2,048 Мбит/с) пользуются 0,5 % абонентов городских телефонных сетей общего пользования.

Результаты расчетов трафика телефонии необходимо представить в виде таблицы 2.3.

Таблица 2.3 – Сводная таблица рассчитанных величин

Результаты расчетов	Все районы в соответствии с ТЗ	
	город	район
Численность населения, $N$ , тыс. чел.		
Норма телефонной плотности, $a$		
Численность абонентов, $N_{аб}$ , тыс. чел.		
Удельный обмен на одного абонента, $C_{аб}$ , разговор/сутки		
Время занятия ЗСЛ, $t_{зсл}$ , мин		
Время занятия СЛМ, $t_{слм}$ , мин		
Исходящий обмен телефонного трафика, $Q_{исх}$ , разговор/сутки		
Исходящая нагрузка от абонентов, $Y_{зсл}$ , Эрл		
Количество ЗСЛ, $V_{зсл}$		
Количество каналов E12, необходимое для организации ЗСЛ, $N_{E12}$		
Входящий обмен телефонного трафика, $Q_{вх}$ , разговор/сутки		
Входящая нагрузка от абонентов, $Y_{слм}$ , Эрл		
Количество СЛМ, $V_{слм}$		
Количество каналов E12, необходимое для организации СЛМ, $N_{E12}$		
Количество каналов E12 для аренды каналов		–
Общее количество каналов E12		
Общее количество каналов E12 с учетом запаса на перспективу		

При расчете объема передаваемого по сети трафика из рассмотрения исключается собственно трафик, создаваемый областным центром, так как междугородный трафик от городской телефонной сети включается непосредственно в АМТС зоны.

На основе данных таблицы рассчитывается общее количество потоков E12, которое необходимо ввести/вывести в каждом районном центре, а также ввести/вывести в областном центре для связи с АМТС.



## 2.4 Расчет пропускной способности каналов внутризоновой сети передачи данных

В соответствии с информацией, изложенной в подразделе 2.2, внутризоновая сеть передачи данных строится, как и телефонная, по радиально-узловому принципу с расположением сетевых узлов в областном и районных центрах.

При оценке внутризонового трафика передачи данных необходимо максимально учесть спектр предоставляемых оператором связи услуг, требуемую для них пропускную способность, а также количество абонентов, которым они предоставляются.

Для расчета трафика передачи данных целесообразно воспользоваться информацией РУП «Белтелеком» на момент написания курсовой работы. В качестве примера в таблице 2.4 представлен перечень основных предоставляемых услуг и их статистические данные для Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2017. При написании курсовой работы они должны быть актуализированы.

Таблица 2.4 – Услуги передачи данных и их характеристики

Услуга	Средняя скорость канала передачи данных, $b$ , Мбит/с	Доля абонентов, пользующихся услугой одновременно, $\delta$ , %	Процент абонентов, подключенных к услуге, $x$ , %
Широкополосный доступ (ШПД)	7,5	30	70
IP-телефония	0,064	15	30
Объединение корпоративных сетей по IP-протоколу (VPN)	10	30	1
Видео-конференц-связь (ВКС)	2	10	1
Телевидение по IP-протоколу IPTV (SD/HD)	2/19	–	–

Исходя из политики РУП «Белтелеком» по постепенному переходу к предоставлению услуг доступа к глобальной сети и телефонии (VoIP) на базе платформы IMS (IP Multimedia Subsystem), оценка необходимой пропускной способности выполняется на основе числа абонентов телефонной сети общего пользования. Предложенная методика позволяет оценить верхнюю границу пропускной способности канала для наихудшего случая.

Общая пропускная способность канала передачи данных  $V_{\text{ШПД}}$ , необходимая для предоставления пользователям услуги широкополосного доступа, рассчитывается по формуле

$$V_{\text{ШПД}} = \frac{N_{\text{аб}} \cdot b_{\text{ШПД}} \cdot x_{\text{ШПД}} \cdot \delta_{\text{ШПД}}}{k_p} \text{ [Мбит/с]},$$

где  $N_{\text{аб}}$  – количество абонентов телефонной сети общего пользования;

$b_{\text{ШПД}}$  – средняя пропускная способность канала широкополосного доступа (Мбит/с), рассчитывается как средняя скорость доставки файлов большого объема без учета времени пауз между сеансами [7, 8];

$x_{\text{ШПД}}$  – процент пользователей, которым предоставляется услуга ШПД;

$\delta_{\text{ШПД}}$  – процент пользователей, одновременно пользующихся услугой ШПД;

$k_p$  – коэффициент пульсаций, равный для услуг ШПД  $k_p = 50 \dots 100$ ; учитывает влияние пауз в сеансе передачи данных.

Трафик VoIP рассчитывается исходя из численности абонентов ТфОП и процента абонентов, переводимых на услуги платформы IMS. Например, если в административном районе 30 % абонентов ТфОП переведены на платформу IMS, то междугородный трафик VoIP будет составлять

$$V_{\text{VoIP}} = (N_{\text{ЗСЛ}} + N_{\text{СЛМ}}) \cdot 0,3 \cdot 0,15 \cdot 0,064 \text{ [Мбит/с]}.$$

Трафик услуг VPN и ВКС рассчитывается по формуле

$$V_i = N_{\text{аб}} \cdot b_i \cdot x_i \cdot \delta_i, \text{ [Мбит/с]},$$

где  $N_{\text{аб}}$  – количество абонентов телефонной сети общего пользования;

$b_i$  – пропускная способность канала передачи данных, необходимая для обеспечения потребителей  $i$ -й услугой, Мбит/с;

$x_i$  – процент пользователей, которым данная услуга предоставляется;

$\delta_i$  – процент пользователей, одновременно пользующихся  $i$ -й услугой.

Трафик услуги телевидения по IP-протоколу (IPTV) передается в составе трафика передачи данных многоадресно в соответствии с числом предоставляемых телевизионных каналов. Требуемая гарантированная пропускная способность канала соответствует скорости передачи:

$$V_{\text{IPTV}} = N_{\text{SD}} \cdot b_{\text{SD}} + N_{\text{HD}} \cdot b_{\text{HD}} \text{ [Мбит/с]},$$

где  $N_{SD}, N_{HD}$  – количество каналов стандартного и высокого качества соответственно, распределяемых по сети;

$b_{SD}, b_{HD}$  – количество каналов стандартного и высокого качества соответственно, Мбит/с.

Результирующая пропускная способность междугородных каналов передачи данных внутризоновой сети определяется как сумма рассчитанных значений пропускных способностей для всех видов предоставляемых услуг:

$$B = \sum_i B_i \text{ [Мбит/с]}.$$

Результаты расчетов трафика передачи данных представить в виде таблицы 2.5. Рассчитанное значение  $B$  позволяет определить интерфейсы портов коммутаторов Ethernet для подключения к внутризоновой сети передачи данных и их необходимое количество.

Таблица 2.5 – Сводная таблица расчетов трафика передачи данных

Результаты расчетов	Все районы в соответствии с ТЗ	
	город	район
1	2	3
Численность абонентов ТфОП, $N_{аб}$ , тыс. чел.		
Число абонентов, пользующихся услугой ШПД, тыс. чел.		
Число активных абонентов ШПД (одновременно пользующихся данной услугой), тыс. чел.		
Пропускная способность внутризонового канала ШПД, $B_{ШПД}$ , Мбит/с		
Число абонентов, пользующихся услугой VoIP		
Число активных абонентов VoIP		
Пропускная способность внутризонового канала услуги VoIP, $B_{VoIP}$ , Мбит/с		
Число абонентов, пользующихся услугой VPN, тыс. чел.		
Число активных абонентов VPN, тыс. чел.		
Пропускная способность внутризонового канала услуги VPN, $B_{VPN}$ , Мбит/с		

Продолжение таблицы 2.5

1	2	3
Число абонентов, пользующихся услугой ВКС, тыс. чел.		
Число активных абонентов ВКС, тыс. чел.		
Пропускная способность внутризонового канала услуги ВКС, $V_{ВКС}$ , Мбит/с		
Пропускная способность канала услуги IPTV, $V_{IPTV}$ , Мбит/с		
Итого		
Итого всего по району, $V$ , Мбит/с		

Библиотека БГУИР

### 3 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ТОПОЛОГИИ СЕТИ

В соответствии с техническим заданием внутризоновую сеть следует спроектировать, используя оборудование систем передачи синхронной цифровой иерархии (SDH) для передачи трафика внутризоновой телефонной сети, оборудование пакетной коммутации для передачи трафика внутризоновой сети передачи данных и технологии оптической транспортной сети (OTN) для построения внутризоновой транспортной сети.

При проектировании сети для всех видов передаваемого трафика должно быть реализовано стопроцентное резервирование. Сети телефонии и передачи данных должны быть независимы друг от друга.

При проектировании сети необходимо выбрать кольцевую топологию, которая охватывает все районные центры области в соответствии с вариантом задания. Протяженность кольца, связывающего все районные центры, должна быть минимальной. При этом для передачи сигналов телефонии протяженность основного пути в кольце при организации трактов не должна превышать 280 км. Если это условие в кольцевой топологии не обеспечивается, топология может быть изменена путем введения поперечных связей.

Кольцевая топология является предпочтительной с точки зрения простоты, надежности (при одиночных повреждениях) и обеспечения защиты на сети. Для построения оптимальной топологии необходимо:

- определить расстояния между населенными пунктами по автомобильным дорогам, вдоль которых предполагается прокладывать коммуникации;
- данные представить в виде таблицы 3.1;
- решить задачу минимизации протяженности кольца (задачу коммивояжера) любым известным студенту методом оптимизации с пояснением хода решения.

Таблица 3.1 – Расстояния между узлами проектируемой сети, км

Город	1	2	3	4	5	6	7	8
1	–	61	110	60	137	94	57	69
2	61	–	49	73	121	58	70	32
3	110	49	–	55	205	107	119	81
4	60	73	55	–	49	94	114	74
5	137	121	104	49	–	64	106	73
6	94	58	107	94	64	–	42	40
7	57	70	119	114	106	42	–	40
8	69	32	81	74	73	40	40	–

В результате должна быть сформирована и соответствующим образом обоснована физическая топология сети с привязкой к карте области и указанием населенных пунктов (в соответствии с вариантом технического задания). Необходимо на чертеже указать протяженности сегментов сети.

Центральную станцию района областного центра включить в кольцо, выбрав расстояние от АМТС 3–5 км.

Библиотека БГУИР

#### 4 ГРУППИРОВАНИЕ И МАРШРУТИЗАЦИЯ ТРАФИКА

Для реализации внутризонового участка первичной сети необходимо использовать оборудование, поддерживающее технологию OTN и использующее спектральное разделение каналов. При этом на отдельных длинах волн должны передаваться трафик телефонии, организованный на основе коммутации каналов, и трафик передачи данных, в том числе трафик распределения сигналов цифрового телевизионного вещания [9, 12, 13, 15, 16, 22, 23].

Для организации передачи трафика телефонии в курсовой работе необходимо использовать оборудование SDH. Для этого ЦС районных центров должны быть подключены к мультиплексорам ввода-вывода оборудования SDH по интерфейсам E12. Количество интерфейсов подключения должно соответствовать расчетам подраздела 2.3. В областном центре все первичные цифровые потоки от мультиплексора ввода-вывода SDH должны быть по интерфейсу E12 подключены к АМТС [17, 22].

Для разработанной физической топологии сети и в соответствии с логической топологией внутризоновой телефонной сети необходимо провести маршрутизацию трафика. В качестве основного маршрута выбирается кратчайший путь (не должен превышать 280 км).

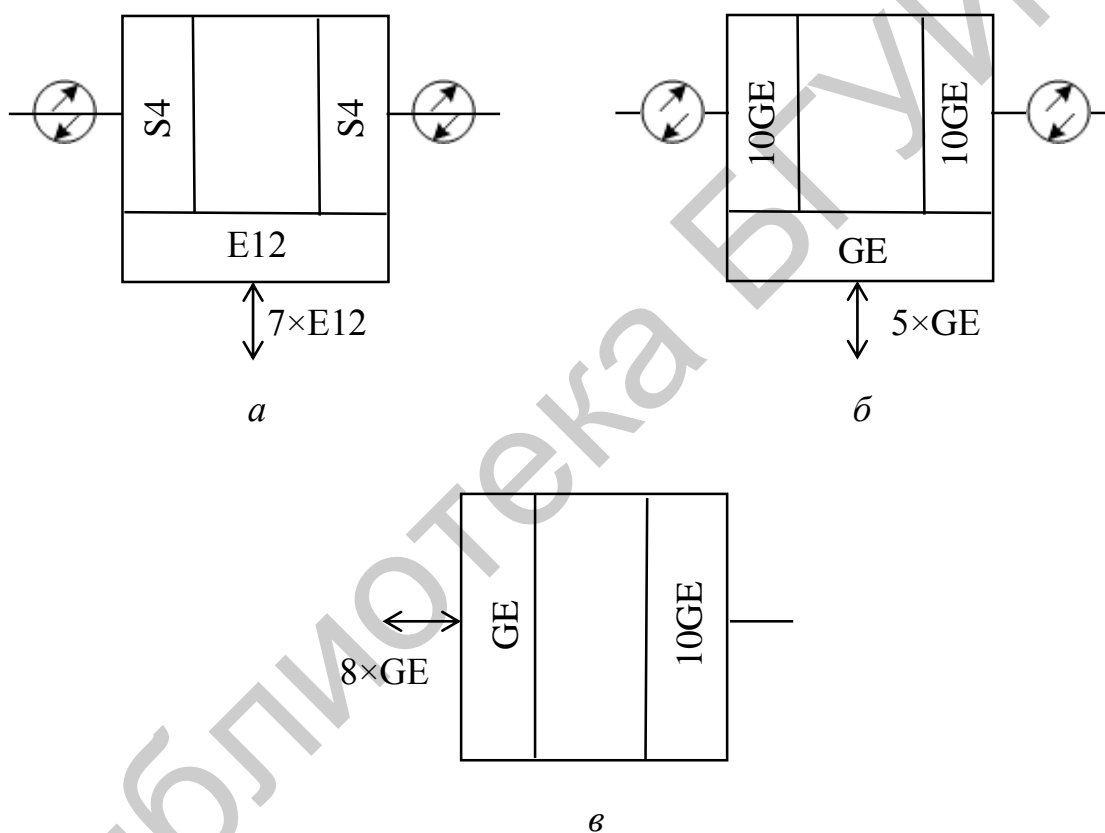
Для обеспечения 100%-го резервирования телефонного трафика необходимо использовать защиту SNCP (Sub-Network Connection Protection – защита соединений подсети) на уровне трактов VC-12 с пояснением принципа ее действия.

На основе данных таблицы 2.3 необходимо рассчитать уровень канала STM-n, необходимый для организации внутризоновой телефонной связи, и выбрать соответствующие оптические интерфейсы для подключения к оборудованию OTN.

Для передачи трафика данных в соответствии с результатами расчетов по подразделу 2.4 (см. таблицу 2.5) необходимо определить оптические интерфейсы подключения коммутаторов Ethernet к оборудованию OTN. С учетом того, что подключение к междугородной сети передачи данных и к сетям передачи данных других операторов осуществляется в областном центре, логическая топология обмена данными имеет вид «звезда». Для передачи трафика данных в зависимости от рассчитанных пропускных способностей каналов возможно подключение оборудования передачи данных районных центров к соответствующему оборудованию областного центра по топологии «точка – точка» с защитой 1+1 или по топологии «кольцо» с возможностью группирования трафика данных различных районов.

Для организации внутризоновой сети передачи данных необходимо определить число оптических длин волн, основные и резервные пути передачи трафика данных, предусмотреть возможность группирования трафика данных на одной длине волны, если это позволяет пропускная способность канала передачи данных.

Результаты маршрутизации трафика телефонии и передачи данных представляются в виде таблицы с указанием основных и резервных путей передачи трафика и их протяженности, а также в виде рисунков с указанием характеристики клиентского трафика и использованием условных графических обозначений (УГО) (рисунок 4.1).



*a* – мультиплексор ввода-вывода SDH;

*б* – коммутатор Ethernet, включенный в кольцевую топологию;

*в* – коммутатор, включенный по топологии «точка – точка»

Рисунок 4.1 – Условные графические обозначения клиентского оборудования

На рисунке 4.1, *a* представлено УГО мультиплексора ввода-вывода SDH, включенного в «кольцо», с агрегатным сигналом уровня STM-4 и, соответственно, с двумя приемопередающими оптическими портами для подключения



к оборудованию OTN, компонентными сигналами уровня E12, при этом число активных портов уровня E12, предназначенных для подключения к ЦС, равно семи.

На рисунке 4.1, б представлено УГО коммутатора Ethernet, включенного в «кольцо», с агрегатным сигналом уровня 10GE (два порта), компонентными сигналами уровня GE, при этом число активных портов уровня GE равно пяти.

На рисунке 4.1, в представлено УГО коммутатора Ethernet, включенного по топологии «точка – точка», с агрегатным сигналом уровня 10GE (один порт), компонентными сигналами уровня GE, при этом число активных портов уровня GE равно восьми.

Все компонентные (для подключения к местным сетям телефонии и передачи данных) и агрегатные (для подключения к оборудованию OTN) порты являются двунаправленными.

Библиотека БГУИР

## 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ОБОРУДОВАНИЯ ВНУТРИЗОНОВОЙ СЕТИ

### 5.1 Оборудование сетевого узла внутризональной телефонной сети

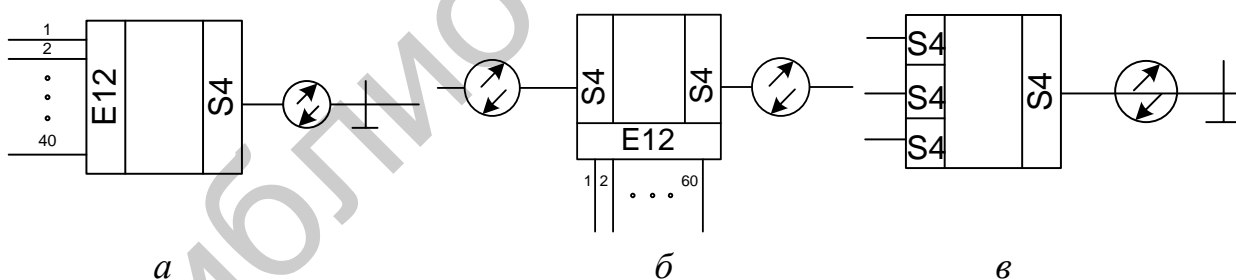
Для построения телефонной внутризональной сети используется оборудование SDH.

Мультиплексор SDH может быть сконфигурирован:

- как терминальный (оконечный) мультиплексор (ТМ) (рисунок 5.1, *а*) и оборудован как линейными, так и станционными интерфейсами STM-n для подключения к цифровой системе кросс-соединений или к линейной системе более высокого уровня;
- как мультиплексор ввода-вывода (ADM) сигналов потребителей (рисунок 5.1, *б*) из/в поток STM-n;
- как концентратор (рисунок 5.1, *в*), что позволяет распределять сигналы потребителей по соответствующим направлениям.

Каждая из описанных выше конфигураций мультиплексора может использоваться в различных сетевых топологиях. Наиболее распространенными из них являются:

- линейная (или цепь);
- кольцевая и многокольцевая топология;
- смешанная топология.



*а* – терминальный мультиплексор; *б* – мультиплексор ввода-вывода;  
*в* – мультиплексора типа «концентратор»

Рисунок 5.1 – Конфигурации мультиплексора SDH

Как уже отмечалось, внутризональная сеть проектируется по возможности на основе физической топологии «кольцо» и должна обеспечивать 100%-е резервирование трафика телефонии при существующей логической топологии сети.

Информация о технических характеристиках оборудования SDH предоставляется преподавателем или находится студентом самостоятельно по открытым источникам на сайтах производителей.

На основе расчетов объемов передаваемого трафика телефонии (раздел 2), разработанной физической топологии сети (раздел 3) и проведенной маршрутизации трафика (раздел 4) необходимо обосновать установку в сетевых узлах оборудования SDH необходимой конфигурации, которое обеспечит обмен телефонным трафиком, рассчитанным ранее. В сети устанавливается оборудование SDH одного производителя.

Для этого необходимо:

- выбрать производителя и марку оборудования;
- дать общую характеристику оборудования (назначение, архитектура, поддерживаемые интерфейсы, методы защиты, возможная конфигурация мультиплексоров, поддерживаемые сетевые топологии);
- привести описание (назначение и технические характеристики) основных типов плат, используемых в оборудовании;
- привести внешний вид передней панели стойки/корзины оборудования с указанием мест расположения плат;
- привести перечень плат, используемых в мультиплексорах, и их количество в каждом сетевом узле (представить в виде таблицы 5.1), а также описание этих плат (выполняемые ими функции, алгоритм обработки информационных и вспомогательных сигналов и т. п.); перечень плат выбирается с учетом выбранного интерфейса подключения к оборудованию OTN, АМТС, ЦС, а также с учетом выбранных механизмов защиты на сети.

Таблица 5.1 – Спецификация оборудования SDH мультиплексорных узлов

Наименование блока	Наименования районных центров, где устанавливается сетевое оборудование		Общее количество блоков
	...	...	

## **5.2 Конфигурация мультиплексорных узлов внутризональной сети передачи данных**

Для построения внутризональной сети передачи данных используется оборудование передачи данных (коммутаторы Ethernet уровня распределения), включенное в сеть по топологии «точка – точка» с защитой по оптическому каналу 1+1 или в кольцевую топологию, когда в кольце на одной длине волны работает несколько коммутаторов Ethernet. С учетом проведенных ранее расчетов объема трафика передачи данных и его маршрутизации необходимо обосновать выбор оборудования передачи данных соответствующей производительности с возможностью подключения как к оборудованию потребителей, так и к оборудованию транспортной сети, привести его основные характеристики, выбрать интерфейсы подключения к местной сети передачи данных и к оборудованию OTN и указать их основные характеристики.

Также необходимо привести основные характеристики оборудования передачи данных, выбрать интерфейсы подключения к местной сети передачи данных и к оборудованию OTN и указать их основные характеристики.

## 6 ОСОБЕННОСТИ И АРХИТЕКТУРА ТЕХНОЛОГИИ OTN

### 6.1 Технология OTN как технология транспортного уровня

Современные транспортные сети базируются на оптических технологиях, в частности, спектрального разделения каналов (WDM) и оптической транспортной сети (OTN).

Технология оптической транспортной сети, как определено в рекомендациях ITU-T G.709 и G.798, предусматривает методы размещения, формирования и мультиплексирования сигналов в соответствующем оборудовании и управления сетями на основе этого оборудования. OTN поддерживает передачу различных клиентских сигналов в их натуральном формате независимо от типов используемых протоколов. В рекомендациях описана единая структура Optical Data Unit (ODU) / Digital wrapper (технология цифрового обертывания), в которой можно разместить несколько потоков данных в существующих форматах, а затем объединить их с другими сигналами и далее передавать и управлять в едином стиле с единой функциональностью, характерной для транспортных сетей.

Следует отметить, что технология OTN не заменяет технологии DWDM, а дополняет ее оптические каналы «цифровой оболочкой».

Транспортная сеть, построенная на базе оборудования, поддерживающего технологию OTN, ограничена точками доступа клиентских оптических каналов передачи и объединяет сетевые ресурсы, которые выполняют функции передачи информации и контроля и управления сетью.

Передача сигналов информационной нагрузки из одного пункта в другой, т. е. транспортная функция, является основной. Она реализуется оптической сетью передачи информации. Функции контроля и управления сетью являются вспомогательными (функциями поддержки). Они обеспечивают нормальное функционирование оптической сети передачи информации и реализуются с помощью автоматизированной системы контроля и управления сетью.

Технология OTN используется для обеспечения универсальности и полной функциональности оптической транспортной сети. В соответствии с принципами OTN цифровые сигналы информационной нагрузки преобразуются в оптическом канале передачи в стандартизированные цифровые структуры. При этом циклы структурированных сигналов содержат служебные заголовки, которые используются для контроля и обслуживания оптических каналов передачи. В результате оптическая транспортная сеть становится цифровой, универсальной и полнофункциональной.

### Особенности технологии OTN:

- прозрачность оптических каналов для различных видов высокоскоростного оптического трафика;
- высокая эффективность использования пропускной способности оптического волокна;
- возможность увеличения пропускной способности сети в процессе эксплуатации, как правило, без дорогостоящей замены существующего оптического кабеля;
- большая гибкость в распределении пропускной способности сети;
- совместная передача синхронных и асинхронных сигналов в одном оптическом канале;
- эффективность при передаче асинхронных пакетно-ориентированных протоколов (GE, 10GE, различного уровня (FC), ESCON/FICON), не имеющих собственных средств мониторинга на физическом уровне;
- наличие различных видов автоматической защиты оптических каналов и оптических мультиплексных секций, обеспечивающих высокую надежность и живучесть оптической транспортной сети;
- развитые средства контроля и управления сетью;
- международная стандартизация в рамках ITU-T.

Архитектура сетей OTN описана в рекомендации ITU-T G.872. Уровневая структура технологии OTN представлена на рисунке 6.1.

Каналы пользователя    IP    Ethernet    STM-N

Уровень трактов	Блок данных оптического канала (ODU)			
	Транспортный блок данных оптического канала (OTU)	STM-N	IP/MPLS	Ethernet
Уровень оптических физических секций (OPS)	Оптический канал (OCh)			
	Оптическая мультиплексорная секция (OMS-n)			
	Оптическая секция передачи (OTS-n)			
Уровень среды передачи	Оптический транспортный модуль (OTM-n)			

Рисунок 6.1 – Уровневая структура технологии OTN

Уровень трактов используется для структурирования клиентских сигналов. В его состав входят два сетевых слоя:

- слой цифровых трактов оптических блоков данных (ODUk);
- слой цифровых секций оптических транспортных блоков (OTUk).

Слой трактов ODUk поддерживает прозрачное транспортирование клиентских сигналов в различном формате между пунктами окончания тракта ODUk.

Слой секций OTUk поддерживает один тракт сетевого слоя ODUk и обеспечивает транспортирование сигналов ODUk через секцию OTUk между пунктами регенерации типа 3R.

Под регенерацией типа 3R подразумевается полная регенерация импульсов цифрового сигнала:

- восстановление амплитуды импульсов (Reamplification);
- восстановление формы импульсов (Reshaping);
- восстановление временных соотношений импульсов (Retiming).

Таким образом, секция OTUk образует участок регенерации оптической транспортной сети.

Сетевой слой оптических каналов (OCh – Optical Channel) обеспечивает прозрачный перенос оптических сигналов нагрузки между пунктами окончания оптического канала («цветными» передатчиками и приемниками транспондеров или клиентских интерфейсов).

Сетевой слой оптических мультиплексных секций (OMS – Optical Multiplex Section) обеспечивает мультиплексирование и демultipлексирование оптических каналов с разделением по длине волны и транспортирование группового (агрегатного) оптического сигнала между пунктами окончания оптической мультиплексной секции (оптическими мультиплексорами и демultipлексорами, а также оптическими мультиплексорами ввода-вывода).

Сетевой слой оптической секции передачи (OTS – Optical Transmission Section) обеспечивает транспортирование агрегатного оптического сигнала между двумя смежными элементами оптической транспортной сети (поддерживает функции усиления и коррекции многоволнового сигнала).

В случае когда по волокну работает только один оптический канал (например, на участке транспондер – оптический мультиплексор), слой оптической мультиплексной секции и слой оптической секции передачи могут быть свернуты воедино, в результате чего образуется слой оптической физической секции (OPS). Оптическая физическая секция OPS объединяет транспортные

функции сетевых слоев OMS и OTS, за исключением функций контроля и управления.

Сетевой слой физической среды передачи обеспечивает пассивную передачу агрегатного оптического сигнала (оптического транспортного модуля уровня n – OTM-n) по оптическому волокну (ОВ) и определяется типом оптического волокна (например, соответствующего рекомендациям ITU-T G.652, G.653 или G.655).

## 6.2 Иерархия скоростей OTN

Первая версия технологии OTN была ориентирована преимущественно на клиентские сигналы SDH. Поэтому изначально в рекомендации ITU-T G.709 были определены только три фиксированных типа контейнеров ODUk для трафика с постоянной скоростью передачи (CBR – Constant bit rate):

- ODU1 для CBR2G5 (STM-16);
- ODU2 для CBR10G (STM-64);
- ODU3 для CBR40G (STM-256).

В настоящее время структуры OTN рассматриваются с учетом передачи таких клиентских сигналов, как:

- Ethernet 1GE, 10GE WAN/LAN, 40GE, 100GE;
- SDH 2,5G, 10G, 40G;
- Fiber Channel 1G, 2G, 4G, 8G (10G);
- OTH 2,5G, 10G, 40G, 100G.

Технология OTN для построения своей иерархии скоростей использует коэффициент мультиплексирования, равный 4. Начальная скорость иерархии скоростей OTN составляет 2,5 Гбит/с. В настоящее время стандартизованы четыре скорости, которые выбраны так, чтобы прозрачным образом передавать широкий спектр клиентских сигналов, в том числе сигналы SDH и Ethernet. Иерархия скоростей в технологии OTN приведена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Иерархия скоростей технологии OTN

Интерфейс G.709	Битовая скорость, Гбит/с	Скорость сигнала нагрузки, Гбит/с
OTU1	$255/238 \times 2\,488\,320 = 2,666\,057\,143$	2,488320
OTU2	$255/237 \times 9,953\,280 = 10,709\,225\,316$	9,953280
OTU3	$255/236 \times 39,813\,120 = 43,018\,413\,559$	39,813120
OTU4	$255/227 \times 99,532\,800 = 111,809\,973\,568$	99,532800



Алгоритм формирования сигнала на уровне оптического канала, предназначенного для передачи трафика пользователя, представлен на рисунке 6.2.

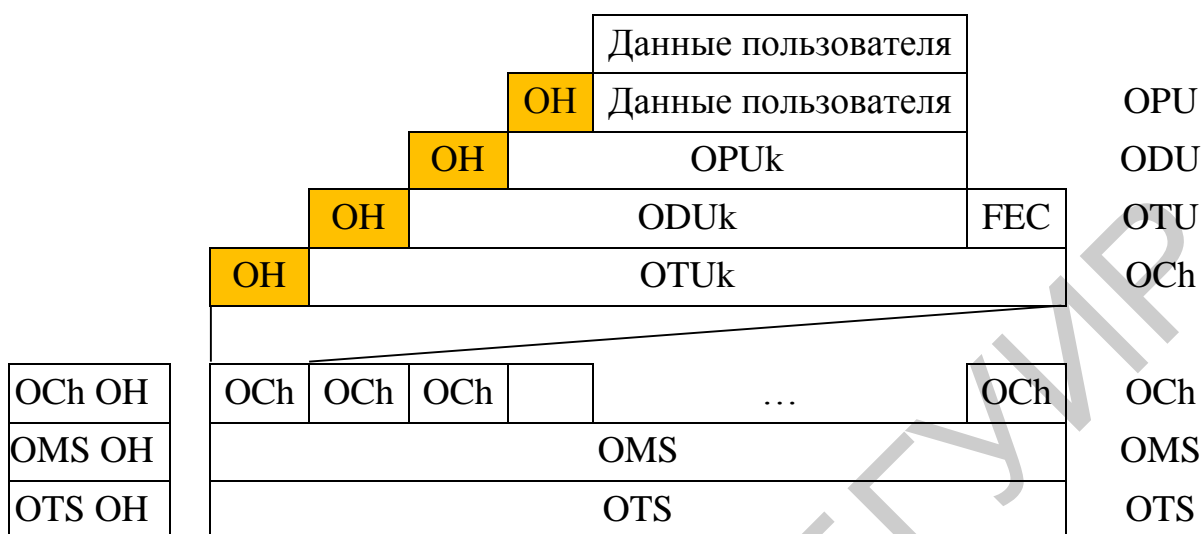


Рисунок 6.2 – Структура сигнала оптического канала

**Протокол OPU** (Optical Channel Payload Unit – блок пользовательских данных оптического канала) ответственен за доставку данных между пользователями сети. Он занимается инкапсуляцией пользовательских данных, таких как сигналы SDH или Ethernet, в блоки OPU, выравниванием скоростей передачи пользовательских данных и блоков OPU, а на приемной стороне извлекает пользовательские данные и передает их пользователю. В зависимости от скорости передачи данных этому протоколу соответствуют блоки OPU1...OPU4. Для выполнения своих функций протокол OPU добавляет к пользовательским данным (Payload) заголовок OPUk OH (OverHead):

$$OPUk = OPUk\ OH + OPUk\ PL.$$

Блоки OPU не модифицируются сетью.

**Протокол ODU** (Optical Channel Data Unit – блок данных оптического канала) так же, как и протокол OPU, работает между конечными узлами сети OTN. В его функции входит мультиплексирование и демultipлексирование блоков OPU, например, мультиплексирование четырех блоков OPU1 в один блок OPU2. Кроме того, протокол ODU поддерживает функции мониторинга качества соединений в OTN. Этот протокол формирует блоки ODU соответ-

ствующей скорости, добавляя к соответствующим блокам OPU свой заголовок ODUk OH:

$$ODUk = ODUk\ OH + OP Uk.$$

**Протокол OTU** (Optical Channel Transport Unit – транспортный блок оптического канала) работает между двумя соседними узлами OTN, которые поддерживают функции электрической регенерации оптического сигнала – функцию 3R. Основное назначение этого протокола – контроль и исправление ошибок с помощью кодов предварительной коррекции ошибок (FEC). Этот протокол добавляет к блоку ODUk свой концевик, содержащий код FEC, образуя блок OTUk.

Блок OTUk состоит из заголовка OTUk OH и концевика OTUk FEC, содержащего код коррекции ошибок FEC. Начинается цикл с сигнала цикловой синхронизации FA OH (поля выравнивания кадра), необходимого для распознавания начала цикла:

$$OTUk = FA\ OH + OTUk\ OH + OTUk\ FEC + ODUk.$$

Блоки OTUk помещаются непосредственно в оптический канал.

Структура цикла OTU показана на рисунке 6.3. Цикл представляется в виде матрицы, состоящей из 4080 столбцов и четырех строк, каждая ячейка матрицы – 1 байт. Состоит из поля пользовательских данных (Payload) и служебных полей заголовков блоков OP Uk, ODUk и OTUk. Формат кадра не зависит от уровня скорости OTN, меняется только длительность цикла для передачи данных того или иного уровня (таблица 6.2).

Столбцы																			
Строки	1	6	7	14	15	17											3824	3825	4080
					16														
1	FAS	OTU OH		OPU OH		Пользовательские данные оптического канала Payload (OPU)										OTU FEC			
2	ODU OH																		
3																			
4																			

Рисунок 6.3 – Формат кадра OTU

Поле пользовательских данных располагается с 17 по 3824 столбец и занимает все четыре строки кадра, заголовок блока OPU занимает столбцы 15 и 16 также в четырех строках. При необходимости заголовок OPU OH может за-

нимать несколько кадров подряд (в этих случаях говорят о сверхцикле OTU), например, такой вариант встречается в том случае, когда нужно описать структуру поля пользовательских данных, объединяющую несколько блоков OPU более низкого уровня.

Таблица 6.2 – Длительность цикла структур OTU

OTU/ODU/OPU	Длительность цикла, мкс
OTU1/ODU1/OPU1	48,971
OTU2/ODU2/OPU2	12,191
OTU3/ODU3/OPU3	3,035
OTU4/ODU4/OPU4	1,168

В технологии OTN проблема выравнивания скоростей пользовательских потоков данных со скоростью передачи данных мультиплексора решается на основе механизма выравнивания скоростей. Механизм выравнивания скоростей OTN является некоторым гибридом механизма цифрового выравнивания технологии PDH и механизма положительного и отрицательного выравнивания на основе указателей, используемого в технологии SDH.

Работа механизма выравнивания в OTN зависит от того, какой режим отображения нагрузки на кадры OTN поддерживается для данного пользовательского потока – синхронный или асинхронный. В режиме синхронного отображения нагрузки мультиплексор OTN синхронизирует прием и передачу данных от синхроимпульсов, выделяемых из принимаемого потока пользовательских данных. Этот режим рассчитан на пользовательские протоколы, данные которых хорошо синхронизированы и содержат в заголовке специальные биты, несущие информацию о статусе сигнала синхронизации (как в технологии SDH). В этом случае механизм не задействуется, т. к. скорость передачи данных всегда равна скорости их поступления.

В режиме асинхронного отображения нагрузки мультиплексор OTN синхронизируется от собственного источника синхроимпульсов, который не зависит от пользовательских данных. В этом случае рассогласование скоростей неизбежно, и поэтому задействуется механизм выравнивания – положительного, отрицательного и нулевого.

При формировании блоков ODU используется как байт-синхронное, так и асинхронное мультиплексирование. Общая схема мультиплексирования с указанием коэффициентов мультиплексирования приведена на рисунке 6.4.

В технологии OTN предусмотрен механизм виртуальной конкатенации блоков ODU1/2 для передачи высокоскоростного трафика, скорость которого превышает пропускную способность канала ODU1/2.

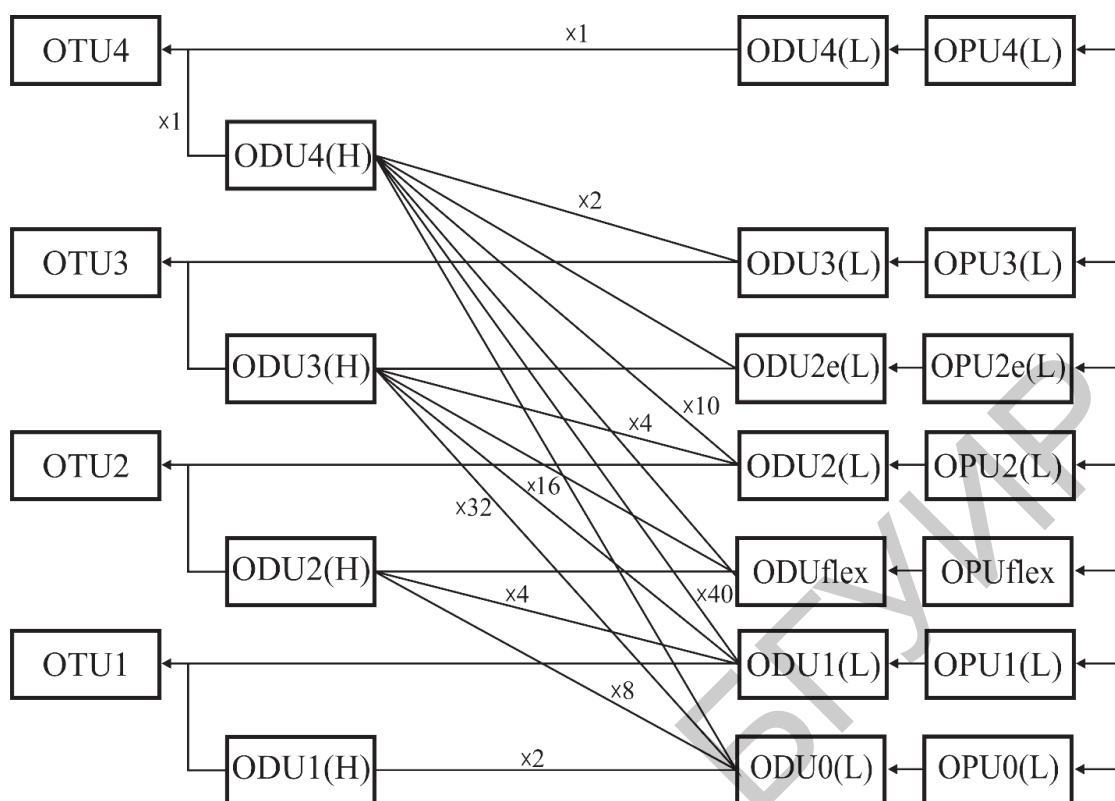


Рисунок 6.4 – Схема мультиплексирования в OTN

Для повышения помехозащищенности на уровне формирования ODUk в технологии OTN применяется процедура прямой коррекции ошибок (FEC), в которой используются коды Рида – Соломона RS(255,239). В этом самокорректирующемся коде данные кодируются блоками по 255 байт, из которых 239 байт являются пользовательскими, а 16 байт представляют собой корректирующий код. Коды Рида – Соломона позволяют исправлять до восьми ошибочных байт в блоке из 255 байт. Применение кода Рида – Соломона позволяет улучшить отношение мощности сигнала к мощности шума на 5 дБ при уровне битовых ошибок в  $10^{-12}$ . Этот эффект дает возможность увеличить расстояние между регенераторами сети приблизительно на 20 км или использовать менее мощные передатчики оптического сигнала.

На рисунке 6.5 показан пример асинхронного мультиплексирования четырех блоков ODU1 в один блок ODU2.

Структурная схема участка транспортной сети OTN с указанием компонентов тракта, уровней и используемых на них протоколов показана на рисунке 6.6.

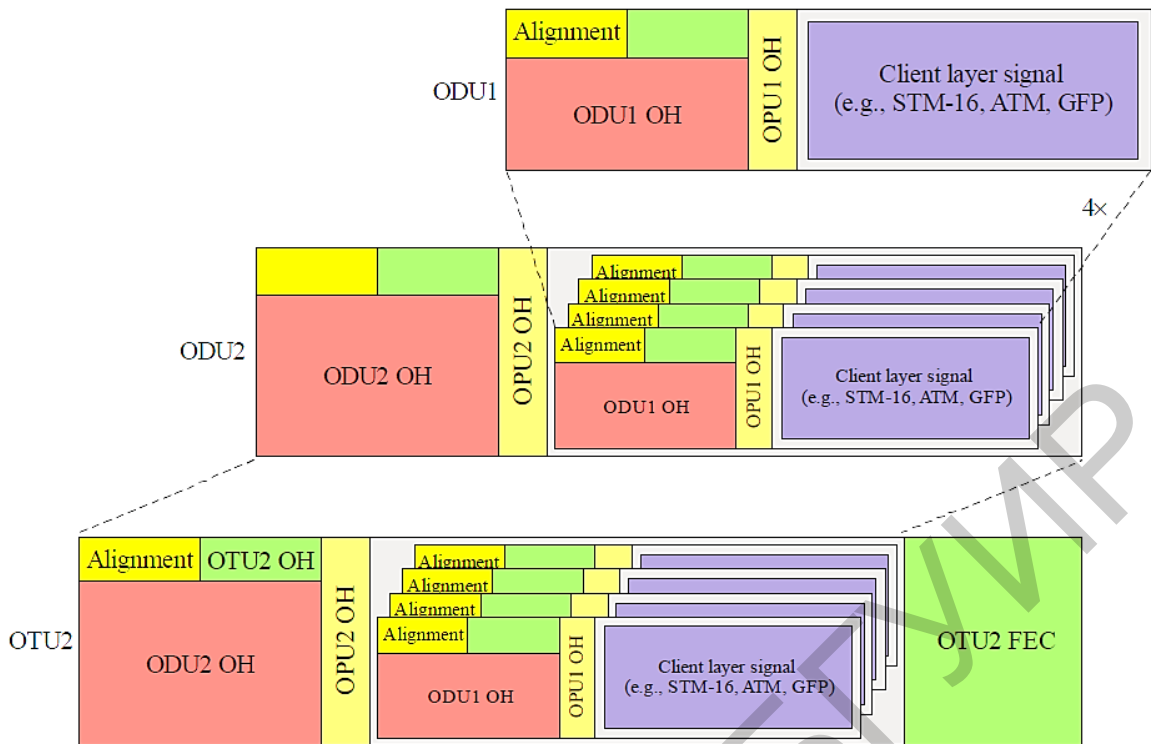


Рисунок 6.5 – Мультиплексирование четырех блоков ODU1 в блок ODU2

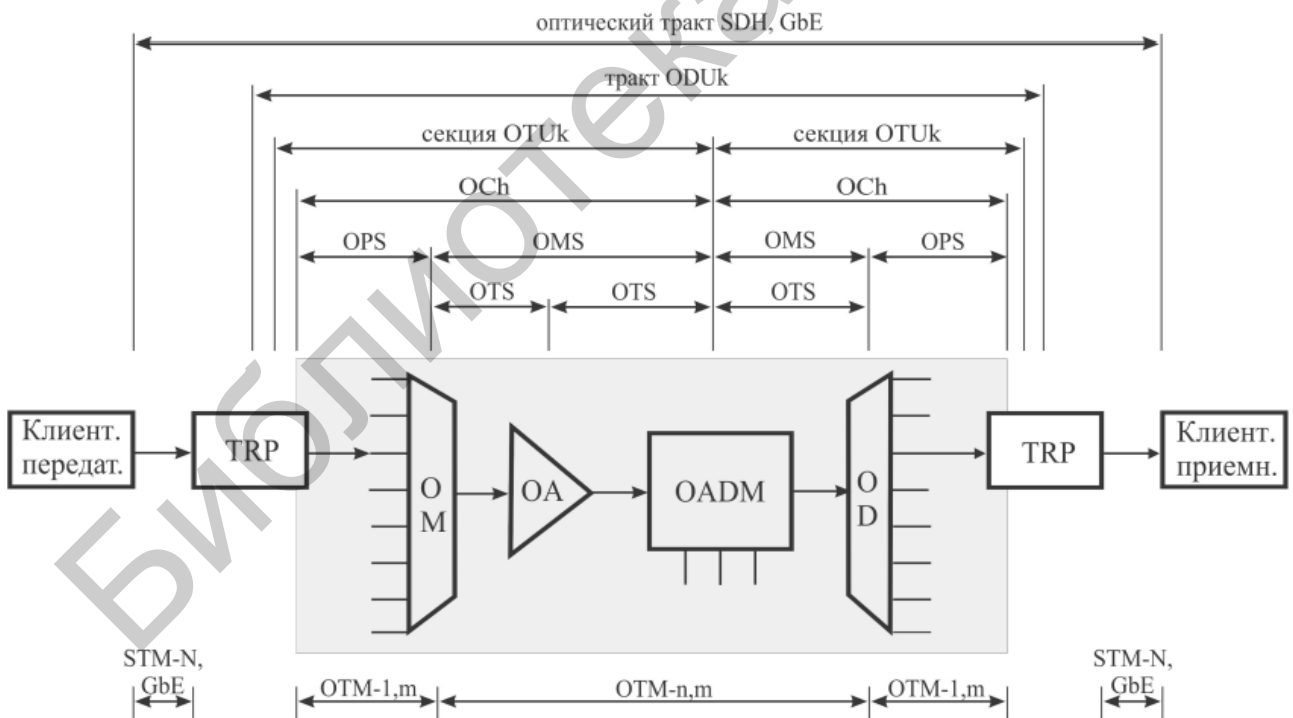


Рисунок 6.6 – Участок транспортной сети OTN

### 6.3 Архитектура и состав оборудования OTN

Оборудование OTN независимо от производителя реализуется в виде мультисервисной, многофункциональной оптической транспортной платформы, которая позволяет строить сетевые элементы и сети разных топологий.

Рассмотрим типовой состав оборудования OTN на примере интеллектуальной оптической платформы передачи OptiX OSN 8800 I компании Huawei, которая чаще всего используется на магистральных, внутризоновых и городских сетях Республики Беларусь, совмещает в себе многие современные технологии передачи информации, контроля и управления. Архитектура системы интеллектуальной оптической платформы представлена на рисунке 6.7.

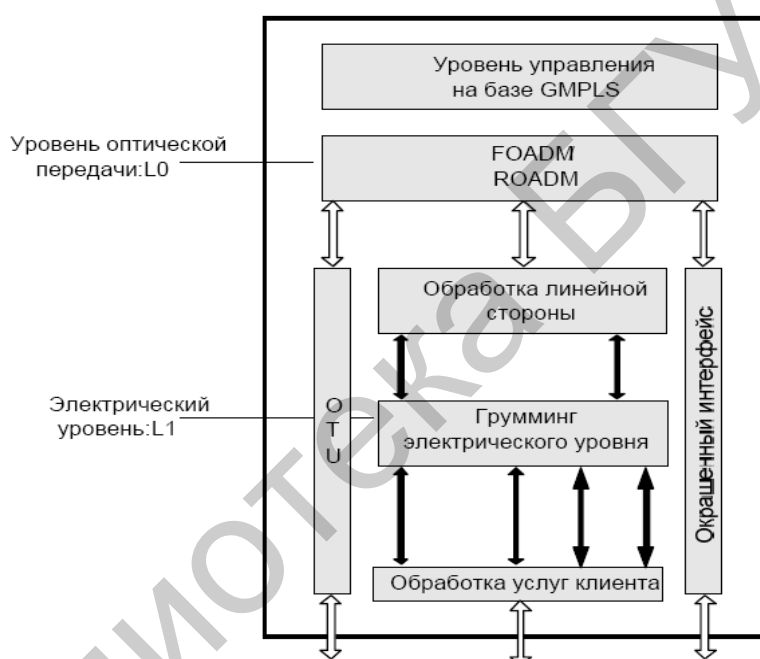


Рисунок 6.7 – Архитектура системы интеллектуальной оптической платформы OptiX OSN 8800 I

Оборудование OptiX OSN 8800 I может обрабатывать оптические клиентские сигналы:

- путем формирования соответствующего OTU и преобразования в стандартные спектральные каналы (открытая система DWDM);
- путем формирования соответствующего OTU с его дальнейшим мультиплексированием и кросс-коммутацией;
- без формирования OTU, если оборудование клиентской стороны имеет стандартные оптические интерфейсы приемопередатчика, соответствующие рекомендации G.694.1 ITU-T (интегрированные системы DWDM).

Оборудование обеспечивает следующие показатели пропускной способности:

- 40-канальная система DWDM с разнесением каналов в 100 ГГц. Применяется для клиентских сигналов со скоростями 2,5 Гбит/с, 10 Гбит/с, 40 Гбит/с, 100 Гбит/с (в будущем);

- 80-канальная система DWDM с разнесением каналов в 50 ГГц. Применяется для клиентских сигналов 10 Гбит/с и 40 Гбит/с, 100 Гбит/с (в будущем);

- система CWDM до 16 спектральных каналов с разнесением 20 нм. Применяется только для клиентских сигналов 2,5 Гбит/с.

При передаче без электрической регенерации сигналов со скоростями:

- 40 Гбит/с в 40-канальной системе возможное затухание на участке регенерации составляет 15×22 дБ;

- 40 Гбит/с в 80-канальной системе возможное затухание на участке регенерации составляет 8×22 дБ;

- 10 Гбит/с в 80-канальной системе возможное затухание на участке регенерации составляет 32×22 дБ;

- 10 Гбит/с в 80-канальной системе возможное затухание на участке регенерации составляет 25×22 дБ;

- 2,5 Гбит/с в 16-канальной системе возможное затухание на участке регенерации составляет 25×22 дБ.

В таблице 6.3 представлены виды клиентских сигналов, поддерживаемых оборудованием OptiX OSN 8800 I.

Таблица 6.3 – Клиентские сигналы, поддерживаемые оборудованием OptiX OSN 8800 I

Категория услуг	Клиентские сигналы	Стандарт
Услуги SDH	STM-1, STM-4, STM-16, STM-64 и STM-256	ITU-T G.707 ITU-T G.691 ITU-T G.957 ITU-T G.693
Услуги Ethernet	FE, GE, 10GE 10GE WAN и 10GE LAN	IEEE 802.3u IEEE 802.3z IEEE 802.3ae
Услуги SAN	ESCON, FICON, FICON Express, FC100, FC200, FC400 и FC1200	ANSI X3.296 ANSI X3.303
Услуги OTN	OTU1, OTU2, OTU3 и OTU3e	ITU-T G.709 ITU-T G.959.1
Видеоуслуги и др.	HDTV, DVB-ASI, DVB-SDI и FDDI	EN 50083-9 SMPTE 292M SMPTE 259M

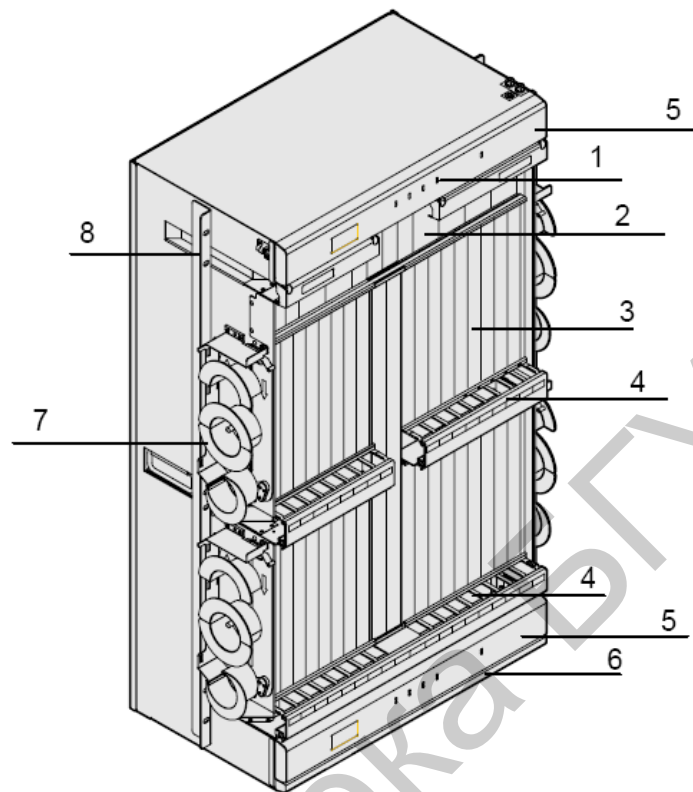
Перечень поддерживаемых оборудованием механизмов защиты на сетевом уровне представлен в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Поддерживаемые механизмы защиты

Вид	Подвид	Описание
Защита оптической линии	Защита оптической линии	Применяет функцию двойного ввода и выборочного приема платы OLP для защиты волоконно-оптических линий между смежными станциями путем использования обходной маршрутизации
Защита оптического канала	Защита на стороне клиента 1+1	Применяет функцию двойного ввода и выборочного приема плат OLP/DCP/SCS для защиты OTU и волоконно-оптического тракта OCh
	Защита внутри платы 1+1	Применяет функцию двойного ввода и выборочного приема плат OTU/OLP/DCP для защиты волоконно-оптического тракта OCh путем использования обходной маршрутизации
SNCP	Защита ODUk SNCP	Применяет функцию двойного ввода и выборочного приема груминга электрического уровня для защиты линейной платы и волоконно-оптического тракта OCh. Кросс-коммутация выполняется для сигналов ODU1 и ODU2
	Защита SNCP трибутарных каналов	Применяет функцию двойного ввода и выборочного приема на электрическом уровне кросс-коммутации. Кросс-коммутация выполняется для сигналов ODU1 и ODU2
Защита ODUk SPRing	Защита ODUk SPRing (Shared Protection Ring)	Применяется в сетях с кольцевой топологией. Использует два различных канала для защиты одного канала услуг между всеми станциями
OWSP	Защита OWSP (Optical Wavelength Shared Protection)	Применяется в сетях с кольцевой топологией. Использует два различных канала для защиты одного канала услуг между всеми станциями



Конструктивно аппаратная часть сети на основе платформы Optix OSN 8800 I размещается в подстативе, внешний вид которого показан на рисунке 6.8.



- 1 – индикатор; 2 – область интерфейсов; 3 – область плат;
- 4 – область укладки оптических кабелей; 5 – блок вентиляторов;
- 6 – воздушный фильтр; 7 – катушка для оптического кабеля;
- 8 – монтажная скоба

Рисунок 6.8 – Структура подстатива Optix OSN 8800 I

Подстатив имеет следующие составные части:

- *индикаторы*, показывающие рабочее состояние и аварийную информацию подстатива;
- *область интерфейсов*, которая располагается под панелью индикаторов подстатива и предназначена для размещения плат, предоставляющих функциональные интерфейсы, такие, как последовательный порт управления, порт связи между подстативами, порт каскадного соединения и вывода аварийной сигнализации и порт ввода и вывода аварийной информации;
- *область плат*, в которой устанавливаются платы услуг. Общее число доступных слотов 48;

- *область укладки оптических кабелей*: оптоволоконные соединительные шнуры прокладываются от портов на передней панели плат до соответствующей точки подключения;

- *блок вентиляторов*, который содержит три вентилятора для вентиляции подстатива и охлаждения;

- *воздушный фильтр*, защищающий подстатив от попадания пыли;

- *катушка для оптического кабеля*, которая применяется для намотки излишков оптического волокна. Катушки крепятся по обеим сторонам подстатива. Оптические кабели, намотанные на катушки, выводятся для подключения к другому подстативу;

- *монтажные скобы*, используемые для крепления подстатива внутри статива.

Область плат подстатива показана на рисунке 6.9.

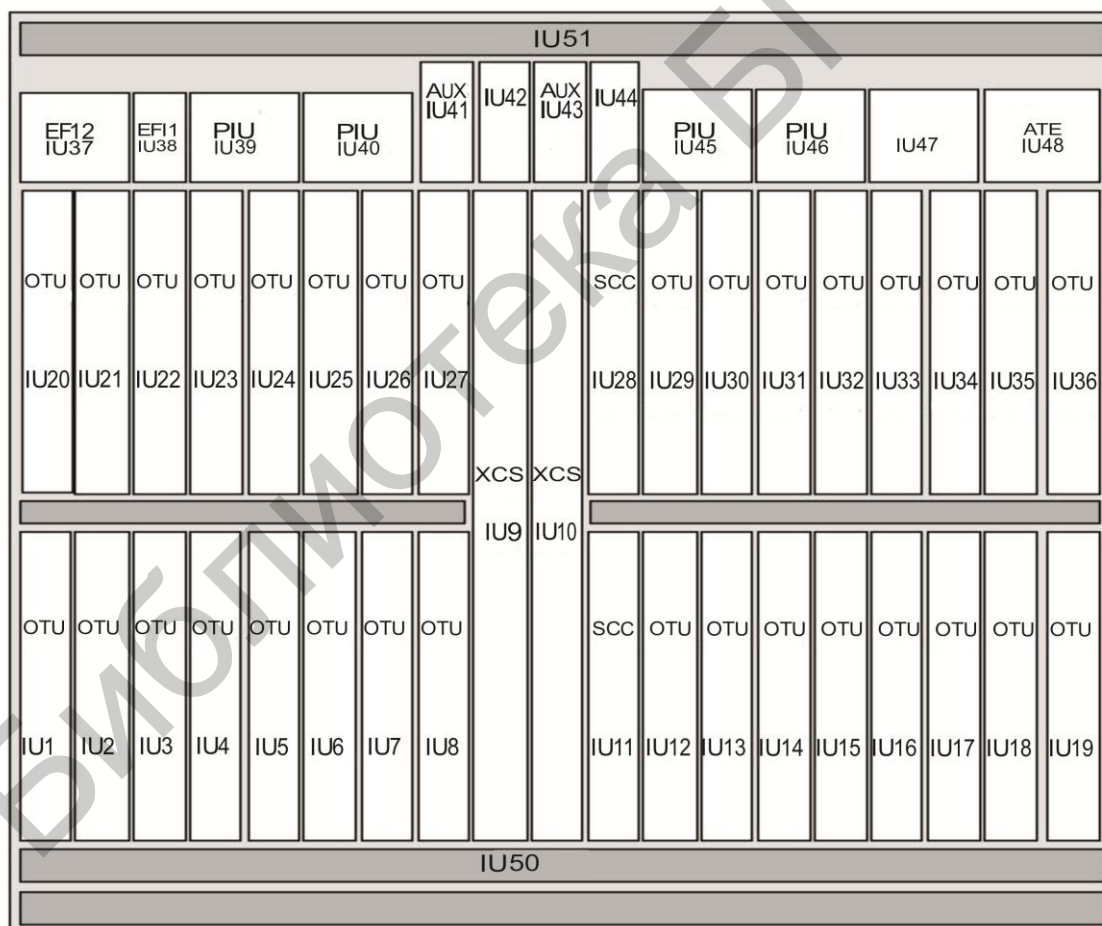


Рисунок 6.9 – Распределение слотов в стойке

Существующие виды функциональных плат оборудования OptiX OSN 8800 I и их наименования приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Функциональные платы

Функциональные платы	Наименование платы
Плата оптического транспондера	LSXL, LSXLR, LOG, LOM, TMX, LSX, LSXR, LDGD, LDGS, LDMD, LDM, LDMS, LQMD, LQM, LQMS, LWXS
Трибутарная плата	TSXL, TQX, TDX, TOM, TQM
Линейная плата	NS2, ND2, NS3, NQ2
Плата кросс-коммутации	XCS
Плата оптического мультиплексо-ра/демультиплексора	FIU, D40, D40V, M40, M40V, ITL
Плата фиксированного оптического мультиплексора ввода-вывода	RMU9, ROAM, WSD9, WSM9, WSMD4
Плата реконфигурируемого оптического мультиплексора ввода-вывода	CMR2, CMR4, DMR1, MR2, MR4, MR8, SBM2, MR8V
Плата оптического усилителя	CRPC, OAU1, OBU1, OBU2, HBA
Плата системного управления и связи	AUX, SCC
Плата оптического супервизорного канала (OSC)	SC1, SC2
Плата оптической защиты	DCP, OLP, SCS
Плата спектрального анализатора	MCA4, MCA8, WMU
Плата регулируемого оптического аттенюатора	VA1, VA4
Плата выравнивания оптической мощности и дисперсии	DCU, GFU, TDC

Область плат подстатива имеет 48 слотов, обозначенных от IU1 до IU48. Слоты распределены следующим образом (см. рисунок 6.9):

- слоты IU1...IU8, IU12...IU27, IU29...IU36 предназначены для плат услуг;

- слоты IU41 и IU43 – для платы AUX;

- слоты IU11 и IU28 – для платы SCC;

- слоты IU39, IU40, IU45 и IU46 – для платы PIU (подключения внешнего питания);

- слоты IU9 и IU10 – для платы XCS;

- слот IU37 – для платы EF12;

- слот IU38 – для платы EF11;

- слот IU48 – для платы АТЕ;
- слоты IU42, IU44 и IU47 зарезервированы для дальнейшего использования.

Платы АТЕ, EFI1 и EFI2 предоставляют функциональные интерфейсы, такие, как последовательный порт управления, порт связи между подстативами, порт каскадного соединения и вывода аварийной сигнализации и порт ввода и вывода аварийной информации.

**Плата оптического транспондера** (OTR – transponder от transmitter-responder) обеспечивает подключение одного или нескольких клиентских каналов. Она объединяет и/или преобразует сигналы потребителей в стандартные спектральные каналы DWDM (в соответствии с рекомендацией ITU-T G.694.1). Данная плата позволяет реализовывать в дальнейшем мультиплексирование с разделением по длине волны сигналов различных спектральных каналов. Все платы OTR являются двунаправленными и одновременно выполняют как прямое, так и обратное преобразование клиентских сигналов.

На рисунке 6.10 показано место платы OTR в системе WDM.

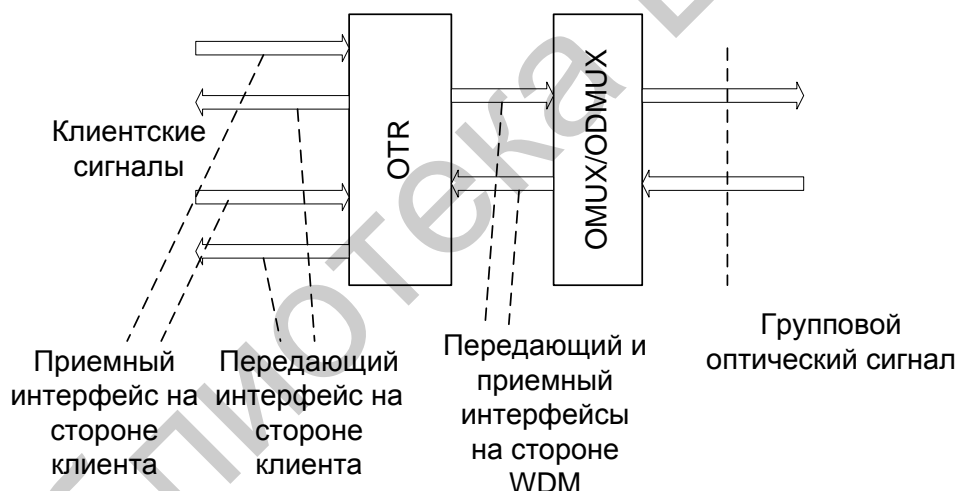


Рисунок 6.10 – Место платы OTR в системе OTN

Платы оптических транспондеров отличаются характером обработки клиентских сигналов (преобразование клиентского сигнала, мультиплексирование, формирование OTUk), числом портов для подключения клиентских сигналов, типами этих портов и их характеристиками, а также характеристиками сигналов на стороне WDM.

Основные параметры оптических интерфейсов плат OTR на стороне клиента:

- формат линейного кода;
- тип оптического источника;
- диапазон рабочих длин волн;

- максимальная средняя передаваемая мощность;
- минимальная средняя передаваемая мощность;
- минимальный коэффициент экстинкции;
- максимальная ширина спектра на уровне минус 20 дБ;
- минимальный коэффициент подавления боковых мод;
- вид глаз-диаграммы;
- тип приемника;
- чувствительность приемника;
- минимальный уровень перегрузки приемника;
- максимальный коэффициент отражения.

Основные параметры оптических интерфейсов плат OTR на стороне WDM:

- формат линейного кода;
- дальность передачи, км;
- центральная частота, ТГц;
- девиация центральной частоты, ГГц;
- максимальная средняя передаваемая мощность, дБм;
- минимальная средняя передаваемая мощность,  $p_s$ , дБм;
- минимальный коэффициент экстинкции, дБ;
- максимальная ширина спектра на уровне минус 20 дБ;
- минимальный коэффициент подавления боковых мод, дБ;
- допустимая дисперсия, пс/нм;
- вид глаз-диаграммы;
- тип приемника;
- чувствительность приемника,  $p_r$ , дБм;
- минимальный уровень перегрузки приемника, дБм;
- максимальный коэффициент отражения, дБ.

**Трибутарные платы** преобразуют клиентские сигналы в блоки ODUk для их последующей обработки в плате кросс-коммутации. Платы отличаются количеством и характеристиками подключаемых клиентских сигналов, которые соответствуют основным параметрам оптических интерфейсов плат OTR на стороне клиента.

**Линейная плата** предназначена для мультиплексирования блоков ODUk, получаемых с выхода платы кросс-коммутации, и формирования соответствующих OTUk с длинами волн стандартных спектральных каналов (ITU-T G.694.1), которые в дальнейшем поступают на плату оптического мультиплексора. Отличаются коэффициентом мультиплексирования и уровнем OTUk, ха-

рактируются основными параметрами оптических интерфейсов плат OTR на стороне WDM.

**Плата кросс-коммутации** обеспечивает кросс-коммутацию сигналов ODUk между соответствующими линейными платами.

Все три вида плат работают как в направлении передачи, так и в направлении приема клиентского и линейного сигналов.

**Платы оптических мультиплексора (OMUX) и демультимплексора (ODMUX)** выполняют мультиплексирование или демультимплексирование до 80 оптических сигналов различных длин волн. Отличаются разносом частот между оптическими несущими, а также возможностью регулировки оптической мощности каждого из мультиплексируемых каналов.

Основные характеристики плат мультиплексора/демультимплексора:

- разнос смежных каналов, ГГц;
- вносимые потери, дБ;
- оптические возвратные потери, дБ;
- диапазон рабочих длин волн, нм;
- изоляция смежных каналов, дБ;
- изоляция несмежных каналов, дБ;
- потери, зависящие от поляризации, дБ;
- максимальная разница во вносимых потерях каналов, дБ;
- ширина спектра на уровне минус 0,5 дБ, нм;
- ширина спектра на уровне минус 1 дБ, нм;
- ширина спектра на уровне минус 20 дБ, нм.

Место трибутарных и линейных плат, плат кросс-коммутации и оптических мультиплексоров и демультимплексоров в системе WDM показано на рисунке 6.11.

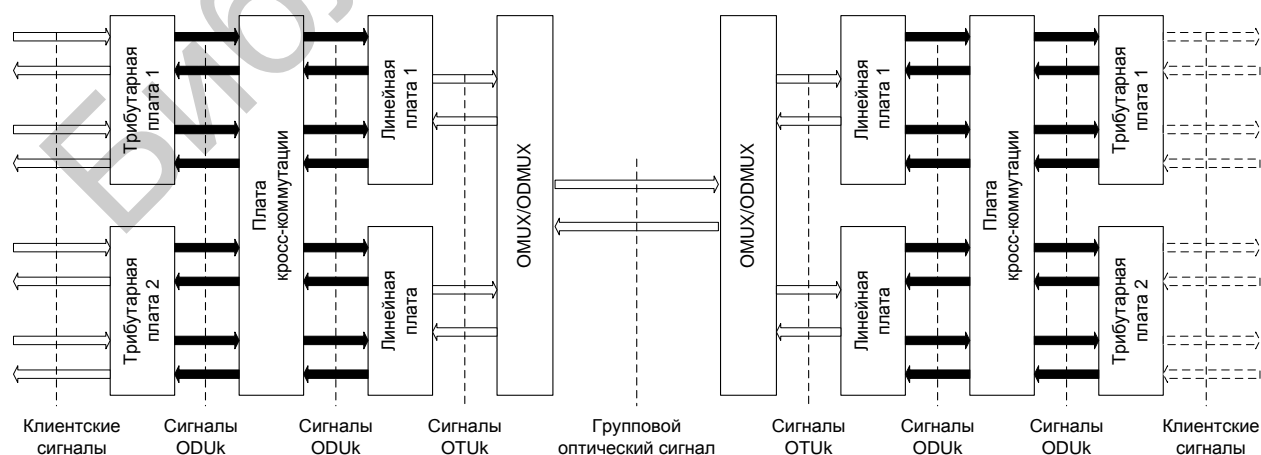


Рисунок 6.11 – Взаимодействие функциональных плат оборудования OTN

**Плата фиксированного оптического мультиплексора ввода-вывода** (FOADM – Fixed Optical Add-Drop Multiplexer) обеспечивает вывод оптических сигналов определенной длины волны из группового оптического сигнала и передачу их в OTR. В то же время оптические сигналы определенной длины волны, передаваемые с OTR, мультиплексируются в групповой сигнал (рисунок 6.12).

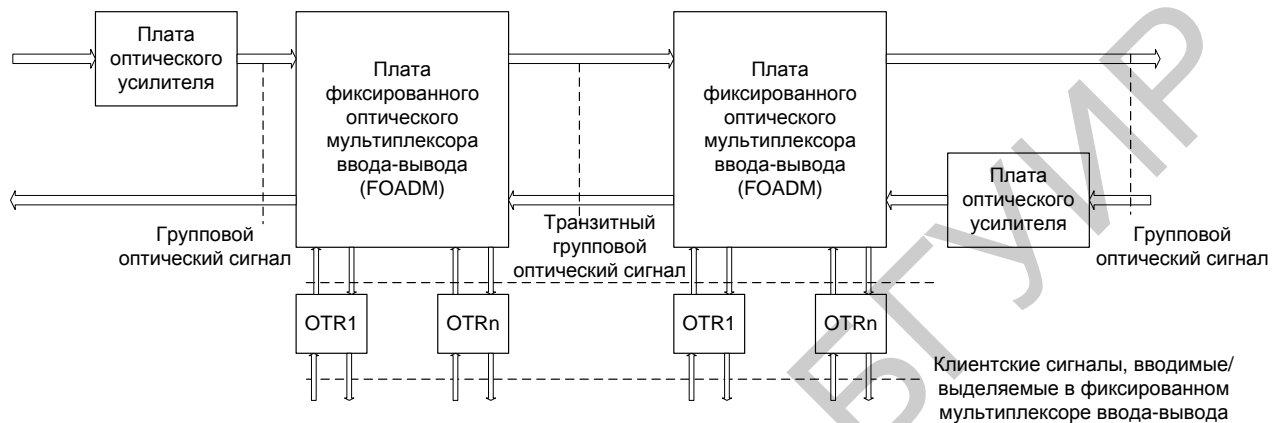


Рисунок 6.12 – Место платы фиксированного оптического мультиплексора ввода-вывода в системе WDM

Фиксированные платы оптического мультиплексора ввода-вывода отличаются количеством сигналов ввода-вывода, их возможными фиксированными длинами волн, возможностью коррекции входной оптической мощности каждого канала. Характеризуются следующими параметрами:

- диапазон рабочих длин волн, нм;
- разнос смежных каналов, нм;
- ширина спектра на уровне 0,5 дБ, нм;
- вносимые потери при выводе канала, дБ;
- изоляция смежных каналов, дБ;
- изоляция несмежных каналов, дБ;
- вносимые потери при вводе канала, дБ;
- вносимые потери для транзитного группового сигнала, дБ.

**Плата реконфигурируемого оптического мультиплексора ввода-вывода** (ROADM – Reconfiguration Optical Add-Drop Multiplexer) демультиплексирует сигнал любой одной или нескольких длин волн из группового сигнала и отправляет этот сигнал на OTR. Также этот блок мультиплексирует сигнал любой одной или нескольких длин волн в групповой оптический сигнал (рисунок 6.13).

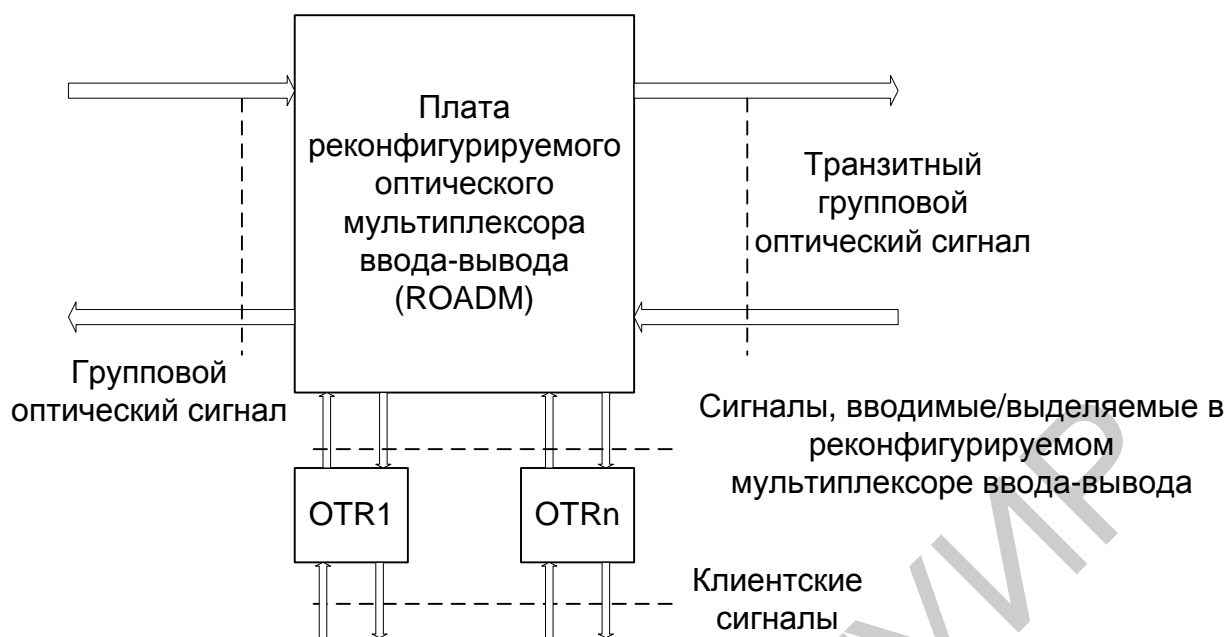


Рисунок 6.13 – Место платы реконфигурируемого оптического мультиплексора ввода-вывода в системе WDM

Платы ROADMs отличаются числом оптических сигналов, вводимых/выводимых платой, возможностью регулировки оптической мощности каждого из мультиплексируемых каналов, характеризуется следующими параметрами:

- разнос смежных каналов, ГГц;
- вносимые потери, дБ;
- диапазон рабочих длин волн, нм;
- ширина спектра на уровне 0,5 дБ, нм;
- изоляция смежных каналов, дБ;
- изоляция несмежных каналов, дБ;
- коэффициент экстинкции, дБ;
- время реконфигурации, с;
- оптические возвратные потери, дБ;
- диапазон ослабления каждого из добавляемых каналов, дБ;
- точность установки ослабления для каждого из добавляемых каналов, дБ;
- потери, зависящие от поляризации, дБ;
- число выделяемых/вводимых длин волн.

**Плата оптического усилителя** усиливает мощность мультиплексированных оптических сигналов с целью увеличения дальности передачи. Платы оптических усилителей отличаются способом усиления, местом использования в линейном тракте и характеризуются следующими основными параметрами:



- диапазон рабочих длин волн, нм;
- номинальный коэффициент усиления, дБ;
- номинальная мощность сигналов на входе, дБм;
- типичная мощность сигналов отдельного канала на входе, дБм;
- коэффициент шума ( $NF$ ), дБ;
- коэффициент отражения на входе, дБ;
- коэффициент отражения на выходе, дБ;
- максимальная суммарная мощность на выходе, дБм;
- время отклика на ввод-вывод каналов, мс;
- усиление канала, дБ;
- неравномерность усиления, дБ;
- потери, зависящие от поляризации, дБ;
- поляризационно-модовая дисперсия, пс.

**Плата оптической защиты** (OP – optical protection) реализует защиту сети в режиме самовосстановления. Несколько вариантов включения плат OP показано на рисунке 6.14.

Платы оптической защиты выполняют следующие функции:

- обеспечивают защиту оптической линии для нормального приема сигналов, при ухудшении характеристик активного оптического волокна выполняют автоматическое переключение на резервное оптическое волокно (см. рисунок 6.14, а);
- обеспечивают защиту по схеме 1+1 между платами для защиты услуг OTR с двойным вводом и выборочным приемом (см. рисунок 6.14, б);
- обеспечивают защиту по схеме 1+1 для защиты услуг на стороне клиента с использованием рабочего и резервного OTR (см. рисунок 6.14, в).

**Плата спектрального анализатора** контролирует такие параметры каналов, как:

- центральная длина волны;
- значение мощности;
- отношение «сигнал – шум»;
- количество спектральных каналов оптического сигнала.

Собранная информация передается на плату SCC для обработки. Платы отличаются количеством каналов, для которых проводится спектральный анализ.

**Плата регулируемого оптического аттенюатора** регулирует оптическую мощность одного или нескольких оптических каналов в соответствии с командой управления, поступающей от SCC.

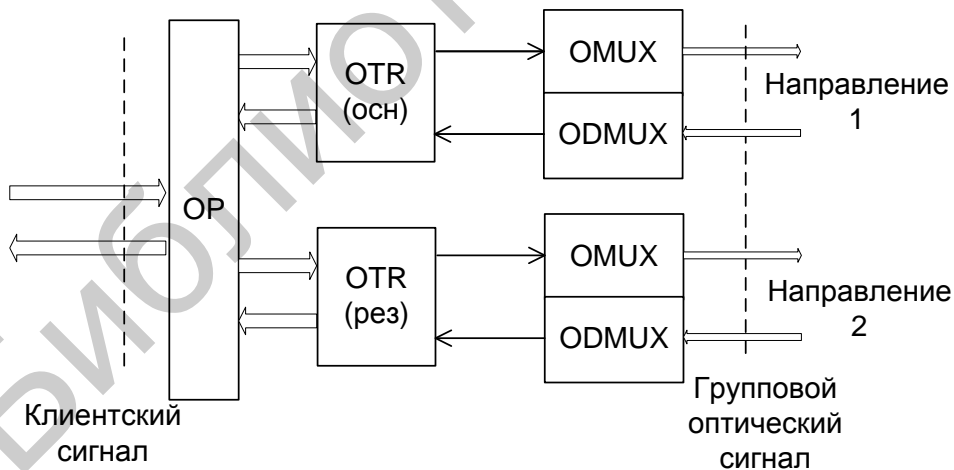
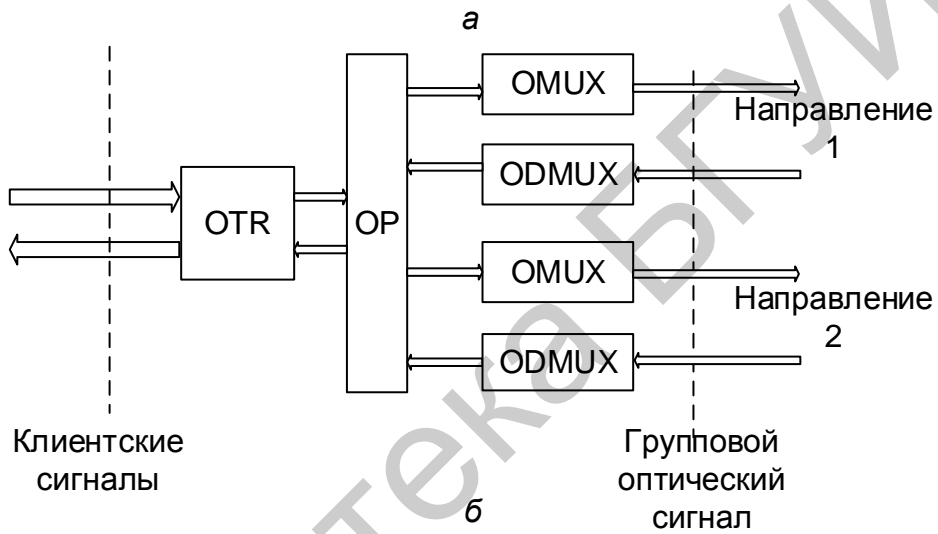
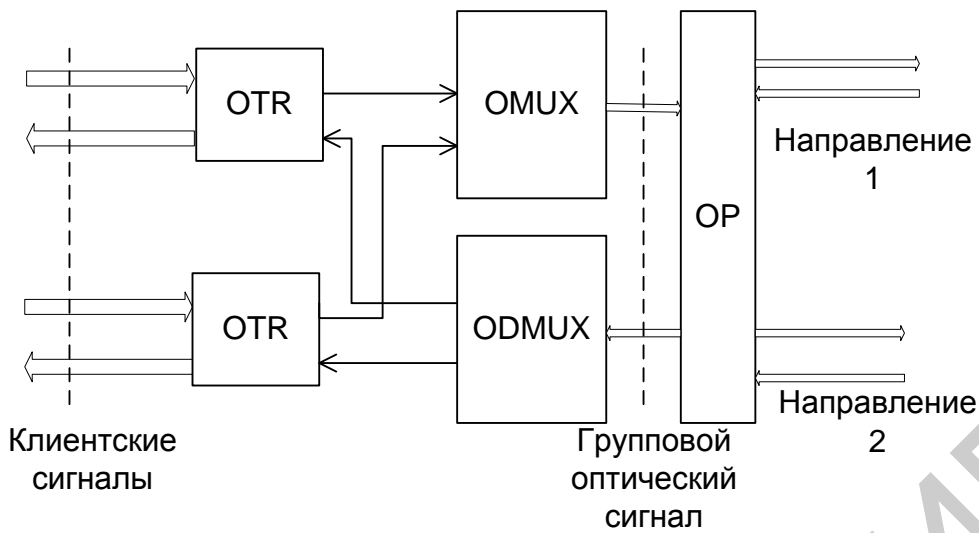


Рисунок 6.14 – Место платы оптической защиты в системе WDM

**Платы выравнивания дисперсии** (DCM – Dispersion Compensation Module) выполняют компенсацию дисперсии, которая накапливается в оптово-

локонных линиях при передаче. В комбинации с платой усилителя может реализовывать оптическую передачу на дальние расстояния.

**Плата системного управления и связи** (SCC – System Control and Communication) является центром управления оборудованием. Она помогает системе управления сетевым оборудованием осуществлять управление платами и позволяет оборудованию взаимодействовать между собой.

Плата системного управления и связи выполняет следующие функции:

- обеспечивает для системы различные вспомогательные интерфейсы и интерфейсы управления;
- осуществляет управление конфигурацией оборудования и вывод аварийных сигналов подстатива;
- передает и извлекает служебную информацию системы, а затем после несложной обработки отправляет ее в плату супервизорного канала, предназначенную для приема, обработки и передачи сигналов оптического супервизорного канала.

Библиотека БГУМР

## 7 ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА ВНУТРИЗОНОВОЙ СЕТИ

### 7.1 Выбор оборудования транспортной сети

При проектировании транспортного участка внутризоновой сети необходимо:

- выбрать производителя и марку оборудования, поддерживающего технологию OTN. Информация о технических характеристиках оборудования OTN предоставляется преподавателем или находится по открытым источникам на сайтах производителей;
- дать общую характеристику оборудования (назначение, архитектура, поддерживаемые интерфейсы, конфигурация, поддерживаемые сетевые топологии, методы защиты на сети и пр.);
- привести описание (назначение и технические характеристики) основных типов плат, используемых в оборудовании;
- привести внешний вид передней панели стойки/корзины оборудования с указанием мест расположения плат;
- определиться с выбором длин волн оптических каналов;
- привести перечень плат, необходимых для использования в оборудовании транспортного уровня, и их количество в каждом сетевом узле (представить в виде таблицы 7.1), а также описание этих плат (выполняемые ими функции, алгоритм обработки информационных и вспомогательных сигналов, характеристики, необходимые для расчетов, и т. п.); перечень плат выбирается с учетом выбранных ранее интерфейсов подключения к оборудованию OTN и к оборудованию потребителей, проведенной маршрутизации трафика, механизмов защиты на сети и расчетов.

Таблица 7.1 – Спецификация оборудования OTN сетевых узлов

Наименование блока	Наименования населенных пунктов, где устанавливается сетевое оборудование		Общее количество блоков
	...	...	

## 7.2 Основные характеристики используемого оптического волокна

При проектировании линейного тракта и расчете протяженности участков усиления и регенерации для сигналов на каждой из используемых длин волн в качестве исходных данных используются параметры оптического интерфейса канального оптического сигнала на стороне WDM и параметры оптического волокна. Для заданного вариантом задания типа ОВ необходимо представить его характеристики. Типовые параметры одномодового оптического волокна в соответствии с Рекомендацией ИТУ-Т G.652 приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Типовые характеристики стандартного одномодового оптического волокна

Параметр	Значение
Диаметр оболочки, мкм	125,0 ± 0,7
Диаметр покрытия, мкм	245±10
Рабочий диапазон длин волн, нм	1285...1330 1530...1565
Длина волны отсечки в кабеле $\lambda_{cc}$ , нм	≤ 1260
Коэффициент затухания на длине волны, дБ/км: 1310 нм; 1550 нм; 1625 нм	≤ 0,34 ≤ 0,19 ≤ 0,23
Коэффициент затухания на длине волны гидроксильного пика 1383±3 нм (дБ/км)	≤ 0,33
Длина волны нулевой дисперсии $\lambda_0$ , нм	1300 < $\lambda_0$ < 1320
Наклон дисперсионной кривой $s_0$ , пс/(нм <sup>2</sup> ·км)	≤ 0,090
Коэффициент поляризационной модовой дисперсии (пс/√км): индивидуальные волокна; протяженная линия	≤ 0,2 ≤ 0,08
Рабочий интервал температур (°С)	-60...+85
Эффективный групповой показатель преломления сердцевинны на длине волны: 1310 нм; 1550 нм	1,469 1,470

### 7.3 Расчет диаграммы уровней в линейном тракте

В соответствии с проведенным ранее распределением длин волн и с учетом характеристик используемых плат оборудования транспортной сети и оптического волокна необходимо рассчитать диаграмму уровней для каждой длины волны, задействованной для передачи клиентского трафика. Диаграмма уровней отображает изменение уровня канального оптического сигнала в линейном тракте с учетом предложенного к использованию оборудования и позволяет обосновать места установки оптических усилителей в линейном тракте, а также выбор их характеристик.

При построении диаграммы уровней учитываются:

-  $p_S$  – абсолютный уровень мощности излучения канального оптического сигнала передатчиком транспондера на стороне WDM, дБм;

-  $p_R$  – абсолютный уровень мощности оптического сигнала на входе приемного устройства транспондера на стороне WDM, при котором коэффициент ошибок  $k_{\text{ош}}$  при приеме канального оптического сигнала не превышает требуемого значения, дБм;

- затухание, вносимое оптическим волокном, которое на  $i$ -м участке тракта протяженностью  $L_i$  км между сетевыми узлами рассчитывается по формуле

$$A_i = \alpha_{\text{км}} \cdot L_i + A_{\text{соед}} + A_{\text{зап}} \text{ [дБ]},$$

где  $\alpha_{\text{км}}$  – километрическое затухание оптического волокна на длине волны данного оптического канала, дБ/км;

$L_i = L_{ip} \delta$  – протяженность участка с учетом коэффициента запаса по длине оптического кабеля;

$L_{ip}$  – реальная протяженность участка транспортной сети;

$\delta$  – коэффициент запаса по длине оптического кабеля;

$A_{\text{соед}}$  – затухание на разъёмных и неразъёмных соединениях на данном участке, равное

$$A_{\text{соед}} = n_p \cdot a_p + \left( \frac{L_i}{L_{\text{стр}}} + 1 \right) \cdot a_n,$$

где  $n_p$  – количество разъёмных соединений на участке;

$a_p$  – затухание в разъёмных соединениях, дБ;

$L_{\text{стр}}$  – строительная длина оптического кабеля;

$\frac{L_i}{L_{стр}} + 1$  – количество неразъемных соединений, которое связано с протя-

женностью участка регенерации и строительной длиной оптического кабеля;

$a_n$  – затухание в неразъемном (сварном) соединении, дБ;

$A_{зап}$  – энергетический запас, учитывает старение элементов оптического тракта (обычно 1...1,5 дБ), штраф оптической мощности, связанный с наличием хроматической дисперсии (указывается в характеристиках оптического интерфейса) и поляризационно-модовой дисперсии (рассчитывается), а также с наличием перекрестных влияний в оптических мультиплексорах/демультиплексорах;

- затухание, вносимое пассивными компонентами оптического линейного тракта, например, оптическими мультиплексорами/демультиплексорами, оптическими разветвителями, устройствами компенсации дисперсии, аттенуаторами и пр.; при прохождении сигналов отдельных оптических каналов в оборудовании сетевого узла транзитом необходимо учитывать соответствующее вносимое затухание;

- усиление, вносимое оптическими усилителями; при определении мест установки оптических усилителей необходимо учитывать значения допустимых максимального и минимального номинальных уровней сигнала на его входе.

#### 7.4 Расчет накапливаемой дисперсии в линейном тракте

В процессе распространения по оптическому волокну оптические импульсы расплываются. При достаточно большом уширении импульсы начинают перекрываться, так что становится невозможным их выделение при приеме.

Длительность импульсов цифрового оптического сигнала на выходе оптического волокна протяженностью  $L_i$  км связана с накопленной дисперсией соотношением

$$\tau_R^2 = \tau_S^2 + \sum_i \tau_i^2,$$

где  $\tau_S$ ,  $\tau_R$  – длительность импульсов на входе и выходе оптического волокна соответственно;

$\tau_i$  – учитываемая дисперсия в оптическом волокне.

При передаче сигнала по оптическому волокну уширение импульсов происходит за счет следующих видов дисперсии.

*Межмодовая дисперсия* возникает вследствие различной скорости распространения мод и имеет место только в многомодовом оптическом волокне, в одномодовом волокне отсутствует.

*Хроматическая дисперсия* ( $\tau_{\text{хр}}$ ) является следствием некогерентности источника оптического излучения, имеющего пусть и малую, но конечную ширину спектра излучения  $\Delta\lambda_s$ , нм, и состоит из материальной и волноводной составляющих. Материальная дисперсия обусловлена зависимостью показателя преломления волокна от длины волны. Волноводная дисперсия обусловлена зависимостью поперечной постоянной распространения волны (вдоль радиуса волокна) от длины волны, т. е. распространение света вдоль пограничной с сердцевинной части оболочки идет с большей скоростью, чем по сердцевине, что вносит вклад в изменение дисперсии. К уменьшению хроматической дисперсии ведет использование более когерентных источников излучения и использование рабочей длины волны более близкой к длине волны нулевой дисперсии. Накопленная хроматическая дисперсия  $i$ -го оптического участка протяженностью  $L_i$  рассчитывается по формуле

$$\tau_{\text{хр}} = \tau_{\text{хр.км}} \cdot L_i \cdot \Delta\lambda_s \text{ [пс]},$$

где  $\tau_{\text{хр.км}}$  – километрическая хроматическая дисперсия оптического волокна, имеющая размерность пс/(нм·км);

$\Delta\lambda_s$  – ширина спектра источника оптического излучения в соответствии с используемым оптическим интерфейсом.

Если в технических характеристиках предложенного к использованию в качестве направляющей системы ОВ не указано численное значение среднеквадратической хроматической дисперсии на заданной длине волны, то его необходимо рассчитать по формуле

$$\tau_{\text{хр.км}} = \left(\frac{S_0}{4}\right) (\lambda - \lambda_0^4/\lambda^3) \left[\frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}}\right],$$

где  $S_0$  – наклон дисперсионной кривой оптического волокна на длине волны нулевой дисперсии, пс/(нм<sup>2</sup>·км);

$\lambda$  – рабочая длина волны, нм;

$\lambda_0$  – длина волны нулевой дисперсии, нм.

Накопленная хроматическая дисперсия не должна превышать значения допустимой дисперсии, указанного в характеристиках оптического интерфейса транспондера на стороне WDM.



Значение допустимой хроматической дисперсии для канального оптического сигнала в точке приема нормируется к ширине спектра излучения источника и измеряется в пс/нм. Если значение накопленной хроматической дисперсии превышает значение допустимой дисперсии, необходимо использовать устройство компенсации дисперсии с соответствующими характеристиками;

*Поляризационно-модовая дисперсия (PMD – Polarization Mode Dispersion)* связана с тем, что в классическом одномодовом волокне единственной модой является волна  $HE_{11}$ , однако, если учитывать поляризацию, то в волокне присутствуют две взаимно ортогональные моды, соответствующие горизонтальной и вертикальной осям. В реальной ситуации волокно не является в сечении идеальным кругом, кроме того, при намотке кабеля и при его прокладке возникают несимметричные механические напряжения и деформации волокна, что приводит к двойному лучепреломлению. Коэффициент преломления вследствие дополнительного напряжения будет изменяться, и скорости распространения ортогональных мод на различных участках будут отличаться друг от друга, что будет вносить разные временные задержки при распространении ортогональных мод. Импульс будет испытывать статистическое уширение во времени, которое и называется поляризационной модовой дисперсией. Так как PMD на разных участках линии различна и подчиняется статистическим закономерностям, то используется среднеквадратичное суммирование, и расчет PMD в оптическом волокне производится по формуле

$$\tau_{PMDi} = k_{PMD} \sqrt{L_i},$$

где  $k_{PMD}$  – коэффициент поляризационно-модовой дисперсии ОВ, пс/км<sup>1/2</sup>.

Поляризационно-модовая дисперсия характерна для пассивных и активных элементов оптического линейного тракта, указывается в их технических характеристиках. Общая поляризационно-модовая дисперсия на участке регенерации рассчитывается по формуле

$$\tau_{PMD} = \sqrt{\sum_j \tau_{PMDj}^2},$$

где  $\tau_{PMDj}$  – коэффициент поляризационно-модовой дисперсии  $j$ -го компонента линейного тракта, пс.

Среднее значение случайных дисперсионных потерь из-за PMD  $\tau_{PMD}$  учитывается штрафом оптической мощности. При учете PMD на участке регенерации допустима фактическая дифференциальная групповая задержка величиной 0,3 тактового интервала при максимальном снижении чувствитель-

ности приблизительно на 1 дБ или 0,1 тактового интервала при снижении чувствительности на 0,2 дБ.

### 7.5 Конфигурация мультиплексорных узлов транспортной внутризоновой сети

На основе проведенных расчетов, а также характеристик и номенклатуры выбранного оборудования необходимо составить схему подключения оборудования транспортной сети для сетевых узлов областного центра и районных центров, имеющих два и три направления передачи группового линейного сигнала.

В пояснительной записке приводится схема организации связи внутризоновой сети с использованием для оборудования OTN условного графического обозначения, представленного на рисунке 7.1, где показано оборудование сетевого узла, соответствующего схеме включения оптического мультиплексора ввода-вывода, и отображены:

- интерфейсы подключения клиентских сигналов, их количество и соответствующие им длины волн в данном сетевом узле;
- устанавливаемое дополнительное оборудование, необходимое для обеспечения требуемых участков усиления и регенерации (оптические усилители, устройства компенсации дисперсии и пр.) в данном сетевом узле.

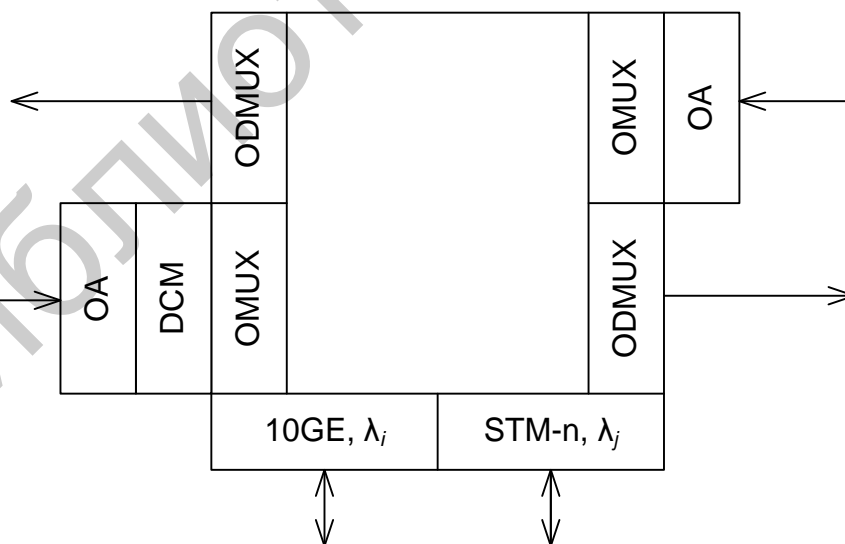


Рисунок 7.1 – УГО сетевого элемента OTN

Необходимо помнить, что для построения внутризоновой сети используется оборудование OTN, включенное в соответствии с разработанной и обоснованной в разделе 3 физической топологией.

При известных логической (на основе маршрутизации трафика) и физической (по результатам раздела 3) топологиям необходимо установить в сетевых узлах оборудование OTN необходимой конфигурации, которое обеспечит обмен трафиком телефонии и передачи данных, рассчитанным ранее. В рамках сети устанавливается оборудование OTN одного производителя.

Библиотека БГУИР

## 8 РАСЧЕТ НОРМ НА ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРУЕМОЙ СЕТИ

При построении цифровых сетей связи предъявляются определенные требования к трактам, используемым при организации цифровых соединений.

При их расчете за основу взяты нормы на показатели качества для международного цифрового условного эталонного тракта (УЭТ) протяженностью 27 500 км (Рекомендации ITU-T G.826, G.828). Структура УЭТ представлена на рисунке 8.1. УЭТ соединяет точки окончания тракта (Path End Point, PEP) и состоит из международного и двух национальных участков. Международный участок может проходить через несколько транзитных стран и в этом случае будет состоять из транзитных участков и участков пересечения границ – международных шлюзов (International Gateway, IG). В качестве шлюза могут использоваться кросс-коннекторы, мультиплексоры, коммутаторы. Цифровой тракт страны может принадлежать либо к транзитному участку, когда через него проходят международные связи стран, для которых данная страна является промежуточной, либо к национальному участку. Границей между национальным и транзитным участком является сетевой элемент – международный центр коммутации.

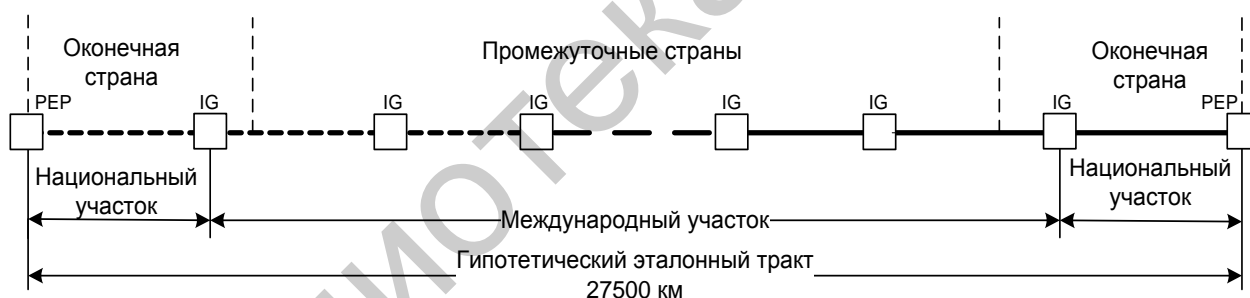


Рисунок 8.1 – Структура условного эталонного тракта

Национальный участок сети Республики Беларусь имеет структуру, представленную на рисунке 8.2.

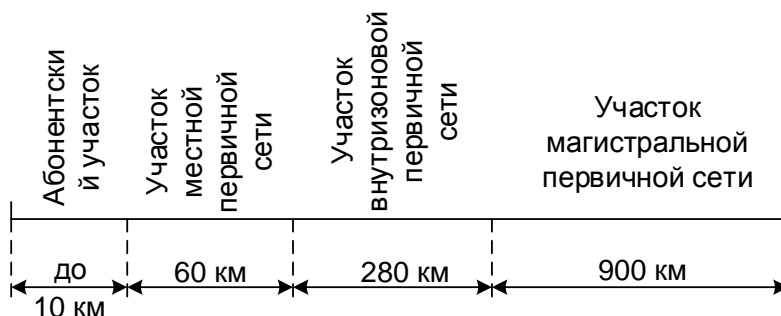


Рисунок 8.2 – Структура национального участка УЭТ РБ

Национальная часть состоит из следующих участков:

- участок магистральной ПС протяженностью 900 км;
- участок внутризонавой ПС протяженностью 280 км;
- участок местной ПС протяженностью 60 км.

При установлении норм на составные части национальной части международного соединения группового тракта предполагается [21], что на участки местной, внутризонавой и магистральной сети отводится по 5 % от установленных норм на показатели качества ( $d_i = 0,05$ ) для всего УЭТ.

В качестве основных показателей для оценки качества в групповых трактах используются:

- *коэффициент секунд с ошибками* (ESR – Error Seconds Ratio) – отношение числа секунд с ошибками к общему числу секунд в период готовности тракта за фиксированный интервал измерений. *Секунда с ошибками* (ES – Errored Second), – период в 1 с с одним или несколькими блоками с ошибками или одним дефектом. *Блок с ошибками* (EB – Errored Block) – блок, в котором отмечены один или несколько битов с ошибками;

- *коэффициент секунд, пораженных ошибками* (SESR – Severally Errors Seconds Ratio), – отношение числа секунд, пораженных ошибками, к общему числу секунд в период готовности за фиксированный интервал измерений. *Секунда пораженная ошибками* – односекундный интервал, содержащий более 30 % блоков с ошибками или по крайней мере 1 период с серьезными нарушениями. *Период с серьезными нарушениями* (SDP – Severely Disturbed Period) – период длительностью, равной 4 смежным блокам, в каждом из которых коэффициент ошибок превышает  $10^{-2}$ , или в среднем за 4 блока коэффициент ошибок более  $10^{-2}$ , или наблюдалась потеря сигнальной информации;

- *коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками* (BBER – Background Block Error Ratio) – отношение числа блоков с фоновыми ошибками к общему числу блоков в период готовности в течение фиксированного интервала измерений за исключением всех блоков в течение SES. *Блок с фоновой ошибкой* (BBE – Background Block Error) – блок с ошибками, не являющийся частью SES.

Исходными данными к расчету норм на параметры ошибок являются:

- тип тракта (спутниковый или наземный);
- вид участка и протяженность тракта передачи;
- скорость передачи;
- телекоммуникационные технологии, используемые на каждом участке;
- типы норм, для которых рассчитываются показатели;
- интервал времени, для которого рассчитывается указанная норма.

Распределение норм на показатели ошибок для УЭТ (Рек. ИТУ-Т G.828, М.2101) различной пропускной способности даны в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Распределение норм на показатели ошибок

Скорость передачи, Мбит/с		1,664 (VC-11)	2240 (VC-12)	6848 (VC-2)	48960 (VC-3)	150336 (VC-4)
Блоки/с		2000	2000	2000	8000	8000
Долговременная норма, $R_{ид}$	<i>ESR</i>	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04
	<i>SESR</i>	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
	<i>BBER</i>	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
Оперативная норма, $R_{io}$	<i>ESR</i>	0,005	0,005	0,005	0,01	0,02
	<i>SESR</i>	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
	<i>BBER</i>	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$

В рамках курсовой работы необходимо для тракта VC-n, организуемого для передачи телефонного трафика в рамках внутризональной телефонной сети на базе оборудования SDH, рассчитать требуемые значения допустимых показателей ошибок, соответствующие долговременным и оперативным нормам при вводе в эксплуатацию [10, 14, 18].

Долговременные нормы должны выполняться в цифровых трактах одновременно по всем показателям. Рекомендуемый период оценки – 1 месяц (30 суток).

При текущем контроле находящихся в эксплуатации цифровых каналов и трактов применяются оперативные нормы, которые относятся к экспресс-нормам и рассчитаны на оценку качества за относительно короткий период измерений. Как правило, оперативные нормы устанавливаются на уровне 0,5 от долговременных норм (см. таблицу 8.1). Период измерений для оценки оперативных норм для трактов SDH составляет 15 минут, 2 часа, 1 сутки.

Различают следующие виды оперативных норм:

- нормы для ввода трактов в эксплуатацию. Используются в тех случаях, когда аналогичное оборудование испытано на соответствие долговременным нормам и уже находится в эксплуатации;
- нормы технического обслуживания. Применяются в процессе эксплуатации оборудования;
- нормы восстановления систем. Используются при сдаче тракта в эксплуатацию после ремонта оборудования.

Для оценки эксплуатационных характеристик результаты измерения берутся лишь в периоды готовности канала или тракта. Интервалы неготовности из рассмотрения исключаются.

В данном разделе необходимо рассчитать для тракта VC-п внутризонавой сети максимальной протяженности следующие параметры:

- долю долговременных и оперативных норм на параметры качества;
- долговременные и оперативные нормы на параметры ES, SES, VBE;
- значения норм, соответствующие первоначальному вводу тракта в эксплуатацию.
- параметры ошибок, соответствующие оперативным нормам.

Результирующее значение доли долговременных и оперативных норм на параметры качества для группового тракта определяются в зависимости от доли норм, отводимой на данный участок, и его протяженности по формуле

$$D_k = d_i \frac{L_k}{L_H},$$

где  $d_i$  – доля норм на  $i$ -й показатель качества внутризонавой сети;

$L_k$  – реальная протяженность тракта внутризонавой сети;

$L_H$  – номинальная протяженность тракта внутризонавой сети (280 км).

Долговременные нормы, определяющие среднее число ES, SES, VBE на интервале наблюдения, рассчитываются по формуле

$$A_{ik} = D_k R_{id} T,$$

где  $T$  – интервал наблюдения, равный 30 суткам, время измеряется в секундах;

$R_{id}$  – норма на  $i$ -й показатель ошибок для долговременных норм для УЭТ.

Оперативные нормы RPO (Reference Performance Objective) рассчитываются на основе эталонных норм  $R_{io}$  на параметры ошибок. Определяются по найденным значениям общей доли  $D_k$  оперативных норм для соответствующих показателей ошибок  $R_{io}$  (см. таблицу 8.1) при заданной длительности наблюдений:

$$RPO_{ik} = D_k R_{io} T,$$

где  $T$  – интервал наблюдения, время измеряется в секундах;

$R_{io}$  – норма на  $i$ -й показатель ошибок для оперативных норм для УЭТ.

Значения норм, соответствующие первоначальному вводу в эксплуатацию тракта (BISO – Bringing-Into-Service Objective) за период наблюдения  $T$  определяются выражением

$$BISO_{ik} = k \cdot RPO_{ik},$$

где  $k$  – коэффициент, определяемый видом эксплуатационного контроля. Значение  $k$  выбирается из таблицы 8.2.

Таблица 8.2 – Значения коэффициента  $k$  в зависимости от видов эксплуатационного контроля

Вид испытаний	$k$	
	Каналы, тракты	Оборудование СП
Эталонная норма	1	1
Первоначальный ввод	0,5	0,1
Ввод после ремонта	0,5	0,125
Ввод с ухудшенным качеством	0,75	0,5
Вывод из работы	> 10	> 10

Пороговое значение  $S$  (пороговая норма безусловного ввода в эксплуатацию) определяется соотношением

$$S_{ik} = BISO_{ik} - 2\sqrt{BISO_{ik}}.$$

Все значения  $S_{ik}$  следует округлить до ближайшего целого значения большего или равного нулю. Интерпретация результатов расчетов и наблюдений за трактом показана на рисунке 8.3. Если за период наблюдения по результатам эксплуатационного контроля получено число событий  $S_{pik}$ , то:

- а) при  $S_{pik} > BISO_{ik}$  – тракт не принимается в эксплуатацию;
- б)  $S_{pik} < S_{ik}$  – тракт принимается в эксплуатацию;
- в)  $S_{ik} < S_{pik} < BISO_{ik}$  – тракт принимается в эксплуатацию условно с проведением дальнейших испытаний за более длительные сроки. Если в этом случае  $S_{pik} > BISO_{ik}$ , тракт не принимается в эксплуатацию.



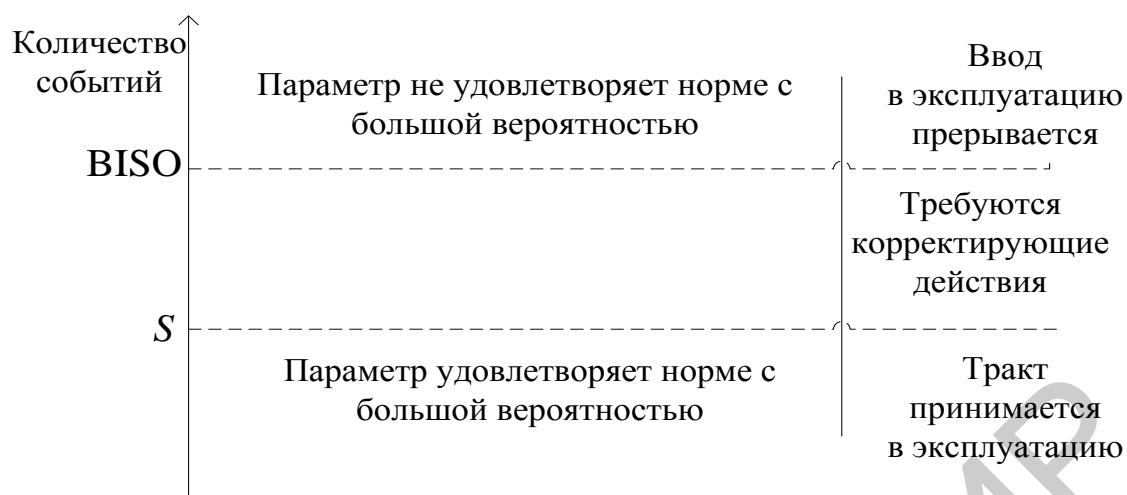


Рисунок 8.3 – Интерпретация результатов расчета и наблюдений

Результаты расчета необходимо представить в виде таблицы 8.3.

Таблица 8.3– Результаты расчетов

Параметр тракта $l-k$	Усл. об.	Значение
Протяженность, км	$L_k$	
Долговременные нормы на показатели ошибок для УЭТ, $R_{ид}$	$ESR_d$	
	$SESR_d$	
	$BBER_d$	
Оперативные нормы на показатели ошибок для УЭТ, $R_{io}$	$ESR_o$	
	$SESR_o$	
	$BBER_o$	
Доля нормы	$D_k$	
Показатели ошибок на основе долговременных норм, $A_{ik}$	$A_{ESR}$	
	$A_{SESR}$	
	$A_{BBER}$	
Показатели ошибок на основе оперативных норм, $RPO_{ik}$	$RPO_{ESR}$	
	$RPO_{SESR}$	
	$RPO_{BBER}$	
Норма, соответствующая первоначальному вводу тракта в эксплуатацию, $BISO_{ik}$	$BISO_{ES}$	
	$BISO_{SES}$	
	$BISO_{BBE}$	
Пороговые нормы безусловного ввода в эксплуатацию, $S_{ik}$	$S_{ES}$	
	$S_{SES}$	
	$S_{BBE}$	

## 9 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТИ ТАКТОВОЙ СЕТЕВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Нарушение тактовой синхронизации в сетях, построенных на основе оборудования SDH, может привести к увеличению коэффициента ошибок и проскальзываниям в цифровых сигналах (и, как следствие, к нарушению циклового синхронизма). Поэтому отдельным этапом проектирования транспортной сети является проектирование системы тактовой сетевой синхронизации (ТСС).

В процессе разработки системы ТСС необходимо:

- выбрать источники синхросигнала (основной и резервные) и места их размещения;
- определить основные и резервные пути прохождения сигналов синхронизации;
- установить приоритеты входов сигналов синхронизации во всем оборудовании SDH;
- провести структурный анализ сети с целью исключения возможности образования петель и потери сигналов синхронизации при авариях;
- проверить обеспеченность сигналами синхронизации оборудования сетевых узлов в случае возникновения любой одиночной неисправности.

Результаты проектирования следует представить в виде чертежа, на котором отобразить соответствующее сетевое оборудование, основные и резервные источники сигнала синхронизации внутризоновой сети, распределение сигнала синхронизации между сетевыми элементами.

Принципы построения системы ТСС и основные правила проектирования системы ТСС изложены в источниках [11, 17].

В сетях, использующих оборудование SDH, для межузловой синхронизации применяется принудительная иерархическая синхронизация. Этот метод использует иерархию генераторов, в которой каждый генератор нижнего уровня синхронизирован от генератора более высокого уровня.

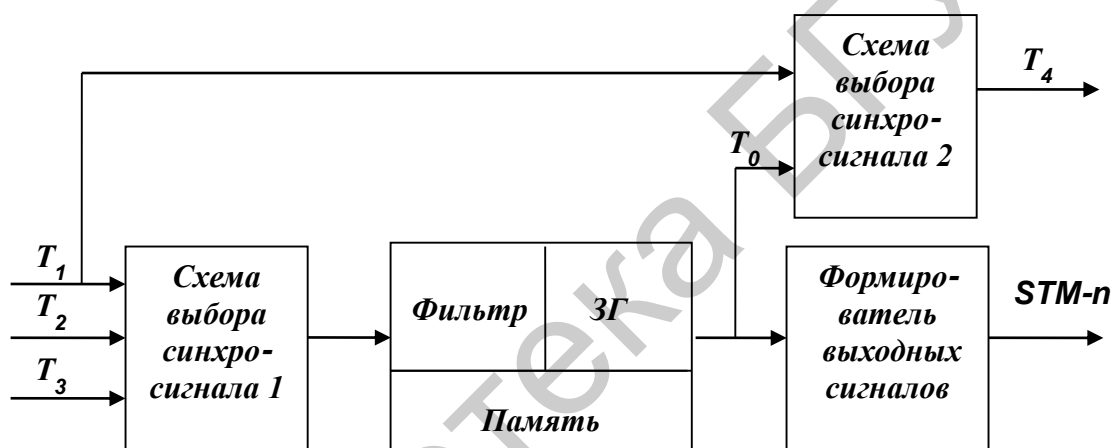
В сетях SDH используется оборудование источников синхронизации следующих типов:

- первичный эталонный задающий генератор (PRC – Primary Reference Clock) – автономный генератор, представляет собой атомный источник тактовых импульсов (цезиевый или рубидиевый генератор) с относительной нестабильностью частоты не хуже  $10^{-11}$ , возможна синхронизация по радио- или спутниковому сигналу. Имеет наивысшее качество сигнала синхронизации, который распределяется на все узлы сети;

- вторичный задающий генератор (SSU – Synchronization Supply Unit) выбирает один из источников синхронизации, подключенных к его входу, и распределяет его к другим элементам сети. Этот тип источника синхронизации используется в генераторах транзитных и локальных узлов;

- внутренний генератор оборудования синхронной цифровой иерархии (SEC – SDH Equipment Clock), имеет самое низкое качество.

Функциональная схема источника временных интервалов синхронной аппаратуры (SETS – Synchronous Equipment Timing Source) показана на рисунке 9.1. Блок SETS имеет возможность получать сигнал синхронизации от нескольких источников ( $T_1$ – $T_3$ ), выбор источника осуществляется в соответствии с заранее установленными приоритетами или по информации о качестве сигнала синхронизации.



$T_0$  – внутренний опорный сигнал синхронизации для исходящих потоков STM-n;

$T_1$  – сигнал синхронизации, выделяемый из агрегатного сигнала STM-n,

$T_2$  – сигнал синхронизации, выделяемый из компонентного сигнала E12;

$T_3$  – внешний сигнал синхронизации 2,048 МГц или 2,048 Мбит/с, который может переносить информацию SSM;

$T_4$  – сигнал синхронизации на выходе мультиплексора SDH 2,048 МГц или 2,048 Мбит/с, который может переносить информацию SSM

Рисунок 9.1 – Функциональная схема SETS

В ходе выполнения курсовой работы необходимо разработать схему сети ТСС. В ней указываются источники получения сигналов синхронизации для каждого мультиплексора SDH, порядок их распределения на внутризонавой се-

ти, а также место установки и вид оборудования синхронизации, необходимого для надежной синхронизации внутризональной сети.

При проектировании сети ТСС следует придерживаться некоторых общих правил, рассмотренных ниже.

1. При определении основных и резервных путей прохождения синхросигналов учитывается тот факт, что основными направлениями передачи синхросигналов должны быть следующие:

- от PRC или от точки подключения к базовой сети ТСС до SSU, установленного на данной сети;
- от основного SSU на цифровой сети во все направления, кроме направления, откуда SSU получает синхросигнал;
- от дополнительных SSU во все стороны, кроме направления, откуда SSU получает синхросигналы.

2. На участки цифровой сети по возможности должны поступать синхросигналы как от основного, так и от резервного источника синхронизации. Если на какой-либо узел связи невозможно организовать два пути подачи синхросигналов, то на нем должна устанавливаться аппаратура синхронизации SSU, или SEC мультиплексора должен иметь режим удержания, который обеспечивает на время ремонта выполнение требований ИТУ-Т на допустимые проскальзывания.

3. В случае кольцевой структуры сети и получения синхронизации от резервного источника (авария основного) необходимо, чтобы направление резервного пути передачи синхросигнала по возможности на ряде участков сети совпадало с направлением основного пути, так как при этом в процессе реконфигурации задействовано минимальное число генераторов сетевого элемента.

В некоторых случаях (например, при линейной цепи) резервные пути передачи имеют обратное направление по отношению к основным путям. По резервному направлению при синхронизации от основного направления передается сообщение о статусе синхронизации, запрещающее использование сигналов с этого направления.

4. При любых условиях передачи сигналов синхронизации необходимо исключить возможность образования замкнутых петель. Если сеть связи на основе СП SDH образует несколько колец, то во избежание образования замкнутых петель обмен синхросигналами между кольцами должен, как правило, идти в одну сторону (от главных колец к вспомогательным).

5. Определяя приоритеты для входов синхронизации на оборудовании связи, необходимо исходить из следующих соображений:

- приоритеты входов синхронизации должны устанавливаться таким об-

разом, чтобы по первому приоритету поступал сигнал от PRC по самому короткому и надежному пути;

- в сетевом элементе, если он различает качество источников синхросигнала (SSM-биты), т. е. выбирает синхросигнал сначала по качеству источника, а лишь потом по приоритету, первый приоритет может устанавливаться для синхросигнала с более низким уровнем качества, т. е. практически для резервного источника, а второй приоритет – для синхросигнала с более высоким уровнем качества. Это позволяет получать синхросигнал от резервного источника при ухудшении качества основного источника синхросигнала;

- если аппаратура не способна различить качество источников синхросигнала, то устанавливаемый приоритет должен учитывать возможное качество поступающего синхросигнала и быть тем выше (меньше номер), чем выше данное качество. Приоритеты указываются на входах, с которых могут поступать сигналы синхронизации в аппаратуру. Внутренний генератор аппаратуры всегда автоматически имеет последний приоритет и на схеме может не указываться.

6. При установке (записи) данных о качестве источника сигналов синхронизации на входах мультиплексоров и их передаче по сетям SDH необходимо учитывать следующее:

- информация о качестве источника синхронизации передается в виде сообщений SSM-бит, а также может передаваться в последовательности 2,048 Мбит/с;

- уровни качества источника синхронизации, которые должны присваиваться данному входу мультиплексора SDH, обозначают  $Q$  с индексом, значения которого приведены в таблице 9.1;

- резервному синхросигналу рекомендуется присваивать уровень качества источника синхронизации ниже или такой же, что и у основного синхросигнала, т. е. основное направление передачи сигнала должно иметь уровень качества источника синхронизации не хуже, чем можно получить в резервном синхросигнале;

- на местных сетях индекс «2» у  $Q$  означает, что приоритет должен предоставляться сигналу, поступающему от магистральной сети, при условии, что по СП SDH не поступает другой сигнал о качестве источника синхронизации. Другие данные о качестве сигнала синхронизации распределяются в соответствии со структурой сети («4» и «8» представляют резервные источники синхронизации).

7. Для выходных синхросигналов мультиплексоров SDH T<sub>4</sub> при необходимости указывается качество источника, при котором синхросигнал не отключается.

8. Структурный анализ сети, проводимый при проектировании сети ТСС, включает проверку:

- цепей синхронизации по критерию максимально допустимого количества сетевых элементов в соответствии с классом присоединения к базовой сети ТСС;

- количества последовательно синхронизируемых генераторов (SSU, SEC) в цепях синхронизации в соответствии с классом присоединения;

- количества сетевых элементов между последовательно синхронизируемыми SSU (не более 20);

- отсутствия петель по синхронизации.

Все перечисленные проверки следует проводить с учетом реконфигурации схемы синхронизации при различных видах аварий на сети.

Таблица 9.1 – Характеристики качества источника сигналов синхронизации

Тип источника синхронизации	Обозначение качества $Q_L$	Характеристика качества	Код SSM	Дополнительные указания
PRC	2	Наивысшее	0010	Соотв. Рек. G.811
SSU-A	4	Высокое	0100	Соотв. Рек. G.812.1
SSU-B	8	Среднее	1000	Соотв. Стандарту ETSI 300 462-7-1-1
SEC	11	Низкое	1011	Соотв. Рек. G.813.1
DNU	15	Непригодное	1111	Для синхронизации использовать нельзя

*Примечания*

- 1  $Q_L = 2$  – синхросигнал гарантированно поступает от эталонного источника.
- 2  $Q_L = 4$  – синхросигнал может не соответствовать сигналу эталонного источника, но его характеристики приемлемы для синхронизации сети. Синхросигнал с качеством  $Q_L = 4$  может быть резервным источником синхронизации.
- 3  $Q_L = 8$  – сигнал от резервного источника, который может использоваться на сети ограниченное время (на период устранения аварий).
- 4  $Q_L = 11$  – синхросигнал непригоден для синхронизации сети и может использоваться лишь для синхронизации сетевого элемента SDH.
- 5  $Q_L = 15$  – запрещается использовать этот сигнал для синхронизации.
- 6  $Q_L = 0$  – качество данного синхросигнала неизвестно. Если на аппаратуру поступает SSM-код вида 0000 ( $Q_L = 0$ ), то для дальнейшей передачи на сети этот код необходимо заменить.

9. Для обеспечения живучести системы ТСС рекомендуется использовать резервный источник синхронизации в случае аварий, приводящих к потере сигнала синхронизации от PRC.

10. Для определения однозначности реконфигурации при аварийных ситуациях ко всем ГСЭ должны поступать сообщения о качестве источника синхронизации, соответствующие приведенным в таблице 9.1.

Библиотека БГУИР

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

**Число линий в зависимости от нагрузки (в эрлангах) для полнодоступного пучка при потерях  $P = 0,01$  (1 %)**

Кол-во линий	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	–	0,01	0,153	0,455	0,869	1,361	1,909	2,501	3,128	3,783
10	4,461	5,16	5,876	6,607	7,351	8,108	8,875	9,652	10,437	11,23
20	12,031	12,838	13,651	14,47	15,295	16,125	16,959	17,797	18,64	19,487
30	20,337	21,191	22,048	22,909	23,772	24,638	25,507	26,378	27,252	28,129
40	29,007	29,888	30,771	31,656	32,543	33,432	34,322	35,215	36,109	37,004
50	37,901	38,8	39,7	40,6	41,5	42,41	43,31	44,22	45,13	46,04
60	46,95	47,86	48,77	49,69	50,6	51,52	52,44	53,35	54,27	55,19
70	56,11	57,03	57,96	58,88	59,8	60,73	61,65	62,58	63,51	64,44
80	65,35	66,29	67,22	68,15	69,08	70,02	70,95	71,88	72,81	73,75
90	74,68	75,62	76,56	77,49	78,43	79,37	80,31	81,24	82,18	83,12
100	84,06	85,00	85,95	86,89	87,83	88,77	89,72	90,66	91,6	92,55
110	93,49	94,44	95,38	96,33	97,28	98,22	99,17	100,12	101,07	102,01
120	102,96	103,91	104,86	105,81	106,76	107,71	108,66	109,62	110,57	111,52
130	112,47	113,42	114,38	115,33	116,28	117,24	118,19	119,14	120,1	121,05
140	122,01	122,96	123,92	124,88	125,83	126,79	127,75	128,7	129,66	130,62
150	131,58	132,53	133,49	134,45	135,41	136,37	137,33	138,29	139,25	140,21
160	141,17	142,13	143,09	144,05	145,01	145,97	146,93	147,89	148,86	149,82
170	150,78	151,74	152,71	153,67	154,63	155,6	156,56	157,52	158,49	159,45
180	160,42	161,38	162,34	163,31	164,27	165,24	166,21	167,17	167,14	169,1
190	170,07	171,03	172,00	172,97	173,93	174,9	175,87	176,84	177,8	178,77
200	179,74	180,71	181,67	182,64	183,61	184,58	185,55	186,52	187,48	188,45



## ЛИТЕРАТУРА

- 1 СТП 01-2013 Дипломные проекты (работы). Общие требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.bsuir.by/m/12\\_100229\\_1\\_121330.pdf](https://www.bsuir.by/m/12_100229_1_121330.pdf).
- 2 Закон Республики Беларусь от 19 июля 2005 г. №45-З «Об электросвязи» [Электронный ресурс]. Режим доступа : <http://www.pravo.by/webnpa/text.asp?RN=h10500045>.
- 3 СТБ 1343-2007. Единая сеть электросвязи Республики Беларусь. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://tnpa.by/KartochkaDoc.php?UrlRN=194914&UrlIDGLOBAL=292231>.
- 4 Транспортная сеть [Электронный ресурс]. –Режим доступа : <http://bel-telecom.by/about/communication-networks/primary-network>.
- 5 ТКП 219-2014 Правила построения сетей электросвязи [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mpt.gov.by/ru/tehnicheskie-normativnye-pravovye-akty>.
- 6 Информационно-коммуникационные технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/svyaz-i-informatsionno-kommunikatsionnye-tehnologii/>.
- 7 Измерение и расчет показателей качества с учетом межоператорского взаимодействия в сетях передачи данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Documents/Session6\\_Shlaginov.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Documents/Session6_Shlaginov.pdf).
- 8 Средняя скорость доступа в Интернет достигла 6,3 Мбит/с, в Беларуси – 7,5 Мбит/с [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://tech.onliner.by/2016/06/29/internet-50>.
- 9 ITU-T Recommendation G.709/Y.1331 (2012). Interfaces for the optical transport network [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?id=12789&lang=en>.
- 10 СТБ 1682-2009. Каналы и тракты цифровых систем. Передачи. Основные параметры, нормы и методы измерений [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://gost-snip.su/find?mode=0&text=%D0%A1%D0%A2%D0%91+1682-2009&datfrom=&datto=&date=on&col=20>.
- 11 Давыдкин, П. Н. Тактовая сетевая синхронизация / П. Н. Давыдкин, М. Н. Колтунов, А. В. Рыжков. – М. : Эко-Трендз, 2004. – 208 с.
- 12 Фокин, В. Г. Оптические системы передачи и транспортные сети / В. Г. Фокин. – М. : Эко-Трендз, 2008. – 288 с.
- 13 Портнов, Э. Л. Принципы построения первичных сетей и оптических кабельных линий связи / Э. Л. Портнов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2009. – 544 с.

- 14 Власов, И. И. Измерения в цифровых сетях связи / И. И. Власов, М. М. Птичников. – М. : Постмаркет, 2004. – 432 с.
- 15 Фриман, Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман. – М. : Техносфера, 2004. – 440 с.
- 16 Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей : учеб. пособие для вузов / Е. Б. Алексеев [и др.] : под ред. В. Н. Гордиенко и М. С. Тверецкого. – М. : Горячая линия – Телеком, 2008. – 392 с.
- 17 Тверецкий, М. С. Многоканальные телекоммуникационные системы : учебник для вузов. / М. С. Тверецкий, В. Н. Гордиенко. – М. : Горячая Линия – Телеком, 2005. – 416 с.
- 18 Битнер, В. И. Нормирование качества телекоммуникационных услуг / В. И. Битнер, Г. Н. Попов. – М. : Горячая Линия – Телеком, 2004. – 312 с.
- 19 Гольдштейн, Б. С. Сети связи / Б. С. Гольдштейн, Н. А. Соколов, Г. Г. Яновский. – СПб. : БХВ – Петербург, 2011. – 700 с.
- 20 Назаров, А. Н. Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения / А. Н. Назаров, К. И. Сычев. – Красноярск : Поликом, 2010. – 389 с.
- 21 СТБ 1682-2009. Каналы и тракты цифровых систем передачи. Основные параметры, нормы и методы измерений [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://gost-ship.su/razdel/gost\\_rb](http://gost-ship.su/razdel/gost_rb).
- 22 Слепов, Н. Н. Современные цифровые технологии глобальных сетей связи / Н. Н. Слепов. – М. : Астра-Полиграфия, 2011. – 298 с.
- 23 Листвин, В. Н. DWDM системы / В. Н. Листвин, В. Н. Трещиков. – М. : Дом «Наука», 2013. – 300 с.

*Учебное издание*

**Зеленин Александр Сергеевич**  
**Тарченко Надежда Владимировна**  
**Урядов Владимир Николаевич**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ.  
КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**

Редактор *А. К. Мяделко*  
Корректор *Е. Н. Батурчик*  
Компьютерная правка, оригинал-макет *Е. Д. Стенушь*

Подписано в печать 01.03.2018. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».  
Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 4,8. Тираж 50 экз. Заказ 196.

Издатель и полиграфическое исполнение: учреждение образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий №1/238 от 24.03.2014,

№2/113 от 07.04.2014, №3/615 от 07.04.2014.

ЛП №02330/264 от 14.04.2014.

220013, Минск, П. Бровки, 6