

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра радіотехніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

МАГІСТРА

(рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: Мережа оптичного зв'язку Суми – Ізюм – Запоріжжя

Виконав: студент 6 курсу, групи РТ - 913
спеціальності (напряму підготовки)

172 "Телекомунікації та радіотехніка"

(код і назва напряму підготовки, спеціальності)

Гармаш Г.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Дмитренко В. П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Коноваленко Ю.О.

(прізвище та ініціали)

м.Запоріжжя
2018 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет ЕІРЕ, ПРЕР
 Кафедра Прогнозування та управління
 Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
 Спеціальність 192 Інформаційні та управління
 (код і назва)
 Напрямок підготовки СМТІ Інформаційні системи з'єдну
 (код і назва)

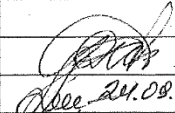
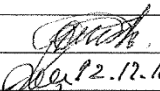
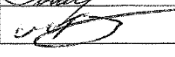
ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Горюхов С.В.
Горюхов
 "12" листопада 20 18 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

- Горюхов Ігор Валерійович
 (прізвище, ім'я, по батькові)
1. Тема роботи Метод оцінювання з'єдну суми - з'єдну - з'єднування
- керівник роботи Горюхов С.В. доктор технічних наук
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом вищого навчального закладу від "21" листопада 20 18 року № 104
2. Строк подання студентом роботи 12.12.2018
3. Вихідні дані до роботи Виконання завдань і оформлення звіту
метод з'єдну на вибірчі методи РМ з метою покращення з'єднування
інформаційних систем
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Зробити оцінку інформаційних систем на вибірчі методи
на вибірчі методи інформаційних систем, покращення інформаційних
систем з'єдну. Зробити оцінку з'єднування з'єднування
інформаційних систем з'єднування інформаційних систем з'єднування
інформаційних систем з'єднування інформаційних систем з'єднування
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Зробити з'єднування інформаційних систем з'єднування

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Прийняв виконане завдання
Техніч.	доц. каф. РТТ Дмитренко В.П.		
Економіч.	доцент Кушніков В.В.	Догов. 24.08.18	Догов. 12.12.18
Організаційн.	Косово О.В. старш. викладач		
Міжнародн.	Мороз І.В. асистент		

7. Дата видачі завдання 03.09.2018 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Отримання зображення та аналіз зображення з шкоченими розривами	03.09 - 05.09.2018	
2.	Аналіз зображення з інтерферою на йому шкочених	06.09 - 13.09.2018	
3.	Розроблення базисних функційної та функції-Часті частини та об'єктивності	14.09 - 29.09.2018	
4.	Визначення з однією функцією лінійною	30.09 - 11.10.2018	
5.	Метод розв'язування задачі розв'язання функції в одній частині розриву	12.10 - 29.10.2018	
6.	Розроблення	1.11 - 19.11.2018	
7.	Визначення однієї частини для розробки функції частини та функції-Експоненційної функції	20.11 - 1.12.2018	
8.	Визначення функції частини, розроблення функції частини та функції	2.12. - 10.12.2018	

Студент

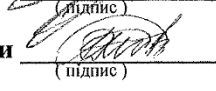


(підпис)

Кушніков В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Дмитренко В.П.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ОЗ: 128 страниц, 44 рисунка, 20 таблиц, 12 источников

Объект исследования – волоконно-оптическая сеть связи.

Цель работы – выявление преимуществ и обоснование перехода сетей связи на оптические сети PON с целью улучшения их технических и экономических показателей. Трасса сети связи Сумы – Харьков – Изюм – Павлоград – Днепр – Запорожье.

Метод исследования – обзор литературных источников, выбор варианта, расчет параметров.

Первые два раздела посвящены различным аспектам сравнительного анализа современных оптических сетей связи.

В третьем разделе рассмотрены особенности трассы линии связи, факторы, ограничивающие допустимую длину регенерационных участков и структуру участка связи между городами.

Четвертый раздел посвящен электрическим расчетам.

В пятом разделе выполнен выбор оборудования для организации проектируемой линии оптической связи.

Шестой раздел посвящен экономическим расчетам, в частности, экономическому эффекту от внедрения системы связи.

В седьмой главе рассмотрены вопросы охраны труда и безопасности жизнедеятельности.

СЕТЬ СВЯЗИ PON, СЕТЬ ДОСТУПА, ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ, OTN, ОПТИЧЕСКИЙ КАНАЛ, МУЛЬТИПЛЕКСОР, ДЕМУЛЬТИПЛЕКСОР, РЕГЕНЕРАЦИОННЫЙ УЧАСТОК, СПЛИТТЕРЫ, ИНТЕРФЕЙСЫ, ЗАТУХАНИЕ, ДИСПЕРСИЯ, ОПТИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ.....	9
ВВЕДЕНИЕ.....	11
1 ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ. ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ. СЕТЬ ДОСТУПА.....	14
1.1 Определение телекоммуникационных сетей.....	14
1.1.1 Составляющие телекоммуникационной сети.....	14
1.1.2 Сеть доступа.....	15
1.1.3 Терминальное оборудование пользователей.....	15
1.1.4 Магистральная сеть.....	15
1.1.5 Информационные центры.....	16
1.2 Оптические системы передачи данных.....	16
1.3 Существующие транспортные сети.....	20
1.3.1 Транспортная сеть PDH.....	21
1.3.2 Транспортная сеть SDH.....	23
1.3.3 Транспортная сеть ATM.....	24
1.3.4 Транспортная сеть WDM.....	26
1.3.5 Транспортная сеть OTN-ОТН.....	27
1.4 Выбор сети доступа.....	28
1.5 Особенности сетей PON.....	29
1.5.1 Прямой и обратный потоки.....	31
1.5.2 Основные элементы сети PON.....	32
1.6 Сравнительный анализ различных сетей связи.....	33
2 ОПТИЧЕСКАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ.....	35
2.1 Увеличение пропускной способности систем оптической связи.....	35
2.2 Виртуализация оптических сетей.....	36
2.3 Передача трафика в сетях OTN.....	37
2.4 OTN-коммутация.....	37
2.5 Преимущества виртуализованных оптических сетей.....	39

2.5.1 Емкость.....	40
2.5.2 Скорость доставки сервисов.....	40
2.5.3 Обеспечение инфраструктуры.....	41
2.5.4 Восстановление после сбоев.....	41
2.6 Структура интерфейса OTN.....	42
2.6.1 Уровень OCh.....	44
2.6.2 Уровень оптической секции мультиплексирования OMS-n.....	46
2.6.3 Уровень оптической секции передачи OTS-n.....	46
2.7 Блок данных оптического канала ODUk.....	49
2.8 Блок оптического канала OCh.....	50
2.9 Блок переноса оптического канала OCC.....	52
2.10 Блок оптического транспортного модуля OTM-n.m.....	52
3 ТРАССА ЛИНИИ СВЯЗИ И ФАКТОРЫ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ЕЁ ДЛИНУ. СТАНДАРТЫ ОВ.....	54
3.1 Выбор трассы линии связи.....	54
3.2 Общая информация о свойствах ОВ.....	56
3.3 Затухание в ОВ.....	58
3.4 Дисперсия в ОВ.....	59
3.5 Полоса пропускания ОВ.....	62
3.6 Последние достижения в области разработки ОВ. Стандарты ОВ.....	64
4 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ.....	67
4.1 Типы линейных интерфейсов и особенности их использования в оптических транспортных сетях.....	67
4.2 Интерфейсы одноволновых систем оптической передачи.....	68
4.3 Расчет длины регенерационного участка.....	72
4.4 Расчет быстродействия ВОСП.....	75
4.5 Определение минимально допустимого уровня приема – порога чувствительности.....	77
5 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ.....	79
5.1 Волоконно-оптические кабели.....	79

5.1.1 Волоконно-оптические кабели для построения пассивных оптических сетей.....	80
5.1.2 Конструкции волоконно-оптических кабелей и способы их прокладывания.....	82
5.1.3 Магистральные оптические кабели для сетей PON.....	83
5.1.4 Соединительные оптические муфты.....	87
5.1.5 Ведомость потребности кабеля и соединительных муфт для монтажа линии связи.....	89
5.2 Структурная схема участка ОТС.....	91
5.3 Пассивные компоненты оптической транспортной сети.....	92
5.3.1 Оптический мультиплексор.....	92
5.3.2 Оптический демультиплексор.....	93
5.3.3 Реконфигурируемые оптические мультиплексоры ввода / вывода.....	93
5.3.4 Оптические кросс-коммутаторы.....	94
5.3.5 Сплиттеры.....	95
5.3.6 Деление сплиттеров по полосе пропускания.....	97
5.3.7 Деление сплиттеров по совокупности параметров.....	98
5.3.8 Деление по оконцеванию и способу монтажа.....	99
6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ.....	101
6.1 Актуальность технологии оптической сети связи с позиции маркетинга.....	101
6.2 Расчет затрат на практическую реализацию проекта.....	107
6.3 Расчет заработной платы.....	108
6.4 Расчет дополнительной заработной платы.....	108
6.5 Отчисления в единый социальный взнос.....	109
6.6 Командировочные расходы.....	109
6.7 Затраты на работы и услуги подрядной организации.....	109
6.8 Накладные затраты.....	110
6.9 Оценка эффективности проекта.....	110

7	ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	113
7.1	Анализ потенциальных опасностей.....	113
7.2	Мероприятия по технике безопасности.....	114
7.3	Мероприятия по производственной санитарии и гигиене труда.....	116
7.4	Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности.....	119
7.5	Мероприятия по обеспечению безопасности в ЧС.....	121
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	126
	ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК.....	127

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

APD	–	Avalanche-Photodiode	–	лавинный фотодиод
ATM	–	Asynchronous Transfer Mode	–	асинхронный режим передачи
BER	–	Bit Error Rate	–	коэффициент ошибок
CDWM	–	Coarse Wavelength Division Multiplexing	–	разреженное мультиплексирование с разделением по длине волны
DWDM	–	Dense Wavelength Division Multiplexing	–	плотное мультиплексирование с разделением по длине волны
DMX	–	DeMultiplex	–	демультиплексирование
EDFA	–	Erbium-Doped Fiber Amplifier	–	эрбиевый оптический усилитель на оптоволокне
MUX	–	Multiplex	–	оптические мультиплексоры
NGN	–	Next Generation Network		
OXC	–	Optical Cross Connect	–	оптическая кроссовая коммутация (X – коммутация)
OTN	–	Optical Transport Network	–	оптическая транспортная сеть
OADM	–	Optical Add/Drop Multiplex	–	оптический мультиплексор ввода/вывода
OTU _k	–	Optical Transport Unit <i>k</i>	–	оптический транспортный блок порядка <i>k</i>
OTN-OTH	–	Optical Transport Network – Optical Transport Hierarchy	–	оптическая транспортная сеть – оптическая транспортная иерархия
R-OADM	–	Reconfigurable OADM	–	перестраиваемый OADM
SONET	–	Synchronous Optical Network	–	синхронная оптическая сеть
SDH	–	Synchronous Digital Hierarchy	–	синхронная цифровая иерархия

ВОСП	—	волоконно оптическая система передачи
ЕСВ	—	единый социальный взнос
НЗ	—	накладные затраты
НДФЛ	—	налог с доходов физических лиц
ОВ	—	оптическое волокно
ОАО	—	открытое акционерное общество
ОТС	—	оптическая транспортная сеть
ПМД	—	поляризационная модовая дисперсия
ПОМ	—	передающий оптический модуль
ПРОМ	—	приемный оптический модуль
ПЭ	—	полиэтиленовый
ПФ	—	пенсионный фонд
РУ	—	регенерационный участок
СЦИ	—	синхронная цифровая иерархия
ФД	—	фотодиод
ФЗП	—	фонд заработной платы
ФСС	—	фонд социального страхования
ЦСЭ	—	центральный силовой элемент
ЧАО	—	частное акционерное общество

ВВЕДЕНИЕ

Сети телекоммуникации давно уже стали одним из неотъемлемых элементов современной цивилизации. В январе 2009 г. известная аналитическая компания comScore сообщила, что количество пользователей всемирной компьютерной сети Интернет превысило 1 миллиард. Банк, почта, телеграф, телефон, магазин и квартира – все уже захвачено компьютерными сетями, объединенными в Интернет. Часто мы имеем дело с компьютерной сетью, даже не отдавая себе отчета в этом, например, используя услуги обычной международной телефонной связи, которая передаёт наш разговор через Интернет.

Одной из самых проблемных и динамически развивающихся частей современных телекоммуникаций является доступ терминалов пользователей к узлам предоставления услуг. Одной из тенденций развития доступа является использование пассивной оптической сети PON (Passive Optical Network), основанной на сети волоконно-оптических линий, для организации доступа к любым видам услуг.

В ближайшее время построение сетей с использованием оптоволокна стало единственно верным решением для операторов, поскольку волокно практически не имеет ограничений по полосе пропускания, многократно превосходит медный кабель по дальности связи и не оказывает влияния на соседние волокна.

Суть пассивной оптической сети состоит в том, что ее распределительная сеть строится без каких-либо активных компонентов: разветвление оптического сигнала осуществляется с помощью пассивных делителей оптической мощности – сплитеров.

Технологии LAN (Local Area Network – локальная вычислительная сеть) разрабатывались для облегчения доступа пользователей к ресурсам локальных сетей. Для доступа пользователей к услугам других ресурсов (Интернет, корпоративные сети и т.д.) современные LAN строятся по гибридной технологии и объединяют в себе собственно LAN и сети, обеспечивающие подключение LAN

к транспортным сетям мультисервисной сети связи (МСС). Среди технологий LAN можно выделить следующие: Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet, Token Ring, HSTR, FDDI, CDDL и EoV.

Частным случаем, когда в качестве пассивного оптического элемента выступает оптический разветвитель, является сеть PON – решение, становящееся массовым во всем мире. Здесь к одному порту центрального узла может быть подключен целый волоконно-оптический сегмент древовидной архитектуры, охватывающий десятки абонентов. При этом оптические разветвители, устанавливаемые в промежуточных узлах дерева, полностью пассивны и не требуют питания и специализированного обслуживания.

Распределительная сеть доступа PON является наиболее экономичной, способной обеспечить широкополосную передачу самых различных приложений. При этом, архитектура PON позволяет эффективно наращивать как количество узлов сети, так и пропускную способность абонентских оптических линий (АОЛ) в зависимости от потребностей абонентов. Ключевым элементом здесь является оптическое волокно (ОВ), используемое в качестве среды передачи.

К преимуществам архитектуры PON можно отнести:

- отсутствие промежуточных активных узлов, экономия волокон;
- экономия оптических приемопередатчиков в центральном узле;
- легкость подключения новых абонентов и удобство обслуживания.

Цифровые ВОСП являются основой для построения транспортной сети связи страны.

Под транспортной сетью принято понимать совокупность ресурсов систем передачи (каналов, трактов, секций или участков передачи), относящихся к ним средств контроля, оперативного переключения, резервирования и управления, предназначенных для переноса информации между заданными пунктами. Составной частью транспортной сети является сеть синхронизации. Физические среды оптических систем передачи практически всегда реализованы на одномодовых оптических волокнах (ОВ).

Атмосфера в качестве среды передачи может использоваться на коротких участках (обычно не более 3 км), как альтернатива оптическому кабелю в тех условиях, когда ВОК применять нецелесообразно. При этом достижимая скорость передачи не превышает 155 Мбит/с.

Задачей настоящей работы является разработка системы оптической связи с технологией PON для траектории Сумы – Харьков – Изюм – Запорожье. Необходимо учесть следующие особенности трассы:

- при попытке выполнить все участки трассы прямолинейными часть траектории (участок Сумы – Харьков) трассы связи будет проходить по территории сопредельного государства – Российской Федерации. Это недопустимо и такие ситуации необходимо исключить путем соответствующего изменения траектории трассы;

- на трассе в районе Запорожья присутствует водная преграда в виде полноводной реки Днепр. Этот фактор необходимо учитывать при выборе марок оптического кабеля для отдельных участков трассы связи.

1 ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ. ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ. СЕТЬ ДОСТУПА

1.1 Определение телекоммуникационных сетей

Телекоммуникационные сети – это обобщенное название для телефонных, телевизионных, радио и глобальных компьютерных сетей. Несмотря на множество очевидных и менее очевидных различий, в их структуре можно найти много общего, и прежде всего схожую архитектуру.

1.1.1 Составляющие телекоммуникационной сети

В состав любой телекоммуникационной сети входят (рис. 1.1):

- 1) сети доступа;
- 2) терминальное оборудование пользователей (возможно, объединенное в сеть);
- 3) магистральная сеть;
- 4) информационные центры.

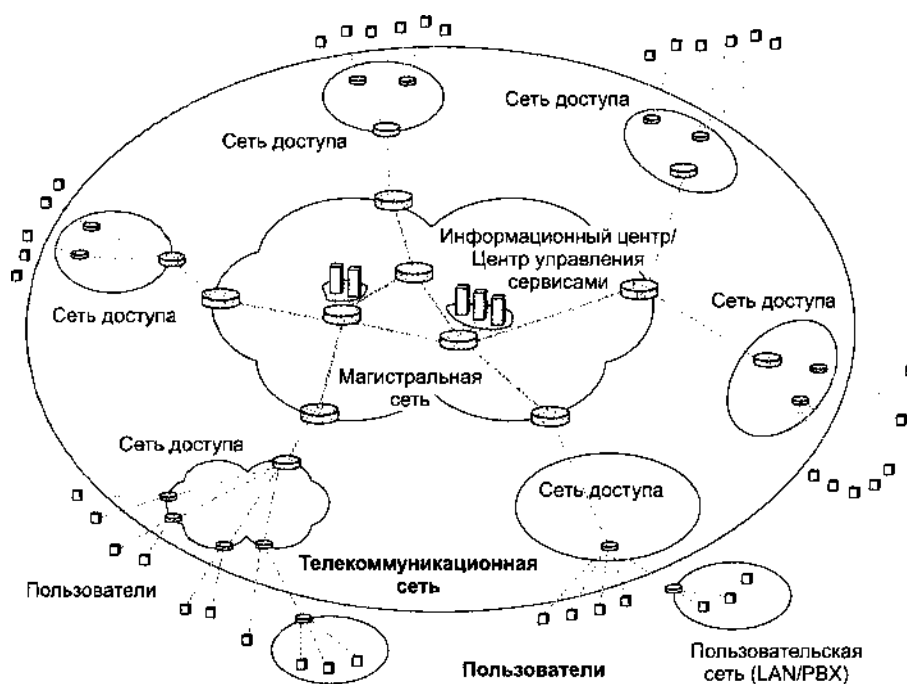


Рисунок 1.1 – Обобщенная структура телекоммуникационной сети

Как сеть доступа, так и магистральная сеть строятся на основе коммутаторов. Каждый коммутатор оснащен некоторым количеством портов, которые соединяются с портами других коммутаторов.

1.1.2 Сеть доступа

Сеть доступа составляет нижний уровень иерархии телекоммуникационной сети. Основное назначение сети доступа – концентрация информационных потоков, поступающих по многочисленным каналам связи от оборудования клиентов, в сравнительно небольшом количестве узлов магистральной сети.

1.1.3 Терминальное оборудование пользователей

В случае компьютерной сети терминальным оборудованием являются компьютеры (часто объединенные в локальную сеть), в случае телефонной – телефонные аппараты, подключенные к офисному телефонному коммутатору PBX (Private Branch Exchange) и т. д.

1.1.4 Магистральная сеть

Магистральная сеть объединяет отдельные сети доступа, обеспечивая транзит трафика между ними по высокоскоростным каналам.

Легко заметить, что любая национальная сеть автомобильных дорог имеет ту же иерархическую структуру, что и крупная телекоммуникационная сеть. Обычно существует разветвленная инфраструктура небольших дорог (аналог сети доступа), связывающих деревни и поселки. Эти дороги довольно узкие, так как интенсивность трафика между этими населенными пунктами невысокая и нет смысла делать подобные дороги многорядными. Такие дороги вливаются в более скоростные и соответственно более широкие дороги, которые, в свою очередь,

имеют соединения с национальными супермагистралями (аналог магистральной сети).

1.1.5 Информационные центры

Информационные центры, или центры управления сервисами, предоставляют информационные услуги сети. В таких центрах может храниться информация двух типов: пользовательская и вспомогательная служебная.

Пользовательская информация — это информация, которая непосредственно интересует конечных пользователей сети. В компьютерных сетях примером информационных ресурсов такого типа могут служить вебсайты, на которых расположена разнообразная справочная и новостная информация, информация электронных магазинов и т. п. В телефонных сетях подобные центры оказывают услуги экстренного вызова (например, милиции, скорой помощи) и справочные услуги различных организаций и предприятий — вокзалов, аэропортов, магазинов и т. п.

Вспомогательная служебная информация помогает поставщику услуг предоставлять услуги пользователям, например, с помощью различных систем аутентификации и авторизации пользователей; организация, владеющая сетью, проверяет права пользователей на получение тех или иных услуг.

Большинство телекоммуникационных сетей включают в себя системы управления сетью (Network Management Systems (NMS)), которые автоматизируют действия администраторов по мониторингу состояния сети и конфигурированию сетевых устройств и сервисов. Такие системы обычно представляют собой сложные программные комплексы, работающие на выделенных компьютерах.

1.2 Оптические системы передачи данных

На рисунке 1.2 представлена обобщенная схема оптической системы передачи, в которой блоками отображены возможные виды оборудования систем передачи.



Рисунок 1.2 – Обобщенная схема оптической системы передачи

В оптических системах передачи основное применение получили цифровые мультиплексоры, т. к. образуемые ими групповые сигналы представлены в двоичном коде, который придает высокую помехоустойчивость передаваемой информации. Однако в коротких линиях оптической связи применяются и аналоговые методы мультиплексирования, например, телевизионных каналов для сетей кабельного телевидения.

Широкое распространение получили электронные цифровые мультиплексоры технологий PDH, SDH, ATM.

В настоящее время оптические кабели прочно завоевали место основной среды передачи в телекоммуникационных сетях. Малое затухание, широкая полоса пропускания, низкая стоимость позволяют охарактеризовать такую среду передачи как близкую к идеальной.

На базе физического слоя оптических волокон (ОВ) в телекоммуникационных сетях с помощью волоконно-оптических систем передачи образуется слой прозрачных оптических каналов. Технология спектрального уплотнения или мультиплексирования с разделением по длинам волн (Wavelength Division Multiplexing (WDM)) позволяет реализовать потенциальные возможности

ОВ, осуществлять передачу очень больших потоков информации, достигая эквивалентной пропускной способности вплоть до нескольких терабит в секунду.

Волоконно-оптические кабели, оснащенные системами передачи со спектральным уплотнением, обеспечивают высокую эффективность передачи телекоммуникационных сигналов между сетевыми узлами. Однако основные функциональные операции (регенерация сигналов, переключение на резерв и т.д.) в традиционных транспортных сетях осуществляется на электронном уровне. Здесь сосредоточены и элементы, определяющие сетевой интеллект.

Прозрачность оптических каналов позволяет передавать по ним сигналы любых форматов в пределах максимальной скорости, определяемой шириной полосы пропускания канала (рис. 1.3).

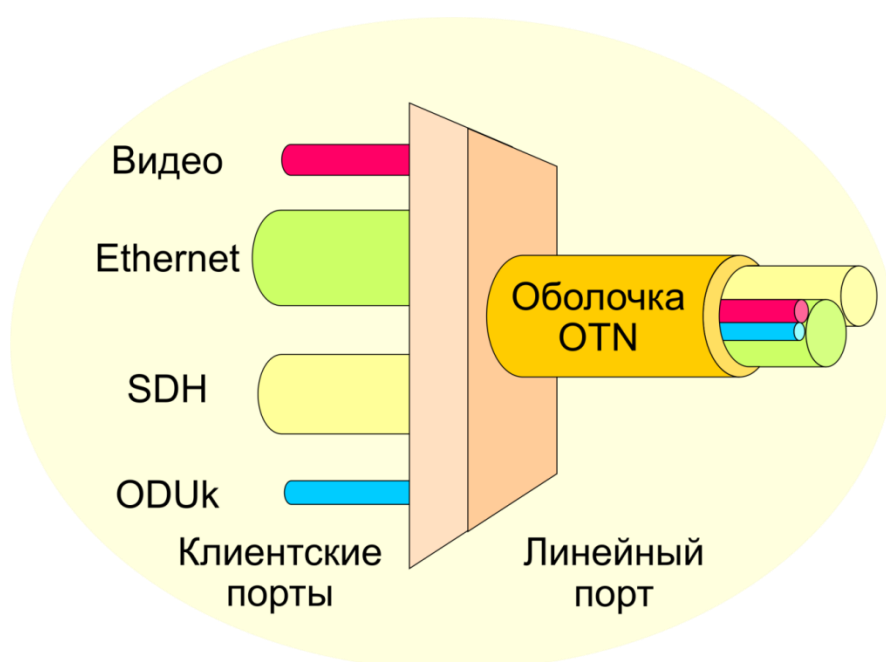


Рисунок 1.3 – Прозрачность оптических каналов

В традиционных сетях в полной мере воспользоваться свойствами прозрачности оптических каналов затруднительно, так как аппаратура, построенная с использованием большинства технологий, имеет недостаточно развитые транспортные функции, в частности функции передачи.

Из-за того, что в оптическом слое недостаточно «интеллекта», а у таких интеллектуальных технологий, как, например, АТМ и IP слабо развиты функции

передачи, приходится прибегать к технологиям-посредникам. Такой технологией в настоящее время является технология синхронной цифровой иерархии – СЦИ (Synchronous Digital Hierarchy (SDH)). Технология СЦИ «оживляет» относительно пассивную сеть оптических каналов, которую, чтобы подчеркнуть эту особенность, иногда называют сетью виртуальных волокон. Таким образом, возникают так называемые технологические цепочки, изображенные на рисунке 1.4. Здесь же показан процесс упрощения структуры транспортной сети в процессе ее эволюции к ОТС.

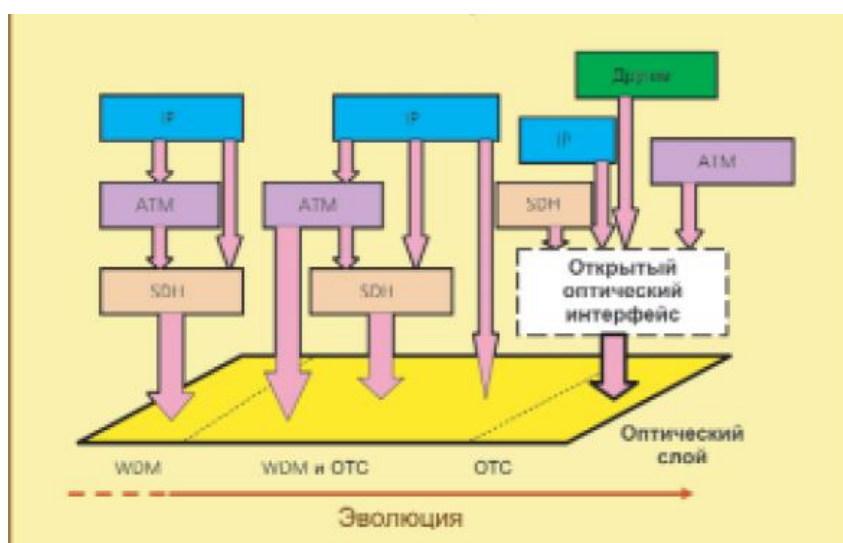


Рисунок 1.4 – Эволюция доступа к оптическому слою

В ОТС перечисленные выше недостатки отсутствуют. Функции характерные для систем СЦИ, в ОТС реализованы на оптическом уровне. По этой причине практически любые телекоммуникационные технологии могут «опираться» непосредственно на ОТС. Архитектура телекоммуникационных сетей упрощается, так как технологически многозвенные «одна поверх другой» цепочки становятся излишними (рис. 1.4).

Основные достоинства ОТС:

- отсутствие ограничений по протяженности;
- функциональность, подобная СЦИ;

- доступ сигналов различного формата через открытый оптический интерфейс;
- возможность оперировать сигналами очень большого информационного объёма, недоступного электронной аппаратуре.

Перспектива реализации этих достоинств определяет направление эволюции транспортных сетей связи.

1.3 Существующие транспортные сети

Необходимо четкое представление, что такое транспортные сети и протоколы.

Во-первых, определим, что называется транспортной сетью и кратко опишем построение в соответствии с моделями (рис. 1.5), предложенными в рекомендациях МСЭ-Т:

- 1) транспортная сеть PDH;
- 2) транспортная сеть SDH, рекомендации G.707, G.783, G.803, G.841;
- 3) транспортная сеть ATM, рекомендации I.311, I.326, I.432, I.630;
- 4) транспортная сеть WDM, ГСТУ 45.017 – 2001, ГСТУ 45.018 – 2001;
- 5) транспортная сеть OTN-OTH (Optical Transport Network-Optical Transport Hierarchy, оптическая транспортная сеть – оптическая транспортная иерархия), рекомендации G.709, G.798, G.872, G.873.1;

Во-вторых, протокол – это набор правил, позволяющих осуществлять соединение и обмен данными между двумя и более включенными в сеть устройствами.

Транспортная сеть связи (backhaul) – это совокупность всех ресурсов, выполняющих функции транспортирования в телекоммуникационных сетях. Она включает не только системы передачи, но и относящиеся к ним средства контроля, оперативного переключения, резервирования, управления.

Основная функция транспортных сетей заключается в передаче, т.е. транспортировке информации между пунктами. Это может быть информация

телефонных абонентов, пользователей Интернет, программы телевидения, различного рода управляющая информация для контроля и технологического обслуживания сети, сигналы взаимодействия между коммутационными станциями, информации учета и стоимости услуг – тарификация, выделение сигналов синхронизации и т.д.

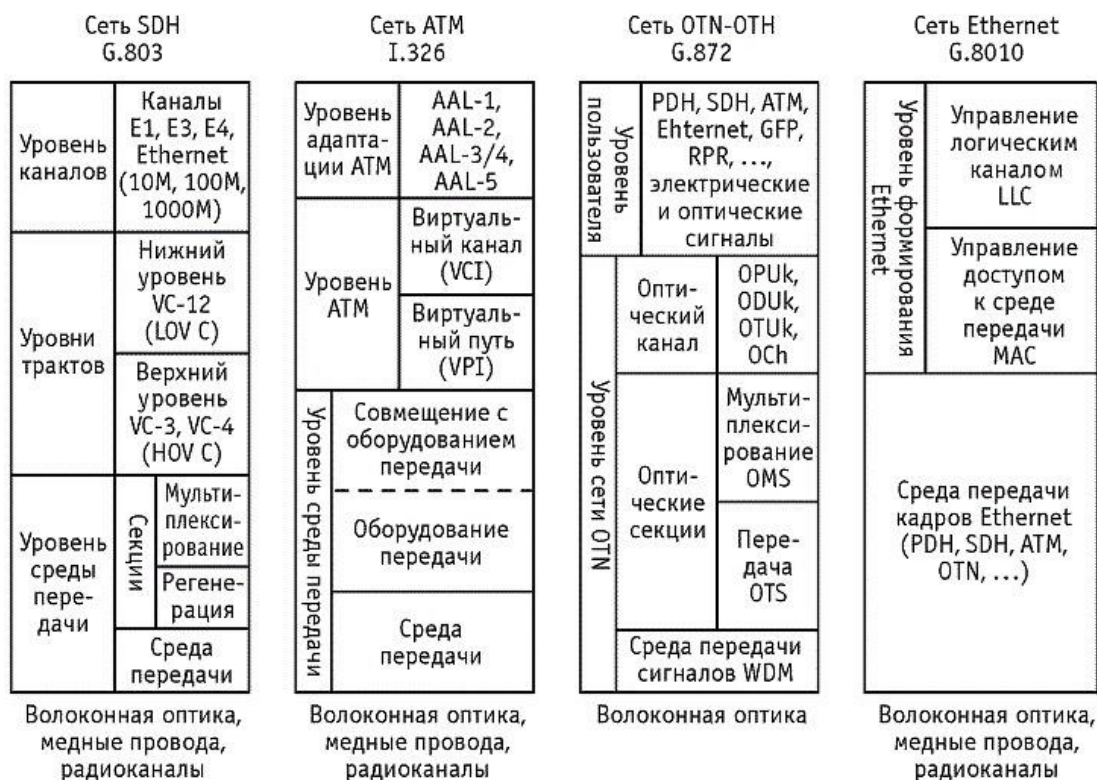


Рисунок 1.5 – Модели транспортных сетей связи

1.3.1 Транспортная сеть PDH

Технология плезиохронной цифровой иерархии (Plesiochronous Digital Hierarchy (PDH)). Так как абоненты по-прежнему пользовались обычными телефонными аппаратами, то есть передача голоса шла в аналоговой форме, то мультиплексоры сами осуществляли оцифровывание голоса с частотой 8000 Гц, создавая абонентские элементарные цифровые каналы со скоростью передачи данных 64 Кбит/с.

Основным режимом сетей PDH является постоянная коммутация (название

кросс-коннектор как раз отражает постоянность соединений). Как правило, конфигурирование соединений PDH выполняется с помощью системы управления, в небольших сетях это делается вручную.

В Европе действует отличный от остальных стран стандарт технологии PDH, согласно европейскому стандарту для передачи объединяется 32 канала по 64 кбит/с. 30 из этих каналов используются для передачи данных, 2 служебных канала используются для передачи сигналов управления и сигнализации. В СНГ данный стандарт также называется ИКМ-30. Скорость передачи данных в суммарном потоке составляет 2048 Кбит/с (2048000 бит/с).

Япония и Северная Америка использует другие стандарты технологии PDH, отличающиеся количеством объединяемых потоков. По этому стандарту на первом уровне объединяется 24 канала по 64 кбит/с. Соответственно на втором и третьем уровне цифровые потоки передаются на скоростях 6 Мбит/с и 45 Мбит/с, соответственно (рис. 1.6).

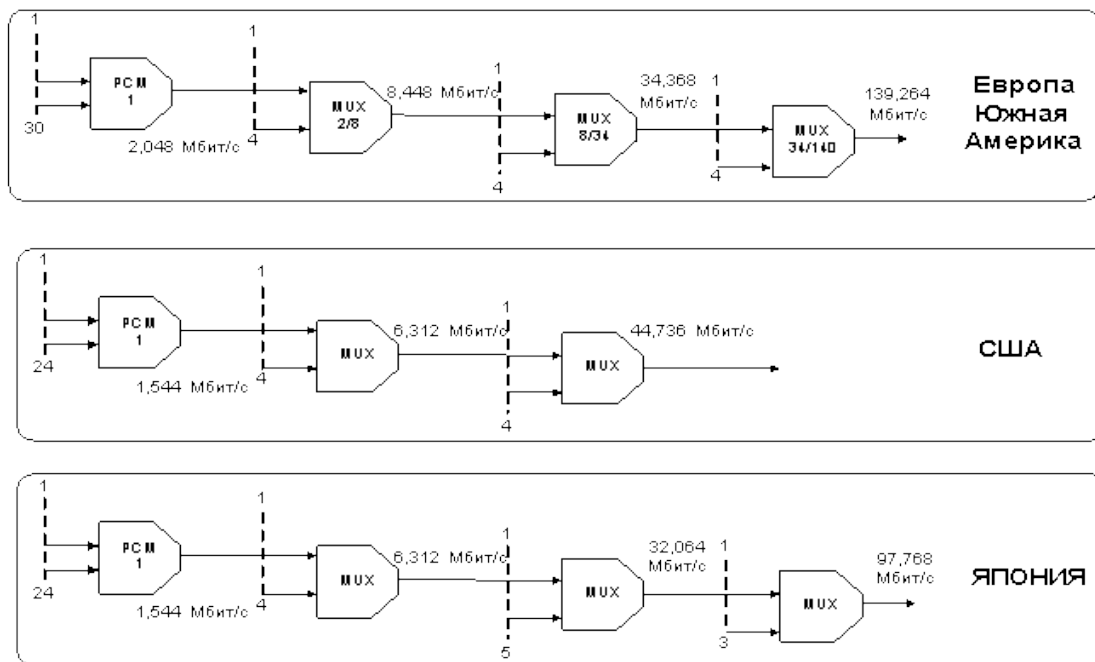


Рисунок 1.6 – Иерархия скоростей технологии PDH

На практике выявлены следующие недостатки технологии PDH:

- сложность и неэффективность операций мультиплексирования и

демультиплексирования пользовательских данных, когда, например, для ответвления канала E-1 из канала E-3 последний необходимо сначала демультиплексировать на каналы E-2 и только потом определенный канал E-2 из этого набора демультиплексировать на каналы E-1;

- отсутствие в PDH средств обеспечения отказоустойчивости, то есть в этой технологии не поддерживаются процедуры автоматического переключения на резервный канал в случае выхода основного из строя;

- недостаточная производительность даже на верхнем уровне иерархии скоростей.

1.3.2 Транспортная сеть SDH

Модель транспортной сети SDH представлена тремя самостоятельными по своей организации уровнями: уровень среды передачи; уровень трактов (маршрутов передачи информации); уровень каналов.

Уровень среды передачи базируется преимущественно на оптоволоконных линиях (среда передачи), в которых создаются секции регенерации цифровых линейных сигналов и секции мультиплексирования цифровых данных, которые необходимы для устранения искажений линейных импульсных сигналов и восстановления их формы и мощности.

Уровни трактов сети SDH представлены двумя плоскостями: высокого и низкого уровней (порядков). Виртуальные контейнеры высокого и низкого уровней представляют собой циклические цифровые ёмкости, предоставляемые под загрузку информационными данными с подходящими скоростями. Понятие “виртуальности” этим цифровым блокам присвоено из-за специальных данных, называемых заголовками, в которых прописывается уникальный маршрутный идентификатор для адресного переноса каждого контейнера через транспортную сеть от источника информации до получателя. Благодаря непрерывной циклической передаче виртуальных контейнеров может поддерживаться однонаправленное и двунаправленное транспортное соединение – тракт или

маршрут, рассчитываемое на различную пропускную способность в интересах потребителей транспортных услуг.

Уровень каналов сети SDH обеспечивают интерфейсы для пользователей транспортной сети. Учитывая, что транспортная сеть SDH является частью первичной сети связи, на уровне каналов производится согласование с вторичными сетями (пользователями), например, с телефонными сетями через потоки цифровых данных 2,048 Мбит/с (обозначается E1), с компьютерными сетями Ethernet на скоростях передачи 10, 100 и 1000 Мбит/с через сцепки виртуальных контейнеров и протоколы согласования (Link Access Procedure SDH (LAPS), Generic Framing Procedure (GFP)). Все процедуры формирования цифровых блоков SDH происходят с использованием единого высокостабильного тактового механизма – тактовой сетевой синхронизации (TCC). Создание и поддержка всех соединений в сети SDH и контроль всех функций обеспечиваются системой управления, имеющей сеть выделенных каналов связи и средства протокольного взаимодействия через эти каналы.

1.3.3 Транспортная сеть АТМ

Модель транспортной сети АТМ представлена тремя самостоятельными по своей организации уровнями: уровень среды передачи; уровень асинхронного режима передачи АТМ; уровень адаптации АТМ.

Уровень среды передачи в транспортной сети АТМ может быть реализован согласно стандартам АТМ (I.432) любой системой передачи, например, системой SDH. Допускается также использование любой среды и оборудования передачи (медные провода с модемами xDSL, радиоканалы с радиочастотными модемами, атмосферные оптические каналы, волоконно-оптические системы).

Уровень АТМ разбит на подуровни виртуального канала и виртуального пути. Эти подразделения уровня АТМ обусловлены форматом представления данных, называемых ячейками и имеющими ёмкость 53 байта, которая поделена на поле заголовка (5 байт) и поле нагрузки – сегмент пользователя (48 байт).

Заголовок содержит идентификаторы ячеек, принадлежащих одному соединению, виртуальному пути Virtual Path Identifier (VPI) и виртуальному каналу Virtual Circuit Identifier (VCI).

Уровень адаптации ATM выполняет функции интерфейса между транспортной сетью ATM с её виртуальными соединениями и пользователями транспортных услуг (вторичными сетями связи), например, телефонными сетями, сетями Internet, локальными сетями Ethernet и т.д. При этом различным видам трафика определены различные типы уровневой адаптации AAL (AAL-1, AAL-2, AAL-3/4, AAL-5, ATM Adaptation Level), предусматривающие формирование различных по структуре сегментов для пользовательской нагрузки. Пользовательская информация, поступающая непрерывным потоком данных или случайными во времени пакетами, приспособляется к процессу формирования сегментов, т.е. происходит согласование битовой скорости, исключаются неинформативные, т.е. пустые интервалы, формируются коды исправления ошибок для приёмной стороны и т.д.

Принципиальное отличие моделей транспортных сетей SDH и ATM:

- транспортный ресурс сети SDH – тракт высокого или низкого порядка предоставляется в распоряжение пользователя (вторичной сети связи) постоянно, независимо от информационного потока и с фиксированной скоростью передачи, что часто является причиной низкой эффективности использования соединения, например, в телефонии с коммутацией каналов при активности канала от 0.1 до 1.0;

- транспортные ресурсы сети ATM – виртуальный канал или виртуальный путь, поддерживаемые коммутаторами с маршрутными таблицами каждого соединения, предоставляются в распоряжение пользователя (вторичной сети связи) только при наличии потока информационной нагрузки, т.е. когда ячейки ATM формируются и следуют через физическую среду. В противном случае среда передачи предоставляется потокам ячеек других источников благодаря статистическому мультиплексированию на уровне ATM. Это позволяет в

несколько раз повысить эффективность использования физического соединения, например, тракта SDH.

1.3.4 Транспортная сеть WDM

Технология WDM, позволяет одновременно передавать несколько информационных каналов по одному оптическому волокну на разных несущих частотах.

Спектральное уплотнение каналов (или мультиплексирование по длине волны) относится к оптическим технологиям передачи, когда несколько оптических сигналов передается по одному волокну на различных длинах волн. В современных высокопроизводительных WDM системах, разработанных для протяженных линий связи, каждый оптический сигнал (часто называемый каналом или длиной волны) может передаваться на скорости от 2,5 до 10 Гбит/с. В настоящее время такие системы поддерживают от 32 до 64 каналов, в ближайшем будущем производители обещают увеличить число каналов до 160. Это позволит организовать передачу по одному волокну до 1 Тбит информации в секунду. WDM существенно увеличила пропускную способность канала (к 2003 году достигнута скорость 10,72 Тбит/с, а к 2009 – 15,5 Тбит/с), причем она позволяет использовать уже проложенные волоконно-оптические линии. Благодаря WDM удастся организовать двустороннюю многоканальную передачу трафика по одному волокну (в обычных линиях используется пара волокон для передачи в прямом и обратном направлениях).

В зависимости от величины разноса между несущими частотами оптических каналов различают следующие виды спектрального разделения каналов.

Схема расширенного частотного плана позволяет предложить следующую современную схему классификации:

- разреженные WDM – CDWM – системы с шагом по длине волны 20 нм, работающие в полосе 1270–1610 нм;

- обычные WDM – WDM – системы с шагом несущих по частоте более 200 ГГц, позволяющие мультиплексировать не более 16 каналов;
- плотные WDM – DWDM – системы с шагом несущих по частоте от 200 до 50 ГГц;
- высокоплотные WDM – HDWDM – системы с шагом по частоте меньше 50 (25 и 12,5) ГГц; эта градация систем стандартами не предусмотрена, но часто используется в публикациях специалистов [7].

1.3.5 Транспортная сеть OTN-OTN

Модель транспортной сети OTN-OTN представлена двумя самостоятельными по своей организации уровнями: уровень сети OTN и уровень пользователя.

Уровень сети OTN состоит из трёх физически и логически связанных подуровней: среды передачи сигналов с разделением по длине волны (WDM); оптических секций ретрансляции OTS (Optical Transmission Section) и мультиплексирования OMS (Optical Multiplex Section); оптических каналов OCh (Optical Channel) с нагрузкой в виде оптических транспортных блоков OTUk (Optical Transport Unit k) с включением в них блоков данных оптических каналов ODUk (Optical Data Unit k), которые, в свою очередь, включают блоки полезной нагрузки оптических каналов OPuk (Optical Channel Payload Unit k). Индекс k соответствует иерархической ступени OTN (k=1,2,3,4) и указывает на различные по длительности, ёмкости и скорости передачи циклы.

Оптические секции ретрансляции OTS организуются внутри оптической секции мультиплексирования OMS для компенсации потерь оптической мощности в стекловолокне и компенсации дисперсионных искажений.

В оптической секции мультиплексирования формируются, передаются, обслуживаются и расформируются отдельные оптические каналы, оптические волновые модули OTM с числом каналов до 16 (называемые также оптическими транспортными модулями), группы оптических модулей. Каждый

оптический модуль может иметь отдельный оптический сервисный канал, в который включаются служебные данные для каждого OCh.

Оптический канал OCh выполняет функции регенерации цифрового сигнала, т.е. восстанавливает амплитуду импульсов, их форму и устраняет накопленные фазовые дрожания. Также производится оптическая модуляция и детектирование, контроль качества передачи цифровых данных в блоках OTUk и ODUk, и т.д.

Уровень сети OTN может поддерживать полностью оптическую сеть с оптической коммутацией, маршрутизацией, конвертацией оптических волн и защитой соединений.

Уровень пользователя оптической транспортной сети OTN-OTN выполняет функции интерфейса между транспортной сетью и сетями пользователей транспортных услуг, к которым относятся сети SDH, ATM, Ethernet и др. Для эффективного согласования между сетями применяются различные протокольные решения по размещению данных пользователей в оптических каналах. Это протоколы: общей процедуры формирования кадра GFP; протокол защищаемого пакетного кольца или пакетного кольца с самовосстановлением RPR (Resilient Packet Ring) и др. Протоколы позволяют согласовать циклическую передачу данных в оптических каналах со случайной во времени передачей пакетов данных различной емкости от пользователей, например, пакеты IP, MPLS или Ethernet.

Рассмотрев возможные варианты реализации транспортной сети приходим к выводу, что наиболее функциональной будет оптическая транспортная сеть.

1.4 Выбор сети доступа

Волоконно-оптические сети доступа делятся на два типа: пассивные оптические сети PON и активные оптические сети AON (Active Optical Network). Отличие AON от PON заключается в том, что в точках ветвления сети в AON используется активное оборудование, а в PON используются пассивные

разветвители – сплиттеры. При использовании сплиттеров исключается использование электронного оборудования и можно уменьшить расходы на аренду помещения, электропитание и обслуживание. Сравнительный анализ сетей доступа приведен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Сравнительный анализ сетей доступа (качественный)

Технология	LAN	xDSL	СКД	КТВ	OAN	
Характеристика					FTTx	PON
Масштабируемость	низкая	хорошая	хорошая	средняя	отличная	отличная
Помехозащищенность	плохая	средняя	средняя	средняя	высокая	очень высокая
Мобильность	низкая	средняя	средняя	средняя	высокая	высокая
Надежность	низкая	средняя	средняя	средняя	высокая	высокая
Затраты на обслуживание	высокие	высокие	высокие	высокие	средние	низкие
Стоимость	низкая	средняя	средняя	средняя	высокая	высокая

Эти данные показывают, что сети доступа PON по большинству показателей превалируют над другими рассмотренными, а поэтому им следует отдавать предпочтение.

1.5 Особенности сетей PON

Основная особенность архитектуры PON – использование одного приёмопередающего модуля – оптического линейного терминала OLT (OpticalLineTerminal) для передачи данных множеству абонентских устройств – оптических сетевых терминалов ONT (OpticalNetworkTerminal) и приёма данных при использовании одного ОВ в обоих направлениях. Реализация этого принципа в структуре PON показана на рисунке 1.7.

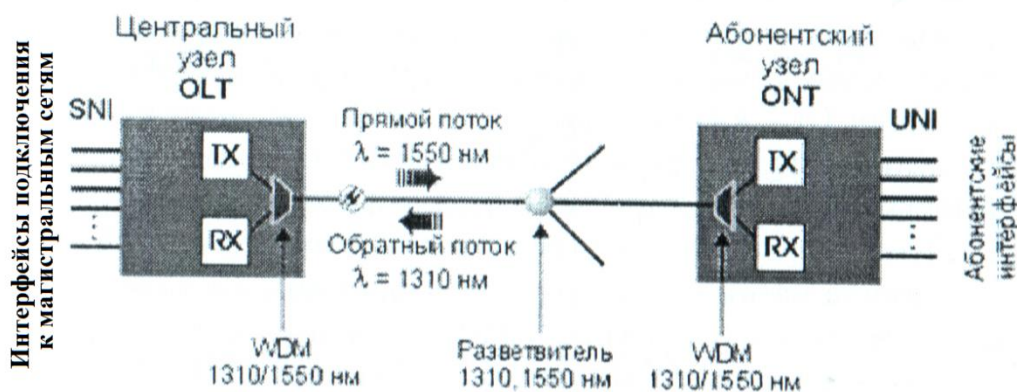


Рисунок 1.7 – Основные элементы архитектуры PON

Архитектура PON использует решения на основе топологии «точка-многоточка». В этом случае к одному порту центрального узла можно подключать целый волоконно-оптический сегмент древовидной архитектуры, охватывающий десятки абонентов. Причем в промежуточных узлах дерева устанавливаются пассивные оптические разветвители (сплиттеры), не требующие питания и обслуживания.

PON позволяет экономить на кабельной инфраструктуре за счет:

- сокращения суммарной протяженности ОВ, т.к. на участке от центрального узла до разветвителя используется всего одно ОВ;
- сокращения количества оптических передатчиков и приёмников в центральном узле. В некоторых случаях это оказывается даже более существенным.

По оценке компании NTT (Япония) конфигурация PON с разветвителем в центральном офисе в непосредственной близости от центрального узла оказывается экономичнее, чем сеть с топологией «т-т», хотя сокращения длины ОВ практически нет. Более того, если расстояния до абонентов невелики (как в Украине), то с учетом затрат на эксплуатацию оказывается, что PON с разветвителем в центральном офисе экономичнее, чем PON с разветвителем, приближенным к абонентским узлам.

В узлы OLT и ONT встроены пассивные мультиплексоры WDM, которые разделяют исходящие и входящие (прямой и обратный) потоки.

1.5.1 Прямой и обратный потоки

Количество абонентских блоков, подключенных к абонентскому модулю OLT, может быть настолько большим, насколько позволяет бюджет мощности и максимальная скорость аппаратуры. Для передачи потока данных от OLT к ONT, прямого (нисходящего) потока, обычно используют длину волны $\lambda = 1550$ нм. Наоборот, потоки данных от абонентских узлов в центральный узел, совместно образующих обратный (восходящий) поток, передаются на длине волны $\lambda = 1310$ нм.

Прямой поток на уровне оптических сигналов является широкоэмиттерным (от одного узла – всем остальным). Каждый ONT, читая адресные поля, выделяет из этого общего потока предназначенные только ему пакеты данных (рис. 1.8).

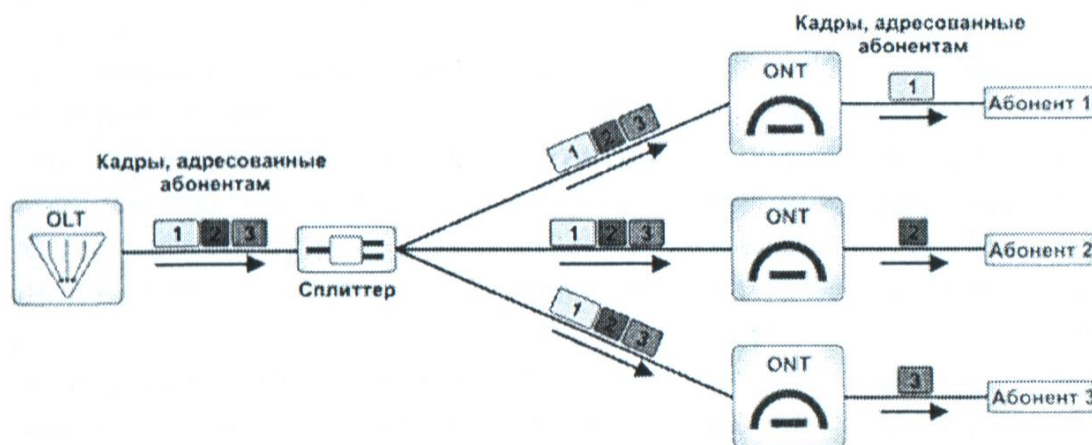


Рисунок 1.8 – Прямой поток

На рисунке 1.9 изображен обратный поток.

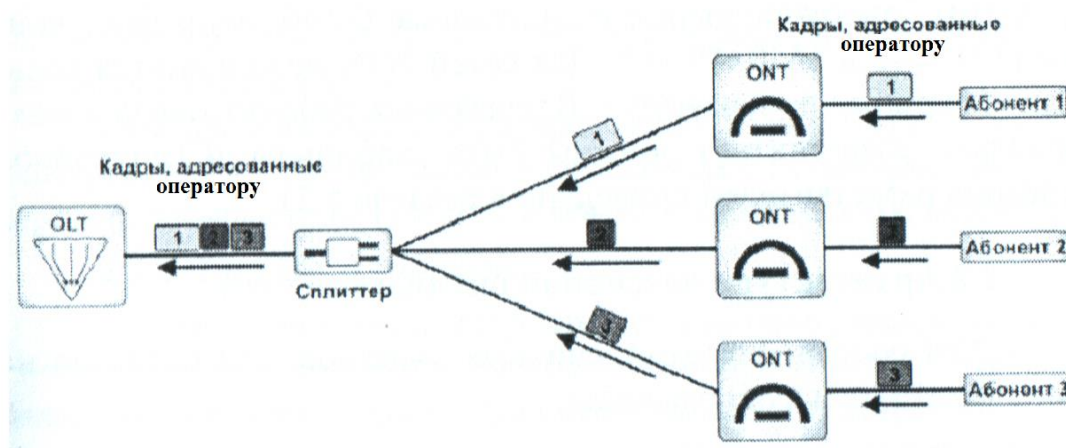


Рисунок 1.9 – Обратный поток

Все абонентские узлы ONT ведут передачу в обратном направлении на одной и той же длине волны, используя концепцию множественного доступа с временным разделением TDMA (Time Division Multiple Access). С целью исключения возможности интерференции сигналов от разных ONT, для каждого из них устанавливается своё индивидуальное расписание по передаче данных с учетом поправки на задержку, связанную с различным расстоянием передачи между ONT и OLT. Эту задачу решает протокол TDMAMAC.

1.5.2 Основные элементы сети PON

К основным функциональным элементам сети PON относятся центральный и абонентский узлы, а также оптические разветвители.

Станционный участок (центральный узел) – это устройство, устанавливаемое на центральной станции. Оно принимает данные со стороны магистральных сетей через сервисные узловые интерфейсы SNI (Service Node Interfaces) и формирует нисходящий поток к абонентским узлам (или прямой поток) по дереву PON.

Абонентский узел, или оптический сетевой терминал ONT, имеет с одной стороны абонентские интерфейсы, а с другой – интерфейс для подключения к

дереву PON. Передача потока по дереву от ONT ведется на $\lambda = 1310$ нм, а приём на ONT – на $\lambda = 1550$ нм. ONT принимает данные от OLT, конвертирует их и передаёт абонентам через интерфейсы «пользователь – сеть» UNI (User Network Interface).

Оптический разветвитель (сплиттер) – это пассивное устройство, оптический многополюсник, распределяющий поток излучения при передаче в одном направлении и объединяющий несколько потоков в один при передаче в обратном направлении. В общем случае у разветвителя может быть M входных и N выходных портов. В сетях PON наиболее часто используют разветвители $1 \times N$ с одним входным портом. Разветвители $2 \times N$ могут использоваться в системе с резервированием по волокну.

Разделяют разветвители и по рабочей полосе пропускания.

1.6 Сравнительный анализ различных сетей связи

Проведенный анализ показывает, что технологии PON в сравнении с другими технологиями имеют следующие достоинства:

- сплиттеры в точках ветвления сети PON могут разделять мощность в любых пропорциях. Оптимизация размещения сплиттеров позволяет достичь значительной экономии ОВ и снизить стоимость кабельной инфраструктуры;
- низкие расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание сети. Это преимущество обусловлено использованием пассивного оборудования в распределительной сети;
- возможность постепенного наращивания сети. Ввод новых узлов не оказывает влияния на действующую сеть;
- перспективность создания распределительной ифраструктуры, что даст в будущем возможность предоставления любых мультимедийных услуг с практически неограниченной полосой пропускания;
- повышенная надежность;
- высокая гибкость.

Построение распределительной сети по технологии PON требует применения всего лишь одного ОВ. Это позволяет строить сеть по шинной или древовидной технологиям, что весьма выгодно с экономической точки зрения.

2 ОПТИЧЕСКАЯ ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ

Модернизация любой системы требует полной ее перезагрузки; перемены настолько масштабны, что варианта развития событий, когда требуется строить все заново с нуля, скорее всего не избежать. Оптические сети не сильно отличаются от других систем, и такие масштабные перемены неизбежны. Естественным является стремление к увеличению пропускной способности систем оптической связи.

2.1 Увеличение пропускной способности систем оптической связи

Стандарт ITUG.709 для сетей OTN (Optics Transport Networks – оптических транспортных сетей) является оптимальным протоколом. Он обеспечивает необходимый уровень эффективности, надежности, предсказуемости, и будет соответствовать требованиям к инфраструктуре, характерным для пакетных сетей. OTN предлагает множество функций, которые помогут в будущем обеспечить "прозрачную" передачу растущего трафика пакетных сетей и поддерживать сервисы типа выделенной Ethernet-линии или высокоскоростные сервисы, которые требуют соблюдения жестких условий соглашения об уровне обслуживания.

Уровень транспортировки данных (особенно в сочетании с OTN-коммутацией) был и останется фундаментальной частью архитектуры сетей будущего.

В настоящий момент все сети WDMc пропускной способностью 100 Гбит/с используют передачу данных по OTN, и, по мере того как операторы строят новые сети, большинство из них планирует использовать OTN-коммутацию, что в конечном итоге послужит основанием для эффективной конвергенции передачи данных в пакетных и транспортных сетях в единый уровень сетевой архитектуры.

2.2 Виртуализация оптических сетей

Виртуализация – это использование множества сервисов набора общих ресурсов сети; она изменила принципы обработки данных в корпоративных средах и приложениях цифровой обработки данных (ЦОД). Виртуальные машины (VM) в центре обработки данных позволили отделить аппаратные ресурсы от приложений/сервисов, благодаря чему увеличилась эффективность использования аппаратного обеспечения и, следовательно, снизились капитальные издержки. Виртуальные машины также смогли снизить эксплуатационные издержки путем использования централизованного управления ресурсами и сервисами. Сервисы с различными приоритетами можно оперативно перемещать и клонировать поверх гомогенной (уже существующей и сложившейся) аппаратной среды.

Необходим протокол транспортной сети, который бы не зависел от сервисов, чтобы осознать понятие виртуализированной оптической сети – сети, способной работать с любыми протоколами от устаревших SONET/SDH до Ethernet, MPLS, IP и иных протоколов типа FibreChannel.

Должен также быть способ разделения высокой пропускной способности каналов 100 Гбит/с или суперканалов 1 Тбит/с, чтобы эффективно разместить набор различных протоколов и скоростей передачи данных от различных клиентов.

Передача данных в OTN-сетях как раз и предлагает приемлемое решение для передачи и управления трафиком в таких виртуализированных оптических сетях, предлагая средства размещения, способные обеспечивать «прозрачную» передачу широкого спектра сервисов в рамках всей сети. OTN-коммутация предлагает обширные возможности для распределения и агрегации полосы пропускания между сервисами с различными требованиями относительно емкости, величины задержки и надежности. И, что немаловажно, обеспечивает мультиплексирование многих протоколов с низкой и средней скоростью передачи данных в максимально заполненные каналы 100 Гбит/с. Вместе они формируют

технологии передачи данных в оптических сетях, которая станет основой для сетей будущего.

2.3 Передача трафика в сетях OTN

Термин OTN используется для описания трех различных функций:

- OTN-транспорт;
- OTN-мультиплексирование;
- OTN-коммутация.

Они не взаимозаменяемы. К примеру, коммутация является собой сочетание транспортных функций, поэтому необходимо объяснить различия.

Передача трафика по OTN используется уже более десяти лет, если рассматривать ранние внедрения приемов синхронизации G.975 в приложениях SLTE в 90-х годах. Стандарт G.709 OTN изначально был определен, как протокол связи между двумя точками сети, созданный для обеспечения протокола независимого размещения клиентских данных. Предполагалось использовать единый гомогенный протокол для размещения / передачи трафика от различных клиентов, обеспечивая полностью «прозрачную» передачу трафика, на что не был способен протокол SONET/SDH в отношении гигабитных сервисов типа Ethernet, Fibre Channel и высокоскоростные сервисы. Прозрачность – важный элемент транспортных сетей; это понятие означает, что любой протокол может работать при гарантированном уровне скорости передачи данных без каких-либо изменений в полезной нагрузке. OTN – это способ передать информацию без модификаций. В таблице 2.1 приведены уровни полезной нагрузки контейнеров OTN и поддерживаемые клиентские интерфейсы.

2.4 OTN-коммутация

Технология мукспондеров и протокола G.709 стала основой для OTN-коммутации. Она определила протокол, который позволял прозрачно объединять

в стандартные контейнеры и передавать по одному каналу трафик различных клиентских интерфейсов. OTN-коммутаторы обеспечили прорыв в развертывании сетевых архитектур, в которых общая электронная коммутирующая матрица (OTN-коммутация) обеспечивает кросс коммутацию сотен и даже тысяч каналов в определенном узле.

Таблица 2.1 – Уровни полезной нагрузки контейнеров OTN и поддерживаемые клиентские интерфейсы

OTN-контейнер	Полезная скорость	Поддерживаемые клиентские интерфейсы
ODU-0	1.25 Гбит/с	STM-1/4, Gigabit Ethernet, Fibre Channel, прочие
ODU-1	2.5 Гбит/с	STM-16, 2 Gigabit Fibre Channel
STM-16, 2 Gigabit Fibre Channel	10 Гбит/с	STM-64, 10 Gigabit Ethernet
ODU-3	40 Гбит/с	STM-256, 40 Gigabit Ethernet
ODU-4	100 Гбит/с	100 Gigabit Ethernet
ODU-FLEX	N x 1.25 Гбит/с	Sub-rateEthernet, либо клиентские интерфейсы с постоянной скоростью (EPON, GPON, CPRI и т. п.)

Первым преимуществом платформы OTN-коммутации перед подходом на основе транспондеров и мукспондеров является возможность отделения клиентских интерфейсов от интерфейсов канала со стороны транспортной сети. Вместо того чтобы объединять четыре или десять клиентских интерфейсных портов посредством физического волоконного соединения к одной WDM-магистральной, каждый из клиентских интерфейсов может быть индивидуально направлен на любой WDM-интерфейс или клиентский порт системы.

Отделение клиентских интерфейсов от интерфейсов транспортной сети также повышает эффективность сети. В настоящее время большинство сервисных интерфейсов, предлагаемых операторами, имеют пропускную способность 10

Гбит/с и менее, и данная ситуация сохранится на протяжении нескольких лет, так как показатели экономичности клиентских интерфейсов 10 Гбит/с не просто превысить. Пропускная способность интерфейсов 100 Гбит/с подходит только очень крупным предприятиям и ЦОД. OTN-коммутация позволяет объединить множество сигналов 10 Гбит/с в высокоскоростные оптические каналы, обеспечивая масштабируемость емкости оптоволокна, в то же время увеличивая заполняемость и эффективность полосы пропускания.

Проблемы масштабирования мукспондеров становятся очевидны в случаях, когда, например, нужно жестко объединить 100 интерфейсов по 10 Гбит/с в суперканал 1 Тбит/с. В реальности этот суперканал, состоящий из иерархичных суб-контейнеров и использующий полосу пропускания множества оптических каналов, способен передавать смешанный трафик от множества интерфейсов: от GigabitEthernet и FibreChannel (ODU0), OC-48 (ODU1), 10 Гбит/с (ODU2), возможно, от побочных клиентских интерфейсов 40 Гбит/с (ODU3) и нескольких оптических интерфейсов 100 Гбит/с (ODU4). Этот трафик в канале 1 Тбит/с генерируется на разнообразных клиентских и сетевых интерфейсах, и интегрированная коммутирующая матрица OTN на узле с суперканалом 1 Тбит/с является единственным решением для реального объединения более мелких ODU-контейнеров в канал 1 Тбит/с. Многие из этих сервисов могут иметь различные точки генерации и терминирования, и, таким образом, если бы они распределялись мукспондерами, не было бы способа эффективно агрегировать их в единый суперканал, то есть, требовалось бы дополнительно надстраивать новые WDM-сети, понижая таким образом эффективность сети.

2.5 Преимущества виртуализованных оптических сетей

Интеграция OTN-коммутации приносит экономические и эксплуатационные преимущества виртуализации в отрасль оптических сетей. Плюсы этой архитектуры хорошо видны в четырех аспектах сетей:

- 1) емкость;

- 2) скорость доставки сервисов;
- 3) обеспечение инфраструктуры;
- 4) восстановление после сбоев.

2.5.1 Емкость

OTN-коммутация отделяет клиентские интерфейсы от WDM, обеспечивая повышение эффективности сети, заботясь о том, чтобы более дорогостоящие WDM-соединения работали как можно более активно, не оставляя без работы неиспользуемую пропускную способность. Сеть, построенная на OTN-коммутаторах, развивает идею еще дальше, позволяя агрегировать трафик на промежуточных узлах и перенаправлять его на неиспользуемые маршруты. Образно говоря, хотя места на беспосадочный перелет из Бостона в Сан-Франциско могут быть полностью заняты, вы можете найти свободные места на множестве рейсов с пересадкой. OTN-коммутация обеспечивает "прозрачную" передачу трафика через промежуточные узлы и задействует незанятую пропускную способность.

2.5.2 Скорость доставки сервисов

Виртуализация позволяет быстро развертывать новые сервисы в центрах обработки данных, и функционал OTN предоставляет ту же возможность в транспортных сетях. Присутствие коммутаторов в каждом узле облегчает подключение новых клиентских интерфейсов, без забот о том, на какую карту мукспондера их направить. Также легко можно обработать изменения в сервисах, а освободившую емкость вернуть в перечень виртуализированных оптических ресурсов.

2.5.3 Обеспечение инфраструктуры

Для клиентских интерфейсов, запрашивающих ёмкость от виртуализированной оптической сети, могут существовать специальные требования. По мере того, как развертываются новые сервисы, нужно принимать во внимание величину возможной задержки, средства обеспечения безопасности и политики при расчете соответственного соединения. Интегрированные функции OTN-коммутации позволяют применять для конфигурации подход на основе ячеистой топологии, благодаря чему трафик от множества клиентских интерфейсов в рамках одной виртуальной оптической сети можно направлять в соответствии с требованиями заказчиков. Наличие OTN-коммутации на протяжении всей сети создает ресурсную базу с выраженной ячеистой структурой, а это обеспечивает соответствие уровня управления определенным требованиям заказчика.

2.5.4 Восстановление после сбоев

Сбой соединений в сети неизбежен, и тот же самый уровень управления, который изначально обеспечивал сервисы, должен перенаправить трафик в случае потери подключения. Сеть, таким образом, должна выполнить те же требования к обеспечению сервисов, полностью или частично, только на этот раз с меньшим количеством доступных сетевых ресурсов. Ячеистая структура сети с проникающей OTN-коммутацией доступная в рамках всех ресурсов сети позволит обеспечить оптимальное решение проблемы. OTN-коммутаторы можно оперативно переконфигурировать, намного быстрее, чем мультиплексоры ROADMs (Reconfigure OADM перестраиваемые OADM, Optical Add/Drop Multiplex (OADM) – мультиплексор ввода/вывода), что в конечном итоге является основой быстрого восстановления сети. На рисунке 2.1 изображены преимущества OTN-коммутации [4].



Рисунок 2.1 – Преимущества OTN-коммутации

2.6 Структура интерфейса OTN

Оптическая транспортная сеть OTN (OpticalTransportNetwork) на основе технологии мультиплексирования оптической транспортной иерархии OTN предназначена для построения транспортных магистралей с пропускной способностью до десятков Тбит/с. Это достигается сочетанием гибкого цифрового мультиплексирования стандартных циклических блоков, с одной стороны, и гибким построением оптических каналов и их мультиплексированием в управляемые оптические модули, с другой стороны.

Для реализации возможностей OTN-OTN рекомендациями G.709 и G.798 МСЭ-Т предусмотрена иерархическая структура интерфейса. Структура

интерфейса OTN-OTN приведена на рисунке 2.2, где подчеркнута его иерархичность.

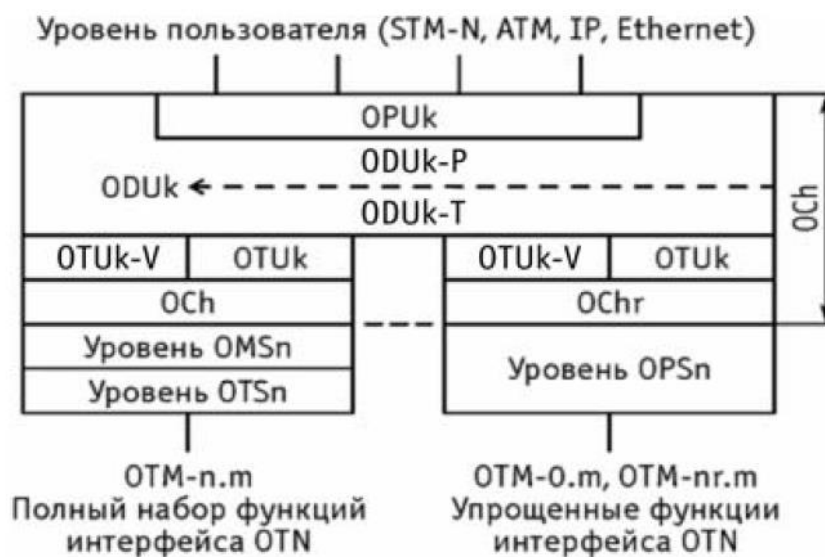


Рисунок 2.2 – Структура интерфейса OTN-OTN

В структуре интерфейса также подчеркнуты технологические решения для всех составляющих уровней сети OTN, в частности представлены полный и упрощенный набор функций интерфейса при формировании оптического транспортного модуля OTM.

Для реализации функций интерфейса используется электронное и оптическое оборудование (рис. 2.3), объединяемое в транспондерные TPD и оптические блоки OMX с оптической ретрансляцией R. Через транспондерные блоки реализуются функции уровня оптического канала OCh (OpticalChannel).

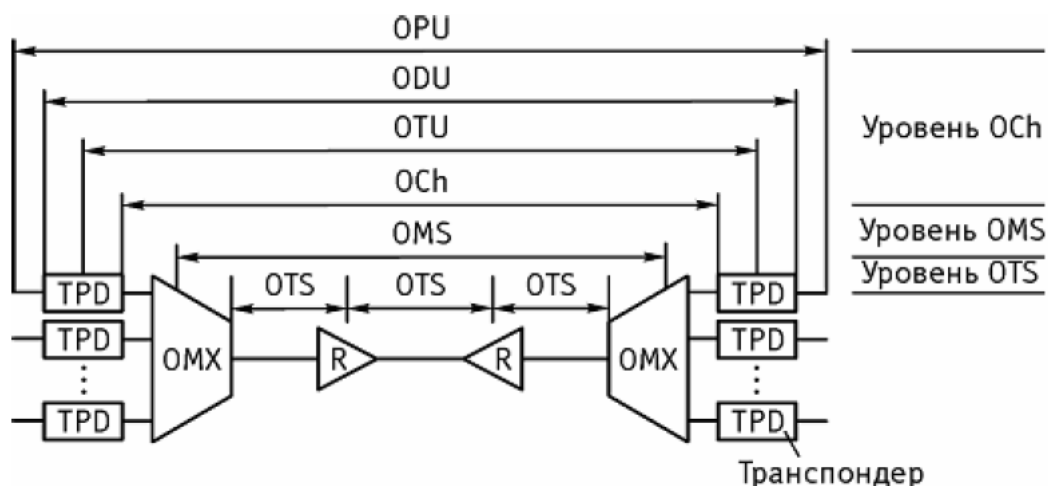


Рисунок 2.3 – Структура соединения в сети OTN-OTN

TPD – транспондер

2.6.1 Уровень OCh

Уровень OCh обеспечивает формирование цифровых транспортных структур оптической транспортной иерархии через генерацию блоков для упаковки информации пользователя: OPU, ODU, OTU. Также уровень OCh обеспечивает преобразование электрических сигналов в оптические на передаче и обратную операцию на приеме с регенерацией амплитуды, формы и длительности импульсов сигнала (функции 3R).

Рассмотрим компоненты уровня OCh. Блок OTU_k представлен на рисунке 2.4.

OPU_k (Optical Channel Payload Unit-*k*) – блок оптического канала нагрузки порядка *k*, где $k = 1, 2, 3$. Эта циклическая информационная структура используется для адаптации информации пользователя к транспортировке в оптическом канале. Блок OPU_k состоит из поля информационной нагрузки и заголовка.

ODU_k (Optical Data Unit-*k*) – блок данных оптического канала порядка *k*, где $k = 1, 2, 3$. Эта информационная структура состоит из поля информации OPU_k и заголовка.

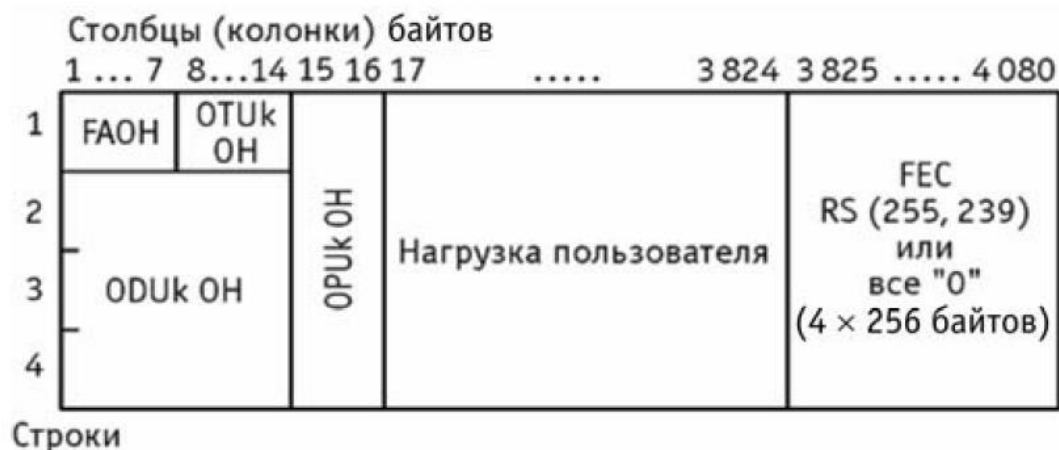


Рисунок 2.4 – Структура блока OTUk

ODUk-P (ODUk Path) – блок данных оптического канала порядка k , поддерживающий тракт из конца в конец сети OTN.

ODUk-T, ODUk-TCM, ODUk Tandem Connection Monitoring – блок данных оптического канала, поддерживающий наблюдение (мониторинг) парных (тандемных) соединений в сети OTN. Один блок ODUk-T допускает поддержку мониторинга до шести тандемных соединений.

OTUk (Optical Transport Unit- k) – оптический транспортный блок порядка k , где $k = 1, 2, 3$. Эта информационная структура используется для транспортировки ODUk через одно или больше соединений (кроссовые соединения в узлах) оптических каналов. Блок OTUk определен в двух версиях – OTUkV и OTUk. Он рекомендован к применению на локальных участках OTN в полной и упрощенной формах исполнения.

OTUkV характеризуется как частично стандартизированная структура, рекомендуемая для применения в составе оптического транспортного модуля OTM в полной форме исполнения. OTUkV состоит из блока данных оптического канала, заголовка для управления соединением оптического канала и поля исправления ошибок FEC (рисунок 2.5). Блок OTUk направляется на оптический модулятор, где формируются импульсные оптические послыки на определённой волне излучения. Волны излучения каждого OCh объединяются в оборудовании оптической секции мультиплексирования OMS (Optical Multiplex Section).

2.6.2 Уровень оптической секции мультиплексирования OMS-n

На этом уровне производится мультиплексирование/демультиплексирование n оптических каналов. Число $1 < n < 16$ указывает на оптические частоты, рекомендованные для передачи сигналов через волоконно-оптические линии в диапазоне 1260-1675 нм. В этом диапазоне возможно группирование оптических частот блоками из n в модули OTM-n для их последующей трансляции в оптических секциях OTS (OpticalTransmissionSection).

2.6.3 Уровень оптической секции передачи OTS-n

Здесь формируются и расформировываются оптические транспортные модули OTM-n.m, OTM-nr.m, OTM-O.m (Optical Transport Module). Индексы OTM определены для обозначения различных вариантов построения интерфейсов.

Индекс «n» используется для обозначения максимального количества волн передачи. Если $n = 0$, то это признак одной волны передачи.

Индекс «г» используется для обозначения упрощенных функций, в частности OTM не содержит отдельный волновой сервисный канал передачи заголовков.

Индекс «т» используется для обозначения иерархической ступени ОТН с соответствующей скоростью передачи в варианте комбинирования скоростей. Он является расширенным, по сравнению с индексом «k», обозначением ($m = 1, 2, 3, 12, 123, 23$).

Индекс «k» используется для обозначения поддерживаемой иерархической скорости ОТН (табл. 2.2). Так $k = 1$ соответствует скорости 2,7 Гбит/с, $k = 2$ соответствует скорости 10,7 Гбит/с, $k = 3$ соответствует скорости 41,2 Гбит/с.

Уровень оптической физической секции порядка nOPSn (Optical Physical Section-n) предусмотрен для передачи многоволнового оптического сигнала через оптические среды разных типов (одномодовые волокна с характеристиками G.652, G.653, G.655, G.656). Порядок волновой передачи определен индексом «и»,

который может лежать в пределах $0 < n < 16$. В этом интерфейсе отсутствует волновой сервисный канал.

Таблица 2.2 – Иерархические скорости и циклы OTU_k

OTU _k	Скорость, кбит/с	Отклонение скорости	Длительность цикла, мкс
OTU1	255/238 x 2 488 320	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$	48,971 мкс
OTU2	255/237 x 9 953 280	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$	12,191 мкс
OTU3	255/236 x 39 813 120	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$	3,035 мкс

Блоки нагрузки оптических каналов OPU_k предназначены для упаковки цифровых информационных данных с синхронным по битам или асинхронным согласованием скоростей. Блок OPU_k может иметь один из трех порядков ($k = 1, 2, 3$), который соответствует определенной скорости передачи ОТН (табл. 2.3). Заголовок OPU_k имеет одинаковую структуру на всех иерархических ступенях (рис. 2.5).

Таблица 2.3 – Типы OPU_k и скорости передачи

Тип OPU _k	Скорость передачи, кбит/с	Отклонение скорости
OPU1	2488320	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$
OPU2	238/237 x 9953280	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$
OPU3	238/236 x 39813120	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$

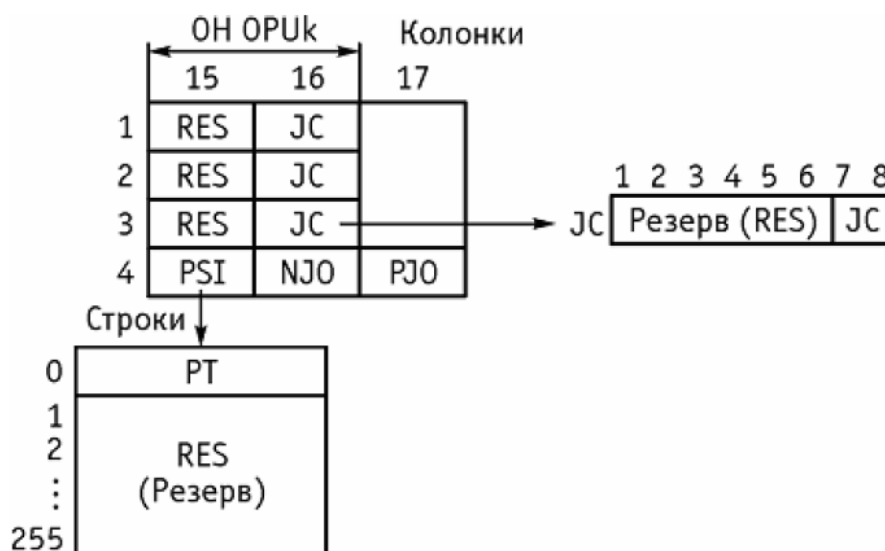


Рисунок 2.5 –Заголовок OPUk

Назначение и обозначение байтов заголовка OPUk на рисунке 2.5 следующие:

- RES, Reserved – резервные байты и биты для будущей стандартизации;
- PSI, Payload Structure Identifier – идентификатор структуры нагрузки; содержится в 256 байтах следующих друг за другом, но только нулевой байт этой последовательности несет сообщение о типе нагрузки PT (PayloadType), остальные байты резервные;
- JC, JustificationControl – управление выравниванием (согласованием скорости передачи), используется при асинхронной упаковке/выгрузке информации пользователя для указания на отрицательное или положительное согласование скорости;
- NJO, PJO, NegativeJustificationOpportunity, PositiveJO;
- отрицательное и положительное согласование скорости.

Байты N10 и PJO не применяются при синхронной упаковке по байтам и выгрузке в OPUk. При этом байт PJO используется для размещения информационных данных.

2.7 Блок данных оптического канала ODUk

Блок ODUk – информационная циклическая структура, используемая в оптическом канале для поддержки тракта из конца в конец. Информационная циклическая структура ODUk представлена двумя частями: полем нагрузки OPUk и полем заголовка ODUk. Емкости ODUk определены для $k = 1, 2, 3$ (табл. 2.4).

Таблица 2.4 – Типы и емкость блоков ODUk

Тип ODUk	Номинал битовой скорости ODUk, кбит/с	Отклонение скорости
ODU1	239/238 x 2488320	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$
ODU2	239/237 x 9953280	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$
ODU3	239/236 x 39813120	$\pm 20 \cdot 10^{-6}$

В заголовке ODUk (рис. 2.6) размещается информация о функциях эксплуатации и управления при поддержке оптического канала OCh.



Рисунок 2.6 – Структура заголовка ODUk

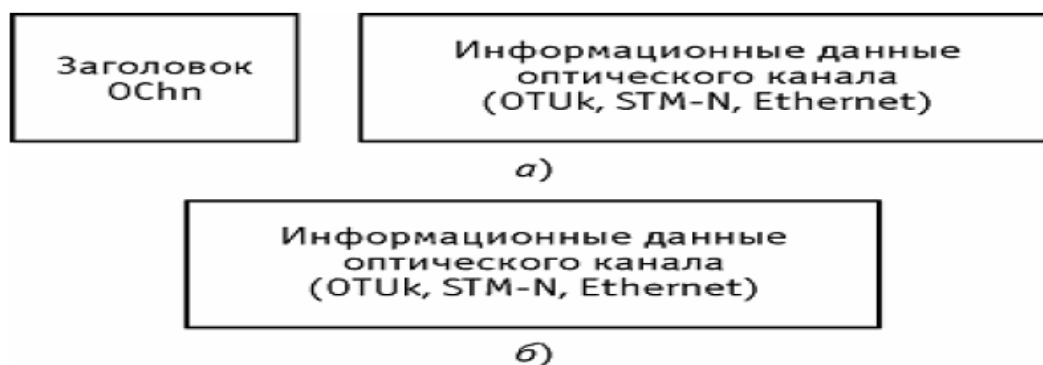
Блок OTUk перед отправкой в оптический канал проходит процедуру скремблирования за исключением байт заголовка OH (FAOH, OTUk OH).

2.8 Блок оптического канала OCh

Транспортировка информационных данных пользователя сети OTN в каждом оптическом канале OCh происходит между точками включения регенераторов 3R, восстанавливающих амплитуду, форму и длительность электрических импульсов. Пользовательские сигналы в OCh представляют собой сигналы OTUk. Кроме того, OCh могут поддерживать передачу других цифровых сигналов, например STM-NGb Ethernet. Блок оптического канала может создавать сетевой цикл полной или упрощенной формы.

Полная форма цикла уровня OCh предполагает перенос пользовательских данных на отдельной оптической частоте и заголовка каждого оптического канала на общей оптической частоте для n-каналов, т.е. отдельным оптическим сервисным каналом (OOS).

Упрощенная форма сигнала уровня OCh исключает оптический сервисный канал. Обе формы данных OCh представлены на рисунке 2.7.



а) полная форма OCh; б) упрощенная (редуцированная) форма OCh

Рисунок 2.7 – Формы представления информации OCh,

Для каждого оптического канала OCh-n используется поле сигналов обслуживания (рис. 2.8), помещаемое в заголовке.

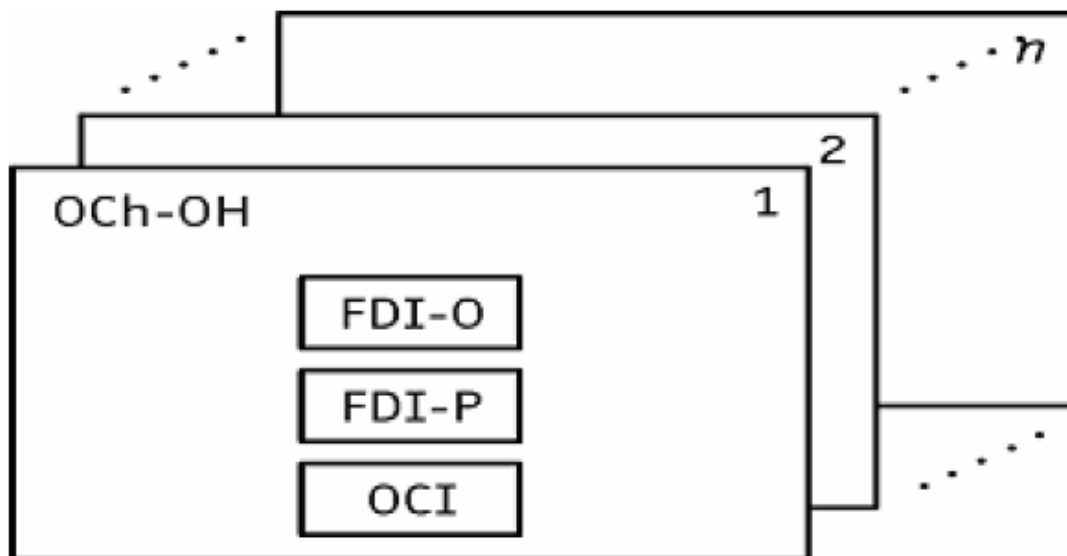


Рисунок 2.8 – Поле сигналов обслуживания OCh-n OH

Это поле обслуживания используется вместе с полями обслуживания OMS-n, OTS-n и транслируется на отдельной оптической частоте.

Сигнал OCh-FDI-O генерируется как сигнал повреждения в OOS (OTM Overhead Signal).

Сигнал OCh-FDI-P генерируется как сигнал индикации неисправности оптического канала OCh на уровне оптической секции мультиплексирования OMS. Когда завершается OTUk сигнал OCh-FDI направляется как сигнал ODU-k-AIS, т.е. сигнал аварии.

Сигнал OCh-OCI посылается в нисходящем направлении и указывает на то, что в восходящем направлении в функции соединения матричное соединение разорвано действием команды управления. Обнаруженное в результате состояние потери сигнала в конечной точке канала OCh теперь может быть связано с разомкнутой матрицей. Детальная информация о структуре данных заголовка OChOH дорабатывается стандартизирующими организациями .

2.9 Блок переноса оптического канала OCC

Блок переноса оптического канала OCC (Optical Channel Carrier) предназначен для модуляции/демодуляции оптической частоты. Он может выполнять функции в двух вариантах: OCCo и OCCr. Вариант блока OCC используется в полнофункциональной схеме оптического мультиплексирования с формированием заголовка OCCo и поля нагрузки OCCr в секции мультиплексирования OMS, что рассмотрено в предыдущем разделе. Вариант блока OCC используется в упрощенной схеме оптического мультиплексирования без заголовка OCCo.

Каждому блоку OCC придается точно определенная оптическая частота, соответствующая стандарту DWDM или CWDM. Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) – плотное мультиплексирование с разделением по длине волны по рекомендации МСЭ-Т G.694.1. Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM) – редкое мультиплексирование с разделением по длине волны по рекомендации МСЭ-Т G.694.2.

2.10 Блок оптического транспортного модуля OTM-n.m

Блок оптического транспортного модуля OTM-n.m поддерживает оптическую секцию передачи OTS-n в оптической транспортной сети OTN. Модуль OTM-n.m создается в OTS-n и состоит из оптических частот нагрузки OMS-n и отдельного заголовка OTS-n OH, передаваемого в OOS (рис. 2.9).

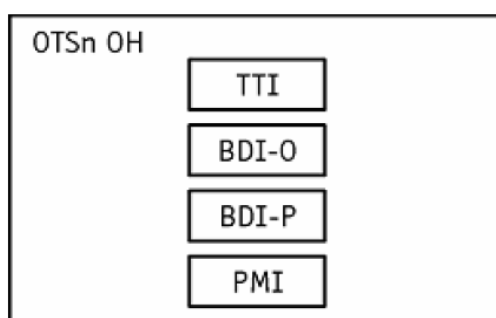


Рисунок 2.9 – Заголовок оптической секции передачи OTS-n

В OTS-n ОН определены функциональные блоки данных обслуживания (мониторинга): TTI, BDI-P, BDI-O и PMI.

Понятие оптической секции передачи может быть ассоциировано с понятием оптической физической секции порядка n , OPS- n . В OPS- n передается многоволновый оптический сигнал по определенной физической среде (волокна, соответствующие рекомендациям G.652, G.653, G.655, G.656). Кроме того, допускается ассоциация OMSи OTS в OPS. Число n установлено не более 16. Очевидно, что в паре оптических волокон можно организовать несколько отдельных OPS, в каждом из которых может быть до 16 волн.

3 ТРАССА ЛИНИИ СВЯЗИ И ФАКТОРЫ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ЕЁ ДЛИНУ. СТАНДАРТЫ ОВ

В ОВ функции переносчика выполняет световой луч. Как известно из физики, световой луч представляет собой ЭМВ, но гипервысокой частоты. Это позволяет, с одной стороны, для описания процессов в ОВ использовать приближение «геометрической оптики», а с другой стороны, использовать соответствующие физические эффекты, присущие распространению ЭМВ. Главными среди них является затухание и дисперсия. Эти факторы и ограничивают допустимую длину оптической линии связи.

3.1 Выбор трассы линии связи

Траектория линии связи Сумы – Изюм – Запорожье определена в задании на проектирование и определяется потребностями производства некоторой компании, когда часть производственных мощностей сосредоточена в г.Сумы, часть в г.Изюм, а основная сборка изделия и основной потребитель находится в г.Запорожье. Трасса линии связи приведена на рисунке 3.1.

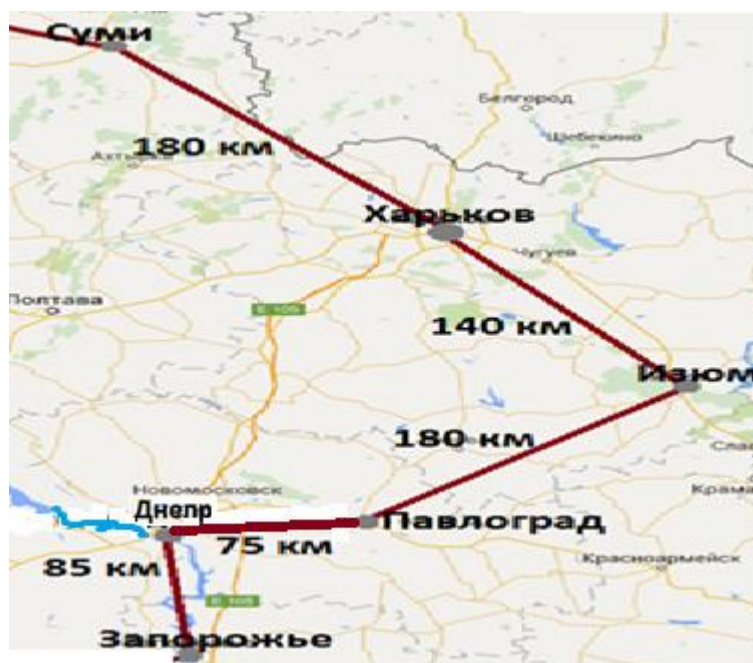


Рисунок 3.1 – Трасса линии связи Сумы – Изюм – Запорожье

Как видно из данного рисунка, если трасса прямолинейная, то часть её между городами Сумы и Харьков проходит по территории сопредельного государства (РФ), что недопустимо. Чтобы это исключить изменим трассу, как на рисунке 3.2, где это показано утолщенной линией черного цвета. Изменения трассы между точками А и Б обозначены многоугольниками.

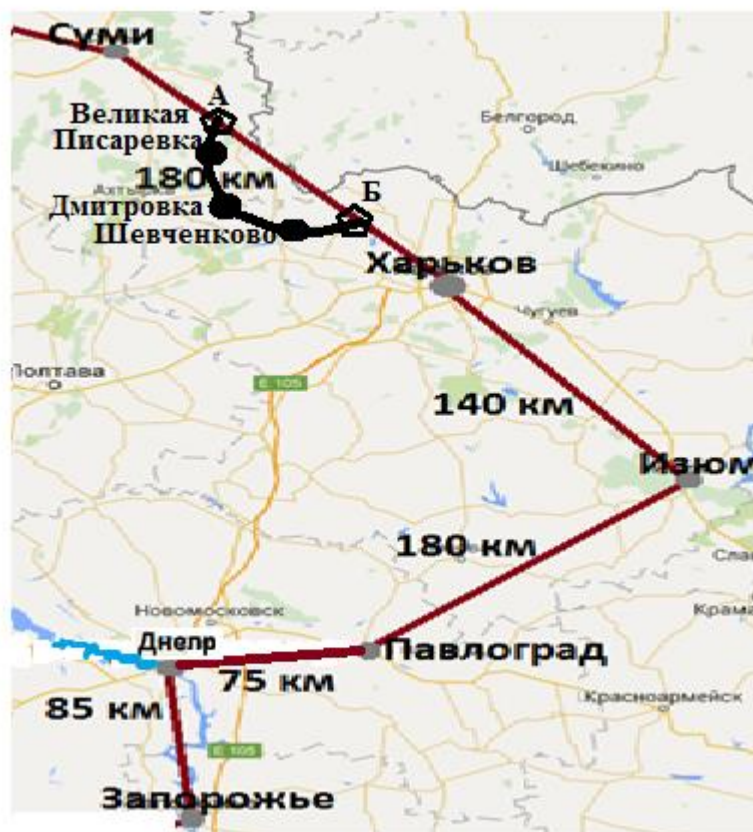


Рисунок 3.2 – Изменённая трасса линии связи

Как видно из данного рисунка, новая трасса будет дополнительно включать населенные пункты Великая Писаревка, Дмитровка и Шевченково; естественно, это несколько удлинит общую длину линии связи.

Все геометрические и географические параметры линии связи будут учтены при расчете требующейся длины оптического кабеля по отдельным участкам.

Определим по карте (рис. 3.2) длины отдельных участков линии связи:

- участок Сумы – Харьков расстояние 182 км;
- участок Харьков – Изюм расстояние 140 км;

- участок Изюм – Павлоград расстояние 180 км;
- участок Павлоград – Днепр расстояние 75 км;
- участок Днепр – Запорожье расстояние 85 км.

Таким образом, общая длина линии связи составит 662 км.

На участке трассы Днепр – Запорожье линия связи должна преодолеть полноводную р. Днепр. Для решения этой задачи потребуется специальный кабель (марка ОКЛК-Н) для преодоления прибрежных полос.

3.2 Общая информация о свойствах ОВ

В существующих ВОСПИ на стороне передатчика выполняется модуляция (манипуляция) по амплитуде (мощности), а на стороне приёмника – прямое оптическое детектирование.

Используются три участка инфракрасного диапазона длин волн («окна прозрачности» кварцевого ОВ, где затухание минимальное):

- участок в районе длин волн 850 нм (первое окно);
- участок в районе длин волн 1310 нм (второе окно);
- участок в районе длин волн 1550 нм (третье окно).

На рисунке 3.3 изображено распределение спектра оптических лучей.

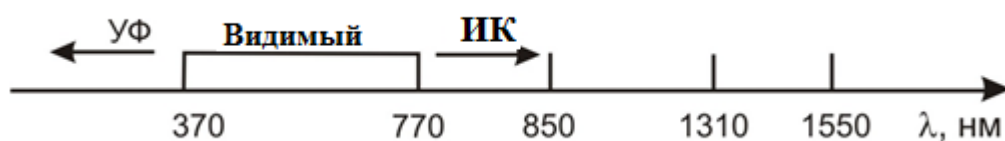


Рисунок 3.3 – Распределение спектра оптических лучей

В технологии PON для прямого потока используется третье окно, а для обратного потока – второе окно прозрачности.

Исследуется и «дальний» инфракрасный диапазон, где получены обнадеживающие результаты.

Можно показать, что одномодовый режим работы ОВ достигается, когда произведение его численной апертуры NA на относительный размер сердцевины a/λ удовлетворяет условию:

$$V = \frac{2\pi a \cdot NA}{\lambda} \leq 2,405, \quad (3.1)$$

которое обеспечивается путём выбора $2a = 3 \dots 12$ мкм и отношения коэффициентов преломления сердцевины и оболочки $n_1/n_2 = 0,002 \dots 0,001$. В одномодовых ОВ распространяется только один луч (мода) (рис. 3.4).

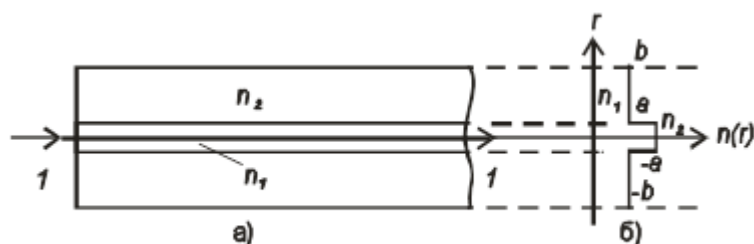


Рисунок 3.4 – Одномодовое оптическое волокно

Основными факторами, которые влияют на распространение светового луча в ОВ являются длина волны, геометрические размеры ОВ, затухание, дисперсия, диаметр модового поля

Экспериментальные исследования распределения интенсивности (мощности) излучения основной моды ОВ в ближней зоне (рис. 3.5 а) дали зависимость, которая приведена на рисунке 3.5 б.

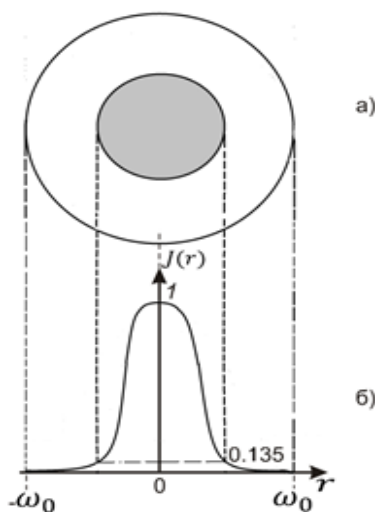


Рисунок 3.5 – Распределение интенсивности излучения ОМ ОВ

3.3 Затухание в ОВ

Затухание – это потеря оптической энергии на пути движения оптического луча по ОВ. Может изменяться в очень широких пределах от 0,2 дБ/км в одномодовых ОВ до 100...300 дБ/км в пластиковых ОВ. Эти потери должны быть минимальными для того, чтобы можно было покрывать большие расстояния без установки регенераторов.

Основные виды потерь в ОВ приведены на рисунке 3.6.

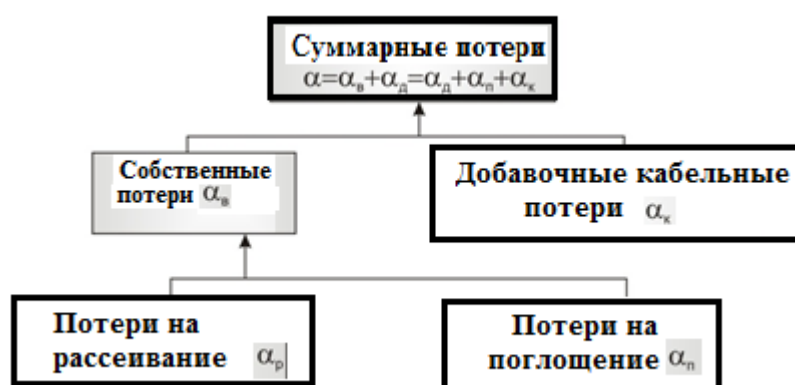


Рисунок 3.6 – Основные виды потерь в ОВ

Значения основных видов потерь приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Значения потерь для разных типов ОВ

Тип ОВ	λ , нм	$\alpha_{\text{п}}$, дБ/км	$\alpha_{\text{р}}$, дБ/км	$\alpha_{\text{д}}$, дБ/км
ММ ОВ	850	2,5	2,17	4,67
ОМ ОВ	1310	0,5	0,43	0,93
ОМ ОВ	1550	0,25	0,22	0,47

Эти данные показывают, что потери резко уменьшаются с увеличением длины волны излучения.

Экспериментально полученную спектральную зависимость потерь изображено на рисунке 3.7. На ней четко прослеживаются отмеченные ранее окна прозрачности ОВ на основе кварцевого стекла.

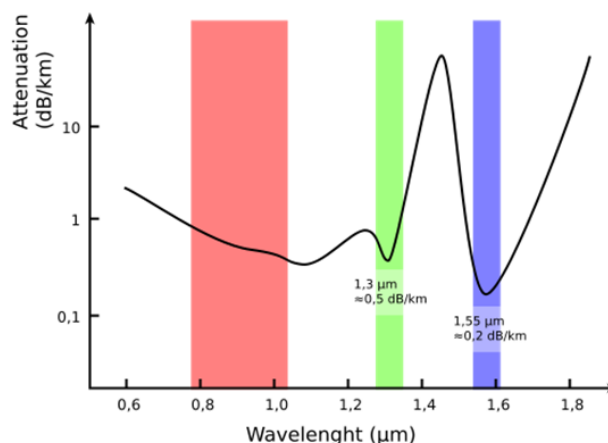


Рисунок 3.7 – Зависимость потерь в ОВ от длины волны

3.4 Дисперсия в ОВ

Дисперсией называют увеличение длительности оптического сигнала при его распространении в ОВ. Это явление продемонстрировано на рисунке 3.8.

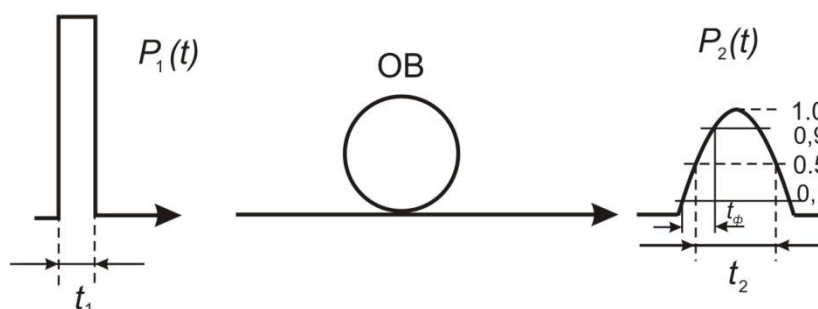


Рисунок 3.8 – Изменение формы сигнала за счет дисперсии

Уменьшение по амплитуде обусловлено влиянием потерь при распространении, а увеличение длительности – за счет дисперсии. Необходимо отметить, что с увеличением длины оптического тракта эти изменения нарастают и тем самым ограничивают возможные протяженность магистрали и скорость передачи цифровых сигналов в высокоскоростных ВОСПИ.

Дисперсия имеет размерность времени и определяется, как среднеквадратичная разница длительностей импульса на выходе t_2 и на входе t_1 (рис. 3.8).

$$\tau(t) = \sqrt{t_2^2 - t_1^2}, \quad (3.2)$$

В ОВ существует несколько видов дисперсии (рис. 3.9), которые порождаются различными причинами. На практике чаще пользуются параметром «полоса».



Рисунок 3.9 – Виды дисперсии в ОВ

Пропускание W рассчитывают по формуле:

$$W = 0,44/\tau, \quad (3.3)$$

Измеряется полоса пропускания в МГц·км. Из определения полосы пропускания видим, что дисперсия накладывает ограничения на длину линии связи и верхнюю частоту передаваемых сигналов. Физический смысл W – максимальная частота (частота модуляции) сигнала, который передаётся на расстояние l км.

Волноводную (внутримодовую) дисперсию $\tau_{хв}$ вызывает немонохроматичность излучения и зависимость коэффициента распространения моды от длины волны.

Расчет удельной волноводной дисперсии $N(\lambda)$ выполняют по следующей приближенной формуле:

$$N(\lambda) \approx \frac{\frac{\lambda}{a^2}}{4\pi^2 n_2 c_0}, \frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}}, \quad (3.4)$$

где: λ – длина волны, нм;

a – радиус сердцевины ОВ, нм;

n_2 – показатель преломления оболочки ОВ;

c_0 – скорость света.

В ОМ ОВ в действительности распространяется не одна (фундаментальная) мода, а две её ортогональные составляющие. Поляризационная модовая дисперсия (ПМД) $\tau_{\text{ПМ}}$ возникает в ОМ ОВ вследствие разной скорости распространения двух взаимно ортогональных поляризационных составляющих моды (рис.3.10).

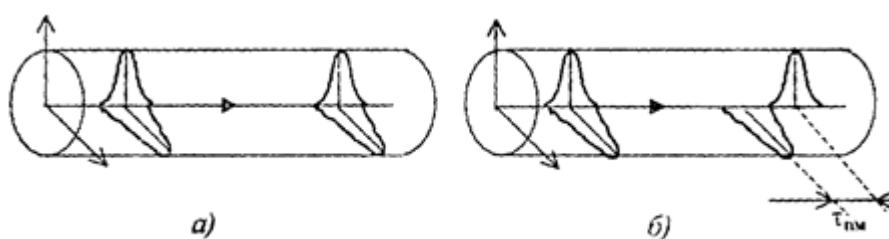


Рисунок 3.10 – Распространение двух составляющих моды в ОМ ОВ

В ОВ, с идеальной геометрией, обе составляющие распространялись бы с одной и той же скоростью (рис. 3.10 а). На практике случайные отклонения размеров поперечного сечения (например, незначительная эллиптичность) приводят к различию в скоростях распространения двух поляризационных составляющих фундаментальной моды (рис. 3.10 б).

Основной причиной возникновения ПМД является эллиптичность сердцевины ОМ ОВ, которая появляется в процессе вытягивания волокна.

Коэффициент ПМД (обозначение T) имеет размерность пс/ $\sqrt{\text{км}}$, а значение $\tau_{\text{ПМ}}$ увеличивается с расстоянием l по закону $\tau_{\text{ПМ}} = T \cdot \sqrt{l}$, пс. Обычно $\tau_{\text{ПМ}}$ имеет небольшую величину и может проявляться в ОМ ОВ при условии высокоскоростной передачи (>2 Гбит/с) и использовании лазеров с экстремально узкой спектральной линией $\Delta\lambda < 0,1$ нм. Типовое значение $T = 0,5 \dots 1$ пс/ $\sqrt{\text{км}}$.

3.5 Полоса пропускания ОВ

Полоса пропускания (Band Width) ОВ – это непрерывный диапазон частот, в пределах которого отношение выходной мощности сигнала ко входной превышает некоторый заранее определённый уровень, обычно это значение равно 0,5 (рис. 3.11), т.е. полоса пропускания обозначает такой диапазон частот синусоидального сигнала, в пределах которого этот сигнал передаётся вдоль ОВ без существенных искажений.



Рисунок 3.11 – Определение полосы пропускания

Ширина полосы пропускания является мерой дисперсионных характеристик ОВ.

Чем меньше значение дисперсии, тем больше объём информации, который можно передать вдоль ОВ. Таким образом, полоса частот ОВ определяет количество передаваемых по нему каналов связи (пропускную способность) и лимитируется величиной дисперсии ОВ.

На рисунке 3.12 показан характер изменения дисперсии τ и пропускной способности ΔF от длины линии l . Полоса частот ΔF и дальность передачи l являются взаимно зависимыми величинами. Соотношение между ними для протяженных линий выражается формулой:

$$\frac{\Delta F_x}{\Delta F} = \sqrt{\frac{l^2}{l_x l_c}}, \quad (3.5)$$

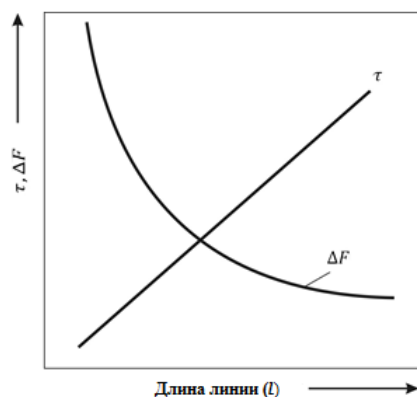


Рисунок 3.12 – Зависимость дисперсии τ и пропускной способности ΔF от длины линии

В формуле 3.5 параметры с индексом x – те, которые надо определить, а без индекса – заданные; l_c – длина связи мод. В реальных условиях обычно нормируется полоса частот на 1 км ΔF и определяется полоса пропускания на всю длину l протяженной линии по формуле:

$$\Delta F_x = \frac{\Delta F}{\sqrt{l_x l_c}}, \quad (3.6)$$

Полоса пропускания ΔF зависит от расширения импульсов τ и определяется соотношением $\Delta F = 1/\tau$. Эти соотношения далее будут использоваться при электрических расчетах линии связи.

Для обеспечения работоспособности транспортной сети согласно требованиям МСЭ-Т для волокна G.655 необходимо произвести расчет сети по следующим параметрам:

- длина регенерационного участка по затуханию и дисперсии;
- расчет быстродействия волоконно-оптической среды передачи;
- определение минимально допустимого уровня приема – порога чувствительности приемного устройства.

Для обеспечения работоспособности транспортной сети согласно требованиям ИТУ-Т для волокна G.655 необходимо произвести расчет сети по следующим параметрам:

- длина регенерационного участка по затуханию и дисперсии;
- расчет быстродействия волоконно- оптической среды передачи;
- определение минимально допустимого уровня приема – порога чувствительности.

Расчет этих параметров проведен в четвертом разделе настоящей работы.

3.6 Последние достижения в области разработки ОВ. Стандарты ОВ

Первое десятилетие XXI-го века ознаменовалось значительным прорывом в области изготовления ОВ с улучшенными характеристиками, особенно в части получения необходимых для конкретной задачи дисперсионных свойств.

Разработаны ОВ типа AllWaveZVP с нулевым пиком воды, в котором устранены гидроксильные ионы в составе кварцевого стекла, что позволило перейти к освоению «полного спектра длин волн» – от 1275 до 1625 нм. Это свойство имеет очень обнадеживающую перспективу, особенно для разработки систем связи PON.

Разработаны методы снижения ПМД, наличие которой ограничивает дальность и скорость передачи в протяженных высокоскоростных ЦСП. Снижение ПМД достигнуто применением технологии периодического скручивания ОВ в процессе его вытягивания из заготовки. Эта технология позволяет удерживать ПМД на очень низком уровне.

Производится разработка и создание фотонных кристаллов и ОВ на их основе, что стало одним из значительных достижений оптических технологий последних лет. Сущность: в кварцевую трубку $\varnothing$ 20 мм упаковываются капилляры $\varnothing$ 1 мм с направляющим стержнем из того же кварцевого стекла; этот стержень расположен между капиллярами. Потом из этой заготовки вытягивается ОВ. Производится двуступенчатая перетяжка заготовки и в её процессе размеры уменьшаются примерно в 10000 раз.

Такие одномодовые дырчатые волоконные световоды, кроме того, что работают в очень широком спектральном диапазоне, имеют ещё и необычные

дисперсионные свойства. Они зависят от размеров воздушных каналов и их взаимного расположения. Эти волокна могут иметь аномальную дисперсию в коротковолновой области инфракрасного спектра, вплоть до длины волны 800 нм, а зависимость дисперсии от длины волны может быть очень слабой. Для некоторых практических применений это ценное качество.

Если изменять одинаково все геометрические размеры такого дырчатого волокна (при условии сохранения соотношений между ними), то можно получить в ОВ одномодовый режим распространения как с малой, так и большой эффективной площадью поперечного сечения моды. Таким образом, можно создавать дырчатые волокна с диаметром световедущей жилы, которая будет намного превышать диаметр стандартного одномодового волокна, но с сохранением одномодового режима распространения светового луча.

Интенсивно изучаются и ОВ с использованием оптических солитонов.

В этой области ожидаются воистину фантастические результаты, особенно в части снижения потерь при передаче и других ценных для практики качеств.

Появились новые типы полимерных оптических волокон со сниженными потерями и расширенной полосой пропускания. Это позволяет перейти к их промышленному использованию. У полимерного волокна есть достаточно серьезные преимущества по сравнению с кварцевыми. Особенно это имеет отношение к созданию местных локальных сетей небольшой протяженности.

По мере расширения сфер применения ОВ (особенно это относится к компьютерным сетям) усовершенствуются и специализируются сами волокна, улучшаются их параметры для самых разных применений. Сейчас находят применение 7 стандартизованных типов ОВ, характеристики которых регламентируются рекомендациями Международного союза электросвязи ITU-T (табл. 3.2).

ITU-T – International Telecommunication Union – Telecommunication Standardization Sector (сектор стандартизации Международного союза электросвязи).

Каждый класс (тип) ОВ может иметь различные подклассы (категории), в которых волокна могут отличаться некоторыми параметрами.

Таблица 3.2 – Стандартизованные типы современных ОВ

№	Класс (тип) оптического волокна	Рекомендация ITU-T
1	Многомодовое 50/125 мкм с градиентным профилем показателя преломления	G.651
2	Стандартное одномодовое	G.652
3	Одномодовое со смещенной дисперсией	G.653
4	Одномодовое со смещенной длиной волны отсечки	G.654
5	Одномодовое с ненулевой смещенной дисперсией	G.655
6	Одномодовое с ненулевой дисперсией для широкополосной оптической передачи	G.656
7	Одномодовое с уменьшенными потерями на изгибах с малыми радиусами	G.657

4 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Необходимо выбрать типы линейных интерфейсов, определить длину регенерационного участка по затуханию и дисперсии, выполнить расчет быстродействия волоконно-оптической системы передачи, определить минимально допустимый уровень приема – порога чувствительности приемного устройства, определить параметры кабельной магистрали для реализации системы оптической связи.

Расчеты будем выполнять только для прямого потока системы PON (рис. 1.8), т.к. для обратного потока (рис. 1.9) алгоритм расчета аналогичен.

4.1 Типы линейных интерфейсов и особенности их использования в оптических транспортных сетях

Линейные интерфейсы транспортных сетей – ключевые компоненты сетевых элементов. В значительной степени интерфейсы определяют пропускной объём трафика на межузловых соединениях. Интерфейсы строятся на основе международных стандартов ITU-T, IEEE, ISO/OSI.

На рисунке 4.1 приведены международные стандарты на оптические линейные интерфейсы, где отражены самые важные характеристики, от которых зависит скорость, дальность, качество передачи, которые в конечном итоге будут оказывать влияние и на совокупную стоимость линейного тракта.

Интерфейсы одноволновой передачи отличаются относительной простотой устройства и смягчением ряда ограничений, которые обычно свойственны оптическим системам связи:

- на фиксацию длины волны излучения передатчика;
- большую допустимую вероятность ошибки на приёме;
- допуск на разброс параметров мощности передачи и чувствительности приёмника и т.д.

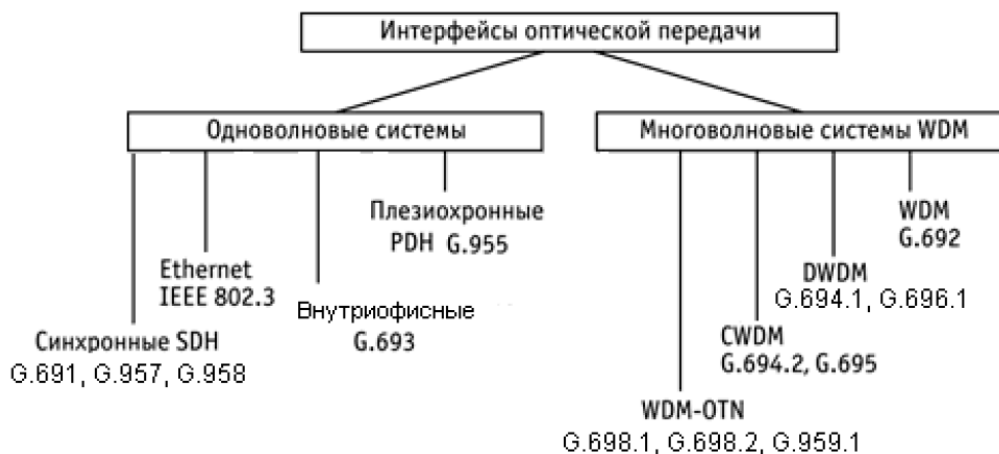


Рисунок 4.1 – Международные стандарты на оптические линейные интерфейсы

4.2 Интерфейсы одноволновых систем оптической передачи

Интерфейсы одноволновых систем оптической передачи характеризуются следующим рядом показателей:

- диапазон длин волн;
- диапазон уровней мощности оптической передачи;
- минимальная чувствительность приемника оптического сигнала;
- порог перегрузки приемника;
- вид модуляции излучения;
- линейный код;
- максимально допустимая дисперсия между передатчиком и приемником;
- ширина спектральной линии излучения передатчика;
- максимально перекрываемое затухание между передатчиком и приемником;
- возможность использования оптических усилителей мощности на передаче и предусилителей на приеме;
- возможность использования процессора упреждающей коррекции ошибок и т.д.

Перечисленные характеристики интерфейса определяют дальность передачи по волоконной линии и скорость передачи цифрового сигнала при заданной вероятности ошибок передачи.

Одноволновые интерфейсы, соответствующие спецификациям G.957, G.958, G.691, G.693 поддерживают скорости передачи в сети SDH от 155,520 Мбит/с до 39,813 Гбит/с при линейном кодировании вида «NRZ со скремблированием» (таблицы 4.1, 4.2).

Таблица 4.1 Характеристики оптических интерфейсов SDH по применению

Применение Параметры		Внутри узла	Межузловое применение						
			Короткая линия		Длинная линия				
Длина волны источника, нм		1310	1310	1550	1310	1550			
Тип волокна		G.652	G.652	G.652	G.652	G.652,654,655		G.653,655	
Расстояние, км		2	~15	~15	~40	~80		~80	
Уровень STM-N, Скорость Мбит/с	STM-1 155.52	I-1	S-1.1	S-1.2	L-1.1	L-1.2		L-1.3	
	STM-4 622.08	I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1	L-4.2	U-4.2	L-4.3	U-4.3
	STM-16 2488.32	I-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	U-16.2 V-16.2	L-16.3	U-16.3 V-16.3
	STM-64 9953.28	I-64	S-64.1	S-64.2	L-64.1	L-64.2	V-64.2	L-64.3	U-64.3 V-64.3
	STM-256 39813.12	I-256.2	—	S-256.2	—	L-256.2	—	L- 256.3	—

Линейные оптические интерфейсы SDH имеют систему обозначений, в которой отражены особенности интерфейсов по применению (табл. 4.1):

- I – линия малой длины внутри предприятия (intra-office);
- S – короткая линия (short-haul);
- L – длинная линия (long-haul);
- V – очень длинная линия (verylong-haul);
- U – сверх длинная линия (ultralong-haul);
- VSR – очень короткое расстояние.

Некондуктивные элементы межслойной связи вместо перемычек (veryshortreach) в таблице 4.1 не обозначены.

При обозначении V и U следует понимать включение в состав линейного интерфейса оптического усилителя мощности на передаче (B – booster) и предусилителя оптического сигнала на приеме (BP – boosterpre-amplifier).

Цифровые индексы в обозначениях указывают на уровень STM-N, длину волны излучения и тип волокна, например, L-16.3 – уровень STM-16, длина волны 1550 нм (оптическое волокно G.653 или G.655). Характеристики волокон, соответствующие спецификациям G.652- G.655, приведены в специализированной справочной литературе.

Характеристики интерфейсов I, S, L, U, V должны быть согласованы с характеристиками оптических волокон кабельных линий. Для этого определяются точки согласования, то есть точки подключения передатчика и приемника.

Таблица 4.2 – Характеристики оптических интерфейсов SDH (G.691)

Код применения	Единица	S-64.2	L-64.2	V-64.2	V-64.3
1	2	3	4	5	6
Уровень		STM-64	STM-64	STM-64	STM-64
Скорость передачи	Гбит/с	9.95328	9.95328	9.95328	9.95328
Длина волны	нм	1530...1565	1530...1565	1530...1565	1530...1565
Тип лазерного диода		DFB	DFB	DFB+OA	DFB+OA
Спектральная ширина на уровне – 20 дБм	нм	менее 0.2	менее 0.2	менее 0.2	менее 0.2

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6
Минимальная средняя мощность	дБм	-1	+1	+12	+10
Максимальная средняя мощность	дБм	+1	+3	+15	+13
Тип диода приемника		p-i-n/APD	p-i-n/APD	p-i-n/APD	p-i-n/APD
Минимальная чувствительность при BER=10 ⁻¹²	дБм	-14	-23	-23	-24
Порог перегрузки	дБм	+1	-9	-9	-9
Максимальные потери оптического пути	дБ	2	2	2	2
Максимальный коэффициент отражения приемника	дБ	-27	-27	-27	-27
Максимальный диапазон затухания	дБ	11	22	22	33
Минимальный диапазон затухания	дБ	0	10	22	22

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6
Максимальная дисперсия	пс/нм	800	1600	2400	400
Минимальный коэффициент потери на отражение	дБ	24	24	24	24
Максимальное отражение на компонентах	дБ	-27	-27	-27	-27

В таблице 4.2 использованы обозначения:

- DFB (Distributed Feed back) – лазер с распределенной обратной связью;
- p-i-n – обозначает конструкцию фотодиода (p-i-n фотодиод);
- APD (Avalanche-Photodiode) – лавинный фотодиод;
- BER (Bit Error Rate) – коэффициент ошибок;
- OA (Optical Amplifier) – оптический усилитель.

Особенностью интерфейсов STM-64 и STM-256 может быть использование в их составе не только оптических усилителей, но и компенсаторов дисперсии для предкоррекции на передаче или посткоррекции на приеме. Сочетание оптического усиления и компенсации дисперсии обеспечивает повышение дальности передачи по волоконно-оптической линии.

Использование характеристик одноволновых оптических интерфейсов при проектировании линейных трактов определено Рекомендацией ITU-TG.655.

4.3 Расчет длины регенерационного участка

Длина участка регенерации определяется возможностями энергетического потенциала и компенсации дисперсии, применением различных типов одномодовых оптических волокон (G.652, G.653, G.655).

Длина регенерационного участка по критерию энергетического потенциала определяется следующим соотношением:

$$L_{py} = \frac{P_S - P_R - P_D - M_e - (N-1) \cdot l_{ст} - N_c \cdot l_{стр}}{\alpha_c + \alpha_m}, \quad (4.1)$$

где P_S – уровень мощности передатчика в точке подключения аппаратуры и линии;

P_R – уровень мощности приёмника в точке подключения аппаратуры и линии;

P_D – мощность (в дБм) потерь за счет дисперсии

M_e – энергетический запас на старение оборудования (разность максимального и минимального уровней мощности передачи);

N – количество строительных длин кабеля;

$l_{ст}$ – потери мощности на неразъемных стыках кабеля;

N_c – количество разъемных стыков (2 или 4 стыка на участке секции регенерации);

$l_{стр}$ – потери мощности на разъемных стыках;

α_c – километрическое затухание кабеля на заданной длине волны;

α_m – запас на повреждение (дБ/км).

Строительная длина кабеля принимается в расчетах от 4 до 6 км.

Пример расчета для интерфейса V-64.2.

Исходные данные были взяты из таблицы 4.2:

– $P_S = 15$ дБм;

– $P_R = -23$ дБм;

– $P_D = 2$ дБ;

– $M_e = 3$ дБ;

– $l_{ст} = 0,05$ дБ;

– $l_{стр} = 0,1$ дБ;

– $\alpha_c = 0,2$ дБ/км;

– $\alpha_m = 0,05$ дБ/км;

– строительная длина кабеля – 4 км.

Тогда $L_{\text{py}} = \frac{15+23-2-3}{0.2+0.05} = 132$ км. В этом случае количество строительных длин на участке 132 км составит $N = 132/4 = 33$.

С учетом потерь на стыках, регенерационная длина участка передачи составит

$$L_{\text{py}} = \frac{15 + 23 - 2 - 3 - 32 \cdot 0.05 + 4 \cdot 0.1}{0.2 + 0.05} = 127.2 \text{ км}$$

Таким образом, с учётом допустимых потерь оптической мощности длина регенерационного участка составит 127,2 км. На длине волны 1530-1565 нм величина дисперсии не должна превышать 2400 пс/км. Для одномодового волокна в соответствии с G.655 на волне 1530-1565 нм значение хроматической дисперсии на 1 км составляет 6 пс/нм·км. Значение хроматической дисперсии рассчитывается по формуле 4.2:

$$D_{\text{хр}} = D_{\text{на 1 км}} \cdot L_{\text{py}}, \quad (4.2)$$

$$D_{\text{хр}} = 6 \cdot 127.2 = 763.2 \text{ пс/км}$$

Таким образом, норматив на хроматическую дисперсию выполняется при ширине спектральной линии источника излучения (лазер типа DFB) 1 нм. На скорости передачи 10 Гбит/с необходимо учитывать и поляризационную модовую дисперсию (ПМД).

Рассчитаем ПМД:

$$D_{\text{ПМД}} = \sigma_{\text{ПМД}} \cdot \sqrt{L_{\text{py}}}, \quad (4.3)$$

$$D_{\text{ПМД}} = 0.5 \cdot \sqrt{127.2} = 5.639 \text{ пс}$$

где $\sigma_{\text{ПМД}}$ – нормировано по отношению к длине волокна $0.5 \text{ пс/км}^{1/2}$.

Результирующая дисперсия определяется через соотношение:

$$D = \sqrt{D_{\text{хр}}^2 + D_{\text{ПМД}}^2}, \quad (4.4)$$

$$D = \sqrt{2271.6^2 + 5.616^2} = 763,221 \text{ пс}$$

Совокупная величина хроматической и поляризационной дисперсии не превосходит нормативное значение дисперсии для интерфейса V-64.2.

Другой подход: определить требуемое значение дисперсии на 1 км линии и сравнить с нормированным стандартным значением:

$$\frac{2400 \text{ пс/нм}}{127.2 \text{ км}} = 19.1 \text{ пс/нм} \cdot \text{км}$$

Допустимый норматив 19.1 пс/нм · км превышает нормированный, что указывает на допустимость использования интерфейса V-64.2 на участке длиной 127.2 км. По величине полученной километрической дисперсии можно выбрать:

- соответствующий тип волокна;
- длину волны передатчика в диапазоне 1547...1562 нм;
- ширину спектральной линии передатчика, измеряемую в долях нм, например, 0.2 нм (таблица 4.2);
- соответствующий компенсатор дисперсии [1].

4.4 Расчет быстродействия ВОСП

Допустимое быстродействие ВОСП зависит от характера передаваемого сигнала, скорости передачи информации и определяется по формуле:

$$t_c = \frac{\beta}{B}, \quad (4.5)$$

$$t_c = \frac{0.7}{10 \cdot 10^9} = 7 \cdot 10^{-9} \text{ с},$$

где β – коэффициент, учитывающий характер линейного сигнала (линейный код) и равный 0,7 для кода NRZ и 0,35 для всех других;

B – скорость передачи информации, необходимая для данной системы.

Общее ожидаемое быстродействие ВОСП:

$$t_{\text{ож}} = 1.111 \cdot \sqrt{t_{\text{пер}}^2 + t_{\text{пр}}^2 + t_{\text{ов}}^2}, \quad (4.6)$$

$$t_{\text{ож}} = 1.111 \cdot \sqrt{4 + 4 + t_{\text{ов}}^2} = 3.14 \text{ нс}$$

где $t_{\text{пер}} = 0,5 \dots 10$ нс – быстродействие ПОМ, зависящее от скорости передачи информации, типа источника излучения;

$t_{\text{пр}} = 0,2 \dots 20$ нс – быстродействие ПРОМ, определяемое скоростью передачи информации и типом ФД;

$t_{\text{ов}}$ – уширение импульса на длине РУ.

$$t_{\text{ов}} = \sigma \cdot l_{\text{ру}}, \quad (4.7)$$

где σ – дисперсия, определяемая по формуле

$$\sigma = 10^{-12} \cdot \Delta\lambda \cdot \sigma_{\text{н}}, \quad (4.8)$$

где $\Delta\lambda$ – ширина полосы оптического излучения, определяемая из справочных данных соответствующего источника излучения.

Для светодиодов $\Delta\lambda = 25 \dots 40$ нм, для ЛД – $\Delta\lambda = 0,2 \dots 5$ нм. Тогда:

$$\sigma = 10^{-12} \cdot 0,8 \cdot 6 = 4,8 \cdot 10^{-12} \text{ пс}$$

Для одномодового ОВ в паспортных данных указывается нормированная среднеквадратическая дисперсия $\sigma_{\text{н}}$, пс/(нм·км), которая со σ связана отношением (формула 4.8).

Если $t_{\text{ож}} < t_{\text{с}}$, то выбор типа кабеля и длины регенерационного участка сделано правильно $t_{\text{ож}} = 3.14$ нс, $t_{\text{с}} = 7$ нс.

Величина $\Delta t = t_c - t_{ож}$ называется запасом по быстродействию. При достаточно большом его значении можно ослабить требования к компонентам ВОСП.

4.5 Определение минимально допустимого уровня приема – порога чувствительности

Если длина проектируемой магистрали L , а длина регенерационного участка l_{py} , то общее количество РУ рассчитывается по формуле:

$$m = \frac{L}{l_{py}}, \quad (4.9)$$

Рассчитаем количество РУ для отдельных участков – соотношения (3.1...3.5) проектируемой линии связи

$$m_1 = \frac{183}{127.2} = 1.43,$$

$$m_2 = \frac{140}{127.2} = 1.1,$$

$$m_3 = \frac{180}{127.2} = 1.42,$$

$$m_4 = \frac{75}{127.2} = 0.59,$$

$$m_5 = \frac{85}{127.2} = 0.668.$$

Значение $m_i < 1$ свидетельствует о том, что на участке с номером i нет необходимости в установке РУ.

Вероятность ошибки одиночного регенератора определяется по формуле:

$$p_{ош} = p' \cdot l, \quad (4.10)$$

где p' – вероятность ошибки, приходящаяся на 1 км ОЛТ:

– для магистральной сети $p' = 10^{-12}$,

– для внутризонавой сети $p' = 1,67 \cdot 10^{-10}$,

– для местной сети $p' = 10^{-9}$);

l – длина ретрансляционного участка, км.

$$p_{\text{ош}1} = 10^{-12} \cdot 183 = 0,2 \cdot 10^{-9},$$

$$p_{\text{ош}2} = 0,17 \cdot 10^{-9},$$

$$p_{\text{ош}3} = 0,14 \cdot 10^{-9},$$

$$p_{\text{ош}4} = 0,14 \cdot 10^{-9},$$

$$p_{\text{ош}5} = 0,13 \cdot 10^{-9}.$$

Обычно задаются вероятность ошибки $p_{\text{ош}} = 10^{-8} \dots 10^{-9}$, что обеспечивает достаточно высокое качество каналов, организуемых с помощью ВОСП [6].

Суммарная вероятность ошибки :

$$p_c = m \cdot p_{\text{ош}}, \quad (4.11)$$

$$p_{c1} = 1,42 \cdot 0,2 \cdot 10^{-9} = 0,284 \cdot 10^{-9},$$

$$p_{c2} = 1,3 \cdot 0,17 \cdot 10^{-9} = 0,221 \cdot 10^{-9},$$

$$p_{c3} = 1,11 \cdot 0,14 \cdot 10^{-9} = 0,155 \cdot 10^{-9},$$

$$p_{c4} = 1,1 \cdot 0,14 \cdot 10^{-9} = 0,154 \cdot 10^{-9},$$

$$p_{c5} = 1,02 \cdot 0,13 \cdot 10^{-9} = 0,133 \cdot 10^{-9}.$$

Полученные суммарные вероятности ошибок находятся в допустимых пределах, что свидетельствует о том, что проектируемая линия будет работать без сбоев.

5 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ

Основными элементами пассивной инфраструктуры сети PON являются волоконно-оптические кабели, различные типы коннекторов и сплиттеры. От их качества и рабочих характеристик во многом зависит надежность работы сети.

5.1 Волоконно-оптические кабели

В сетях PON преимущественно используют одномодовые волокна, которые позволяют передавать сигналы с большими скоростями на большие расстояния. В таких волокнах диаметр сердцевины составляет 8 – 10 мкм, т. е. он сопоставим с длиной волны светового луча. Диаметр оболочки многомодовых и одномодовых волокон унифицирован и равен 125 мкм. Для защиты любого волокна на него обязательно накладывается покрытие, диаметр волокна с защитным покрытием обычно составляет 245 мкм. Для классификации одномодовых волокон обычно используют стандарты серии G.65x Международного союза электросвязи (МСЭ-Т). Кроме того, характеристики таких волокон специфицированы в документе ISO/IEC 11801 (классы OS1 и OS2).

Наиболее широкое распространение в сетях связи получило классическое волокно с несмещенной дисперсией, оно описано в рекомендации МСЭ-Т G.652. Характеристики этого волокна оптимизированы для работы во втором окне прозрачности (1310 нм), в котором оно имеет очень низкую дисперсию. Кроме того, это волокно может использоваться в третьем окне прозрачности (1550 нм) и даже в четвертом окне (1625 нм). Существует волокно с несмещенной дисперсией, в котором удален, так называемый, гидроксильный пик между вторым и третьим окнами прозрачности. Создание такого волокна открыло новые возможности по более эффективному использованию технологии спектрального уплотнения WDM. Характеристики волокна без гидроксильного пика определены в рекомендации МСЭ-Т G.652. С и G.652. D.

Рост интереса к проекту FTTx-PON обусловил появление рекомендации G.657, в которой указаны характеристики волокон с низкими потерями на изгиб. При построении сетей доступа и инфраструктур внутри помещений вероятность более резких изгибов кабеля гораздо выше, чем при построении магистралей. Здесь уместно вспомнить ограниченные пространства уличных монтажных шкафов и технологических пространств внутри помещений, а также зачастую не слишком высокую квалификацию монтажников, работающих на «последней миле». В общем, волокна для сетей доступа должны быть более устойчивы к изгибам, чем волокна магистральных кабелей, что и зафиксировано в рекомендации G.657.

5.1.1 Волоконно-оптические кабели для построения пассивных оптических сетей

Для строительства PON должны применяться ВОК с одномодовыми ОВ в соответствии с рекомендацией G.984.4 или совместимые с ними ОВ в соответствии с рек. ITU-T G.657 (11/2009). На магистральном участке должен применяться ВОК с одномодовыми ОВ в соответствии с рек. ITU-T G.562 (11/2009). На распределительном участке – ВОК с одномодовыми ОВ в соответствии с G.984.3 и G.984.4, если вытянутое из модуля ОВ не прокладывается до абонента, и ВОК с одномодовыми ОВ в соответствии с G.984.3, если вытянутое из модуля ОВ прокладывается до абонента. На абонентском участке применяются ОВ в соответствии с G.984.3.

При построении PON следует использовать ВОК, осуществляющие передачу сигнала на длинах волн 1310, 1490, 1550 и 1625 нм. Конструкции ВОК определяются, в первую очередь, условиями прокладывания (в грунте, в кабельной канализации, в каналах строительных конструкций, в трубах), а также необходимым количеством ОВ.

В таблице 5.1 указаны неблагоприятные воздействующие факторы на ВОК и конструктивные методы защиты от этих факторов при различных условиях прокладывания ВОК.

Таблица 5.1 – Неблагоприятные воздействующие факторы

Условия прокладки	Основные воздействующие факторы	Конструктивные методы защиты
1	2	3
Непосредственно в грунт	Атаки грызунов	Броня
	Растягивающее усилие	Продольные силовые элементы
	Случайные удары	Броня
	Проникновение влаги	Влагозащитный барьер, гидрофобный наполнитель
	Раздавливающее усилие	Конструкция сердечника, броня
В кабельной канализации	Проникновение влаги	Влагозащитный барьер, гидрофобный наполнитель
	Растягивающее усилие	Продольные силовые элементы
	Скручивание	Наружная оболочка
	Атаки грызунов	Броня, прокладывание в защитных трубках
Кабельные вводы в дом	Возгорание	Оболочка, не распространяющая горение
	Атаки грызунов	Броня
	Проникновение влаги	Влагозащитный барьер
	Растягивающее усилие	Продольные силовые элементы

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3
Внутри помещений	Возгорание	Оболочка, не распространяющая горение
	Изгиб с малым радиусом	Оболочки
	Растягивающее усилие	Арамидные нити
	Случайные удары	Оболочки, арамидные нити
	Раздавливающее усилие	Оболочки, арамидные нити

Для прокладки ВОК в жилых зданиях необходимо применять кабель с негорючей оболочкой (для распределительного и абонентского участков).

5.1.2 Конструкции волоконно-оптических кабелей и способы их прокладывания

Главным элементом оптических кабелей, безусловно, являются оптические волокна. Их обычно окрашивают специальным лаком (для идентификации волокон), а затем размещают в полимерных или металлических трубках – оптических модулях или укладывают в ленточную конструкцию. Оптические модули могут быть скручены вокруг центрального элемента с образованием оптического сердечника, на который при необходимости накладывают защитную броню. Последняя выполняется из стальной проволоки, гофрированной ленты, стеклопластиковых прутков или арамидных (высокопрочное углеродное волокно) нитей. Наконец, бронированный кабель заключают во внешнюю оболочку.

Конструкции кабелей определяются, в первую очередь, условиями их прокладывания и эксплуатации.

Существует три основных метода прокладывания кабелей.

1. Непосредственное прокладывание кабеля в грунт, например, в траншею. Кабели, предназначенные для такого прокладывания, должны иметь наиболее прочную броню, а также максимальную защиту от влаги и грызунов.

2. Прокладывание по подземной кабельной канализации. Строительство кабельной канализации обходится дороже, чем прокладывание кабеля непосредственно в грунт, но ее использование значительно упрощает добавление и удаление кабелей. Кроме того, в этом случае можно использовать более легкие кабели с меньшей степенью защиты.

3. Воздушная подвеска на столбах или вышках. Обычно этот метод используют в местах массовой застройки. Он не требует использования тяжелой техники (которая необходима при подземном прокладывании), а потому экономически более выгоден. Оптический кабель может быть подвешен на несущий трос; также может быть использован самонесущий оптический кабель.

Компания R&M предлагает оптические кабели с любым востребованным на практике числом волокон (от 2 до 96 и более) различного типа (многомодовые и одномодовые, в том числе G.657) для разных приложений и способов прокладывания. В ассортименте компании есть кабели для непосредственного прокладывания в земле и в специальных трубах кабельных канализаций, для подвески на опоры, прокладывания в помещениях в пленумных пространствах (например, под фальшполом) и другими способами. Особо следует отметить кабель с возможностью вытягивания индивидуальных волокон, покрытых специальной оболочкой. Использование такого кабеля позволяет избежать необходимости установки этажных коробок при разводке по многоквартирному дому в проектах FTTH-PON.

5.1.3 Магистральные оптические кабели для сетей PON

В качестве магистрального кабеля в сетях PON применяются кабели марок ОКЛБ, ОКЛК и ОКЛ8. На рисунке 5.1 приведен кабель марки ОКЛК-Н.

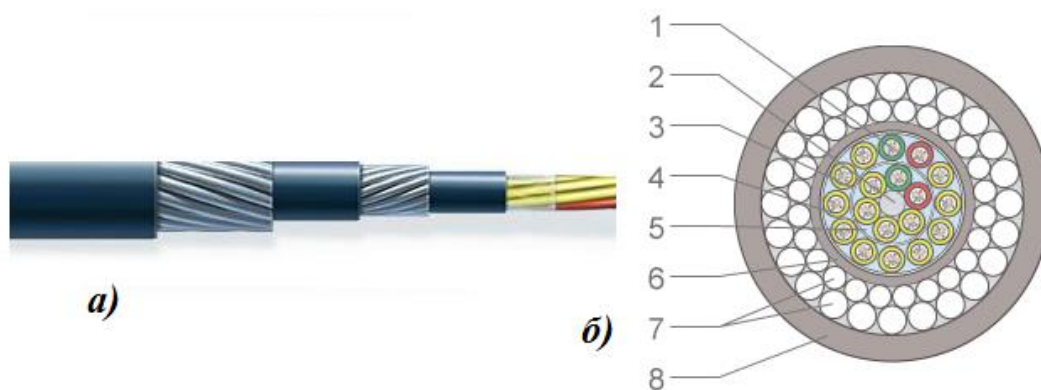


Рисунок 5.1 – Оптический кабель марки ОКЛК-Н

где: 1 – оптические волокна свободно уложены в полимерных трубках (оптические модули), заполненных тиксотропным гелем по всей длине;

2 – центральный силовой элемент (ЦСЭ), диэлектрический стеклопластиковый пруток (или стальной трос в ПЭ оболочке), вокруг которого скручены оптические модули;

3 – двухповивный сердечник;

4 – поясная изоляция в виде лавсановой ленты, наложенная поверх скрутки;

5 – водоблокирующие материалы – ленты, нити;

6 – внутренняя оболочка выполнена из композиции ПЭ низкой или высокой плотности;

7 – броня в виде двух повивов стальных оцинкованных канатных проволок, с заполнением пустот гидрофобным компаундом;

8 – наружная оболочка выполнена из композиции ПЭ средней или высокой плотности.

Кабель марки ОКЛК-Н предназначен для прокладывания в наиболее жестких условиях эксплуатации – промерзлый грунт с возможными послойными подвижками, преодоление прибрежных полос водных преград и т.д. Для рассматриваемой трассы это регион г. Сумы (север Украины, где возможны максимально низкие температуры и, соответственно, максимальная глубина промерзания грунта), а также регион г. Днепр и г. Запорожье, где необходимо преодоление водной преграды – полноводной реки Днепр.

Для менее жестких условий прокладывания предназначен кабель марки ОКЛБг. Структура кабеля марки ОКЛБг приведена на рисунке 5.2.



Рисунок 5.2 – Структура кабеля марки ОКЛБг

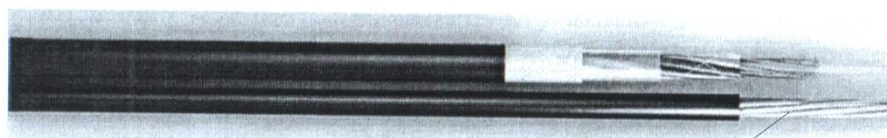
Кабель марки ОКЛБг (рис. 5.2) предназначен для прокладывания и эксплуатации в кабельной канализации, трубах, блоках, непосредственно в грунтах всех категорий, в том числе в районах с высокой коррозионной агрессивностью и территориях, зараженных грызунами, кроме подвергаемых мерзлотным и другим деформациям, а также через болота, озера, неславные и несудоходные реки глубиной до 15 метров.

Кабель типа ОКЛБг-Н отвечает особым требованиям по пожаробезопасности в соответствии со стандартом МЭК (IEC) 60332-1 и МЭК (IEC) 60332-3. Он отличается от кабеля марки ОКЛК-Н только внешним бронированием – вместо двух слоев стальных оцинкованных проволок используется ленточная броня в виде спирально навитых стальных лент.

Варианты исполнения:

- металлопластмассовая оболочка с применением алюминиевой ламинированной ленты;
- «сухой» способ водоблокирования сердечника;
- отсутствует промежуточная оболочка;
- периферийный силовой элемент – стеклонити или отсутствует;
- специальная оболочка, устойчивая к термитам (актуально для южных участков рассматриваемой трассы связи);
- для кабелей типа ОКЛБг-Н оболочка и защитный шланг из ПВХ пластика или компаунда, не распространяющего горение, низкодымного, безгалогенного.

Подвесной кабель марки ОКЛ8 (рис. 5.3) предназначен для подвешивания и эксплуатации на опорах воздушных линий связи, городского электротранспорта и воздушных линиях электропередачи в условиях воздействия нагрузок от ветра, гололеда, температуры и их комбинаций.



Стальной трос для подвешивания

Рисунок 5.3 – Оптический кабель марки ОКЛ8

При наличии электрического потенциала в точке подвеса более 12 кВ применяется трекингостойкий полиэтилен для оболочек.

Структура кабеля:

- несущий элемент – стальной канат;
- центральный силовой элемент, стеклопластиковый стержень;
- оптические волокна;
- кордель (по заказу медные изолированные жилы дистанционного питания);
- специальный гидрофобный наполнитель;
- скрепляющая обмотка из нитей и лент;
- периферийный силовой элемент – арамидные нити;
- оболочка из полиэтилена.

Варианты исполнения:

- несущий элемент – стеклопластиковый стержень;
- «сухой» способ водоблокирования сердечника;
- баллистическая защита;
- оболочка из трекингостойкого полиэтилена.

Минимальная наработка кабелей до отказа в режимах, обусловленных в технических условиях, должно быть не меньше 215 000 часов..

Минимальный срок службы кабелей (включая срок хранения) при выполнении требований к условиям эксплуатации должен быть 25 лет.

Особенностью рассмотренных кабелей является наличие в их сердечнике медных жил для организации дистанционного электропитания.

Кабели должны быть стойкими к действию таких внешних влияний:

- 1) вибрационные нагрузки в диапазоне частот 10...200 Гц с ускорением до $40 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$;
- 2) одноразовые удары с ускорением до $1000 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$;
- 3) многократные удары с ускорением до $400 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$;
- 4) повышенная рабочая температура среды до $+50^\circ\text{C}$;
- 5) пониженная рабочая температура до -40°C ;
- 6) циклическая смена температуры в пределах $-40...+50^\circ\text{C}$;
- 7) повышенная влажность воздуха до 98% при температуре $+35^\circ\text{C}$.

5.1.4 Соединительные оптические муфты

На кабельном заводе изготовленный кабель размещают на кабельные барабаны. То количество кабеля, которое возможно разместить (намотать) на один кабельный барабан, составляет строительную длину l_c (СД). Конкретная величина l_c зависит от марки кабеля – чем толще кабель, тем меньшее его количество может быть размещено на кабельном барабане. Для строительства проектируемой линии связи предполагается использовать оптические кабели марок ОКЛБг (рис.5.2), ОКЛК-Н (рис.5.1) с укладыванием непосредственно в грунт и ОКЛ8 (рис.5.3) – для подвешивания на опорах.

Строительные длины (км) оптических кабелей различных марок приведены в таблице 5.2. Эти данные используются при составлении ведомости потребности кабелей для строительства линии оптической связи.

Таблица 5.2 – Строительные длины оптических кабелей

Марка оптического кабеля	Строительная длина, км
ОКЛБг	4
ОКЛК-Н	3
ОКЛ8	2

Усилительные (регенерационные) участки состоят из магистральных сегментов. При строительстве кабельной магистрали магистральный сегмент состоит из муфты проходной, отрезка магистрального оптического кабеля и соединительной муфты. Для соединения строительных отрезков оптического кабеля служат оптические муфты. Используются проходные и соединительные муфты. Для примера на рисунке 5.4 приведена муфта проходного типа.

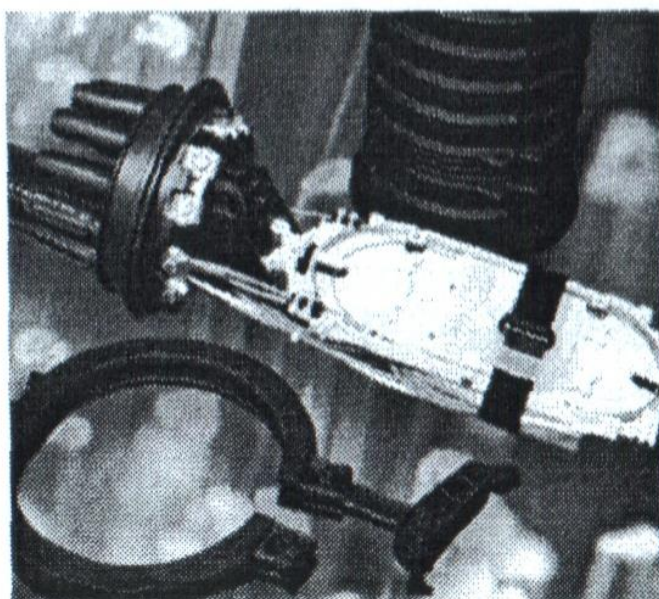


Рисунок 5.4 – Муфта проходного типа

Оптическая муфта проходного типа представляет собой защищенный от воздействия окружающей среды герметичный корпус, предназначенный для организации оптоволоконных соединений во внешних сетях для воздушного размещения, в кабельной канализации или непосредственно в грунте. Муфта многократного доступа для оптического волокна с холодной герметизацией

корпуса имеет до 4 кассет и устройств фиксации кабеля. Муфты отлично подходят для разветвления или прямого сращивания кабелей в сетях с низким или средним количеством волокон.

Характеристики проходных соединительных муфт:

- плоская, элегантная, компактная проходная конструкция;
- легко закрывающийся механизм с шарниром и защелками;
- может использоваться для строительства и эксплуатации воздушных и подземных кабельных сетей;
- не требует применения специальных инструментов;
- совместима с большинством существующих типов кабелей.

5.1.5 Ведомость потребности кабеля и соединительных муфт для монтажа линии связи

На рисунке 5.5 приведена монтажная схема проектируемой линии связи.

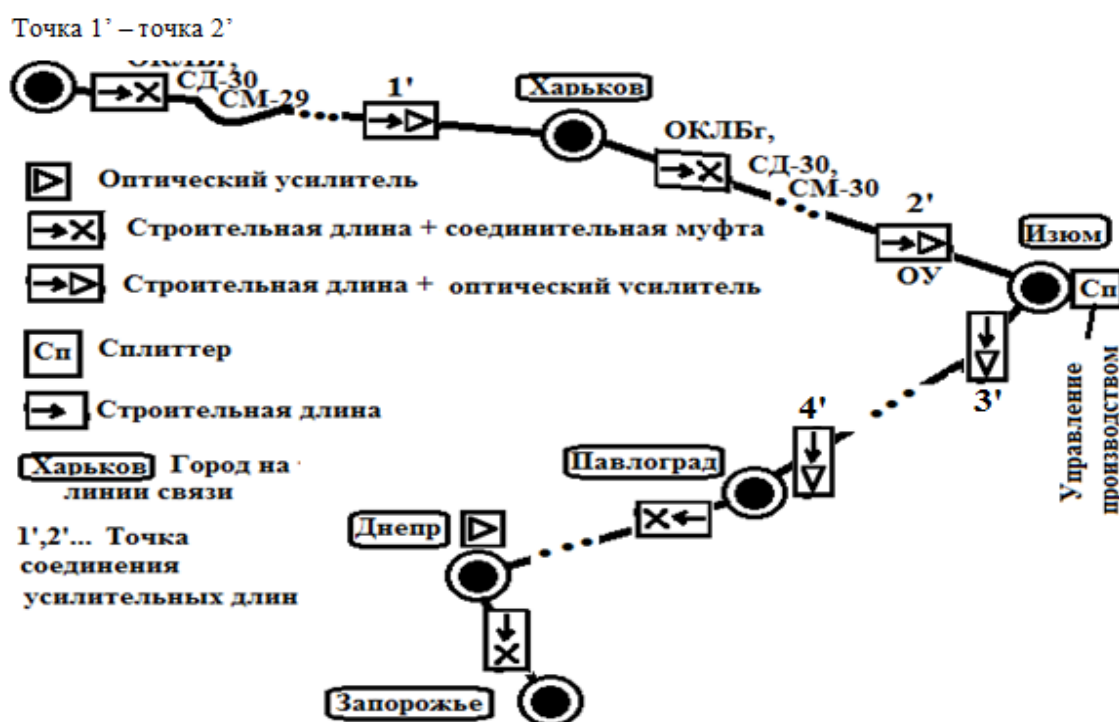


Рисунок 5.5 – Монтажная схема линии оптической связи

Все необходимые обозначения приведены на поле рисунка. Чтобы не загромождать рисунок, особенности комплектации усилительных участков приведены здесь только для двух случаев Сумы – точка 1' – точка 2'. Данные по строительным длинам используемых марок оптического кабеля приведены в таблице 5.2. Отметим, что оптический кабель с усиленным бронированием марки ОКЛК-Н есть смысл применять только на участке преодоления водной преграды (р. Днепр) на участке Днепр – Запорожье, а на всех остальных участках будем применять кабель марки ОКЛБГ, который разрешен для применения при укладывании под землей. При этом необходимо обозначать трассу кабеля предупреждающими знаками.

С учетом технологического запаса примем усилительную длину участка связи $l_{уд} = 120$ км. Данные ведомости потребности кабеля и соединительных муфт обобщены в таблице 5.3 с учетом данных из таблицы 5.2 по строительным длинам оптических кабелей марок ОКЛБГ, ОКЛК-Н и ОКЛ8.

Таблица 5.3 – Ведомость потребности кабелей и муфт

Участок линии связи	Длина, км	Количество СД	Марка кабеля	Количество муфт
Сумы – точка 1'	120	30	ОКЛБГ	29
Точка 1' – точка 2'	120	30	ОКЛБГ	29
Точка 2' – точка 3' Дополнительно 2 СМ для Сп	120	30	ОКЛБГ	32
Точка 3' – точка 4'	120	32	ОКЛБГ	32
Точка 4' – Павлоград – Днепр	97	25	ОКЛБГ	25
Днепр – Запорожье через р.Днепр	79	20	ОКЛБГ,	20
	6	2	ОКЛК-Н	2
Всего	656	167	ОКЛБГ	169
	6	2	ОКЛК-Н	2

5.2 Структурная схема участка ОТС

Оптические компоненты транспортной сети позволяют увеличить пропускную способность ВОСП СР за счет одновременной передачи многих каналов на разных длинах волн по общему волокну, а также обеспечивают ввод/выделение и кросс-коммутацию некоторых оптических каналов на пути следования информации. На рисунке 5.6 изображена структурная схема участка оптической транспортной сети.

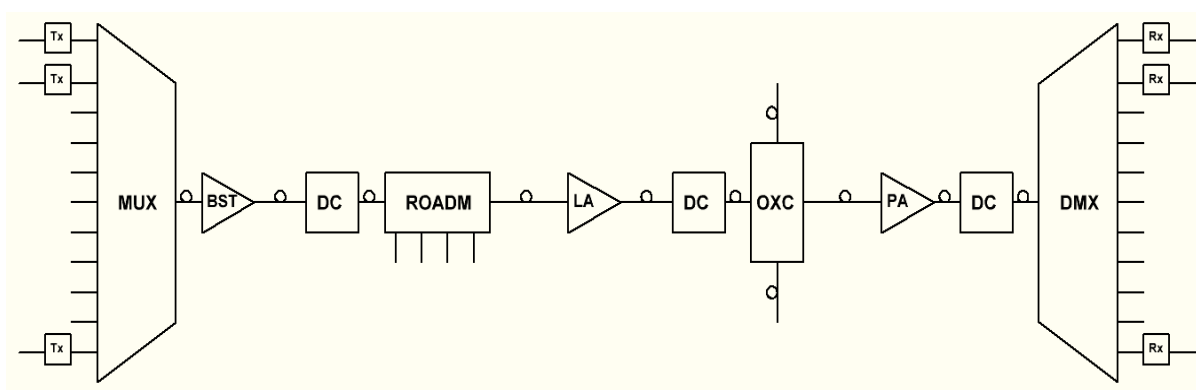


Рисунок 5.6 – Структурная схема участка оптической транспортной сети

На схеме присутствуют пассивные и активные компоненты сети. Средой передачи сигнала является оптическое волокно G.655 (табл. 5.4). Основными элементами PON являются пассивные компоненты, в частности, оптические разветвители сплиттеры.

Таблица 5.4 – Пассивные и активные компоненты оптической транспортной сети

Наименование оборудования	Обозначение на схеме	Фирма производитель, модель
1	2	3
Оптический мультиплексор	MUX	

Продолжение таблицы 5.4

1	2	3
Оптический демультиплексор	DMX	
Реконфигурируемые оптические мультиплексоры ввода/вывода	ROADM	LambdaDriver EM1600
Оптические кросс-коммутаторы	OXC	The Cisco ONS 15454 60/5Gbps high-order/low-order (HO/LO) XC-VXC-series cross-connect card operates
Компенсаторы хроматической дисперсии	DC	LambdaDriver EM800-DCMT3
Оптические усилители	BST	WISI COMPACT LINEVX52A
Оптический кабель	O	ОКЛБг, ОКЛК-Н, G.655

5.3 Пассивные компоненты оптической транспортной сети

Пассивными компонентами являются: оптические мультиплексоры и демультиплексоры, оптические мультиплексоры ввода/вывода, оптические кросс-коммутаторы и компенсаторы хроматической дисперсии.

5.3.1 Оптический мультиплексор

Оптический мультиплексор (MUX) объединяет сигналы разных длин волн, генерируемые «цветными» оптическими передатчиками интерфейсов PDH, SDH,

ATM, GE, 10 GE и транспондеров, в многоканальный составной оптический сигнал, который далее распространяется по оптическому волокну.

5.3.2 Оптический демультиплексор

Оптический демультиплексор (DMX) на дальнем конце мультиплексной секции производит разделение по длине волны составного оптического сигнала на каналные оптические сигналы.

Операция демультиплексирования является обратной по отношению к операции мультиплексирования и может быть выполнена одними и теми же устройствами, если они обладают свойствами обратимости.

Большинство пассивных мультиплексоров/демультиплексоров обладает свойствами обратимости, что позволяет ограничиться рассмотрением только демультиплексоров.

Оптические демультиплексоры подразделяются на два класса:

- демультиплексоры на основе оптических фильтров;
- демультиплексоры на основе дисперсионных элементов.

5.3.3 Реконфигурируемые оптические мультиплексоры ввода/вывода

Реконфигурируемые оптические мультиплексоры ввода/ вывода (ROADM) обеспечивают возможность программно вводить и выделять любую комбинацию оптических каналов из направлений, сходящихся в узле оптической сети.

Состав ROADM:

- WSS – селективные коммутаторы длин волн;
- MUX – оптические мультиплексоры;
- DMX – оптические демультиплексоры.

Селективные коммутаторы длин волн обеспечивает в узле ROADM ввод, транзитную передачу и выделение оптических каналов.

Оптические демультиплексоры используются совместно с селективными коммутаторами длин волн и обеспечивают выделение местных оптических каналов.

ROADM является пассивным компонентом и характеризуется большими вносимыми потерями [10]:

- 1) ввод 8 дБ;
- 2) транзит 12 дБ;
- 3) вывод 14 дБ.

Для компенсации потерь, вносимых ROADM, используются оптические усилители.

5.3.4 Оптические кросс-коммутаторы

Оптические кросс-коммутаторы (ОХС) организуются в наиболее загруженных узлах сети, где сходятся три и более направлений. Они выполняют кросс-коммутацию оптических каналов между различными направлениями, т.е. позволяют перенаправлять (маршрутизировать) оптические каналы по новым направлениям.

Для поддержки функциональных возможностей узла кросскоммутации оптических каналов платы WXC используются совместно с патч-панелью коммутации PP-MESH. Плата WXC является кросс-коммутатором оптических каналов. Она селективно передает любую комбинацию сигналов оптических каналов, поступающих из входных портов EXPRX, к общему порту COMTX. Плата является пассивной и обеспечивает двунаправленную передачу оптических сигналов.

Основные функции платы WXC:

- 1) прием многоволнового сигнала, поступающего в порт COMRX, и разветвление его по мощности к портам EXPTX и DROPTX в соотношении 70% / 30%;

- 2) демультиплексирование многоволновых оптических сигналов, поступающих в порты EXPRX и ADDRХ;
- 3) выбор любой комбинации оптических каналов;
- 4) мультиплексирование сигналов выбранных каналов и передача их в общий порт.

Платы WXC совместно с патч-панелью PP-MESH обеспечивают создание кросс-соединений оптических каналов между линейными портами любых направлений, сходящихся в узле.

5.3.5 Сплиттеры

Основным компонентом PON является разветвитель (сплиттер (splitter)) – это пассивный оптический многополюсник, распределяющий поток оптического излучения в одном направлении и объединяющий несколько потоков в обратном направлении.

В общем случае у разветвителя может быть M входных и N выходных портов. В сетях PON наиболее часто используют разветвители $1 \times N$ с одним входным портом для прямого потока и M выходных портов. Разветвители $2 \times N$ могут использоваться в сетях с резервированием по центральному волокну. На рисунке 5.7 схематично показан разветвитель $2 \times N$ и основные потоки оптического излучения.

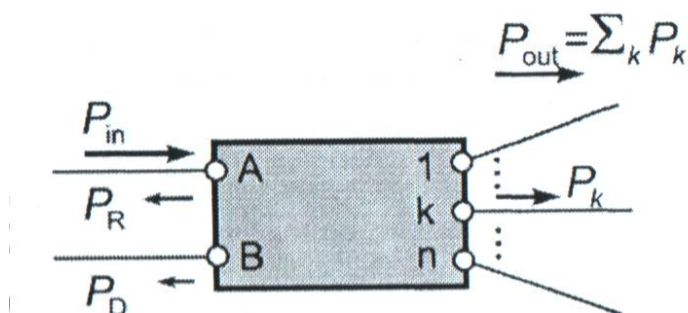


Рисунок 5.7 – Сплиттер $2 \times N$ и основные потоки оптического излучения

Остановимся подробнее на определении основных характеристик разветвителя (табл. 5.5).

Таблица 5.5 – Основные характеристики разветвителя

Характеристики	Определение параметра
Количество выходных портов	От 2 до 32 для APON/BPON
Центральная длина волны	Номинальная рабочая длина волны
Рабочая полоса пропускания	Длины волн декларируемых характеристик
Коэффициент деления	$R_k = P_k/P_{out}$
Избыточные потери	$EL = 10 \lg(P_{in}/P_{out})$
Вносимые потери	$L_k = 10 \lg(P_{in}/P_k)$
Возвратные потери	$ORL = 10 \lg(P_{in}/P_R)$
Коэффициент направленности	$D = 10 \lg(P_{in}/P_D)$
Неравномерность разветвителя (1xN)	$U = I_{L_{max}} - I_{L_{min}}$
Поляризационно-зависимые потери PDL	

Неравномерность разветвителя U – разброс вносимых потерь по всем выходным портам разветвителя.

$$U = I_{L_{max}} - I_{L_{min}}, \quad (5.1)$$

Неравномерность измеряется по температурному и волновому рабочим диапазонам разветвителя. В стандарте G.671 неравномерность U_z определяют только для симметричных разветвителей.

Поляризационно-зависимые потери PDL – разброс вносимых потерь, обусловленный изменением состояния поляризации проходящего оптического излучения.

Все разветвители в сетях PON могут быть классифицированы по:

- рабочей полосе пропускания (на стандартные однооконные $\lambda_{\text{раб}} \pm 10$ нм, широкополосные однооконные $\lambda_{\text{раб}} \pm 40$ нм и двухоконные);
- по технологии изготовления (сплавные и планарные);
- по числу выходных портов и коэффициента деления мощности;
- по совокупности параметров;
- по оконцеванию и способу монтажа.

5.3.6 Деление сплиттеров по полосе пропускания

Оптические разветвители по своим спектральным характеристикам делятся на стандартные однооконные ($\lambda_{\text{раб}} \pm 10$ нм), широкополосные однооконные ($\lambda_{\text{раб}} \pm 40$ нм) и двухоконные (1310 ± 40 нм и 1550 ± 40 нм).

Для сетей PON следует использовать двухоконные разветвители (рис. 5.8).

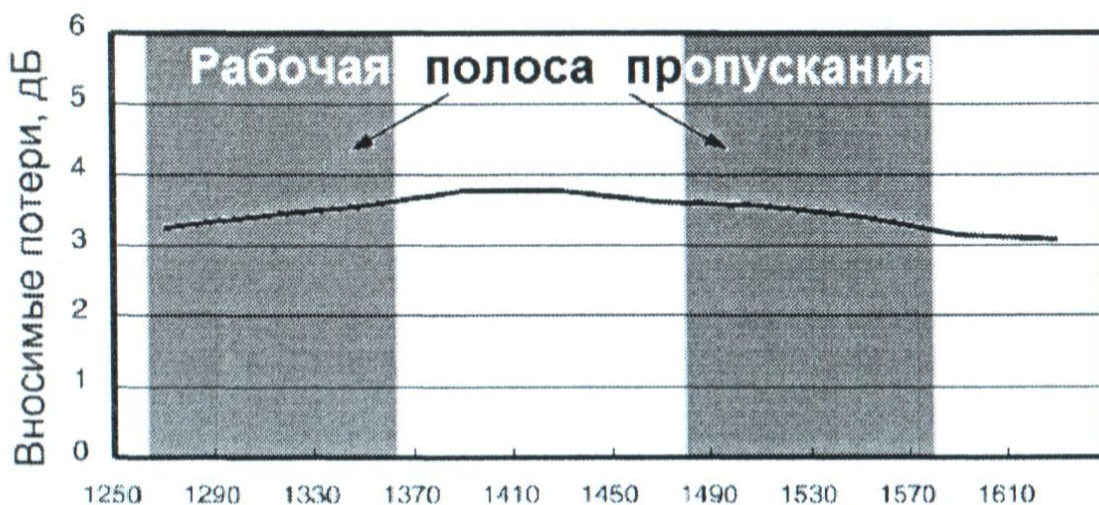


Рисунок 5.8 – Частотные характеристики сплиттеров

На одной длине волны, например, 1550 нм осуществляется передача информации от провайдера связи до абонента, а на длине волны 1310 нм осуществляется передача запроса от абонента к провайдеру. В указанных рабочих окнах вносимые потери и коэффициенты деления разветвителя должны быть

стабильными, так как это непосредственно влияет на величину неравномерности и разброс потерь в системе.

Такие двухоконные разветвители стали применяться задолго до появления сетей PON. Однако спрос на них значительно возрос с появлением технологии PON.

5.3.7 Деление сплиттеров по совокупности параметров

По совокупности параметров многие производители делят разветвители на два класса качества:

- 1) класс 1;
- 2) класс 2.

Обычно разветвители класса 1 обладают лучшими характеристиками в широких окнах ± 40 нм, в то время как класс 2 гарантирует типовые характеристики в более узких окнах $\pm 10 - 20$ нм.

В таблице 5.6 приведены сравнительные характеристики ОР 1×2 с коэффициентом деления 50/50 двух классов качества и допуски для ОР $1 \times N$.

При выборе разветвителей для сетей PON по критерию цена/качество необходимо помнить о следующем. Сама по себе температурная зависимость параметров разветвителей невелика, но она может быть косвенно усилена через волновую зависимость разветвителя и температурную нестабильность передатчика. Так, в дешевых передатчиках ONT нестабильность рабочей длины волны лазера может достигать $0,5$ нм/С°. Если в абонентских узлах не поддерживается постоянная температура, то сезонный сдвиг рабочей точки на $\Delta\lambda = 10$ нм приведет к перераспределению мощности излучения (на длине волны $\lambda_{ном} + \Delta\lambda$) в плечах разветвителя на $0,3$ дБ (из расчета $0,03$ дБ/нм для сплавных разветвителей). По той же причине для сети PON с малым запасом системы рекомендуется использовать планарные разветвители вместо сплавных. У последних равенство вносимых потерь достигается только для центральных длин волн, а не во всем диапазоне, и при смещении длины волны разброс вносимых

потерь увеличивается. У планарных разветвителей эта зависимость слабее. В частности, это подтверждается тем, что неравномерность ведет себя как $U = 1,0 \log_2 N$ (дБ) для сплавных разветвителей и $U = 0,4 \log_2 N$ (дБ) для планарных.

Таблица 5.6 – Сравнение характеристик сплиттеров

Параметр	Класс А(1×2)	Класс Б(1×2)	Допуски(1×N)
Вносимые потери $IL_{\text{макс.}}$ (без коннекторов), дБ	3,6	3,9	$3,6 \log_2 N + 0,6$
Избыточные потери EL , типичные, дБ	0,1	0,3	$0,3 (1 + \log_2 N)$
Неравномерность U , дБ	0,8	1,1	$1,0 \log_2 N$
Потери, зависящие от поляризации (PDL), макс., дБ	0,13	0,2	$0,1 (1 + \log_2 N)$
Оптические возвратные потери ORL, дБ	Не менее 50	Не менее 50	–
Коэффициент направленного действия D , дБ	Не менее 55	Не менее 55	–
Температурная зависимость вносимых потерь, дБ/°С	0,002	0,002	–

5.3.8 Деление по оконцеванию и способу монтажа

По оконцеванию и способу монтажа разветвители можно разделить на сварные неоконцованные и оконцованные в настольном/стоечном исполнении.

Неоконцованные разветвители готовы для сварки в распределительной муфте. С одной стороны, потери на сварных стыках (0,02 – 0,05 дБ) намного меньше, чем потери на паре коннекторов (0,4 – 0,8 дБ). С другой стороны, замена или ремонт оконцованных разветвителей, которые обычно устанавливают в обслуживаемые помещения, не требует больших усилий. Оконцованные

разветвители могут поставляться в виде вставных модулей. Замена модуля происходит быстрее, чем замена со сваркой всех волокон. Все это позволяет сильно сократить время на ремонт или переконфигурированные системы и избежать больших перерывов в предоставлении сервисов. Оконцованные разветвители позволяют проводить посекционное тестирование линии. Это их дополнительное преимущество с точки зрения технического обслуживания и возможности ремонта линии оптической связи.

6 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

6.1 Актуальность технологии оптической сети связи с позиции маркетинга

Рынок связи и телекоммуникаций является наиболее динамичной отраслью экономики Украины. Основными сегментами телекоммуникаций являются услуги мобильной, фиксированной телефонной и компьютерной связи. До 2003 года рынок развивался в основном за счет увеличения количества звонков со стационарных телефонов. С 2004 года доходы от предоставления услуг мобильной связи начали превышать доходы операторов фиксированной связи, и этот разрыв продолжает увеличиваться. Кроме того, с 2007 года происходит активный рост сегмента интернет-связи. Украинский рынок телекоммуникационных услуг занимает третье место в странах Центральной и Восточной Европы по доходам.

На рисунке 6.1 показаны темпы роста доходов отдельных сегментов украинского телекоммуникационного рынка с 2010 по 2016 года.

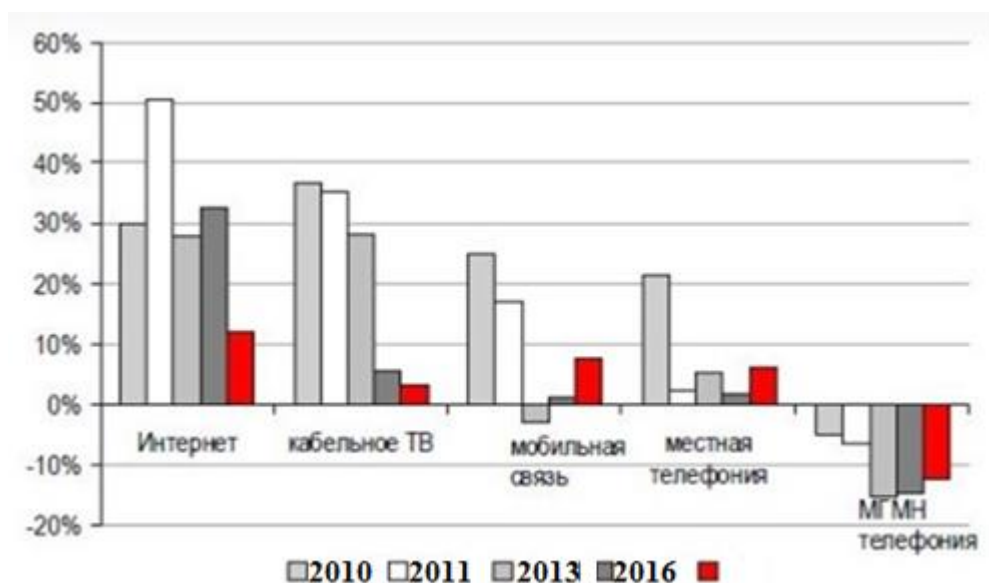


Рисунок 6.1 – Темпы роста доходов украинского телекоммуникационного рынка (2010 – 2016 гг)

В целом, рынок связи и телекоммуникаций составляет примерно 18% всей сферы услуг в Украине. Этот показатель имеет тенденцию к снижению.

Рассмотрим основные тенденции рынка телекоммуникаций в Украине по сегментам.

В Украине доминирующим оператором фиксированной связи является ОАО «Укртелеком», 92,79% акций которого принадлежат государству. Но сегодня сектор фиксированной связи переживает период спада, происходит замена фиксированной связи на подвижную и VoIP (передача голоса по протоколу Интернет). Особо следует обратить внимание на этот аспект, т.к. он постепенно переходит на передачу любой нужной информации по сети Интернет.

Проникновение мобильной связи в стране составляет 120% (55,9 млн. абонентов, в том числе домашние – 32,1 млн.), что видно из рисунка 6.2.

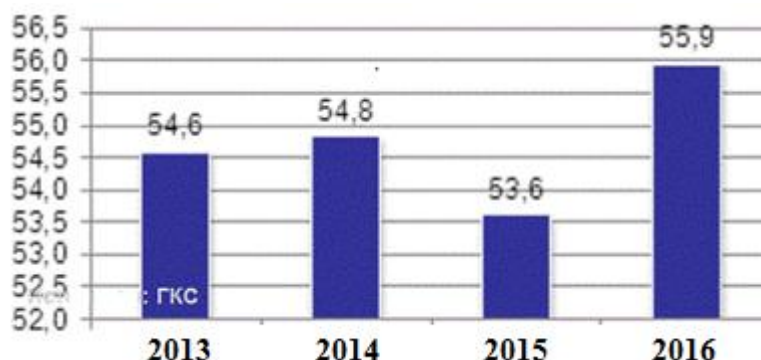


Рисунок 6.2 – Динамика роста мобильной связи (млн.)

Около 80% выручки мобильных операторов приходится на традиционную голосовую связь. Перспективным направлением развития мобильного рынка является предоставление услуг широкополосного доступа к Интернету (ШПД). Дальнейшее развитие таких услуг связано с построением сетей третьего (3G) и четвертого (4G) поколений, которые способны обеспечить гораздо более быструю связь. На начало 2012 года в мире насчитывается около 613 млн абонентов ШПД. Для Украины уровень проникновения услуги ШПД составляет 39 %, подключено 6.54 млн частных абонентов.

В целом украинский рынок ШПД показал, что интернет прочно вошел в категорию базовых услуг, так как не показал существенного снижения в период неблагоприятной социально-экономической обстановки в стране, что видно из рисунка 6.3. Ограничивать распространение услуги могло лишь нарушение целостности отдельных узлов инфраструктуры.

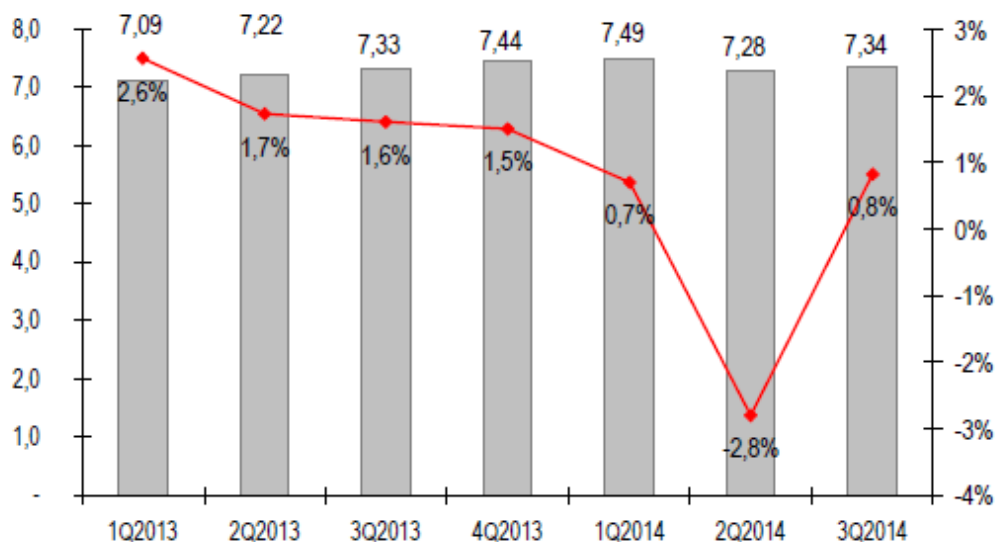


Рисунок 6.3 – Количество абонентов ШПД в Украине, млн,
1Q 2013 – 3Q2014

Рынок мобильной связи насыщен, высокое проникновение и низкая цена на услугу обеспечит проникновение в сектор новых технологий, уход с рынка или слияние некоторых операторов мобильной связи, а также их расширение или переход в другие сектора (в частности интернет-услуг) и на рынки, пересмотр стратегий отдельных компаний в пользу прибыльности.

В последнее время самым динамичным сегментом рынка связи и телекоммуникаций является рынок компьютерной связи. Основным источником доходов является предоставление доступа к сети интернет (85%). Так, наиболее востребованной услугой Интернет является общение в соцсетях (общее количество украинских аккаунтов в соцсетях составляет 40 млн).

Сектор имеет значительный потенциал роста и интересен для всех операторов связи – мобильной, фиксированной, и др., что дает возможность прогнозировать внедрение более широкого выбора услуг связи, снижение цен на услугу, повышение доступности в сельской местности. Также возможен и приход новых крупных операторов на рынок.

Рост числа потребителей в сегменте услуг ШПД в Интернет постоянно растет, что обусловлено повышением активности операторов и внедрением новых телекоммуникационных технологий.

Оптические транспортные сети является технологией будущего и многими компаниями ведутся разработки по внедрению данного метода передачи информации. Основным фактором препятствующим масштабному внедрению является ценовой разброс.

Для более точной оценки конкурентоспособности на рынке широкополосных услуг произведем расчет индекса Херфиндаля-Хиршмана (для компаний приведенных на рис. 6.4), который определяется по формуле [12]:

$$HHI = \sum_{i=1}^n k_i^2, \quad (6.1)$$

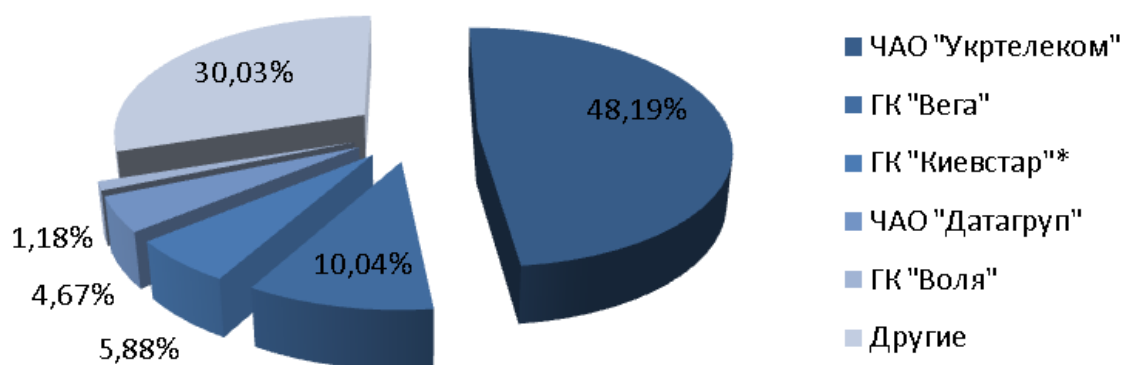


Рисунок 6.4 – Доли ведущих операторов рынка ШПД к Интернету Украины на 2016 год

Доля телекоммуникационных компаний составляет: ОАО «Укртелеком» – 48,19%, ГК «Вега» – 10,04%, ГК «Киевстар» – 5,88%, ЧАО «Датагруп» – 4,67%, ГК «Воля» – 1,18%, другие операторы – 30,03%.

По формуле (6.1) индекс Херфиндаля-Хиршмана будет равен:

$$HHI = \sum_{i=1}^n k_i^2 =$$

$$= 0,4819^2 + 0,1004^2 + 0,0588^2 + 0,0467^2 + 0,0118^2 + 0,03^2 + 0,3003^2 = 0,338$$

Из таблицы 6.1 видно, что доля ведущей фирмы на рынке составляет приблизительно половину всего сегмента (0,60), исходя из полученного индекса Херфиндаля-Хиршмана 0,338.

Таблица 6.1 – Зависимость индекса Херфиндаля-Хиршмана от рыночной части доминирующей фирмы

Доля ведущей фирмы	Индекс Херфиндаля-Хиршмана
0,01	больше 0,0001
0,10	0,01
0,20	0,04
0,30	0,09
0,40	0,16
0,50	0,25
0,60	0,36
0,70	0,49
0,80	0,64
0,90	0,81
1,00	1,00

Таким образом, рассматриваемый рынок по предоставлению услуг ШПД относится к высококонцентрированным рынкам (концентрация на рынке высокая).

Операторы, для которых ШПД не является единственным направлением деятельности в телекоммуникационной отрасли, активно предлагают на акционных (Киевстар) и регулярных (Воля) условиях предложения с различными результатами: от успешного предложения (например, Интернет 100 Мбит/сек + кабельное ТВ за 100 грн./мес), до сомнительного по эффективности влияния на продажи, и сложного для восприятия целевой аудиторией предложения (например, бонусы за фиксированный Интернет на мобильную связь).

Касательно потребителей услуг ШПД, то наибольший спрос, исходя из исследований, составляет Интернет и мобильная связь (рис. 6.5). Наиболее активными пользователями Интернета являются люди в возрасте до 30 лет, что составляет одну треть всех пользователей.

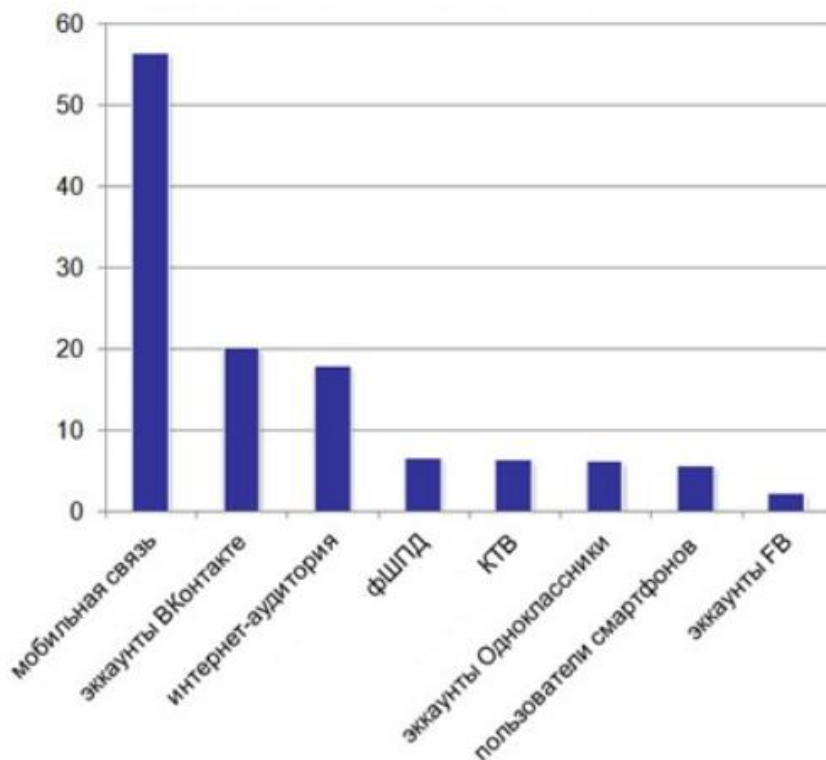


Рисунок 6.5 – Возрастная аудитория телекоммуникационных услуг, млн

Несмотря на постоянное усиление конкуренции на рынке телекоммуникаций, а также изменение технической платформы и инфраструктуры, целесообразным будет при проектировании данной сети большое внимание уделить более взвешенному маркетингу, а также ориентироваться на клиента и сегментацию рынка. Запуск новых решений необходимо ориентировать на узкие сегменты, то есть на отдельные сегменты.

6.2 Расчет затрат на практическую реализацию проекта

В составе затрат на реализацию проекта учитывается стоимость всех ресурсов, необходимых для комплекса работ. В данном проекте учитываются затраты на приобретение материалов (табл. 6.2), оборудования, оплата работ сторонней организации, выплата заработной платы, отчисление на социальное страхование, а также накладные затраты.

Таблица 6.2 – Расчет затрат на оборудование и материалы

Наименование оборудования/материала	Производитель и марка	Кол-во, км (шт)	Цена за 1 км (ед), \$	Общая стоимость, \$
Оптический кабель	ОКЛБг	660 км	480	316800
Линейные усилители	WISI COMPACT LINEVX52A	4 шт	670	2680
Мультисервисная платформа	Cisco NSC 4000	3 шт	60000	180000
Итого				499480
Стоимость неучтённого оборудования в размере 3% от общей стоимости оборудования				14984,4
Транспортно-заготовительные затраты 3-10% от стоимости материалов				31680
Итого				46664,4

6.3 Расчет заработной платы

Годовой фонд заработной платы (ФОТ) начисляется по количеству работающих сотрудников умноженных на 12 (месяцев), плюс 22% премии за вычетом выходных и праздничных дней [12].

Должности требуемых работников, оклад и премия в размере 22% приведены в таблице 6.3

Таблица 6.3 – Фонд заработной платы

Наименование должности	Кол-во человек	Оклад, грн	Военный сбор 1.5 % (грн)	Налог с доходов физ. лиц (НДФЛ) 18% (грн)	Осн. ЗП (грн)	Премия 22% (грн)	Итого (грн)
Главный инженер	2	7000	105	1260	5635	1540	31120
Инженер по эксплуатации оборудования (дежурный)	3	5000	75	900	4025	1100	33300
Итого							64420

6.4 Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная зарплата определяется в размере 8% основной заработной платы штатных работников. Таким образом, дополнительная зарплата составит:

$$ДЗ_{\Pi} = ЗП_{\text{осн}} \cdot 0,08 = 64420 \cdot 0,08 = 5153,6 \text{ (грн)}, \quad (6.2)$$

6.5 Отчисления в единый социальный взнос

Единый социальный взнос (ЕСВ) подлежит уплате в Пенсионный фонд Украины. Он включает в себя четыре ранее существовавших обязательных государственных социальных сбора: пенсионный фонд (ПФ), фонд социального страхования (ФСС) "безработицу", "несчастный случай". С 2016 года действует единый размер ЕСВ – 22% от фонда оплаты труда. ЕСВ с зарплаты отменен [8].

$$\text{ЕСВ} = \text{ФОТ} \cdot 22\% = 64420 \cdot 0,22 = 14172,4 \text{ (грн)}, \quad (6.3)$$

6.6 Командировочные расходы

Командировочные расходы на стадии проектирования можно принять равными 8-10% от суммы основной заработной платы, то есть:

$$\text{КР} = 64420 \cdot 0,1 = 6442 \text{ (грн)}, \quad (6.4)$$

6.7 Затраты на работы и услуги сторонней организации

К данным затратам относится оплата работ и производственных услуг сторонней организации при выполнении строительных работ (табл. 6.4).

Таблица 6.4– Затраты на услуги сторонней организации

Перечень услуг	Единица измерения	Количество, км	Стоимость работ (грн)
Прокладка кабеля в грунте	км	660	2640000
Установка оптического оборудования	шт	10	6000
Измерение оптических параметров линии	участ.	14	42000
Итого			2688000

6.8 Накладные затраты

К накладным расходам относятся затраты на общее управление и общехозяйственные нужды, содержание и эксплуатацию зданий. Накладные расходы принимаются равными 80 % от основной заработной платы.

Таким образом, накладные затраты составят:

$$НЗ = ЗП_{\text{осн}} \cdot 80\% = 64420 \cdot 0,8 = 51536 \text{ (грн)}, \quad (6.5)$$

Для подведения итога данные по затратам на реализацию проекта, полученные при расчетах, сведены в таблице 6.5. В таблице 6.2 данные по расчету затрат на оборудование приведены в \$ США, поэтому переведем их в гривны Украины по курсу 28 гривен за 1 \$.

Таблица 6.5– Смета затрат на реализацию проекта

Статьи затрат	На весь период (12 месяцев), грн	Удельный вес, %
Материалы и оборудование	15292043	78,007
Работы и услуги сторонней организации	2688000	13,712
Основная заработная плата	773040	3,941
Дополнительная заработная плата	61836	0,315
Отчисления в единый социальный взнос	170064	0,87
Накладные затраты	618432	3,155
Всего затрат	19603415	100

6.9 Оценка эффективности проекта

Оценка эффективности данного проекта проводится по следующим показателям:

- важность разработки K_1 ;
- возможность использования результатов разработки K_2 ;
- теоретическая важность и уровень новизны исследования K_3 ;
- сложность разработки K_4 .

Определим коэффициенты для оценки эффективности по бальной шкале:

– $K_1 = 6$, так как проект представляет часть ведомственной комплексной программы;

– $K_2 = 6$, результаты работы могут быть использованы в масштабах страны;

– $K_3 = 2$, результаты данного проекта известны в данной области;

– $K_4 = 8$, работа по данному проекту выполняется несколькими организациями и затраты составляют больше 500000 грн.

Общая оценка устанавливается по произведению коэффициентов:

$$P_c = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 = 6 \cdot 6 \cdot 2 \cdot 8 = 576, \quad (6.6)$$

Тогда общий эффект от проекта составляет:

$$E = P_c \cdot 20000 = 576 \cdot 20000 = 11520000, \quad (6.7)$$

Исходя из этого необходимо определить экономическую эффективность проекта с помощью коэффициента эффективности, который характеризует долю общего эффекта от разработки, которая приходится на 1 гривну затрат и рассчитывается по формуле:

$$K_E = \frac{E}{K_{\text{затрат}}} = \frac{11520000}{19603415} = 0.58, \quad (6.8)$$

Далее, определив экономическую эффективность проекта, необходимо рассчитать его срок окупаемости, который равен:

$$T_{\text{ок}} = \frac{1}{K_E} = \frac{1}{0.58} = 1,7, \quad (6.9)$$

Затраты на реализацию проекта составляют 19603415 грн при сроке окупаемости в 1 год и 7 месяцев. Данный проект является перспективным для внедрения и дальнейшего масштабирования при необходимости.

7 ОХРАНА ТРУДА И БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

7.1 Анализ потенциальных опасностей

В данной работе выполнен проект построения оптической сети связи. В процессе строительства такой сети возможны следующие работы: проектирование сети в вычислительных центрах (работа с ПК, ЭВМ), монтаж и прокладка оптического и электрического кабеля, подвеска кабеля по линиям электропередач, монтаж и эксплуатация оборудования узла связи, заземление проектируемого оборудования, а также его электропитание.

В связи с перечисленными работами возникают следующие потенциальные опасности:

- а) в вычислительных центрах на стадии проектирования сети:
 - повышенный уровень электромагнитных излучений;
 - повышенная или пониженная ионизация воздуха;
 - повышенная яркость света;
 - статические перегрузки костно-мышечного аппарата и динамические локальные перегрузки мышц кистей рук;
 - перенапряжение зрительного анализатора;
 - умственное перенапряжение;
 - эмоциональные перегрузки;
 - монотонность труда;
- б) при монтажных работах на линейных и станционных участках:
 - поражение электрическим током вследствие неисправности приборов;
 - механические травмы из-за падения с высоты, непроизвольного движения катушки с кабелем, а также при транспортировке материалов и оборудования;
 - наличие вредных и взрывоопасных газов при прокладке ВОК;

- негативное воздействие атмосферных условий;
- нервно-эмоциональные и физические нагрузки из-за специфики работ;
- негативное воздействие лазерного излучения передающего модуля;
- неправильные действия персонала при пожарах;
- неправильные действия персонала в условиях чрезвычайных ситуаций.

Приведенные вредные и опасные производственные факторы приводят к травмам, ухудшению здоровья и самочувствия, профессиональным заболеваниям, что снижает производительность труда.

7.2 Мероприятия по технике безопасности

Все работы должны проводиться в соответствии Закона Украины “Об охране труда” на основании следующих документов.

1) ГОСТ 12.2.006-87 «Безопасность аппаратуры электронной сетевой и сходных с ней устройств, предназначенных для бытового и аналогичного общего применения. Общие требования и методы испытаний». Для исключения поражения электрическим током в этом ГОСТе определены мероприятия для аппаратуры, непосредственно подключаемой к электрической сети и предназначенной для эксплуатации внутри помещения на высотах до 200 см и не подвергаемой воздействию капель или брызг.

2) ПУЭ «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование». Расположить токоведущие магистрали на высоте 2 м или более. Также для работ необходима группа допуска не ниже II. Для всего персонала периодически проводить инструктаж по правилам электробезопасности. Исключительно важное значение для предотвращения электротравматизма имеет правильная организация обслуживания действующих электроустановок ВЦ, проведения ремонтных, монтажных и профилактических работ.

3) ГОСТ 12.4.184-95 «Система стандартов безопасности труда. Пояса предохранительные. Общие технические требования. Методы испытаний». Для исключения падения с высоты необходимо снабдить работников монтажными страховочными поясами.

4) ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация». Для исключения механических травм необходимо использовать спецодежду и обувь. При монтаже оптического кабеля следует избегать попадания остатков оптического волокна на одежду. Защитить от попадания отрезков световодов, образующихся во время насадки коннекторов и сращивания волокон, на одежду или кожу. Эти отрезки собрать в банку с закручивающейся крышкой или на клейкую ленту. Исключить захлывание рабочего места.

5) ГОСТ 12.4.134-83 «Система стандартов безопасности труда. Плащи мужские для защиты от воды. Технические условия». Для минимизации влияния атмосферных условий нужно снабдить персонал защитными плащами.

Также для предотвращения потенциальных опасностей при проектировании сетей по технологии необходимо предпринять следующие меры.

Электромонтажные работы необходимо выполнять после снятия напряжения со всех токопроводящих частей, находящихся в зоне выполнения работ. Также необходимо использовать дополнительное защитное заземление в 4 Ом, инструменты с изолированными ручками, резиновые диэлектрические перчатки, коврики.

При работах в кабельной канализации и кабельных колодцах работник должен проверить воздух на наличие опасных и взрывоопасных газов специальными газоанализаторами. Необходимо использовать только токонепроводящие лестницы. Работники должны быть обеспечены средствами индивидуальной защиты и спецодеждой.

При работе с прибором для сварки оптических волокон необходимо все подключения и отключения выполнять после снятия напряжения. Прибор должен быть заземлен. Целостность проводов проверять не меньше одного раза в неделю.

Запрещается эксплуатация сварочного прибора со снятым защитным кожухом блока электродов.

При выполнении работ по обслуживанию оптического кабеля нужно не допускать прямого попадания в глаза излучения с оптического тестера (или другого прибора) или непосредственно с оптического волокна, подключенного к источнику излучения. Категорически запрещается наблюдать за генерированным излучением.

Для снижения нервно-эмоциональных нагрузок выделить время на обязательный отдых во время рабочего дня (5 – 10 минут в час). В производственных помещениях выделить комнату для приёма пищи и отдыха.

К работе допускаются лица, прошедшие вводный инструктаж, инструктаж по технике безопасности на рабочем месте с последующей проверкой знаний и имеющие допуски по различным видам работ.

7.3 Мероприятия по производственной санитарии и гигиене труда

Мероприятия по производственной санитарии и гигиене труда обеспечивают на рабочих местах нормальные условия для работы персонала: микроклимат, необходимая освещённость, исключение или уменьшение воздействие шума, излучения и другие вредные производственные факторы.

Согласно ДСанПиН 3.3.2.007–98 здания и помещения для работы с ВДТ ЭВМ и ПЭВМ должны соответствовать следующим требованиям:

- площадь на одно рабочее место должна составлять не менее чем 6,0 м², а объем не менее чем 20,0 м³;
- помещения для работы с ВДТ должны иметь естественное и искусственное освещение в соответствии с ДБН В.2.5 – 28 – 2006 «Природне і штучне освітлення»;
- в помещениях с ВДТ следует ежедневно делать влажную уборку. Они должны быть оснащены аптечками первой медицинской помощи.

Уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах, оборудованных ВДТ ЭВМ и ПЭВМ, должны отвечать требованиям СН 3223–85, ГОСТ 12.1.003–83, ГР 2411–81 (доп.1). Оборудование, что составляет источник шума (АЦП, принтеры и тому подобное), следует располагать вне помещения для работы ВДТ ЭВМ и ПЭВМ. Для обеспечения допустимых уровней шума на рабочих местах следует применять средства звукопоглощения, выбор которых должен обосновываться специальными инженерно-акустическими расчетами.

На производственном участке, где изготавливается спроектированное устройство, а также осуществляется его испытание, с целью обеспечения полной безопасности проведения этих работ предусмотрено освещение и вентиляция.

На участке применяется прямоточная вентиляция с калорифером, в соответствии с требованиями СНиП II-33-75 "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха". Согласно ГОСТу 12.1.005-76 "Воздух рабочей зоны" в холодный и переходный периоды года для первой категории работ температура воздуха должна составлять 20-30°C, относительная влажность 60-40 %, скорость движения воздуха не более 0,2 м/с; в теплый период соответственно температура 22-25 °C, значения влажности и скорости движения воздуха не изменяются.

Для обеспечения достаточной освещенности рабочих зон снабдить персонал индивидуальными источниками света РВО 42, соответствующие ГОСТ 17516.1-90 (2001) «Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам». Природное освещение должно осуществляться через световые проемы.

Коэффициент природного освещения (КПО) должен быть не ниже 1,5 %. Когда естественного освещения недостаточно, используется искусственное освещение. Причем дополнительное искусственное освещение используют не только в темное время суток, но и в светлое время суток. Лучше всего использовать на производственном участке люминесцентные лампы белого цвета и тепло-белого цвета 20, 40 или 80 Вт.

Проведем расчет освещенности производственного участка. Для заданного помещения $20 \times 8 \times 6$ необходимо создать освещенность 400 лк. Для освещения используются люминесцентные лампы типа ЛБ.

Световой поток рассчитывается согласно следующей формулы:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{N \cdot \eta \cdot n}, \quad (7.1)$$

где $\Phi_{\text{л}}$ – расчётное значение светового потока одной лампы в каждом светильнике, лм;

E_n – нормированное значение освещённости, равное $E_n = 400 \text{ лк}$;

S – площадь освещаемого помещения, м^2 ;

z – коэффициент минимальной освещённости, $z = 1.1$;

η – коэффициент использования светового потока;

k_3 – коэффициент запаса, равен $k_3 = 1.5$;

N – общее количество светильников;

n – количество ламп в одном светильнике ($n = 2$).

Рассчитываем количество рядов светильников в помещении:

$$N_{\text{с.р}} = \frac{B}{(H-h_p) \cdot \left[\frac{L}{h} \right]} = \frac{8}{(6-0.8) \cdot 1.4} \approx 2, \quad (7.2)$$

где $[L/h]$ – числовое значение коэффициента светильника в ряду, равное 1.4.

Световой поток ламп в ряду будет равняться:

$$\Phi_{\text{р}} = \frac{400 \cdot 160 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{2 \cdot 0.45} = 117333 \text{ лм}$$

Определим количество светильников в ряду.

Если в светильники установить по две ЛХБЦ мощностью 40 Вт и световым потоком $\Phi_{\text{л}} = 2000 \text{ лм}$ каждая, получим количество светильников в ряду:

$$N_{\text{ср}} = \frac{\Phi_p}{n \cdot \Phi_{\text{л}}}, \quad (7.3)$$

где Φ_p – световой поток ламп в каждом ряду, лм;

n – количество ламп в светильнике;

$\Phi_{\text{л}}$ – световой поток лампы, лм.

Подставив численные значения получим:

$$N_{\text{ср}} = \frac{117333}{2 \cdot 2000} = 28$$

Таким образом, с учётом площади производственного цеха, размещения рабочих столов и поставленных условий искусственного освещения определили, что светильники нужно размещать в 2 ряда, в каждом по 14 светильников, в каждом из которых по 2 люминесцентные лампы мощностью 40 Вт каждая.

При данной специфике производства отсутствуют факторы, приводящие к загрязнению окружающей среды.

При проектировании цехов, участков, производственных помещений были учтены требования, установленные СНиП II-90-81 "Производственные здания промышленных предприятий", СНиП II-96-86 "Вспомогательные здания и помещения промышленных предприятий".

При работе с оптическим кабелем и другим волоконно-оптическим оборудованием предусмотрено помещение для курения, т. к. курение во время работы с оптоволокном может привести к резкому снижению качества изготавливаемого коннектора или сростка.

7.4 Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности

Пожарная безопасность объекта в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91-ССБТ "Пожарная безопасность. Общие требования" должна обеспечиваться системами

предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-технические мероприятия. Мероприятия по пожарной безопасности направлены на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, создание условий для успешного тушения пожара.

Степень огнестойкости здания АТС должна быть не ниже III. По взрывопожарной и пожарной опасности помещения и здания АТС относятся к категории Д. В помещениях компьютерных залов имеются в больших количествах бумага, пластмассы, резина и другие горючие материалы. В основном источником пожара являются ЭВМ. Они характеризуются высокой плотностью размещения электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, коммутационные кабели. При протекании тока возможен их перегрев, плавление изоляции и, как следствие, короткое замыкание, которое сопровождается искрением, перегрузками элементов электронных схем.

Противопожарная защита обеспечена:

- применением средств пожаротушения и соответствующих видов пожарной техники, огнетушителей марок ОУ-2, ОУ-5, ОП-2, ОП-10;
- применением автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения типа ПКИЛ с извещателями АИП-2;
- применением систем противодымной защиты с датчиками СПД-3.2;
- применением средств коллективной и индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара.

Особые требования предъявляют к устройству и размещению кабельных коммуникаций. Все виды кабелей прокладывают в металлических газовых трубах вплоть до распределительных щитов или стоек питания.

Для спасения людей в случае возгорания применяются противодымовые маски с фильтрами респираторного типа. Огнетушители и защитные маски размещены в легкодоступных и заметных местах. Ручные огнетушители размещены методом навески на вертикальные конструкции на высоте 1,5 м.

В зданиях и сооружениях необходимо предусмотреть технические средства (лестничные клетки, противопожарные стены, лифты, наружные пожарные лестницы, аварийные люки и т. п.), имеющие устойчивость при пожаре и огнестойкость конструкций не менее времени, необходимого для спасения людей при пожаре и расчетного времени тушения пожара.

В организационно-технические мероприятия включены:

- обучение рабочих правилам пожарной безопасности;
- реализацию норм и правил пожарной безопасности, инструкций о соблюдении противопожарного режима и о действиях людей при возникновении пожара;
- мероприятия по действиям администрации на случай возникновения пожара и организации эвакуации людей.

При выполнении всех необходимых мероприятий можно предотвратить возникновение пожара, а также нежелательных последствий.

7.5 Мероприятия по обеспечению безопасности в Чрезвычайных Ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на территории или объекте, вызванное аварией, катастрофой, стихийным бедствием или другим опасным событием, которое привело или может привести к гибели людей. Поэтому эвакуация является одним из способов защиты населения в период ЧС.

В связи с тем, что вычислительные центры находятся вблизи других объектов, к которым могут относиться и опасные (АЭС, плотины, базы хранения взрывоопасных и химических веществ), то целесообразно иметь на предприятии средства индивидуальной защиты: средства защиты органов дыхания и средства защиты кожи.

По принципу защиты индивидуальные средства защиты делятся на фильтрующие и изолирующие.

К средствам индивидуальной защиты органов дыхания относятся противогазы и респираторы, а также простейшие средства – противопылевая тканевая маска (ПТМ) и ватно-марлевая повязка (ВМП). Простейшие средства защиты могут быть изготовлены самостоятельно. При отсутствии и этих средств можно воспользоваться тканью, сложенной в несколько слоев, полотенце и т.п.

Взрослое население использует фильтрующие противогазы ГП-5 и ГП-7, предназначенные главным образом для защиты лица, глаз и органов дыхания от отравляющих веществ. Если потребуется, их можно применять и для защиты от радиоактивных веществ и бактериальных средств.

Противогазы ГП-5 и ГП-7 защищают органы дыхания от таких веществ, как хлор, сероводород, соляная кислота, сернистый газ, синильная кислота, тетраэтилсвинец, нитробензол, фенол, фосген, флорэтан. С целью расширения возможностей противогазов введены дополнительные патроны. ДПГ-3 в комплекте с противогазом защищают от аммиака, хлора, диметиламина, нитробензола, сероводорода, синильной кислоты, фенола, фосгена. ДПГ-1 кроме того защищает от двуокиси азота, метила хлористого, окиси углерода и окиси этилена.

Для защиты органов дыхания от радиоактивной пыли кроме фильтрующих противогазов и изолирующих приборов и противогазов могут быть использованы противопылевые респираторы различных типов.

Противопылевые респираторы – это приборы, предназначенные для защиты органов дыхания от вредных аэрозолей.

Респиратор Р-2 применяется для защиты органов дыхания от радиоактивной, производственной и обычной пыли. Он может быть использован также при действиях в очаге бактериологического поражения для защиты от бактериальных средств, находящихся в воздухе в виде аэрозолей.

Респиратор ШБ-1 "Лепесток" изготовлен из специального материала, обладающего высокими фильтрующими способностями, и предназначен для

однократного пользования. Вес его около 10 г. Правильно подогнанный респиратор задерживает до 99,9% пыли.

Противопылевая тканевая маска ПТМ-1 состоит из корпуса и крепления. Корпус делается из четырех-пяти слоев ткани. Для верхнего слоя пригодны бязь, штапельное полотно, трикотаж, для внутренних слоев – фланель, хлопчатобумажная или шерстяная ткань.

Ватно-марлевые повязки, как правило, одноразового пользования. После снятия зараженной повязки ее уничтожают (сжигают или закапывают).

При использовании простейших средств защиты органов дыхания для защиты глаз необходимо надевать противопылевые очки.

Средства защиты кожи наряду с защитой от паров и капель опасных веществ предохраняют открытые участки тела, одежду, обувь и снаряжение от заражения радиоактивными веществами и биологическими средствами. Кроме того, они полностью задерживают альфа-частицы и в значительной мере ослабляют воздействие бета-частиц.

К подручным средствам защиты кожи относятся обычная одежда и обувь. Обычные накидки и плащи из хлорвинила или прорезиненной ткани, пальто из драпа, грубого сукна или кожи хорошо защищают от радиоактивной пыли и бактериальных средств.

Для защиты ног используют сапоги промышленного и бытового назначения, резиновые боты, галоши, валенки с галошами, обувь из кожи и кожзаменителей.

Для защиты рук можно использовать резиновые или кожаные перчатки и брезентовые рукавицы. При использовании обычной одежды в качестве средства защиты для большей герметизации необходимо застегивать ее на все пуговицы, обшлаги рукавов и брюк завязывать тесьмой, воротник поднимать и обвязывать шарфом.

Для более надежной защиты кожных покровов рекомендуется применять упрощенный защитный фильтрующий комплект, который при специальной пропитке может обеспечить защиту и от паров опасных веществ.

Простейшие средства защиты кожи надевают непосредственно перед угрозой поражения радиоактивными, отравляющими веществами или бактериальными средствами. После этого надевают противогаз, поднимают воротник куртки (пиджака) и шарфом завязывают его, надевают капюшон, головной убор, перчатки (рукавицы).

Таким образом, в ходе разработки проекта по обеспечению безопасности рабочего персонала были предусмотрены следующие мероприятия:

- мероприятия по обеспечению безопасности и снижения риска травматизма и вреда жизни и здоровья персонала, а также рассмотрены мероприятия по эвакуации населения при ЧС;

- провести мероприятия по обеспечению электробезопасности согласно ГОСТ 12.2.006-87 «Безопасность аппаратуры электронной сетевой и сходных с ней устройств, предназначенных для бытового и аналогичного общего применения. Общие требования и методы испытаний». Организовать заземление согласно ПУЭ-2007 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование»;

- снабдить работников монтажными страховочными поясами ПП1 ГОСТ 12.4.184-95 «Система стандартов безопасности труда. Пояса предохранительные. Общие технические требования. Методы испытаний»;

- использовать спецодежду и обувь согласно ГОСТ 12.4.011-89 «Средства защиты работающих. Общие требования и классификация»;

- снабдить персонал защитными плащами согласно ГОСТ 12.4.134-83 «Система стандартов безопасности труда. Плащи мужские для защиты от воды. Технические условия»;

- обеспечить персоналу необходимую освещённость рабочих мест согласно ГОСТ 12.4.014.0-96 «Здания и сооружения. Методы измерения освещённости»;

- создать благоприятные условия работы для персонала, соответствующие физиологическим потребностям человеческого организма, а также санитарные нормы, удовлетворяющие оптимальным метеорологическим условиям в рабочей

зоне помещения согласно ГОСТ 12.1.005-88 "Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны";

– обеспечить пожарную безопасность объекта в соответствии с ГОСТ 12.1.004-91-ССБТ "Пожарная безопасность. Общие требования".

Также был произведен расчет освещенности производственного участка в производственном помещении размером $20 \times 8 \times 6$ м таким образом, из расчета видно, что для данного помещения светильники нужно размещать в 2 ряда, в каждом по 14 светильников, в каждом из которых по 2 люминесцентные лампы мощностью 40 Вт каждая.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом выполнения магистерской работы является разработка основных положений проекта линии ведомственной оптической связи Сумы – Изюм – Запорожье. Рассмотрены общие вопросы организации сетей связи, транспортных сетей, сетей доступа. Обоснован выбор сети PON, её особенности, основные элементы и выполнен сравнительный анализ различных сетей связи.

Описана оптическая транспортная сеть от увеличения пропускной способности систем оптической связи, передачи трафика в сетях OTN, структуры интерфейса OTN до особенностей различных его блоков.

Рассмотрена трасса линии связи, факторы, ограничивающие её длину, свойства и стандарты используемых оптических волокон, последние достижения в этой области.

Выполнены необходимые электрические расчеты по параметрам трассы и соответствующей системы связи. Рассмотрен выбор оборудования, необходимого для построения оптической сети.

В экономическом разделе выполнена оценка эффективности проекта. Последний раздел посвящен вопросам охраны труда и безопасности в чрезвычайных ситуациях.

В целом задание на разработку проекта ведомственной сети оптической связи Сумы – Изюм – Запорожье выполнено полностью.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

1. Фокин В. Г. Оптические системы передачи и транспортные сети. Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению «Телекоммуникации» / В. Г. Фокин – М.: Эко – Трендз, 2008. – 269 с.
2. Соломенчук В. Д. Оптические транспортные сети / В. Д. Соломенчук, В. А. Мищенко, К. Н. Гура – К.: Центр последипломного образования ПАО «Укртелеком», 2014. – 294 с.
3. Олифер В. Г. Основы компьютерных сетей / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер – СПб.: Питер, 2010. – 944 с.
4. Аналитическое исследование. Интегрированная OTN – коммутация виртуализирует оптические сети [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.infinera.com/russian/>.
5. Cisco Network Convergence System 4000 Series [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.cisco.com>.
6. Оптические системы передачи: Учебник для вузов / Под ред. В. И. Иванова – М.: Радио и связь, 1994. – 244 с.
7. Бунас В.Ю. Технологии транспортных сетей телекоммуникаций: Учебно-методичное пособие / В. Ю. Бунас, Н. В. Тарченко, В. Н. Урядов – Минск: БГУИР, 2013. – 63 с..
8. Финансовый портал Минфин [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://minfin.com.ua>.
9. Оптимальные коммуникации. Системный интегратор оборудования связи. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.oc.ru>.
10. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети – М.: Эко – Трендз, 1998. – 268 с.
11. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман – М.: Техносфера, 2003. – 440 с.

12. Методичні вказівки до виконання економічного розділу дипломних та магістерських проектів для студентів спеціальності 7.05090301, 8.05090301 «Інформаційні мережі зв'язку» всіх форм навчання (утв.)