

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

РОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

**ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ С МЕТОДИЧЕСКИМИ
УКАЗАНИЯМИ**

ПО ДИСЦИПЛИНЕ «Цифровые системы передачи»

НА ТЕМУ: «Проектирование сетей связи по технологии СЦИ»

Москва 2023г.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Задание на курсовой проект	3
2 Разработка схемы организации сети связи	6
2.1 Расчет пропускной способности.....	6
2.2 Разработка схемы сети связи на участке.....	8
2.3 Выбор аппаратуры ВОСП СЦИ и типа оптического кабеля	10
3 Инженерный расчет основных показателей ВОЛП.....	15
3.1 Расчет длины регенерационного участка	15
3.2 Расчет параметров качества функционирования каналов и трактов ВОСП...	19
3.3 Расчет оперативных норм на показатели качества каналов и трактов ВОСП СЦИ.	20
Список литературы.....	30

1 Задание на курсовой проект

Исходные данные выбираются по последней и предпоследней цифре учебного шифра студента.

1.1 Определить численность населения в пунктах на проектируемом участке в соответствии с данными таблицы 1.1. Выбор происходит по последней цифре учебного шифра.

Таблица 1.1 – Численность населения в пунктах на проектируемом участке

Название населенного пункта	Последняя цифра учебного шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ст. А	50 000	47863	39872	45213	61098	55436	60092	41297	59007	39824
Ст. Б	19786	28956	908	12650	33209	5694	16990	5694	32650	1007
Ст. В	5694	9734	12650	19786	1784	1007	12650	794	19786	12650
Ст. Г	23901	1307	24090	17562	19786	9734	5694	28956	934	1784
Ст. Д	784	1007	1784	9734	5 694	20864	19786	13452	5694	28956

1.2 Выбрать координаты пунктов связи на проектируемом участке в соответствии с данными таблицы 1.2. После выбора координат определить расстояние между пунктами связи. Данные выбираются по предпоследней цифре учебного шифра.

Таблица 1.2 – Координаты пунктов связи на проектируемом участке

Название населенного пункта	Предпоследняя цифра учебного шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ст. А	603км	643км	676км	613км	653км	593км	624км	663км	643км	613км
Ст. Б	564км	594км	624км	554км	584км	544км	588км	581км	584км	558км
Ст. В	543км	573км	583км	523км	553км	513км	553км	544км	573км	523км
Ст. Г	501км	535км	551км	481км	521км	471км	526км	521км	552км	473км
Ст. Д	470км	498км	480км	450км	490км	440км	489км	491км	498км	450км

1.3 Выбрать аппаратуру для проектирования сети связи в соответствии с данными таблицы 1.3. Выбор происходит по последней цифре учебного шифра.

Таблица 1.3 – Аппаратура для проектирования сети СЦИ

Аппаратура для проектирования сети СЦИ									
Последняя цифра учебного шифра									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
TN-1X/S	SMS-150	AXD155-2	1641 SM	TN-1X/S	FLX-150	SMA-1	1641 SM	AXD155-2	FLX-150

Технические характеристики цифровых систем передачи СЦИ ряда зарубежных производителей для STM-1 приведены в Таблице 1.3а.

Таблица 1.3а – Технические характеристики цифровых систем передачи СЦИ

Технические характеристики цифровых систем передачи СЦИ для STM-1

Параметр	SMS-150 NEC	SMA-1 Siemens	1641 SM Alcatel	AXD155-2 Ericsson	TN-1X/S Nortel	FLX-150 Fujitsu
Уровень передачи, дБм	-5...0	-4...0	-15...0	-15...0	-15...0	-15...0
Длина волны, нм	1310/1550					
Чувствительность приемника при $K_{\text{ош}} = 10^{-10}$, дБм	-34	-34...-28	-38...-28	-34	-34	-34...-28
Затухание регенерационного участка: $A_{\text{мин}}, A_{\text{макс}}$, дБ	0...28	0...28	0...33	0...28	0...28	0...30
Уровень перегрузки приемника, дБм	0...-10	0...-8	-8...-10	-8...-10	0...-8	0...-8
Дисперсия $\sigma_{\text{п}}$, пс/нм	35...2500	350...2500	90...2500	100...5000	250...350	250...2500

Технические характеристики цифровых систем передачи СЦИ для STM-4

Параметр	SMS-600 NEC	SMA-4 Siemens	1651 SM Alcatel	AXD620-2 Ericsson	TN-4X Nortel	FLX-150/600 Fujitsu
Уровень передачи, дБм	-3...5	-15...2	-15...2	-15...2	-3...2	0...2
Длина волны, нм	1310/1550					
Чувствительность приемника при $K_{\text{ош}} = 10^{-10}$, дБм	-32,5	-35	-28	-30	-34...-32	-28
Затухание регенерационного участка: $A_{\text{мин}}, A_{\text{макс}}$, дБ	10...28	0...32	10...30	0...30	8...30	10...24
Уровень перегрузки приемника, дБм	-8	-8...-3	-8	-8...0	-6	-5
Дисперсия, $\sigma_{\text{п}}$, пс/нм	1570	130...4000	300...3000	100...5000	250...3500	350

Технические характеристики цифровых систем передачи СЦИ для STM-16

Параметр	SMA-16 (Siemens)	1664 SM (Alcatel)	TN-16X (Nortel)
Уровень передачи, дБм	-3...2	-3...2	0...2
Длина волны, нм	1310/1550		
Чувствительность приемника при $K_{\text{ош}} = 10^{-10}$, дБм	-29...-36	-29,5...-27	-28...-26,5
Затухание регенерационного участка: $A_{\text{мин}}, A_{\text{макс}}$, дБ	0...27,5	0...27	20,5...41,7
Уровень перегрузки приемника, дБм	-6	-4	-10
Дисперсия $\sigma_{\text{п}}$, пс/нм	130...4000	300...3000	250...3500

1.4 Произвести выбор оптического кабеля по сумме двух последних цифр учебного шифра. Если сумма четная – то выбирается кабель ОКЛ, если нечетная – то выбирается кабель ОКБ-М8Т. Основные характеристики оптического волокна (далее – ОВ) для кабелей ОКБ-М8Т и ОКЛ приведены соответственно в таблицах 1.4 и 1.5.

Таблица 1.4 – Характеристики ОВ для кабеля ОКБ-М8Т

Параметр	Предпоследняя цифра учебного шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Хроматическая дисперсия:										
На $\lambda=1,31$ мкм	1,32	1,35	1,4	1,43	1,3	1,34	5,6	5,5	5,21	4,9
На $\lambda=1,55$ мкм	17	18	15	16	13	14	11	12	18	19
Строительная длина, км	2	2,5	3	3,5	4	4,5	3	5	2	4
Затухание ОВ дБ/км	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,3	0,31

Таблица 1.5 – Характеристики ОВ для кабеля ОКЛ

Параметр	Предпоследняя цифра учебного шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Хроматическая дисперсия:										
На $\lambda=1,31$ мкм	1,3	1,25	1,38	1,41	1,33	1,29	5,58	5,8	5,11	3,8
На $\lambda=1,55$ мкм	19	14	18	13	17	12	16	14	15	18
Строительная длина, км	4	2	5	3	4,5	4	3,5	3	2,5	2
Затухание ОВ дБ/км	0,31	0,3	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22

2 Разработка схемы организации сети связи

2.1 Расчет пропускной способности

Для составления схемы организации связи сначала необходимо определить требуемую пропускную способность ВОЛП. Определение пропускной способности ВОЛП заключается в расчете числа каналов различного назначения между пунктами магистрали и эквивалентного им числа первичных потоков Е1.

Число каналов между пунктами проектируемой магистрали определяется многими факторами, одним из которых является коэффициент тяготения K_T , определяемый на основе статистических данных по всем показателям взаимосвязи между пунктами. Как показывают исследования, значения K_T находятся в пределах от 0,001 до 0,12. С учетом относительно высоких темпов развития услуг электросвязи и внедрения новейших телекоммуникационных технологий величину K_T принимают равной 0,08...0,1, а для населенных пунктов с населением более 500 тысяч человек величина $K_T = 0,12$.

Первоначально определим количество основных цифровых каналов (ОЦК), предназначенных для передачи телефонной нагрузки по формуле

$$n_{млф} = ent \left[\alpha K_T y \frac{m_i m_j}{m_i + m_j} + \beta \right], \quad (2.1)$$

где ent – округление до ближайшего целого числа в сторону увеличения;

α и β – постоянные коэффициенты, соответствующие фиксированной доступности и заданным потерям;

y – удельная нагрузка, создаваемая одним абонентом, $y = 0,05$ Эрл;

m_i и m_j – количество абонентов, обслуживаемых оконечными автоматическими междугородными телефонными станциями (АМТС) в пунктах i и j .

Обычно потери принимаются равными 5 % (0,05), для которых $\alpha = 1,3$ и $\beta = 5,6$.

Количество абонентов в зоне обслуживания АМТС рассчитывается по формуле

$$m_i = \gamma H_i, \quad (2.2)$$

где γ – коэффициент, учитывающий телефонную плотность, т.е. число телефонных аппаратов, приходящихся на 100 жителей;

H_i – численность населения на перспективный (5 - 10 лет) период проектирования.

С учетом мобильных телефонных сетей, системы роуминга и других систем коэффициент γ может быть в пределах 0,3...0,55. Коэффициент γ зависит от численности населения пунктах на проектируемом участке и определяется в

соответствии с таблицей 2.1.

Таблицей 2.1 – Определение коэффициента γ

N , человек	<100000	100000 - 300000	300000 - 500000	>500000
γ	0,3	0,35	0,45	0,55

По линиям передачи должны быть организованы и каналы передачи нетелефонных сообщений: телеграфных, передачи данных, электронной почты, Интернет, факсимильных (различных скоростей), телевизионных, звукового вещания и др. Число каналов, необходимых для передачи нетелефонных сообщений, может быть выражено через число телефонных каналов. Учитывая общую тенденцию изменения трафика в пользу нетелефонных сообщений (например, передачи данных и Интернет) можно считать, что на данном этапе число каналов для передачи нетелефонных сообщений $n_{нтлф}$ (кроме телевизионного) в 2 - 2,5 раза превышает число каналов, необходимых для передачи телефонного трафика.

$$n_{нтлф} = (2...2,5)n_{тлф} \quad (2.3)$$

Для организации одного телевизионного канала требуется тракт, эквивалентный 64 потокам Е1. Это соответствует потоку Е4 эквивалентному 1920 ОЦК, т.е. $n_{тв} = 1920$.

Таким образом, для передачи различного вида сообщений между пунктами (например, А и В) требуется количество ОЦК, равное:

$$N_{A-B} = n_{тлф} + n_{нтлф} + n_{тв} \quad (2.4)$$

Необходимое число потоков Е1 определяется по формуле

$$M_{i-j} = \text{ent} \left[N_{i-j} / 30 \right], \quad (2.5)$$

где N_{i-j} – суммарное количество ОЦК, которое необходимо организовать между пунктами i и j ВОЛП.

Результаты расчетов числа потоков Е1 (для передачи различных видов сообщений) между пунктами магистрали сводятся в таблицу связности (таблица 2.2).

Пример, распределения потоков Е1 между пунктами ВОЛП представлен на рисунке 2.1. Из рисунка следует, что максимальное число таких потоков имеет место на участке в сечении $S_{474\text{км}-\text{Прибытковое}} = 393$. Такой информационный поток может быть пропущен с использованием двух транспортных модулей STM-4 или 7 транспортных модулей STM-1.

Число потоков Е1 между пунктами ВОЛП является основой для выбора топологии сети в зоне линии передачи, которая определяется взаимным расположением населенных пунктов или АТС (в случае городской телефонной

сети); разработки вариантов схем организации связи с использованием различных цифровых телекоммуникационных систем и выбора базового варианта; выбора системы передачи и типа оптического кабеля.

Таблица 2.2 – Таблица связности для пунктов А, Б, В, Г, Д на проектируемом участке сети

Пункт	Количество потоков Е1 между пунктами ВОЛП					Число потоков Е1 в сечении
	А	Б	В	Г	Д	
А	-					
Б		-				
В			-			
Г				-		
Д					-	
Итого						

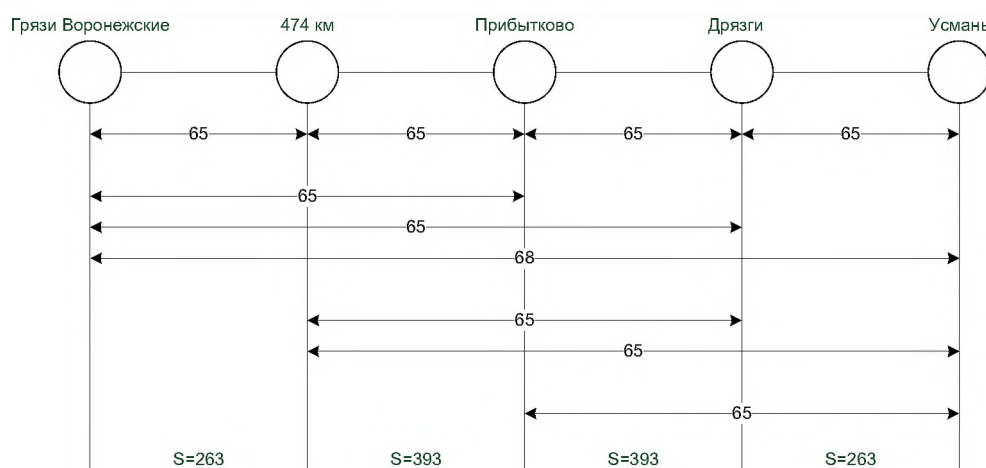


Рисунок 2.1 – Распределение потоков Е1 между пунктами ВОЛП

Из многообразия базовых топологий оптических сетей на основе СЦИ основными являются «последовательная линейная цепь», «кольцевая структура» и их комбинации в сочетании с топологией «точка-точка».

Для проектируемого участка необходимо использовать топологию «последовательная линейная цепь» и транспортный модуль STM-1.

2.2 Разработка схемы сети связи на участке

После расчета пропускной способности необходимо выбрать используемую аппаратуру и оптический кабель.

В качестве примера приведем разработку схемы сети связи с использованием мультиплексора МЦП-155. Этот мультиплексор удовлетворяет требованиям по обеспечению необходимой пропускной способностью населенные пункты, достаточно прост в управлении, имеет сравнительно небольшую стоимость и позволяет строить сеть связи используя топологию «последовательная линейная цепь». Корзины мультиплексоров будут укомплектовываться 2 оптическими платами. Для соединения аппаратуры между собой на всем протяжении участков будем использовать оптический кабель марки ОКЛ.

Рассмотрим проектируемой участок Грязи Воронежские – Усмань. На проектируемом участке общей протяженностью 83 км находятся 5 станций.

Так как на участке Грязи Воронежские – Усмань находится узловая станция Грязи Воронежские, то для обеспечения ее потребителей необходимыми потоками Е1 необходимо определить количество корзин МЦП-155. При комплектации корзин оборудования необходимо учесть, что станция Грязи Воронежские обеспечивает потоками 4 направления.

Схема связи корзин МЦП-155, а также их количество по узлу связи Грязи Воронежские представлена на рисунке 2.2.

Учитывая, что одна корзина оборудования МЦП-155 обладает способностью ввода\вывода 21 потока Е1 установим 3 корзины на узле связи и по две корзины на станциях Грязи Волгоградские и Грязи Орловские, всего для коммутации и распределения будут задействованы 2 транспортных модуля STM-1. Оптические платы, которыми укомплектовывается корзина МЦП-155, служат для внутренней программной коммутации потоков, а также для распределения потоков по требуемым направлениям.

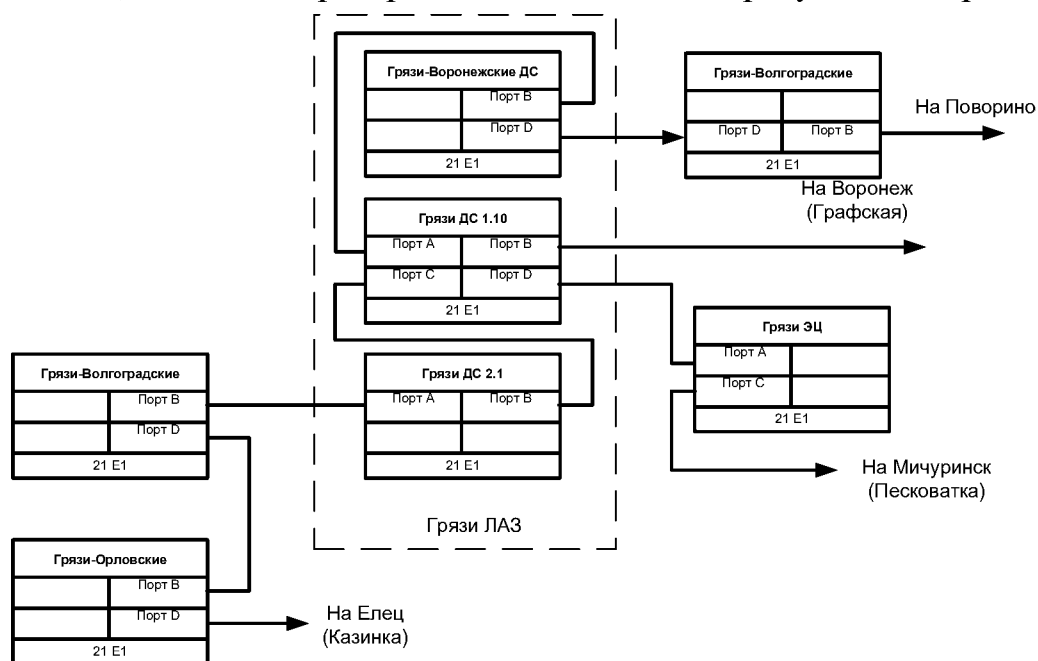


Рисунок 2.2 – Схема соединения оборудования на узле связи

По расчетам пропускной способности было определено, что в сторону станции Воронеж нужно передать примерно 65 потоков E1, значит установка одной корзины МЦП-155 обеспечит нужную пропускную способность. Стоит учитывать, что если нужно обеспечить прохождение потоков E1 более чем в одно направление, устанавливается более 2 оптических плат, чтобы программно выполнить коммутацию с одного направления на другое. Если через одну корзину МЦП-155 необходимо обеспечить пропускную способность более 63 потоков E1, то потребуется установка дополнительной корзины оборудования и задействование транспортного модуля STM-1 в данном случае от компании «Транстелеком».

Например, примем, что на станцию Мичуринск необходимо передать 12 потоков E1, на станцию Поворино 37 потоков E1, на станцию Воронеж 21 поток E1 и на станцию Елец 16 потоков E1. Вся коммутация потоков по этим направлениям проходит через станции Грязи Воронежские, Грязи Волгоградские, а также Грязи Орловские с последующим выделением требуемого количества потоков по этим станциям. Так как на станции Грязи Волгоградские нужно выделить 19 потоков E1, а по станции Грязи Орловские требуется 8 потоков E1, целесообразно поставить по одной корзине с 2 оптическими платами, так как транзитом потоки передаются только в одном направлении. На станции Грязи Воронежские требуется установить 4 платы в одной корзине, так как она служит в качестве распределителя потоков E1 в 4 направления и следует выделить 9 потоков E1. При проектировании общей схемы расстановки и комплектации оборудования, а также внутренней коммутации потоков проектировщики могут оставить право за собой изменить какие-либо из этих параметров. Как и ранее описывалось, одна корзина МЦП-155 способна выделить 21 поток E1 и согласно рассматриваемой схеме соединения оборудования это условие устраивает и вполне удовлетворяет потребностям потребителей, а также абонентов структурных подразделений. Стоит отметить, что у оборудования МЦП-155 имеется 5 портов при полной комплектации корзины из них порты А, В, С, D служат для транзита потоков, а также для коммутации внутри оборудования, а порт М служит для ввода\вывода потоков E1.

2.3 Выбор аппаратуры ВОСП СЦИ и типа оптического кабеля

Выбор аппаратуры ВОСП СЦИ первоначально сводится к определению оптических интерфейсов (стыков) на основе рекомендаций МСЭ-Т G.957 и G.691 (для систем с применением оптических усилителей). После этого выбирается аппаратура и её производитель, а затем – тип оптического кабеля и его производитель. Отметим, что рекомендациям МСЭ-Т G.957 и G.691 соответствуют применяемые на территории Российской Федерации отраслевые стандарты ОСТ 45.104 и ОСТ 45.178.

Линейную структуру магистрали ВОСП СЦИ принято представлять в виде последовательного соединения ряда оптических секций, определенных в указанных рекомендациях. Оптические секции кодируются с использованием кода применения, который по рекомендации G.957 и G.691 имеет следующий вид:

Тип применения – (тире) Уровень STM. Цифровой символ, где *Тип применения* обозначается латинской буквой:

I – для внутриобъектовой связи (Intra);

S – для короткой межстанционной связи (Short);

L – для длинной межстанционной связи (Long);

V – для очень длинной межстанционной связи (Very long);

U – для сверхдлинной межстанционной связи (Ultra long);

Уровень STM обозначается цифрой N ($N = 1, 4, 16, 64$);

Цифровой символ определяет номинальную длину волны источника излучения и тип применяемого волокна:

1 – номинальная длина волны 1310 нм и волокно G.652;

2 – номинальная длина волны 1550 нм и волокно G.652 (G.654);

3 – номинальная длина волны 1550 нм и волокно G.653;

5 – номинальная длина волны 1550 нм и волокно G.655.

В *коде применения* I рекомендации G.957 цифровой символ отсутствует, так как здесь всегда используется номинальная длина волны 1310 нм и волокно G.652. Следует также отметить, что в России самым распространенным оптическим волокном является ОВ рекомендации G.652 (более 90 % из всего проложенного). Кроме того, в кодах применения перечисленных выше отраслевых стандартов *тип применения* обозначается буквой *кириллицы*, а именно:

В – для внутриобъектовой связи;

К – для короткой межстанционной связи;

Д – для длинной межстанционной связи;

О – для очень длинной межстанционной связи;

С – для сверхдлинной межстанционной связи.

Коды оптических секций, а также соответствующие им длины волн, типы применяемого волокна и примерные значения протяженностей секций согласно рекомендациям G.957 и G.691 приведены в таблицах 2.3 – 2.5 соответственно.

Волоконно-оптические системы на основе СЦИ обладают универсальными возможностями и обеспечивают так называемую поперечную совместимость, т.е. возможность использования оборудования различных производителей. Это привело к классификации оптических стыков – интерфейсов, как и оптических секций, по коду применения и нормированию их параметров в опорных точках, показанных на рисунке 2.3 и 2.4.

Таблица 2.5 – Коды и параметры оптических секций по рекомендации G.691

Параметр	Код применения				
	V-4.1	V-4.2	V-4.3	U-4.2	U-4.3
	–	V-16.2	V-16.3	U-16.2	U-16.3
Номинальная длина волны, нм	1310		1550		
Тип волокна	G.652		G.653	G.652	G.653
Протяженность ¹ , км	60	120		160	
¹ Ориентировочное значение; как проектную величину использовать нельзя.					

Основные параметры одномодовых оптических кабелей приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Параметры одномодовых оптических кабелей

Параметр ОК	Длина волны излучения, нм	Рекомендация МСЭ-Т			
		G.652	G.653	G.654	G.655
Километрическое затухание, не более, дБ/км	1310	0,5	Не используется		
	1550	0,4	0,35	0,22	0,35
Удельная хроматическая дисперсия, не более, пс/нм·км	1310	3,5	Не используется		
	1550	17	3,5	20	10

Таблица 2.7 – Параметры оптических интерфейсов STM-1

Параметр	Код применения									
	I-1		S-1.1	S-1.2		L-1.1		L-1.2	L-1.3	
Рабочий диапазон длин волн, нм	1260...1360		1261...1360	1430...1576	1430...1580	1280...1335		1480...1580	1534...1566 1523...1577	1480...1580
Параметры передатчика в эталонной точке S										
Тип источника	MLM ¹	LED ²	MLM	SLM ³	SLM	MLM	SLM	SLM	MLM	SLM
Максимальная средне- вадратическая ширина спектра излучения, нм	14	80	7,7	2,5	—	4	—	—	3/2,5	—
Максимальная ширина спектра на уровне -20 дБ, нм	—	—	—	—	1	—	1	1	—	1
Уровень излучаемой мощ- ности, дБм:										
максимальный	-8					0				
минимальный	-15					-5				
Параметры оптического тракта между точками S и R										
Диапазон допустимых за- туханий, дБ	0...7		0...12			10...28				
Максимальная дисперсия, пс/нм	18	25	96	296	н/п ⁴	246	н/п	н/п	246/296	н/п
Максимальные дополни- тельные потери оптиче- ского тракта, дБ	1									
Параметры приемника в эталонной точке R										
Максимальная чувстви- тельность ⁶ , дБм	-23		-28			-34				
Минимальная перегрузка, дБм						-10				

На участке Грязи Воронежские – Усмань используются оптические интерфейсы уровня STM-1. На рисунке 2.5 все пункты соединены «последовательной линейной цепью».

Расстояния и координаты между пунктами представлены на рисунке 2.5 и сведены в таблицу 2.8, в которой указаны соответствующие этим расстояниям и

предварительно выбранные коды применения.



Рисунок 2.5 – Схема соединения пунктов «последовательной линейной цепью»

При выборе кода применения учтено, что самыми распространенными, доступными и наиболее экономичными являются оптические кабели (ОК) с волокнами рекомендации G.652.

Таблица 2.8 – Таблица кодов применения

Пункты	Грязи Воронежские – 474 км	474 км - Прибыtkовo	Прибыtkовo - Дрязги	Дрязги - Усмань
Расстояние, км	17	18	25	23
Код применения	L-1.1	L-1.1	L-1.1	L-1.1

Исходя из параметров оптического интерфейса STM-1 и параметров оптического кабеля, выполним оценку применимости выбранных кодов. С этой целью для каждого выбранного кода применения необходимо определить максимальную и минимальную протяженность регенерационной секции (длина участка регенерации).

Максимальная $L_{\max \alpha}$ и минимальная $L_{\min \alpha}$ протяженности, определяемые допустимыми потерями между точками S и R , находятся по формулам:

$$L_{\max \alpha} = A_{\max} / \alpha; \quad (2.6)$$

$$L_{\min \alpha} = A_{\min} / \alpha, \quad (2.7)$$

где $A_{\max}$ и $A_{\min}$ – максимальное и минимальное значения перекрываемого затухания соответственно;

α – километрическое затухание (коэффициент затухания) в оптическом кабеле.

В расчетах в курсовом проекте используем следующие значения $A_{\max} = 28 \text{ дБ}$, $A_{\min} = 10 \text{ дБ}$ и $\alpha = 0,5 \text{ дБ/км}$ для рекомендации G.652 на длине волны 1310 нм (код применения L-1.1).

Далее находим максимальную протяженность регенерационной секции

выбранных интерфейсов.

Выбранные интерфейсы соответствуют требованию по максимальной протяженности.

Максимальная длина оптической секции зависит от дисперсии оптического волокна и определяется по формуле:

$$L_{\text{макс } \sigma} = E \cdot 10^6 / (BD_{\text{хр}} \sigma_{\lambda}), \quad (2.8)$$

где B – скорость передачи, Мбит/с;

$D_{\text{хр}}$ – удельная хроматическая дисперсия оптического волокна, пс/нм·км;

σ_{λ} – среднеквадратическая ширина спектра (СШС) источника излучения, нм.

Если ширина спектра определена на уровне -20 дБ ($\Delta\lambda_{-20}$), то СШС:

$$\sigma_{\lambda} = \Delta\lambda_{-20} / 6,07 \quad (2.9)$$

Величина E в формуле (2.8) принимается равной 0,306 для СД и одномодовых лазеров (дополнительные потери в тракте 1 дБ).

Для кода применения L-1.1 величина B принимается равной скорости передачи потока STM-1 ($B=155,52$ Мбит/с); величина удельной хроматической дисперсии $D_{\text{хр}} = 3,5$ пс/нм·км; среднеквадратическая величина спектра излучения $\sigma_{\lambda} = 1$ нм.

Следовательно, для всех участков проектируемой сетевой структуры можно применить оптический кабель с ОВ рекомендации G.652. Основные критерии в выборе оборудования: скорость передачи линейных интерфейсов, дальность передачи, разнообразие пользовательских интерфейсов, способов резервирования, интерфейсы к системам и сети управления TMN, наличие дополнительных интерфейсов для стационарной сигнализации и пр.

3 Инженерный расчет основных показателей ВОЛП

3.1 Расчет длины регенерационного участка

После выбора типа аппаратуры, оптического интерфейса и соответствующих ему оптического волокна и кабеля, выполняется расчет основных показателей линейного тракта проектируемой ВОЛП. К таким показателям относятся:

- длина регенерационного участка или регенерационной секции;
- долговременные и оперативные показатели ошибок цифровых каналов и трактов;
- показатели надежности каналов и трактов.

Основой для расчета показателей линейного тракта ВОСП являются

технические данные оборудования и допустимые нормы на параметры каналов и трактов.

Исходные данные для определения длины регенерационного участка:

- параметры передачи оптического кабеля: коэффициент затухания, удельная дисперсия (в случае одномодового ОК) и коэффициент широкополосности (в случае многомодового ОК);

- параметры аппаратуры и элементов линейного тракта: чувствительность или минимальный уровень приема; информационная скорость сигнала и тип линейного кода; тип источника оптического излучения и его основные параметры; дополнительные потери или энергетический запас оптического тракта и др.

Как правило, при использовании стандартного оборудования линейных трактов совместно с рекомендуемыми для них оптическими кабелями максимально допустимая длина регенерационного участка, определенная по энергетическим характеристикам системы (энергетических потенциал, уровни передачи и приема, затухание регенерационного участка), меньше максимальной длины, определяемой дисперсионными характеристиками или широкополосностью ОК. Поэтому сначала рекомендуется эту длину определять по энергетическим параметрам. Такую длину часто называют длиной участка регенерации, ограниченной затуханием. После этого находят максимальную длину по дисперсионным характеристикам, которую называют длиной участка регенерации, ограниченной дисперсией. В качестве максимальной проектной длины выбирается наименьшая из этих двух.

Очевидно, что затухание на регенерационном участке A_{py} зависит от схемы организации линейного тракта и включенных на кабельном участке разъемных и неразъемных соединителей, а также других пассивных устройств, например оптических развязывающих устройств.

$$A_{py} = nA_p + mA_n + \alpha L + A_n, \text{ дБ}, \quad (3.1)$$

где A_p – затухание разъемного оптического соединителя, дБ;

n – их число;

A_n – затухание неразъемного оптического соединителя, дБ;

m – их число;

α – коэффициент затухания оптического кабеля, дБ/км;

L – длина участка регенерации;

A_n – суммарное затухание всех дополнительных пассивных устройств, включенных на кабельном участке, дБ.

Энергетический потенциал W , приводимый в паспортных данных ВОСП ПЦИ, определяется как разность уровней на передаче и на приеме, причем под уровнем

приема понимается уровень чувствительности, т.е. такой минимальный уровень принимаемого сигнала, при котором обеспечивается заданный коэффициент ошибок. В паспортных данных ВОСП СЦИ энергетический потенциал обычно не приводится, но его легко определить через разность уровней минимальной излучаемой мощности в опорной точке S и максимальной чувствительности в опорной точке R . Очевидно, что энергетический потенциал определяет максимально допустимое затухание оптического сигнала на регенерационном участке. Следовательно, зная величину W , можно найти максимальную длину участка регенерации $L_{\max \alpha}$, ограниченную затуханием. В то же время затухание на регенерационном участке с течением времени может возрасти, а энергетический потенциал снизиться. Причинами этого являются рост затухания кабеля и других пассивных элементов из-за старения и деградации, падение уровня оптической мощности на выходе передатчика и рост уровня чувствительности приемника (температурные влияния, старение и деградация и др.). Поэтому при определении длины участка регенерации, ограниченной затуханием, вводится некоторый запас, состоящий из двух величин:

A_1 – запас на ухудшение параметров пассивных элементов кабельного участка;

A_2 – запас на ухудшение параметров оптоэлектронных компонентов ВОСП.

$$W - A_2 = nA_p + mA_n + \alpha L_{\max \alpha} + A_n + A_1 \quad (3.2)$$

Число неразъемных соединителей равно:

$$m = L_{\max \alpha} / l_{\text{стр}} - 1, \quad (3.3)$$

где $l_{\text{стр}}$ – строительная длина кабеля.

Подставив это значение m в формулу (3.2), получим:

$$L_{\max \alpha} = \frac{W - A_n - nA_p - A_n - \Delta W_3}{\alpha + A_n / l_{\text{стр}}}, \quad \text{км} \quad (3.4)$$

где величина $\Delta W_3 = A_1 + A_2$ называется энергетическим запасом, приводится в технических данных аппаратуры и составляет 1...2 дБ для ВОСП СЦИ.

Обычно $A_n \leq 0,1$ дБ, поэтому затуханием одного неразъемного оптического соединителя можно пренебречь. Тогда можно записать:

$$L_{\max \alpha} = \frac{W - nA_p - A_n - \Delta W_3}{\alpha + A_n / l_{\text{стр}}} \quad (3.5)$$

Приемные устройства оснащаются устройствами автоматической регулировки усиления (АРУ) с пределами регулирования $A_{\text{АРУ}}$, определяющими минимальную

длину регенерационного участка, ограниченную затуханием

$$L_{\min\alpha} = \frac{W - nA_p - A_{\Pi} - \Delta W_3 - A_{APY}}{\alpha + A_n / l_{стр}}, \text{ км} \quad (3.6)$$

Следует отметить, что формулами (3.5) и (3.6) можно пользоваться при расчете длины участка регенерации как ВОСП ПЦИ, так и ВОСП СЦИ. При этом следует помнить, что согласно рекомендации G.957 разъемные соединители оборудования СЦИ (ПдУ и ПрУ) не входят в состав кабельного участка. Кроме того, значения всех величин, входящих в расчетные формулы, должны выбираться из технических характеристик конкретной аппаратуры и оптического кабеля, применяемых на проектируемой ВОЛП. При проектировании ВОСП СЦИ должна обязательно рассчитываться длина $L_{\max\sigma}$. Она может быть определена по формуле (2.8) с учетом параметров оптических интерфейсов применяемой аппаратуры. Кроме того, она может быть рассчитана по перекрываемой величине хроматической и/или поляризационной модовой дисперсии. Если задана хроматическая дисперсия, то:

$$L_{\max\sigma_{хр}} = \sigma_{Пхр} / D_{хр}, \text{ км} \quad (3.7)$$

где $\sigma_{Пхр}$ – перекрываемая хроматическая дисперсия, пс/нм;

$D_{хр}$ – удельная хроматическая дисперсия, пс/нм·км.

После определения длины регенерационного участка по методике, изложенной выше, осуществляется размещение НРП и ОРП в соответствии с топологией сети и проектируемой ВОЛП. Если в соответствии с местными условиями, особенностями выбранной трассы длина регенерационного участка должна быть меньше минимальной, то на входе регенератора в точке R включают оптический аттенюатор.

В курсовом проекте необходимо определить длину регенерационного участка (секции) для ВОСП СЦИ с двухволоконным линейным трактом на основе синхронного транспортного модуля типа МЦП – 155, работающей по кабелю типа ОКЛ-01 на длине волны 1550 нм. Необходимые для расчета основные параметры МЦП – 155 приведены в таблице 3.1. В этой таблице введены новые значения: $p_{пер\ мин}$ – минимальный уровень на передаче и $p_{пр\ мин}$ – минимальный уровень на приеме (уровень чувствительности).

Таблица 3.1 – Параметры МЦП-155 и кабеля ОКЛ-01

Аппаратура МЦП-155				Кабель ОКЛ-01		
$P_{пер\ мин}, \text{ дБм}$	$P_{пр\ мин}, \text{ дБм}$	$A_{APY}, \text{ дБ}$	$\sigma_{Пхр}, \text{ пс / нм}$	$\alpha, \text{ дБ / км}$	$D_{хр}, \text{ пс / нм·км}$	$l_{стр}, \text{ км}$
-4	-32	25	1500	0,24	17	3

При выполнении расчетов будем полагать, что затухание одного неразъемного оптического соединителя $A_n=0,1$ дБ, а энергетический запас $\Delta W_3=2$ дБ.

Воспользовавшись данными таблицы 3.1, определим энергетический потенциал:

$$W = P_{\text{пермин}} - P_{\text{прмин}} = -4 - (-32) = 28 \text{ дБ}$$

Подставив в формулу (3.5) значение энергетического потенциала $W=28$ дБ, потерь в неразъемных соединениях $A_n=0,1$ дБ, энергетического запаса $\Delta W_3=2$ дБ, коэффициента затухания кабеля $\alpha=0,24$ дБ/км и строительной длины $l_{\text{стр}}=3$ км, а также учитывая, что применяется двухволоконный линейный тракт, т.е. на кабельном участке отсутствуют дополнительные пассивные компоненты ($A_{\Pi}=0$), получим:

$$L_{\text{макс}\alpha} = \frac{W - \Delta W_3}{\alpha + A_n / l_{\text{стр}}} = \frac{28 - 2}{0,24 + 0,1 / 3} = \frac{26}{0,27} = 96 \text{ км}$$

Если $A_{\text{APY}} > W$, то $L_{\text{мин}\alpha} = 0$. В нашем случае $A_{\text{APY}} < W$, значит по формуле (3.6) рассчитаем минимальную длину регенерационного участка, ограниченную затуханием:

$$L_{\text{мин}\alpha} = \frac{28 - 0 - 0 - 2 - 25}{0,24 + 0,1 / 3} = 3,7 \text{ км}$$

Длину регенерационной секции, ограниченную дисперсией оптического волокна, определим по формуле (3.7). Если в нее подставить значения $\sigma_{\text{Пхр}}=1500$ пс/нм и $D_{\text{хр}}=17$ пс/нм·км, то получим:

$$L_{\text{макс}\sigma\text{хр}} = \frac{\sigma_{\text{Пхр}}}{D_{\text{хр}}} = \frac{1500}{17} = 88,2 \text{ км.}$$

В качестве максимальной проектной длины выбирается наименьшая из двух рассчитанных, т.е. $L_{\text{макс}}=88,2$ км. Полученное значение близко к значению оптического интерфейса типа L-1.2 для STM-1. Для размещения регенерационных пунктов выбирается несколько меньшее значение длины регенерационного участка, которую с учетом запасов кабеля, можно взять 80 км.

3.2 Расчет параметров качества функционирования каналов и трактов ВОСП

До недавнего времени главным нормативным показателем качества для цифровых систем передачи являлся коэффициент ошибок $K_{\text{ош}}$, или коэффициент ошибок по битам BER.

$$K_{ош} = N_{ош} / T_{изм} F_T, \quad (3.8)$$

где $N_{ош}$ – количество неправильно принятых бит за время измерения $T_{изм}$;

F_T – тактовая частота цифровой последовательности цифрового сигнала, передаваемого по измеряемому каналу или тракту.

Значения $N_{ош}$ и $K_{ош}$ – случайные величины и для получения достоверного значения $K_{ош}$ (BER) требуются продолжительные измерения и усреднение результатов по интервалам времени $T_{изм}$. Максимальная продолжительность измерения $K_{ош}$ для различных трактов ВОСП СЦИ приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Максимальная продолжительность измерения $K_{ош}$

Тракт	F_T , Мбит/с	$K_{ош}$ (BER)				
		10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-12}	10^{-14}
STM-1	155,52	6 мс	0,5 с	64,3 с	1,8 ч	7,4 сут
STM-16	2488,05	0,4 мс	40 мс	4 с	8,7 мин	11,2 с
STM-256	39813,12	25 мкс	2,5 мс	0,25 с	25,1 с	41,9 мин

Детальные исследования причин возникновения ошибок, особенно в высокоскоростных системах передачи, показали ограниченность применения коэффициента ошибок как критерия качества. В настоящее время в качестве критерия оценки качества цифровых каналов и трактов МСЭ-Т рекомендована процентная доля временных интервалов, в которых ошибка превышает порог, нормирующий качество многочисленных услуг электросвязи. Этот критерий состоит из двух параметров: процент секунд с ошибками и процент секунд, пораженных ошибками, причем при пакетированных ошибках новый критерий и средний BER за длительное время будут одинаково оценивать качество функционирования цифровых каналов и трактов высокой и низкой скоростей передачи.

Секунды с ошибками и секунды, пораженные ошибками, в различных соотношениях образуют совокупность показателей ошибок.

3.3 Расчет оперативных норм на показатели качества каналов и трактов ВОСП СЦИ

Для показателей ошибок разработаны следующие виды эксплуатационных норм: долговременные и оперативные. Долговременные нормы для ОЦК основаны на измерении характеристик ошибок за секундные интервалы времени по двум показателям:

- коэффициент ошибок по секундам с ошибками ESR_K ;

- коэффициент ошибок по секундам, пораженных ошибками, $SESR_K$.

Долговременные нормы для ЦСТ основаны на измерении характеристик ошибок по блокам для трех показателей:

- коэффициента ошибок по секундам с ошибками ESR_T ;
- коэффициент ошибок по секундам, пораженных ошибками, $SESR_T$;
- коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками, $BBER_T$.

Предполагается, что при выполнении норм в ЦСТ на показатели ошибок, основанных на блоках, будет обеспечиваться выполнение долговременных норм ОЦК, образованных в этих ЦСТ.

Проверка долговременных норм требует в эксплуатационных условиях продолжительных периодов измерения – не менее одного месяца.

ОЦК считается соответствующим нормам, если отвечает поставленным требованиям каждый из двух показателей ошибок ESR_K и $SESR_K$, а ЦСТ – каждый из трех показателей ошибок ESR_T , $SESR_T$ и $BBER_T$.

Оперативные нормы относятся к экспресс-нормам и требуют для своей оценки относительно коротких периодов измерений. Среди оперативных норм различают следующие нормы: нормы для ввода трактов в эксплуатацию, нормы технического обслуживания и нормы восстановления систем.

Оперативные нормы на показатели ошибок ОЦК и ЦСТ основаны на измерении характеристик ошибок за секундные интервалы времени по двум показателям:

- коэффициент ошибок по секундам с ошибками (ESR);
- коэффициент ошибок по секундам, пораженных ошибками (SESR).

При этом для ОЦК и ЦСТ определения ES и SES соответствуют ранее рассмотренным.

Измерения показателей ошибок в ЦСТ для оценки соответствия оперативных нормам могут проводиться как в процессе эксплуатационного контроля, так и при закрытии связи с использованием специальных средств измерения. Измерения показателей ошибок в ОЦК для оценки соответствия оперативным нормам проводится при закрытии связи.

ОЦК и ЦСТ считаются соответствующими оперативным нормам, если отвечает поставленным требованиям каждый из показателей ошибок – ESR и SESR. Для оценки эксплуатационных характеристик должны использоваться результаты измерений лишь в периоды готовности канала или тракта, интервалы неготовности из рассмотрения исключаются.

Расчет оперативных норм для тракта или секции СЦИ базируется на данных, приведенных в таблицах 3.3 – 3.5.

Таблица 3.3 – Суммарные эксплуатационные нормы на показатели качества по данным кратковременных измерений для трактов 27500 км

Контролируемый объект	Суммарные нормы РО	
	ЕС, %	SES, %
VC-12	2	0,1
VC-2	2,5	0,1
VC-3	3,75	0,1
VC-4	8	0,1
STM-1 (секция или тракт)	8	0,1
STM-4(16) (секция или тракт)	Не применяется	0,1

Таблица 3.4 – Доля суммарных норм для трактов VC-n и компонентных трактов в зависимости от длины

Контролируемый объект, км	Доля суммарных норм D , %
$d \leq 500$	2
$500 \leq d \leq 1000$	3
$1000 \leq d \leq 2500$	4
$2500 \leq d \leq 5000$	6
$5000 \leq d \leq 7500$	8
> 7500	10

Таблица 3.5 – Доля суммарных норм для секций ЕСЭ РФ в зависимости от длины

Контролируемый объект, км	Доля суммарных норм D , %
≤ 100	2
≤ 200	3
> 200	4

Пользуясь приведенными таблицами, последовательно определяют:

- РО – значение показателя ошибок по таблице 3.3;
- АРО – опорное значение показателя для данного тракта (секции) в процессе эксплуатации

$$АРО = РО \cdot D \cdot T, \quad (3.9)$$

где D определяется из таблицы 3.4, 3.5, T – период измерений, с (принимают 1°сутки = 86400 с).

Для секций пересекающей международные границы доля $D = 0,2$. Для национальной сети РФ следует пользоваться данными таблицы 3.5.

BISPO – значение показателя ошибок для приема объекта в эксплуатацию, причем для трактов:

$$BISPO = 0,5 АРО, \quad (3.10)$$

а для секций

$$BISPO=0,1APO \quad (3.11)$$

S_1 – нижний предел для показателя ошибок, обеспечивающий безусловный прием объекта в эксплуатацию:

$$S_1 = BISPO - 2\sqrt{BISPO}, \quad (3.12)$$

S_2 – верхний предел для показателя ошибок, обеспечивающий безусловный отказ от приема объектов в эксплуатацию:

$$S_2 = BISPO + 2\sqrt{BISPO} \quad (3.13)$$

Прием в эксплуатацию осуществляется при определении показателей в течение 24 или 2 часов. Если значение показателей ошибок находится в интервале $S_1 \dots S_2$, то измерение проводят в течение 7 суток.

После определения норм для ввода в эксплуатацию тракта или секции следует определить показатели ошибок для порогов ухудшения качества и недопустимого качества:

- $DPL=0,75APO$ (для трактов VC и компонентных трактов STM-N);
- $DPL=0,5APO$ (для секций STM-N);
- DPL определяется в течение 24 часов;
- UPL определяется по данным таблицы 3.6 (время измерения 15 минут).

И наконец, определяются нормы на качество после ремонта (ARPL):

$$ARPL = 0,5APO \quad (3.14)$$

для трактов VC и компонентных трактов STM-N.

$$ARPL = 0,125APO \quad (3.15)$$

для секций STM-N.

Таблица 3.6 – Данные для определения URL

Показатель ошибок	Контролируемый объект							
	VC-12	VC-2	VC-3	VC-4	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64
ES	120	120	150	180	50	50	65	80
SES	15	15	15	15	10	10	10	10

В курсовом проекте необходимо определить оперативные нормы на показатели ошибок тракта VC-4 длиной 83 км.

Из таблицы 3.3 находим для тракта VC-4 $ES=8\%$, или $ES=0,08$ и $SES=0,1\%$, или $SES=0,001$.

Доля суммарных норм находится из таблицы 3.4: $D=2\%$, или $D=0,02$.

По формуле (3.9) определим значение АРО: для $T_1 = 10 \text{ минут}$, для $T_2 = 2 \text{ часа}$, для $T_3 = 24 \text{ часа}$, для $T_4 = 7 \text{ суток}$. Расчеты округляются до ближайшего целого.

Предельное значение показателя ошибок для приема объекта в эксплуатацию для секции СЦИ определяем по формуле $BISPO=0,5APO$, для $T_2 = 2 \text{ часа}$, для $T_3 = 24 \text{ часа}$, для $T_4 = 7 \text{ суток}$:

По формулам (3.12) и (3.13) определим нижний и верхний пределы для показателей ошибок, обеспечивающих безусловный прием объекта в эксплуатацию, соответственно для $T_2 = 2 \text{ часа}$ и $T_3 = 24 \text{ часа}$.

По формуле (3.14) для $T_3 = 24 \text{ часа}$ определяем нормы на качество секции после ремонта.

После определения норм для ввода в эксплуатацию и оценки качества после ремонта находим по формуле $DPL=0,75APO$ для $T_3 = 24 \text{ часа}$ и по таблице 3.6 ($T_1=15$ минут) определяем показатель ошибок для недопустимого качества (UPL)

Результаты расчетов сведем в таблицу 3.7.

Таблица 3.7 – Результаты расчетов показателя ошибок

Показатель ошибок	Период контроля, Т			
	10 минут	2 часа	24 часа	7 суток
АРО				
BISPO				
S_1				
S_2				
ARPL				
DPL				
UPL				

Измерение на соответствие нормам должны проводиться при эксплуатационных исследованиях, организуемых в рамках работ по повышению качества функционирования сети. Измерения показателей ошибок и коэффициента готовности в трактах ВОСП могут проводиться как с прекращением связи с помощью специальных измерительных приборов, в которых предусмотрено получение стандартизированного для данного тракта измерительного сигнала согласно Рекомендациям МСЭ-Т О.150, О.151, О.181, так и без прекращения связи с помощью встроенных средств эксплуатационного контроля. Цифровой тракт считается соответствующим нормам, если он отвечает требованиям для каждого параметра качества по показателям ошибок.

3.4 Определение показателей надежности ВОЛП

Волоконно-оптическая линия передачи представляет сложную динамическую систему, т.е. совокупность технических устройств или элементов, взаимодействующих в процессе выполнения производственных задач на основе определенной функциональной зависимости. Особенность систем передачи как сложных динамических систем состоит в рассредоточенности их оборудования и аппаратуры на больших территориях, отделенных большими расстояниями.

В теории надежности и эксплуатации сложных систем важным понятием является объект – изделие определенного целевого назначения, рассматриваемое в периоды проектирования, производства, испытаний и эксплуатации. В процессе эксплуатации сложная система и ее компоненты являются объектом технической эксплуатации (ОТЭ).

Комплексным свойством ВОЛП как ОТЭ является надежность, т.е. свойство ОТЭ сохранять во времени значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения: использования по назначению, технического обслуживания и ремонта, хранения и транспортирования. Надежность ВОЛП будем рассматривать в режимах использования по назначению, технического обслуживания и ремонта.

Иногда для большей определенности и конкретизации различают следующие разновидности надежности: эксплуатационную и техническую (номинальную).

Под эксплуатационной надежностью понимается надежность, определяемая в реальных условиях эксплуатации с учетом комплексного воздействия внешних и внутренних факторов, связанных с климатическими и географическими особенностями эксплуатации, реальными режимами работы ОТЭ и условиями его обслуживания.

Важнейшим понятием в теории надежности является отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния ОТЭ, т.е. состояния, при котором значения всех параметров, характеризующих способность ОТЭ выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической документации (НТД). Классификация отказов самая разнообразная, но на стадии технической эксплуатации ОТЭ основными являются эксплуатационные отказы, обусловленные нарушениями установленных правил и/или условий эксплуатации. По характеру изменения отказы как случайные события, подразделяются на внезапные отказы, характеризующиеся скачкообразным изменением одного или нескольких параметров ОТЭ и постепенные отказы, возникающие в результате постепенного изменения значений одного или нескольких параметров ОТЭ.

Отличительный признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния, согласно которым устанавливается факт возникновения отказа, называется критерием отказа. Критерий отказа

устанавливается НТД. Например, под критерием отказа типового канала понимается перерыв связи (снижение уровня более чем на 18 дБ) длительностью более 300 мс.

Процесс обнаружения и устранения отказа, т.е. перевод ОТЭ из неработоспособного состояния в работоспособное, называется восстановлением. По способности к восстановлению ОТЭ подразделяются на восстанавливаемые ОТЭ, использование которых возможно после восстановления, и на невосстанавливаемые ОТЭ, восстановление которых после отказа считается нецелесообразным или невозможным. ВОЛП являются восстанавливаемыми ОТЭ, показатели надежности которых определяются рядом эксплуатационно-технических характеристик, основные из которых:

- параметр потока отказов (интенсивность отказов λ), представляющий собой отношение числа отказов объекта за определенный интервал времени к длительности этого интервала времени при ординарном потоке отказов;

- среднее время наработки на отказ T_o , представляющее собой среднее время между отказами оборудования в часах; параметр потока отказов связан со средним временем безотказной работы соотношением:

$$T_o = 1 / \lambda \quad (3.16)$$

- вероятность безотказной работы $P(t)$ – вероятность того, что в заданном интервале времени t объект будет находиться в работоспособном состоянии;

- среднее время восстановления T_b , характеризующее среднее время, затраченное на восстановление объекта при возникновении отказа; это время складывается из времени поиска и устранения отказа, времени проведения регулировочно-настроечных работ и др.; величина T_b измеряется в часах; величина, обратная времени восстановления, называется интенсивностью восстановления, $1/\mu$,

$$\mu = 1 / T_b \quad (3.17)$$

- коэффициент готовности K_r – вероятность того, что объект будет работоспособен в любой момент времени;

- коэффициент простоя K_n – вероятность того, что объект окажется в неработоспособном состоянии в произвольный момент времени.

Между собой показатели надежности связаны определенными соотношениями. Вероятность безотказной работы в течение времени t

$$P(t) = \exp(-\lambda t) \quad (3.18)$$

Коэффициент готовности связан со средним временем безотказной работы T_o и средним временем восстановления T_b соотношением

$$K_r = T_o / (T_o + T_b) \quad (3.19)$$

Коэффициент готовности связан с коэффициентом простоя

$$K_{\Gamma} = 1 - K_{\Pi} \quad (3.20)$$

В связи с высокими требованиями на коэффициент готовности при расчете показателей надежности систем передачи на основе СЦИ в качестве расчетного показателя наиболее удобно выбрать коэффициент простоя:

$$K_{\Pi} = 1 - K_{\Gamma} = \frac{T_B}{T_O + T_B} \quad (3.21)$$

Отметим, что при оценке реальной готовности следует учитывать среднее время ремонта:

$$T_{\text{рем}} = T_O + T_{\text{задТО}}, \quad (3.22)$$

где $T_{\text{задТО}}$ – среднее время задержки технического обслуживания, определяемое простоями оборудования из-за потерь времени на доставку запчастей.

Требуемые показатели качества и надежности для местной первичной сети (МСП), внутризоновой первичной сети (ВЗПС) и магистральной первичной сети (СМП) ЕСЭ РФ с максимальной протяженностью L_M без резервирования являются строго регламентированными (таблица 3.8).

Среднее число (плотность) отказов ОК за счет внешних повреждений на 100°км в год $M=0,34$. Тогда интенсивность отказов ОК за 1 час на длине трассы ВОЛП L :

$$\lambda_{\text{ОК}} = \frac{ML}{8760 \cdot 100} \quad (3.23)$$

Таблица 3.8 – Показатели качества и надежности сетей связи

Показатель	Канал ТЧ или ОЦК независимо от применяемой ЦСП	ОЦК на перспективной цифровой сети	Оборудование линейного тракта
МСП $L_M = 200\text{км}$			
Коэффициент готовности, Кг	>0,997	>0,9994	0,9987
Среднее время между отказами, То, ч	>400	>7000	>2500
Время восстановления, Тв, ч	<1,1	<4,24	*
ВЗПС $L_M = 1400\text{км}$			
Коэффициент готовности, Кг	>0,99	>0,998	0,99
Среднее время между отказами, То, ч	>111,4	>2050	>350
Время восстановления, Тв, ч	<1,1	<4,24	*
СМП $L_M = 12500\text{км}$			
Коэффициент готовности, Кг	>0,92	>0,982	0,92
Среднее время между отказами, То, ч	>12,54	>230	>40
Время восстановления, Тв, ч	<1,1	<4,24	*
*Для оборудования линейных трактов на МСП, ВЗПС и СМП должно быть: время восстановления необслуживаемого регенерационного участка (НРП) Твнрп<2,5ч (в том числе время подъезда - 2 часа) время восстановления оконечного и обслуживаемого регенерационного пункта Твоп,орп<0,5ч Аремя восстановления оптического кабеля (ОК) Тв ок<10ч (в том числе время подъезда не более 3,5ч)			

При длине канала L , не равной L_M , среднее время между отказами определяется как:

$$T_o(L) = T_o \frac{L_M}{L} \quad (3.24)$$

В данном курсовом проекте требуется рассчитать показатели надежности линейного участка ВОЛП местной первичной сети длиной $L=83$ км на основе оборудования МЦП-155 с пятью пунктами доступа. На первом этапе определим допустимые показатели надежности.

По формуле (3.24) определим среднее время между отказами $T_o(L)$. Подставив в нее значения $L_M=200$ км, $T_o = 400$ ч и длину проектируемой ВОЛП.

По формуле (3.19) определим допустимый коэффициент готовности K_r , подставив в нее значение $T_o = 410$ ч и значение $T_B=1,1$ ч.

Допустимый коэффициент простоя $K_{\text{Пдоп}}$ получим из формулы (3.21), подставив в нее значение допустимого коэффициента готовности $K_{e^{\circ\text{доп}}}=0,9995$.

Среднее время безотказной работы оборудования линейного тракта (ОЛТ) найдем по формуле (3.24), подставив в нее значения $T_o = 2500$, $L_M=200$ км и длину проектируемого участка.

Максимум среднего времени восстановления определяется временем восстановления оптического кабеля, т.е. $T_B = 10$ ч.

Следовательно, можно определить максимальное значение допустимого коэффициента простоя линейного тракта.

На втором этапе определяются ожидаемые показатели надежности. Определим их для ОЛТ.

Для определения показателей надежности оборудования линейного тракта, включающего в себя длину оптического кабеля в километрах с интенсивностью отказов λ_{OK} , числом мультиплексоров ввода/вывода $n_{\text{мин}}$, с интенсивностью отказов каждого $\lambda_{\text{мин}} = 0,8 \cdot 10^{-6} 1/\text{ч}$ следует рассчитать суммарную интенсивность отказов по формуле:

$$\lambda = \lambda_{OK} + \lambda_{\text{мин}} n_{\text{мин}} \quad (3.25)$$

Величину λ_{OK} найдем по формуле (3.23).

По формуле (3.25) найдем интенсивность отказов линейного тракта.

Среднее время безотказной работы линейного тракта:

$$T_o = \frac{1}{\lambda}$$

Максимум среднего времени восстановления определяется временем

восстановления оптического кабеля, т.е. $T_B = 10ч$.

Определим ожидаемый коэффициент простоя и сделаем вывод о необходимости принять дополнительные мероприятия по повышению надежности.

Если рассчитанные показатели надежности проектируемой ВОЛП не удовлетворяют требованиям первичной сети, то применяют различные варианты повышения надежности ВОЛП: либо заменяют наименее надежные компоненты ВОЛП на такой же тип оборудования другого производителя (с лучшими показателями надежности), либо вносят изменения в структурную схему организации связи, вводя резервирование. Можно организовать эксплуатацию ВОЛП на основе оптимальной стратегии восстановления, что в большинстве случаев приводит с точки зрения повышения показателей надежности к такому же эффекту при существенно меньших дополнительных капитальных затратах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шмытинский В.В., Глушко В.П., Казанский Н.А. Многоканальная связь на железнодорожном транспорте. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 704с.
2. Оптические телекоммуникационные системы/В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев, А.Д. Моченов, Р.М. Шарафутдинов; под ред. профессора В.Н. Гордиенко. – М.: Горячая линия, 2011. – 368с.
3. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. – М.: Радио и связь, 2003. – 345с.