

31/8/4

Одобрено кафедрой
«Транспортная связь»

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СВЯЗЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Задание на курсовой проект
с методическими указаниями
для студентов VI курса

специальности

190402 (210700) АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ
НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ (АТС)

специализации

210702 СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ (СПИ)



Москва – 2005

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

С о с т а в и т е л ь — ассист. В.А. Иванов

Р е ц е н з е н т — канд. техн. наук, доц. М.Л. Губенко

В соответствии с учебной программой дисциплины «Многоканальная связь на железнодорожном транспорте» на VI курсе студенты должны изучить теоретическую часть материала и выполнить курсовой проект на тему «Проектирование первичной сети связи железнодорожного транспорта»

Выполнение курсового проекта позволит закрепить и углубить знания студентов, полученные при изучении теоретической части дисциплины на V и VI курсах и применять эти знания, решая практические вопросы организации, проектирования и эксплуатации связи на железнодорожном транспорте.

Вариант исходных данных к проекту студент выбирает по двум последним цифрам своего шифра. В курсовой проект должны войти необходимые расчеты и схемы, а также краткие обоснования принятых решений.

При обосновании того или иного решения или расчета рекомендуется делать ссылки на соответствующую литературу, перечень которой необходимо привести в конце проекта. При выполнении расчетов и построении графиков следует применять соответствующие программные средства: Mathcad, Excel и т.п. Однотипные расчеты многократно повторять не нужно, достаточно лишь свести в таблицу их результаты. Объем расчетно-пояснительной записки не должен превышать 30-35 страниц формата А4. Текст следует располагать на одной стороне листа, оставляя поля, в соответствии с ГОСТами.

В курсовой проект должны входить основные схемы, рекомендованные в методических указаниях. Они должны быть выполнены с учетом действующих ГОСТов и принятых условных обозначений, и не должны выходить за габариты одного или двух стандартных листов.

На обложке курсового проекта должны быть приведены: названия университета, кафедры, дисциплины, а также фамилия и инициалы студента, его домашний адрес.

**ТЕМА КУРСОВОГО ПРОЕКТА:
«ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРВИЧНОЙ СЕТИ СВЯЗИ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»**

Исходные данные к проекту приведены в табл. 1.

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

1. Выбрать оборудование ВОСП в соответствии с необходимым для проектирования числом каналов, указанным в исходных данных. Привести техническое описание выбранной аппаратуры.

2. Изучить требования, предъявляемые к линейным кодам, предназначенным для ВОСП. Дать в работе подробную характеристику кода для выбранной аппаратуры ВОСП, определить к какому классу относится код, построить его энергетический спектр.

3. По известному коду и скорости передачи в ЦСП определить скорость передачи сигнала в линейном тракте.

4. Рассчитать длину регенерационного участка. Определить количество регенераторов. Определить количество оптических усилителей с разными значениями коэффициентов усиления. Рассчитать эквивалентное значение энергетического потенциала. Проверить правильность выбора длины регенерационного участка с учетом дисперсионных свойств оптического волокна. Зарисовать упрощенную структурную схему ВОСП.

5. Определить минимальную детектируемую мощность оптического сигнала, при которой обеспечивается заданное значение отношения сигнал/шум или вероятность ошибки.

6. Определить минимальную излучаемую мощность передающего оптического модуля.

7. Произвести оценку быстродействия ВОСП, учитывая быстродействие модулей ПОМ и ПРОМ, а также уширение импульсов, передаваемых по волоконно-оптической линии передачи.

8. Произвести выбор приемного и передающего оптических модулей, которые удовлетворяют заданным требованиям. Обосновать свой выбор.

Таблица 1

Вариант (последняя цифра учебного шифра)	Длина тракта передачи L , км	Число необходимых каналов, N	Допуск на температурные изменения ВОСП $\Delta T, ^\circ\text{C}$	Наличие схемы температурной компенсации (СТК) в блоке передачи	Ширина полосы оптического излучения источника Δ , нм	Нормированная средняя дисперсия n_s пс/нм·км	Квантовая эффективность фото диода	Полная емкость цепи фото диода C , пф	Коэффициент шума усилителя для ПРОМ F^m	Расчетная температура ПРОМ $T, ^\circ\text{C}$	Коэффициент лавинного умножения фото диода M	Быстродействие ПОМ $t_{пер}$, нс	Быстродействие ПРОМ $t_{пр}$, нс
1	90	24	10	нет	0,5	6	0,7	2	4	20	5	5	2
2	160	115	15	да	0,4	5	0,8	3	5	30	10	1	3
3	190	450	20	нет	0,3	4	0,9	4	6	35	15	2	4
4	320	1500	25	да	0,2	2	0,7	5	7	10	20	3	5
5	210	380	30	нет	0,2	3,5	0,75	10	8	10	25	4	1
6	145	98	10	да	0,3	4,5	0,8	2	3	20	30	5	2
7	300	1220	15	нет	0,4	2,5	0,85	3	4	30	27	1	3
8	120	28	20	да	0,5	5,5	0,9	4	5	15	33	2	4
9	290	420	25	нет	0,2	3	0,7	5	6	25	10	3	5
0	260	86	30	да	0,3	2,5	0,75	6	7	35	15	4	1

Здесь: ВОСП — волоконно-оптические системы передачи;
ПОМ — передающий оптоэлектронный модуль;
ПРОМ — приемный оптоэлектронный модуль.

9. Произвести расчет требуемых показателей надежности проектируемого линейного тракта ВОСП. Проверить показатели надежности и качества каналов передачи выбранной системы на их соответствие полученным требуемым показателям.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Введение

Во введении к проекту объемом не более 1,0...2,0 страниц следует отметить роль и значение многоканальной связи для железнодорожного транспорта, виды и особенности организации первичных сетей связи с учетом административно-хозяйственной его структуры, указать, какие виды линий связи и системы передачи используются и отметить перспективы развития транспортной связи в ближайшие годы.

1. Выбор аппаратуры ВОСП. Техническое описание выбранной аппаратуры

В данном курсовом проекте для построения первичной сети связи рассматриваются следующее мультиплексорное оборудование:

- первичный мультиплексор ОГМ-30Е;
- вторичные мультиплексоры ОВГ-25;
- третичный мультиплексор ТЛС-31;
- синхронный мультиплексор СММ-155.

Многофункциональный мультиплексор ОГМ-30Е предназначен для формирования потоков Е1 путем мультиплексирования аналоговых речевых сигналов и цифровых сигналов данных с возможностью задания режимов работы программным путем. Аппаратура может применяться на сельских, городских, ведомственных, внутризоновых, магистральных сетях связи, а также в сетях оперативно-технологической связи железных дорог в качестве:

- оконечного мультиплексора;
- мультиплексора ввода/вывода;
- мультиплексора ввода/вывода с групповыми каналами;
- кроссировочного мультиплексора;
- конвертора линейной и регистровой сигнализации;

- малой УПАТС — КСМ-60.

В режиме оконечного мультиплексора ОГМ-30Е обеспечивает мультиплексирование до 30 аналоговых каналов или 31 канала передачи данных. Платы аналоговых канальных интерфейсов обеспечивают подключение абонентских телефонных аппаратов, телефонных каналов связи между АТС с различными типами линейной сигнализации. Платы передачи данных обеспечивают скорость передачи данных до 19,2 кбит/с в синхронном режиме и $n \times 64$ кбит/с в асинхронном режиме.

В режиме мультиплексора ввода/вывода ОГМ-30Е использует до 7 потоков Е1. Мультиплексор имеет возможность ввода/вывода любых телефонных каналов в количестве до 30 с соответствующими сигнальными каналами или каналов передачи данных до 30 из любого потока Е1.

Аппаратура вторичного временного группообразования для цифровых систем передачи с линейным оптическим интерфейсом ОВГ-25 предназначена для организации соединительных линий на городских и местных сетях связи.

Основные функции:

- асинхронное мультиплексирование 4-х потоков Е1 в групповой поток Е2 с положительным выравниванием скоростей;
- передача и прием потока Е2 по волоконно-оптическому кабелю;
- электрический интерфейс Е2 по рек. G.703 МСЭ-Т.

Аппаратура третичного временного группообразования с линейным оптическим интерфейсом и сервисными каналами — ТЛС-31 предназначена для организации межстанционной связи по волоконно-оптическому кабелю с возможностью построения протяженных линий с регенерацией оптического сигнала на местных, городских и внутризоновых сетях связи, а также на сетях технологической связи.

Аппаратура СММ-155 предназначена для построения цифровых транспортных сетей и сетей доступа на основе принципов синхронной цифровой иерархии на любых участках взаимовязанной сети связи РФ от магистральной до местных сетей в качестве синхронного мультиплексора уровня STM-1 синхронной цифровой иерархии (SDH).

Аппаратура ВОСП

Аппаратура применяется на магистральных, внутризональных и корпоративных сетях связи, образованных по волоконно-оптическим кабелям или радиолиниям, в качестве:

- оконечного мультиплексора;
- мультиплексора ввода/вывода;
- регенератора.

Аппаратура может включаться в состав систем синхронной цифровой иерархии уровней 4, 16 и выше, имеющих стыки на скорости 155,520 Мбит/с согласно рекомендациям G.703, G.707, G.957 МСЭ-Т.

Основные особенности:

- формирование группового цифрового потока 155,520 Мбит/с путем мультиплексирования до 63 первичных цифровых потоков со скоростью 2048 кбит/с;

- передача и прием группового потока по одномодовому волоконно-оптическому кабелю;

- кроссовая коммутация на уровне VC-12 (кроме регенераторов);

- восстановление синхронизации (retiming) на стыках E1 (до 63);

- локальная и сетевая загрузка программного обеспечения;

Основные технические характеристики аппаратуры ВОСП, необходимые для расчетов, приведены в табл. 2.

2. Описание линейного кода для выбранной аппаратуры

Специфичность оптического сигнала, импульсы которого могут быть только однополярными после преобразования в электрический сигнал, приводит к необходимости использования кодов, специально предназначенных для ВОСП. К этим кодам предъявляются ряд требований:

- ограниченность энергетического спектра сигнала как в области низких, так и высоких частот с целью уменьшения дисперсионных искажений световодов, шумов, межсимвольных помех; упрощение аппаратуры линейного тракта;

- структура линейного кода должна обеспечивать простоту выделения тактовой частоты из цифрового сигнала для фор-

Параметр	Название			
	OGM-30E	ОВГ-25	ТЛС-31	СММ-155
Число стандартных канлов ТЧ	30	120	480	1890
Скорость передачи, Мбит/с	2,048	8,448	35,840	155,520
Линейный код	МСМІ или СМІ	СМІ	NRZ со скремблированием	NRZ со скремблированием
Тип оптического волокна	ООВ	ООВ/МО В	ООВ	ООВ
Длина волны, мкм	1,31	0,85/ 1,3 /1,55	1,3 / 1,55	1,3/ 1,55
Мощность оптического сигнала на выходе, дБм	минус (6 1)	минус (3 1)	1,3 мкм – минус (6 2) 1,55 мкм – минус (3 2)	L-1.1 – 0 минус 5 L-1.2–минус (8-15)
Мощность оптического сигнала на входе, дБм	от минус 6 до минус 45	от минус 6 до минус 48	от минус 6 до минус 42	от минус 8 до минус 54
Затухание ОВ, дБ/км	0,33	0,33	1,3 мкм – 0,33 1,55 мкм – 0,22	0,22
Ширина спектра, нм	н/д	н/д	н/д	L-1.1 – 2,5 L-1.2 – 1
Область применения	местные сети	внутризональные сети	магистральные сети	магистральные сети

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения, которые следует использовать при курсовом проектировании.

мирования импульсов тактовой синхронизации в регенераторах; структура линейного кода должна обеспечивать контроль качества передачи и исправности оборудования линейного тракта без перерыва связи, простоту реализации кодеров и декодеров, максимальную помехоустойчивость.

На выбор типа линейного кода влияют две категории факторов:

1) высокая помехоустойчивость кода, определяющая минимальную мощность оптического сигнала в линии при заданном качестве передачи на фоне принципиально неустранимых помех среды распространения и шумов фотоприемных устройств при условии идеального функционирования устройств синхронизации, высокой стабильности параметров всех компонентов ЦВОСП;

2) простота технической реализации устройств формирования линейного кода.

Основные критерии выбора типа линейного кода сводятся к следующему:

1. Энергетический спектр сигнала $G(f)$ должен быть достаточно узким, чтобы уменьшить широкополосность ОВ и приемных устройств ВОСП и, следовательно, уменьшить мешающее действие дисперсионных искажений ОВ, тепловых и дробовых шумов на входе решающего устройства линейных и станционных регенераторов.

2. Энергетический спектр сигнала не должен содержать постоянной составляющей и иметь малое значение в низкочастотной области.

Первое требование объясняется необходимостью обеспечения высокой точности установки напряжения питания активных элементов линейного тракта ВОСП, введения емкостной развязки между ними, что исключает передачу постоянной составляющей и требует усложнения методов ее восстановления, схем управления порогом ограничения и стабилизации выходной мощности источников излучения. Второе требование связано с уменьшением межсимвольных помех, обусловленных ограничением полосы частот тракта передачи снизу.

3. Энергетический спектр сигнала должен быть ограничен сверху, что позволяет снизить межсимвольные помехи, обусловленные ограничением полосы частот сверху.

4. Структура линейного кода ЦВОСП должна обеспечивать простейшее выделение тактовой частоты из цифрового сигнала

для формирования импульсов тактовой синхронизации регенераторов.

Реализация устройств выделения тактовой частоты тем проще, чем больше в цифровом сигнале переходов вида «10» или «01». Такую возможность открывает скремблирование исходного цифрового сигнала на выходе каналообразующей аппаратуры (КОА) типовых ЦСП. Под скремблированием понимается преобразование цифрового сигнала без изменения скорости передачи с целью приближения свойств сигнала к свойствам случайного цифрового сигнала электросвязи.

5. Структура линейного кода должна обеспечивать: максимальную помехоустойчивость, что позволит увеличить длину регенерационного участка и тем самым повысить технико-экономические показатели ЦВОСП; контроль качества передачи и исправности оборудования линейного тракта без перерыва связи; простоту реализации и эксплуатации устройств кодирования и декодирования.

И последнее: форма импульсов линейного кода должна соответствовать оптическим характеристикам передачи электронно-оптических и оптоэлектронных преобразователей, а также ОВ.

Естественно, реализация всех требований при выборе конкретного типа линейного кода практически невозможна и поиск оптимальных характеристик лежит на пути компромиссных решений, учитывающих особенности оптического диапазона ноли, элементной базы ВОСП и специфику уже существующих систем передачи проводной связи.

Линейный код СМІ (Coded Mark Inversion code) – двухуровневый без возвращения к нулю двоичный код класса 1В2В.

Особенностью данного кода является сочетание простоты кодирования и возможности выделения тактовой частоты заданной фазы с помощью узкополосного фильтра. Код строится на основе кода НДВ-3. Здесь символ «+1» преобразуется в кодовое слово 11, символ «-1» – в кодовое слово 00, символ «0» – 01. Для СМІ характерно значительное число переходов, что свидетельствует о возможности выделения последовательности тактовых импульсов. Текущие цифровые суммы кодов име-

ют ограниченное значение. Это позволяет контролировать величину ошибки достаточно простыми средствами. Число одноименных следующих друг за другом символов не превышает двух – трех. Избыточность кода СМІ можно использовать для передачи служебных сигналов. Применяя для этой цели запрещенный в обычном режиме блок 10, а также нарушение чередований 11 и 00.

В простейшем случае потенциального кодирования логическую единицу можно представлять высоким потенциалом, а логический нуль – низким. Подобный способ представления сигнала получил название «кодирование без возврата к нулю, или кодирование NRZ (Non Return to Zero)». Под термином «без возврата» в данном случае понимается то, что на протяжении всего тактового интервала не происходит изменения уровня сигнала. Метод NRZ прост в реализации, обладает хорошей распознаваемостью ошибок, но не обладает свойством самосинхронизации. Отсутствие самосинхронизации приводит к тому, что при появлении длинных последовательностей нулей или единиц приемник лишен возможности определять по входному сигналу те моменты времени, когда нужно в очередной раз считывать данные. Поэтому незначительное рассогласование тактовых частот приемника и передатчика может приводить к появлению ошибок, если приемник считывает данные не в тот момент времени, когда это нужно. Особенно критично такое явление при высоких скоростях передачи, когда время одного импульса чрезвычайно мало (при скорости передачи 100 Мбит/с время одного импульса составляет 10 нс). Другим недостатком кода NRZ является наличие низкочастотной составляющей в спектре сигнала при появлении длинных последовательностей нулей или единиц. Поэтому код NRZ не используется в чистом виде для передачи данных.

Скремблирование (scramble — перемешивание) заключается в перемешивании исходной последовательности нулей и единиц с целью улучшения спектральных характеристик и самосинхронизирующих свойств результирующей последовательности битов. Осуществляется скремблирование путем побитовой операции исключающего ИЛИ (XOR) исходной последова-

тельности с псевдослучайной последовательностью. В результате получается «зашифрованный» поток, который восстанавливается на стороне приемника с помощью дескремблера.

Энергетический спектр последовательности импульсов состоит из двух частей: дискретной $G_d(f)$ и непрерывной $G_n(f)$. Наличие дискретной составляющей в виде тактовой частоты и ее гармоник свидетельствует о возможности выделения тактовой частоты с помощью фильтров. Непрерывная составляющая нормированных, энергетических спектров последовательностей импульсов прямоугольной формы с единичной амплитудой может быть рассчитана по формулам:

$$G_f = \frac{T}{2} \cdot \frac{\sin(\pi f T)}{(\pi f T)^2} \quad \text{— для NRZ кода,} \quad (1a)$$

$$G_f = \frac{T}{8} \cdot \frac{\sin^2(\pi f T / 2)}{(\pi f T / 2)^2} \quad \text{— для RZ (1B2B) кода.} \quad (16)$$

При выполнении курсового проекта студентам необходимо ознакомиться с линейными кодами цифровых ВОСП, представленных в [1, п.5.3; 2] и по лекциям. Дать в работе подробную характеристику коду для выбранной аппаратуры ВОСП, построить энергетический спектр выбранного линейного кода.

3. Определение скорости передачи сигналов в линии для данного кода

При построении большинства оптических кодов исходная электрическая комбинация в виде простейшего кода NRZ (Non Return to Zero — без возврата к нулю) перекодируется, причем каждым m импульсам исходного кода сопоставляются n импульсов линейного оптического кода, где $n > m$. Отсюда формула кода $mBnB$. При этом тактовая частота линейного оптического сигнала

$$f_E = \frac{n}{m} \cdot f_T, \quad (2)$$

где f_T — тактовая частота исходной цифровой последовательности.

На основе формулы (2) по известному коду и скорости передачи ЦСП может быть определена скорость передачи сигнала в линейном тракте. Все дальнейшие расчеты в курсовом проекте ведутся на основе значения частоты f_d [МГц], что соответствует численно величине B — скорости передачи в линии в МБит/с.

Скремблирование не приводит к увеличению количества импульсов в линейном коде, поэтому при использовании кода NRZ со скремблированием тактовая частота исходной цифровой последовательности и линейного оптического сигнала совпадают.

4. Размещение линейных регенераторов. Расчет и оптимизация длины регенерационного участка

В данном курсовом проекте отсутствует привязка к конкретной трассе прокладки кабеля, что не вызывает необходимости учета топологии трассы (рельеф, горы, реки и т.д.). Поэтому можно воспользоваться принципом равномерного распределения регенераторов, максимально используя кратность целому числу строительных длин кабеля.

Элементарный кабельный участок — вся физическая среда передачи между соседними окончаниями участка. Окончание участка — граница, выбранная условно в качестве стыка оптического волокна с регенератором. Точка S — линейная сторона оптического шнура на оптическом кроссе в точке окончания участка на передающей стороне.

Точка R — линейная сторона оптического шнура на оптическом кроссе в точке окончания участка на приемной стороне.

Для расчета и оптимизации длины регенерационного участка руководствуются двумя параметрами: суммарным затуханием регенерационного участка и дисперсией оптического волокна (ОВ).

Расчетная формула длины регенерационного участка с учетом всех потерь, имеющих место в линейном тракте, имеет вид

$$l_{py} \leq (\Theta_{\Pi} - a_{pc} \cdot n_{pc} - a_{nc} \cdot n_{nc} - a_t - a_B) / (a + a_{nc} / l_c). \quad (3)$$

Здесь Θ_{Π} — энергетический потенциал ВОСП, дБ, определяемый как разность $\Theta_{\Pi} = P_{\text{вх}} - P_{\text{вых}}$, указываемые в технических характеристиках ВОСП; a — коэффициент затухания оптического волокна, дБ/км, для одномодовых волокон это значение составляет 0,22 дБ/км; n_{pc} — число разъемных соединителей (их количество равно двум, они установлены на вводе и выводе оптического излучения в ОВ); a_{pc} — потери в разъемном соединителе, дБ; n_{nc} — число неразъемных соединителей на участке регенерации, a_{nc} — потери в неразъемном соединителе, дБ; a_t — допуск на затухание потерь оптического волокна с изменением температуры; a_B — допуск на затухание потерь, связанных с ухудшением характеристик компонентов регенерационного участка (источники излучения — кабель — приемники излучения) со временем.

Величина Θ_{Π} характеризует необходимый перепад уровней для нормальной работы аппаратуры, а остальные члены в скобках формулы (3) — суммарные потери участка регенерации.

Расчет проводится для всего тракта передачи. Сначала определяется число строительных длин на рассматриваемом участке:

$$n_c = \frac{L}{l_c}, \quad (4)$$

где $l_c = 4$ км — строительная длина кабеля.

Общее число строительных длин для участка передачи определяет число неразъемных соединителей:

$$n_{nc} = n_c - 1, \quad (5)$$

Величина α задана в исходных данных для выбранного кабеля. Значения величин a_{nc} и a_{pc} приведены в табл. 3, 4.

Т а б л и ц а 3

Потери в неразъемных соединителях

Соединитель	SM
Соединитель с потерями 0,3 дБ	0,05 (50% потерь)
Соединитель с потерями 0,1 дБ	0,10 (100% потерь)

Таблица 4

Потери в разъёмных соединителях (для одномодовых волокон)

òèì ðàçúíáí à	ì àèñèì àèúíú à ííçàðè, àÄ	ì èíèì àèúííà çàðççáíèà íçðæ áíèÿ, àÄ
FC/PC	0,5	30
FC/SPC	0,4	40
FC/APC	0,5	58

Выбор типа разъема производится самостоятельно. В пояснительной записке указывается тип выбранного разъема и его характеристики.

Допуски на температурные изменения параметров ВОСП даны в табл. 5.

Таблица 5

Допуски на температурные изменения ВОСП

Èñííèùçíàáíèà ñçáì çáì íà- ðàççóííé èíííáíñàçèè	ì áðáíáà çáì íáðà- ççð, °Ñ	Äííóñè íà ííçàðè à, àÄ
í àò	10... 30	4
í àò	10	2
Äà	10... 30	1
Äà	10	0

Для определения допуска на потери от старения во времени необходимо определить комбинацию источников излучения передатчика и приемника. Эта комбинация определяется согласно рис.1 для заданного энергопотенциала \mathcal{E}_n , дБ выбранной аппаратуры и скорости передачи в линии B , МБит/с, определенной в пункте 3.

В курсовом проекте необходимо определить комбинацию источника излучения передатчика и приемника излучения по рис. 1, а затем по табл. 6 найти допуски на потери a_B , дБ.

Таблица 6

Допуски на потери от старения во времени элементов

Èííàèíàðèÿ ÿèáíáíçáíà	ÑÈÄ + ðííÔÄ	ÑÈÄ + ÈÔÄ	ÈÄ + ðííÔÄ	ÈÄ + ÈÔÄ
Äííóñèè íà ííçàðè áà, àÄ	2... 3	3... 4	4... 5	4... 6

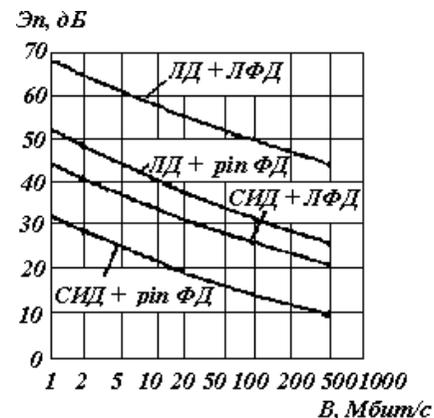


Рис. 1. Зависимость, связывающая допустимое затухание между передающими и приемными модулями для различных комбинаций источников и приемников излучения (ЛД — лазерный диод, СИД — светоизлучающий диод, ФД — фотодиод, ЛФД — лавинный фотодиод)

Исходя из полученных значений величин a_{pc} , a_{nc} , a_l , a_B , и, используя формулу (3), определим длину регенерационного участка l_{py} .

Если по результатам расчетов заданная длина тракта передачи $L > l_{py}$, то необходимо применение регенераторов или оптических усилителей (ОУ).

Для определения количества регенераторов, которые необходимо установить на линии, используем формулу (6):

$$N_{\text{оу}} = \frac{L}{l_{\text{оу}}} - 1, \tag{6}$$

где L — длина линии, км;

l_{py} — максимальная длина регенерационного участка для выбранной аппаратуры, км, рассчитанная по формуле (3).

Выходная оптическая мощность наиболее распространенных оптических усилителей (EDFA) составляет

$$P_{\text{вых оу}} = 12 \div 24 \text{ дБм.}$$

Для определения требуемого количества оптических усилителей $N_{\text{ОУ}}$ необходимо рассчитать длину регенерационного участка одного ОУ $l_{\text{оу}}$:

$$l_{\text{оу}} \leq (P_{\text{вых оу}} - a_{\text{рс}} \cdot n_{\text{рс}} - a_{\text{нс}} \cdot n_{\text{нс}} - a_3) / (a + a_{\text{нс}} / l_c). \quad (7)$$

В формуле (7) по сравнению с формулой (3) вместо энергетического потенциала ВОСП подставляется значение выходной мощности оптического усилителя, а вместо допусков на температурные изменения ВОСП и потерь от старения во времени элементов используется коэффициент запаса, который принимается равным $a_3 = 2$ дБ.

Расчет количества оптических усилителей произвести для максимального и для минимального значений выходной мощности, т.е. сначала рассчитать для $P_{\text{вых оу}} = 12$ дБм, потом для $P_{\text{вых оу}} = 24$ дБм.

При определении количества неразъемных соединений по формулам (4), (5) вместо заданной длины участка L применяется разность $(L - l_{\text{пу}})$.

Тогда требуемое число ОУ определится приближенно по формуле (8)

$$N_{\text{тб}} = \text{int}\left(\frac{L - l_{\text{оу}}}{l_{\text{тб}}}\right), \quad (8)$$

где $\text{int}(x)$ — целая часть числа x .

Эквивалентное значение энергетического потенциала \mathcal{E}_e рассчитывается по формуле (9):

$$\mathcal{E}_e = \mathcal{E}_{\text{п}} + P_{\text{вых оу}} \cdot N_{\text{оу}}. \quad (9)$$

Расчеты \mathcal{E}_e также произвести для обоих значений коэффициентов усиления ОУ. В пояснительной записке пояснить физический смысл эквивалентного значения энергетического потенциала.

После проведения расчетов необходимо зарисовать структурную схему ВОСП, указав на ней оптические усилители. Упрощенная схема размещения оптических усилителей в волоконно-оптическом тракте приведена на рис. 2.

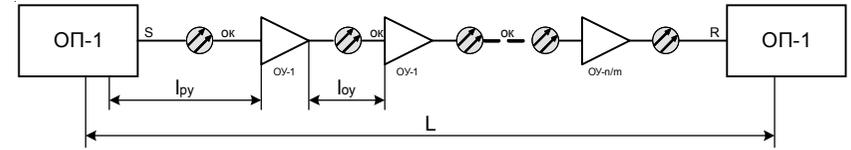


Рис. 2. Схема размещения ОУ

Правильность выбора длины регенерационного участка $l_{\text{пу}}$ необходимо также проверить с учетом дисперсионных свойств оптического волокна.

Максимальная длина регенерационного участка с учетом дисперсии ОВ выбирается из условия

$$l_{\text{max}} \leq 0,25 / \sigma \cdot B, \quad (10)$$

где B — скорость передачи информации, бит/с;

σ — среднее квадратичное значение дисперсии выбранного оптического волокна, с/км.

Для одномодовых оптических волокон задается нормированная среднее квадратичная дисперсия $\sigma_{\text{н}}$, нс/(нм·км) или пс/(нм·км).

Величина σ определяется в этом случае по формуле:

$$\sigma = K \cdot \Delta\lambda \cdot \sigma_{\text{н}}, \quad (11)$$

где $K = 10^{-12}$ в случае $\sigma_{\text{н}}$ [нс/(нм·км)];

$K = 10^{-9}$ в случае $\sigma_{\text{н}}$ [пс/(нм·км)];

$\Delta\lambda$ — ширина полосы оптического излучения, нм, определяемая из справочных данных соответствующего источника излучения. Для светодиодов $\Delta\lambda = 25 - 40$ нм, для лазерных диодов $\Delta\lambda = 0,2 - 0,5$ нм (в работе $\sigma_{\text{н}}$ и $\Delta\lambda$ задается в задании).

Длина регенерационного участка, полученная на основе этого расчета, должна быть больше длины регенерационного участка

$$l_{\text{max}} \geq l_{\text{пу}}.$$

Общий алгоритм выбора длины участка регенерации представлен на рис. 3.

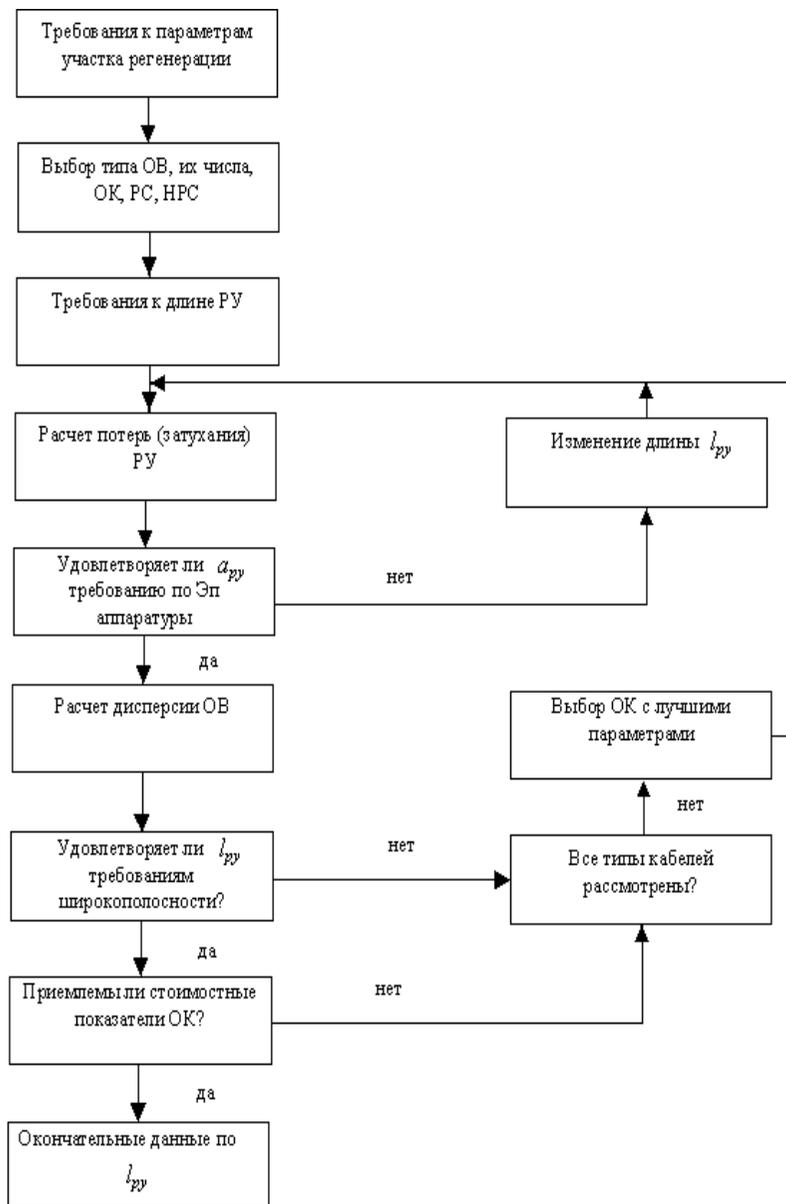


Рис. 3. Общий алгоритм выбора длины участка регенерации

5. Расчет минимальной детектируемой мощности оптического сигнала

Одним из наиболее важных параметров приемника оптического излучения является минимальная обнаруживаемая мощность оптического сигнала, при которой обеспечивается заданное значение отношения сигнал-шум или вероятности ошибки. Это значение получило название минимальной детектируемой мощности (МДМ). Для внутризоновых первичных сетей вероятность ошибки в расчете на 1 км длины линейного тракта не должна превышать $p' \leq 1,67 \cdot 10^{-10}$, для магистральных сетей $p' \leq 1,67 \cdot 10^{-11}$, для местных сетей $p' \leq 1,67 \cdot 10^{-9}$. Исходя из этих значений вероятности ошибки, можно определить вероятность ошибки для полученной длины регенерационного участка.

$$P_{\text{ош}} = p' \cdot l_{\text{ру}} \quad (12)$$

Используя значение вероятности ошибки на участке регенерации, можно определить с помощью зависимости вероятности ошибки $p_{\text{ош}}$ от защищенности A_3 (рис. 4) численное значение защищенности на входе регенератора.

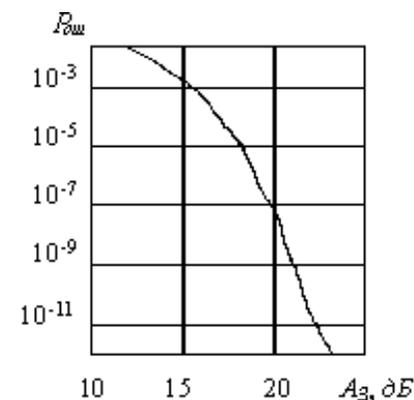


Рис. 4. Зависимость вероятности ошибки $P_{\text{ош}}$ от защищенности A_3 на входе устройства цифрового регенератора

Защищенность A_3 определяется отношением сигнал-шум применительно к приемному оптическому модулю (ПРОМ):

$$A_3 = 10 \cdot \lg \frac{\bar{i}_c^2}{\bar{i}_T^2 + \bar{i}_a^2 + \bar{i}_{c\phi}^2}, \quad (13)$$

где \bar{i}_c^2 — среднеквадратичное значение полезного тока сигнала;
 \bar{i}_T^2 — среднеквадратичное значение тока тепловых шумов на эквивалентном сопротивлении нагрузки;
 \bar{i}_a^2 — среднеквадратичное значение тока дробовых шумов фотодиода;
 $\bar{i}_{c\phi}^2$ — среднеквадратичное значение собственных шумов усилителя, приведенных к его входу.

Вводимые обозначения и дальнейшие расчетные величины иллюстрируются рис.5.

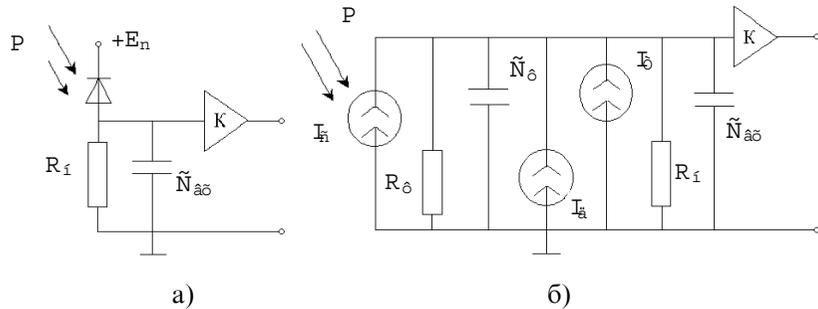


Рис.5. а) Схема входной цепи фотодетектора ПРОМ, б) Эквивалентная схема этой же цепи с учетом шумовых источников

На рис. 5 приняты следующие обозначения:

P — мощность падающего светового сигнала на фотодиод;

I_c — фототок полезного сигнала на выходе фотодиода;

R_ϕ — динамическое сопротивление фотодиода;

C_ϕ — емкость р-п перехода фотодиода;

I_d — ток дробовых шумов фотодиода;

I_T — ток тепловых шумов нагрузки R_n цепи фотодиода (входным сопротивлением усилителя K пренебрегаем).

Для расчета защищенности A_3 в случае применения р-и-п фотодиодов применяется формула (14), в которой учитываются тепловые шумы нагрузки в цепи фотодиода, а также шумы предварительного каскада усиления.

$$A_3 = 10 \lg \frac{S^2 P^2}{8kTB \frac{F_\phi}{R}}, \quad (14)$$

где F_ϕ — коэффициент шума усилителя;
 S — чувствительность фотодиода:

$$S = \eta \lambda q / h. \quad (15)$$

Здесь η — квантовая эффективность фотодиода;

q — заряд электрона;

λ — длина волны излучения, мкм;

h — постоянная Планка.

С учетом значения q и h формула (15) трансформируется в формулу

$$S = 0,8\eta\lambda, \text{ [A/Вт]}, \quad (16)$$

k — постоянная Больцмана;

T — температура по Кельвину. Для $T = 300^\circ$ по Кельвину:

$$k \cdot T = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 = 4,14 \cdot 10^{-21}, \text{ [ВЧКулон]}.$$

Величина R — эквивалентное сопротивление фотодиода, учитывающее динамическое сопротивление фотодиода, его цепей смещения и входное сопротивление усилителя, может быть определена из условия обеспечения необходимой широкополосности ПРОМ с учетом емкости $C = (C_\phi + C_{вх})$:

$$R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot B}, \quad (17)$$

где B — ширина полосы пропускания фотодиода (скорость передачи).

Из формулы (14) можно определить мощность излучения на входе фотодиода P , удовлетворяющую условию реализации МДМ оптического сигнала:

$$P = \frac{2}{S} \cdot \sqrt{2 \cdot k \cdot T \cdot B \cdot \frac{F_{\phi}}{R} \cdot 10^{0,1 \cdot A_3}}. \quad (18)$$

В случае применения лавинного фотодиода приближенная формула для расчета P выглядит следующим образом:

$$P = \frac{2}{S \cdot M} \cdot \sqrt{2 \cdot k \cdot T \cdot B \cdot \frac{F_{\phi}}{R} \cdot 10^{0,1 \cdot A_3}}, \quad (19)$$

где M — коэффициент лавинного умножения фотодиода.

6. Определение минимальной излучаемой мощности передающего оптического модуля.

По значению мощности P можно определить уровень оптического МДМ-сигнала:

$$P_{\text{идм}} = 10 \lg \frac{P}{P_0}, \quad [\text{дБм}] \quad (20)$$

где $P_0 = 1$ мВт, и значение P также должно измеряться в мВт.

По значению $P_{\text{пр.мин}}$ определяем минимальный уровень излучения передающего оптического модуля (ПОМ):

$$P_{\text{пер.мин}} = P_{\text{пр.мин}} + a_{\text{пу}}, \quad [\text{дБм}]. \quad (21)$$

где $a_{\text{пу}}$ — сумма всех затуханий на одном регенерационном участке

$$a_{\text{пу}} = \alpha + a_{\text{рс}} \cdot n_{\text{рс}} + a_{\text{нс}} \cdot n_{\text{нс}} + a_t + a_B. \quad (22)$$

По величине $P_{\text{пер.мин}}$ определим минимальную мощность модуля ПОМ:

$$P_{\text{идм}} = 10^{0,1 \cdot P_{\text{идм.мин}}}, \quad [\text{дБм}]. \quad (23)$$

7. Оценка быстродействия ВОСП в целом

Возможности выбранной ВОСП можно оценить в целом, учитывая быстродействие модулей ПОМ и ПРОМ, а также уширение импульсов, передаваемых по волоконно-оптической линии передачи. Общее ожидаемое быстродействие определяется как [1]:

$$t_{\text{из}} = 1,111 \cdot \sqrt{(t_{\text{ид}}^2 + t_{\text{пд}}^2 + t_{\text{ла}}^2)}, \quad (24)$$

где $t_{\text{пер}} = 0,5-10$ нс — быстродействие различных передающих оптических модулей;

$t_{\text{пр}} = 0,2-20$ нс — быстродействие приемных оптических модулей;

$t_{\text{ов}}$ — уширение импульса на длине регенерационного участка

$$t_{\text{ов}} = \sigma \cdot l_{\text{пу}}. \quad (25)$$

Значение величины σ берется из формулы (11).

В то же время допустимое быстродействие ВОСП определяется скоростью передачи и характером передаваемого сигнала:

$$t_{\Sigma} = \beta / B, \quad (26)$$

где β — коэффициент учета характера кода линейного сигнала, $\beta = 0,7$ для кода NRZ и $\beta = 0,35$ для всех других кодов.

Если в результате расчета по формулам (24) и (26) $t_{\text{ож}} < t_{\Sigma}$, то выбор типа ОК и длины $l_{\text{пу}}$ сделан верно, и величина

$$\Delta t = t_{\Sigma} - t_{\text{ож}}, \quad (27)$$

называется запасом системы по быстродействию.

8. Выбор приемного и передающего оптических модулей

В табл. 7, 8, 9 приводятся данные по источникам излучения и фотоприемникам, применяемым в ВОСП в России и западных странах. Выберите из представленных приборов такую комбинацию, которая удовлетворяет заданным требованиям. Обоснуйте Ваш выбор.

Таблица 7

Данные источников излучения ВОСП производства России

Òèì èñîí+- íèèà èçëó-áíèÿ	Ä èèíà áíèíó èçëó-áíèÿ, í èì	Ø èðèíà ííèííó, íì	Ì ìò - íííóò èçëó- +áíèÿ, íÀð	Ï ðáááèü- íáÿ × àñîíòà ì íáðèÿ- òèè, Ì Äö	Ðááí- +èé òíè, íÀ	Í àíðÿ- æ áíèèà íà àèíáá, Ä
ÈÈÍÍ 103	0,82... 0,91	4	5	-	-	-
ÈÈÍÍ 203	0,81... 0,88	3	1... 3,5	250	30... 12 5	1,5... 2,3
ÈÈÍÍ 204	0,81... 0,88	1... 2	-	15	100	1,6... 2
ÈÈÍÍ 301-1	0,81... 0,89	-	0,1	18	200	2,5
ÇÈ 132	1,2... 1,35	-	0,01	-	50	-
ÇÈ 135	0,82... 0,9	-	0,15	-	100	-

Таблица 8

Данные приемников излучения (фотодиодов) ВОСП производства России

Òèì íðè- áí íèèà èçëó-á- íèÿ	Ñòðèèó- ðà	Ë íðááðèü- íáÿ +óáñ- àèòáèü- íííóò, Ä Äö	Áóííóí- ááèñ- àèà, íí	Òáí - ííáíé òíè, íÀ	Ä èáíàçíí ñíáé- òáèüííé +óá- ñàèòáèüííòè í èì	Ðááí+áá- íáðÿ- æ áíèèà, Ä
Ô Ä 227	p-in	0,3	20	100	0,4... 1,1	20
Ô Ä 252	p-in	0,45	1	10	0,5... 1,2	5
ÈÔ Ä 2À	ÈÔ Ä	3,9	20	300	0,5... 1,6	50
Ô Ä 271	p-in	0,2	5	5	0,5... 1,2	5

Таблица 9

Параметры фотодиодов ВОСП зарубежных фирм

Òèì	Ì áòáèèè	Ä èèáíó è áèáí áöð, í èì	Ñ íáèòáèüííé áèáíàçíí, í èì	Ä íðááðèü- íáðèíáá òñèáíèé	Òáí ííáíé òíè, íÀ	Ñ íáò áíèèà, Ä	Áíèííóò, íÓ	Ðááí+áÿ çáí íáðáóðà, Ñ	× óáñàèòáèüííóò, Ä/Äö	Ó èðí à
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
pin-Ô Ä	Si	0,64 ì ì ²	0,55...1,0	1	1	20	5	25	0,6	AEG-
pin-Ô Ä		0,25 ì ì ²	0,55...1,0	1	1	5	1		0,6	Telefunken
pin-Ô Ä		0,03 ì ì ²	0,55...0,91	1	1	100	0,8		0,2	
ÈÔ Ä		0,03 ì ì ²	0,45...0,95	-	1	100	1		40	
ÈÔ Ä		0,03 ì ì ²	0,45...0,95	-	1	100	0,85		40	

Окончание табл. 9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ÈÔ Ä	Si	240	0,55...1,1	-	1	150	1,3	-	-	California
ÈÔ Ä	Ge	100	1,3	-	0,2	20	2,0	-	-	Eastern
pin-Ô Ä	Si	-	0,6...1,1	-	1	1,5	-	-	-	Labs
Ô Ä	Ge	240	1,2...1,5	-	500	6	10	-	-	(ÑÔ Ä)
Ô Ä	Si	2000	0,5...1,0	-	300	90	4,0	25	0,6	Ford
Ô Ä	Ge	1000	1,1...1,7	-	7500	10	40	25	1,0	Aerospace
pin-Ô Ä	InGaAs	100	1,0...1,6	-	40	15	1	-10...+80	0,63	General
										Optonics
										(ÑÔ Ä)
pin-Ô Ä	GaInAs	500	1,0...1,65	1	500	-1	30	25	0,5	Lasertron
pin-Ô Ä		1500	1,0...1,65	1	1000	-1	400	25	0,5	Inc.
										(ÑÔ Ä)
pin-Ô Ä	-	2500	0,87...1,2	-	40	-30	6	-20...+70	0,45	M et
ÈÔ Ä	-	80	-	-	60	300	-	-	0,6	Inc.
pin-Ô Ä	-	2500	0,6...1,1	-	-	-5-15	-	-20...+70	-	(ÑÔ Ä)
ÈÔ Ä	Si	240	0,4...1,0	600	1	150	1,3	-65...+150	0,47	NEC
pin-Ô Ä	Si	440	0,6...1,1	-	1	10	2,8	-65...+150	0,47	Electronics
ÈÔ Ä	Ge	100	1,0...1,6	400	500	20	2,0	-40...+60	0,78	(ÑÔ Ä)
Ô Ä	Ge	240	1,1...1,6	-	1000	6	7,0	-40...+60	0,78	
Ô Ä	Si	75	0,5...0,95	1	-	-	-	-	0,2	Opto -
Ô Ä	Ge	75	1,1...1,7	1	-	-	-	-	0,25	Electronics
ÈÔ Ä	Si	200	0,5...0,95	30	-	-	-	-	0,2	LTD
ÈÔ Ä	Ge	100	1,1...1,7	8	-	-	-	-	0,2	(ÑÔ Ä)
Ô Ä	Ge	500	1,1...1,7	-	-	-	-	-	18	
ÈÔ Ä	Si	200	0,4...1,05	100...7	0,3	-	1,5	0...+40	250	Photon
ÈÔ Ä	Ge	350	0,4...1,7	00	1000	-	5	0...+40	2,0	Kinetics
				0,6...1,1						LTD (ÑÔ Ä)
pin-Ô Ä	Si	100	0,6...0,95	-	0,3	-12	3	-20...+70	0,4	Plessey
pin-Ô Ä	GaInAs	100	1,0...1,35	-	15	-5	1	-40...+40	0,5	(Ä íáèèÿ)
pin-Ô Ä	GaInAsP	50	1,0...1,35	-	40	+5	1	-25...+70	-	
(FET)										

В табл. 10 и 11 приводятся данные передающих и приемных оптических модулей производства России и Германии. Если какие-либо из представленных ПОМ и ПРОМ удовлетворяют Вашему заданию, то отразите это в Вашей работе.

Параметры передающих оптических модулей производства России и Германии

ĭ äðàì äòð	ĭ ĭ Ä -1-1Ä (Ä) ĭ ĭ Ä -1-2Ä (Ä) ĭ ĭ Ä -1-3Ä (Ä)	ĭ ĭ Ä -3-1	ĭ ĭ Ä 4-1	ĖÝĭ -8- 4ĭÄ Ä (Ä)	ĖÝĭ -34- 4ĭÄ	ĭ 1321Đ	Ó 23800
Nðäiÿÿ ĭ ñü ĭñüü èçó-áíëÿ, ĭÄò	1 (2)*	—	0,5	1	1	1,2	0,008
Äëëíááíëíü èçó-á- íëÿ, ĭëì	0,78... 0,88	0,85	1,3	0,82... 0,88	0,82... 0,88	1,3	1,285...1,35 5
Ø èðë íá ñü äéòä èçó- -áíëÿ, ĭÄ	1 (2)	—	—	4	4	1	160
ĭ äëñëì äëüíäÿ ñëí- ðíñü ĭäðäá-è, ĭ äéò/ñ	17	0,8... 0,95	—	17	50	1000	200
ĭ äðäíçèá íá ìðéäç, +	1.5·10 ⁴	—	10 ⁴	10 ³	10 ³	10 ³	—
Ė ĭ çðäáë ðäáí-èò çáì ĭäðòð, °C	-60... +55	-60... +85	-60... +55	-10... +40	-10... +40	-40... +60	-25... +85
ĭ ĭðäáëÿäì úë ðíë, ĭÄ	300	500	200	300	600	200	130

*Ä äëäì äðä ñü ìðÿä áíëÿ 50 ĭëì è NA=0.2

Параметры приемных оптических модулей производства России и Германии

ĭ äðàì äòð	ĭ ĭ Đ-1-1Ä (Ä) ĭ ĭ Đ-1-2Ä (Ä) ĭ ĭ Đ-1-3Ä (Ä)	ĭ ĭ Đ-3-1	ĖÝĭ -8-4ĭĐ-Ä (ĖÝĭ -8-4ĭĐ-Ä)	ĖÝĭ -34-4ĭĐ-Ä (ĖÝĭ -34-4ĭĐ-Ä)	Ó 23804 (S ämens)
Đäáí-äÿ äëëíá áíëíü, ĭëì	0,85	0,85	0,85	0,85	1,3
ĭ ĭðíáíäÿ ĭ ñü ĭñüü, Äò	3·10 ⁻⁶	—	1.5·10 ⁻⁶ (7.5·10 ⁻⁷)	3·10 ⁻⁶ (7.5·10 ⁻⁶)	5·10 ⁻⁷
Ä ĭ ëüðíäÿÿ -çáñäéçäëü ĭñüü, Ä/Äò	—	—	9.5·10 ⁻⁵	4·10 ⁴	—
Ä ðäì ÿ íäðñòáíëÿ (ñü ääá) ĭ äðäíáííë çäðäéçäñéçëë, íñ	10	—	20 (20)	7 (7)	1,3*
Ä äðÿíü ĭñüü ĭð èäéë, íá áí- ëää.	10 ⁻⁹	10 ⁻⁹	10 ⁻⁹	10 ⁻⁹	10 ⁻¹²
ĭ äðäíçèá íá ìðéäç, +	1.5·10 ⁴	1.5·10 ⁴	10 ⁴	10 ⁴	—
Ė ĭ çðäáë ðäáí-èò çáì ĭäðä- çòð, °N	-40... +85	-60... +85	-10... +40	-10... +40	-25... +85
ĭ ĭðäáëÿäì úë ðíë, ĭÄ	120	—	50	60	50

*ĭ ĭ çðíáíð 0.2...0.8.

9. Расчет надежности линейного тракта ВОСП

Таблица 14

9.1. Расчет требуемых показателей надежности проектируемого линейного тракта ВОСП

В данном разделе определяются требуемые показатели качества и надежности для местной, внутризоновой и магистральной первичной сети. В зависимости от расстояния передачи в табл. 12,13,14 заданы разные показатели надежности.

Таблица 12

Требуемые показатели надежности для систем передачи местной первичной сети (МСП)

Индикатор надежности	Показатель	Показатель	Показатель
$K_{\text{МСП}}$	>0.997	>0.9994	0.9987
$N_{\text{МСП}}$	>400	>7000	>2500
$\lambda_{\text{МСП}}$	<1.1	<4.24	2

ОЦК – основной цифровой канал

Таблица 13

Требуемые показатели надежности для систем передачи внутризоновой первичной сети (ВЗПС)

Индикатор надежности	Показатель	Показатель	Показатель
$K_{\text{ВЗПС}}$	>0.99	>0.996	0.99
$N_{\text{ВЗПС}}$	>111.4	>2050	>350
$\lambda_{\text{ВЗПС}}$	<1.1	<4.24	2

Требуемые показатели надежности для систем передачи магистральной первичной сети (СМП)

Индикатор надежности	Показатель	Показатель	Показатель
$K_{\text{СМП}}$	>0.92	>0.982	0.92
$N_{\text{СМП}}$	>12.54	>230	>40
$\lambda_{\text{СМП}}$	<1.1	<4.24	2

Примечания:

1. В табл. 12, 13, 14 приведены показатели для максимальной длины L_m соответствующей первичной сети (без резервирования).

2. Для оборудования линейных трактов на МСП, ВЗПС и СМП время восстановления необслуживаемого регенерационного пункта (НРП), обслуживаемого регенерационного пункта и оконечного пункта (ОРП, ОП) и оптического кабеля (ОК) должны быть соответственно меньше:

- $V_{\text{нрп}} < 2,5$ ч (в том числе время подъезда к месту аварии – 2 ч);
- $V_{\text{орп}} < 0,5$ ч;
- $V_{\text{ок}} < 10$ ч (в том числе время подъезда 3,5 ч).

В соответствии с этими данными может быть осуществлен расчет требуемого среднего времени наработки на отказ и требуемого коэффициента простоя для МСП, ВЗПС и СМП заданной длины трассы L .

$$K_{\text{ПА}} = \Lambda V / (\lambda + \Lambda V) = \frac{V}{T_0 + V}, \quad (28)$$

где $K_{\text{ПА}}$ – коэффициент простоя аппаратуры ВОСП;

V – время восстановления, ч;

L – интенсивность отказов, $1/\text{ч}$, ($L=1/T_0$);

T_0 — время безотказной работы (среднее время между отказами) для трассы максимальной протяженности, заданное в табл. 12, 13, 14 ч.

$$K_{\bar{r}} = 1 - K_{\bar{r}\bar{a}} = \frac{T_0}{T_0 + V}, \quad (29)$$

где $K_{\bar{r}}$ — коэффициент готовности ВОСП;

$$T_0(L) = T_0 L_m / L, \quad (30)$$

где $T_0(L)$ — время безотказной работы для заданной длины канала или магистрали, ч.

В соответствии с заданной Вам длиной трассы определите сами требуемые значения коэффициентов простоя и среднего времени между отказами каналов и оборудования и внесите их в табл. 15.

Требуемые значения коэффициентов простоя и среднего времени между отказами для каналов и оборудования ВОСП при $L =$ (далее указываете длину вашего участка и тип вашей ВОСП (МСП, ВЗПС, СМП)).

Т а б л и ц а 15

\bar{r}	\bar{a}	\bar{r}	\bar{a}
\bar{r}	\bar{a}	\bar{r}	\bar{a}

9.2. Расчет показателей надежности проектируемого линейного тракта

Вторая часть расчета сводится к проверке показателей надежности и качества каналов передачи выбранной системы на их соответствие полученным требуемым показателям. Для этого расчеты ведутся как для традиционной стратегии восстановления, когда принимаются меры по устранению последствий

аварии, начиная с момента обнаружения отказа (аварии), так и на основе оптимальной стратегии восстановления, когда используется фактор постепенного отказа, позволяющий принимать меры с учетом интервала между предотказовым и отказовым состояниями системы. Суть метода сводится к контролю коэффициента ошибок (связь приемлема, если $K_{\text{ош}} < 10^{-6}$; связь некачественна, если $10^{-3} < K_{\text{ош}} < 10^{-6}$ — это соответствует предотказовому состоянию аппаратуры; связь неприемлема, если $10^{-3} < K_{\text{ош}}$ — отказовое состояние, авария в аппаратуре). Использование метода оптимальной стратегии основано на том, что не менее 70% отказов ВОСП может быть отнесено к постепенным (как аппаратурные отказы, так и связанные с оптическим кабелем).

Определим интенсивность отказов линейно-кабельных сооружений и аппаратуры, а также коэффициенты простоя для традиционной и оптимальной стратегии восстановления. По данным статистики повреждений коаксиальных кабелей на магистральной первичной сети связи среднее число (плотность) отказов кабеля из-за внешних повреждений на 100 км кабеля в год составляет $M_1 = 0,34$. Такая же цифра справедлива и для оптического кабеля. Тогда интенсивность отказов оптического кабеля за 1 час на длине трассы ВОЛС длиной L 1/ч, определяется следующим образом:

$$L_{\text{ок}} = M_1 \cdot L / 8760 \cdot 100. \quad (31)$$

Однако, помимо внешних повреждений кабеля надо учитывать также возможность внутренних отказов кабеля и отказы оборудования необслуживаемых регенерационных пунктов (НРП) за счет внешних повреждений. Интенсивность этих регенерационных отказов составляет 0,06 на один НРП в год. Интенсивность отказов оптических кабелей из-за внутренних причин связана с минимальной наработкой строительной длины до отказа, что соответствует среднему времени наработки между отказами примерно $215000 \cdot 15 = 3225000$ ч.

Исходя из сказанного, суммарная интенсивность отказов оптического кабеля:

**Показатели надежности аппаратуры ВОСП
Российского производства**

0ëï íáíðóáíááíëÿ (íáëí éíí íëääè)	ÑÄÖÊ-1	ÂÃÄ	ÕÄÃ	×ÄÃ	ÑÄÏ	ÎËÒ
Ñóääíää äðáíÿ ì äæ äó îçèàçàì è, ÷	20000	87600	150000	17000	87600	87600

$$\Lambda_{ок} = M_1 \cdot L / 8760 \cdot 100 + 0,06 \cdot n_{нрп} / 8760 + n_{стд} / 3225000. \quad (32)$$

Здесь $n_{нрп}$ — число необслуживаемых регенерационных пунктов;
 $n_{стд}$ — число строительных длин на всей трассе ВОЛС.

Используя формулу (28) можно также определить коэффициент простоя ВОСП из-за отказов линейно-кабельных сооружений при традиционной стратегии восстановления.

$$K_{n_{ок}} = \Lambda_{iè} \cdot V_{iè} / (1 + \Lambda_{iè} \cdot V_{iè}). \quad (33)$$

В случае же оптимальной стратегии восстановления предполагается сокращение времени подъезда к месту аварии, в связи с чем сокращается время восстановления кабеля. С учетом поправки имеем:

$$K_{n_{iè_n}} = \Lambda_{iè} \cdot (V_{iè} - 0,7 \cdot t_1) / (1 + \Lambda_{iè} \cdot V_{iè}). \quad (34)$$

Здесь t_1 — время подъезда к месту аварии, составляющее для кабеля, 3,5 ч.

Суммарный коэффициент простоя аппаратуры ВОСП рассчитывается отдельно для аппаратуры, размещенной в оконечных пунктах (ОП), обслуживаемых регенерационных пунктах (ОРП). Время восстановления при расчете принимается равным $V = 0,5$ ч, и в НРП — $V = 2,5$ ч.

При учете суммарной интенсивности отказов применительно к оборудованию, производимому в России можно воспользоваться табл. 16.

Знание среднего времени между отказами позволяет вычислить интенсивность отказов L для каждого комплекта оборудования. При расчете суммарной интенсивности отказов оборудования, размещенного в ОП, ОРП и НРП необходимо составить обобщенную схему комплекса ВОСП для используемой вами аппаратуры.

В качестве примера ниже приводится обобщенная схема для комплекса ВОСП, применяемая к системе передачи СОПКА-4 (рис. 6).

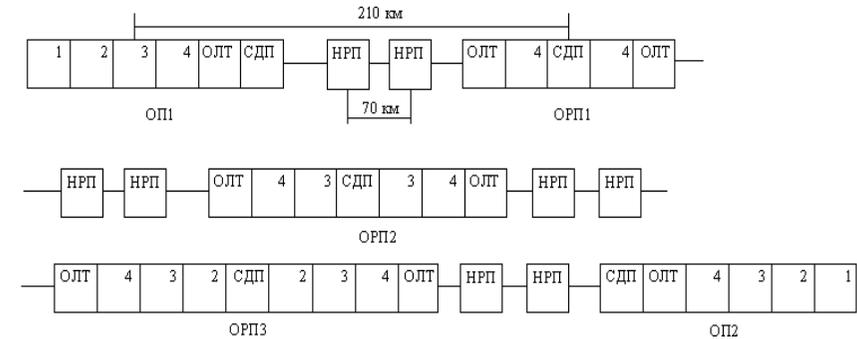


Рис.6. Обобщенная схема комплекса ВОСП для системы передачи СОПКА-4

- 1 – аппаратура образования первичного цифрового тракта (САЦК-1);
- 2 – аппаратура вторичного временного группообразования (ВВГ);
- 3 – аппаратура третичного временного группообразования (ТВГ);
- 4 – аппаратура четверичного временного группообразования (ЧВГ);
- ОЛТ – аппаратура оптического линейного тракта;
- СДП – стойка дистанционного питания;
- НРП – необслуживаемый регенерационный пункт;
- ОП1, ОП2 – оконечные пункты 1 и 2;
- ОРП – обслуживаемый регенерационный пункт.

Расчет суммарной интенсивности отказов для оборудования, размещенного в ОП1, ОП2 и ОРП определяется выражением:

$$L_{орп} = 2 \cdot \Lambda_{сацк} + \Lambda_{ввг} \cdot n_{ввг} + \Lambda_{твг} \cdot n_{твг} + \Lambda_{чвг} \cdot n_{чвг} + \Lambda_{сдп} \cdot n_{сдп} + \Lambda_{олт} \cdot n_{олт}, \quad (35)$$

Здесь: n – число комплектов заданного оборудования;

Λ – интенсивность отказа одного комплекта заданного оборудования.

Исходя из полученной интенсивности отказов $\Lambda_{\text{опт}}$, можно определить коэффициент простоя в соответствии с формулой (28):

$$K_{n \text{ i} \delta \text{ i}_a} = \Lambda \cdot V_{\text{i} \delta \text{ i}} / (1 + \Lambda_{\text{i} \delta \text{ i}} \cdot V_{\text{i} \delta \text{ i}}). \quad (36)$$

Суммарная интенсивность отказов для оборудования НРП определяется с учетом того, что НРП структурно состоит из двух комплектов ОЛТ:

$$\Lambda_{\text{нрп}} = 2 \cdot \Lambda_{\text{олт}} \cdot n_{\text{нрп}} \quad (37)$$

Тогда коэффициент простоя для традиционной стратегии восстановления определяется из формулы, аналогичной формуле (28):

$$K_{n \text{ i} \delta \text{ i}_n} = \Lambda_{\text{i} \delta \text{ i}} \cdot V_{\text{i} \delta \text{ i}} / (1 + \Lambda_{\text{i} \delta \text{ i}} \cdot V_{\text{i} \delta \text{ i}}). \quad (38)$$

При оптимальной стратегии восстановления с учетом того, что время подъезда к месту аварии составит в этом случае $t_1 = 2$ ч имеем по типу выражения (34):

$$K_{n \text{ i} \delta \text{ i}_n} = \Lambda_{\text{i} \delta \text{ i}} \cdot V_{\text{i} \delta \text{ i}} - 0,7t_1 / (1 + \Lambda_{\text{i} \delta \text{ i}} \cdot V_{\text{i} \delta \text{ i}}). \quad (39)$$

На основе полученных результатов выражений (36), (38) и (39) можно вычислить суммарный K_n аппаратуры ВОСП при традиционной стратегии:

$$K_{n \text{ a} \text{ i}_a} = K_{n \text{ i} \delta \text{ i}_a} + K_{n \text{ i} \delta \text{ i}_n}. \quad (40)$$

и для оптимальной стратегии восстановления

$$K_{n \text{ i} \text{ i}_n} = K_{n \text{ i} \delta \text{ i}_a} + K_{n \text{ i} \delta \text{ i}_n}. \quad (41)$$

С учетом коэффициента простоя оптического кабеля (35) и (36) имеем суммарный K_n всего комплекса ВОСП при традиционной стратегии восстановления:

$$K_{n_a} = K_{n \text{ i} \delta \text{ i}_a} + K_{n \text{ a} \text{ i}_a}. \quad (42)$$

Для случая оптимальной стратегий восстановления имеем:

$$K_{n_n} = K_{n \text{ i} \delta \text{ i}_n} + K_{n \text{ i} \text{ i}_n}. \quad (43)$$

Полученные результаты необходимо сравнить с данными табл. 15 и убедиться, какая из указанных стратегий позволяет обеспечить требования к проектируемой ВОСП. В противном случае необходимо использование более высоконадежной аппаратуры, либо переход на резервирование системы передачи и оптического кабеля.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Скворцов Б.В., Иванов В.И., Крухмалев В.В. и др. Оптические системы передачи. —М.: Радио и связь, 1994. — 224 с.
2. Слепов Н. Н. Современные технологии оптоволоконных сетей связи. —М.: Радио и связь, 2000. — 468 с.: ил.
3. Убайдулаев Р. Р. Волоконно-оптические сети. —М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1998.
4. Многоканальные системы передачи: Учеб. /В.И. Кириллов. —М.: Новое знание, 2002. — 751 с.: ил.
5. Бутусов М.М., Верник С.М., Галкин С.Л. и др. Волоконно-оптические системы передачи. —М.: Радио и связь, 1992. — 416с.
6. Иванов В.И., Гордиенко В.Н., Попов Г.Н. и др. Цифровые и аналоговые системы передачи. —М.: Радио и связь, 1995. — 232с.
7. Гордиенко В.Н., Крухмалев В.В., Иванов В.И. и др. Проектирование и техническая эксплуатация систем передачи. —М.: Радио и связь, 1996. — 344с.
8. Алексеев Е. Б. Надежность ВОСП: методика инженерного расчета и проектирования //Вестник связи. 1996, №5, с.26-34.

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СВЯЗЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ
ТРАНСПОРТЕ

Задание на курсовой проект

Редактор *Г.В. Тимченко*
Компьютерная верстка *Ю.А. Варламова*

Тип. зак.	Изд. зак. 353	Тираж 500 экз.
Подписано в печать 07.10.05	Гарнитура Times.	Офсет
Усл. печ. л. 2,5		Формат 60×90 ¹ / ₁₆

Издательский центр РГОТУПСа,
125993, Москва, Часовая ул., 22/2

Участок оперативной печати РГОТУПСа, 125993, Москва, Часовая ул., 22/2