

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

Одобрено кафедрой
Железнодорожная, автоматика,
телемеханика и связь
Зав. кафедрой профессор Горелик А.В.

«___» _____ 2015 г.

ЛИНИИ СВЯЗИ

Задание на курсовой проект
с методическими указаниями
для студентов V курса

специальности
23.05.05 Системы обеспечения движения поездов
Специализация: «Телекоммуникационные системы и
сети железнодорожного транспорта»

Рецензент – д.т.н, профессор А. В. Горелик

Составил – к.т.н., доцент Т. А. Рудницкая

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Курсовой проект «Проект магистральной линии связи на участках железной дороги» состоит из двух разделов: проектирование кабельной линии связи (КЛС) на участке железной дороги (А-К) и проектирование волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) на участке железной дороги (О-Х).

Проект должен содержать расчетно-пояснительную записку и чертежи. Текст выполняется на одной стороне листа белой писчей бумаги (формат^о А4 – 210 х 297 мм) с полями по всем четырем сторонам листа. Можно использовать книжную и альбомную ориентацию листа. Страницы курсового проекта должны иметь следующие поля: левое – 25 мм, правое – 10 мм, верхнее поле – 20 мм, нижнее – 20 мм. Абзацный отступ должен быть одинаковым по всему тексту и равен пяти знакам (15 - 17 мм). При выполнении текстового документа с применением ПЭВМ текст должен быть набран в текстовом редакторе Word, основным шрифтом – Times New Roman (кроме греческих букв), через полтора интервала и размером шрифта 14 пунктов, греческие буквы набирать через меню Word – «Вставка» и «Символ». Нумерация страниц документа, иллюстраций и приложений, входящих в состав этого документа, должна быть сквозная. Листы записки должны быть сброшюрованы и пронумерованы, формулы, рисунки и таблицы также должны быть пронумерованы, единицы измерения величин должны соответствовать системе СИ. Первой страницей считается титульный лист, на котором нумерация страниц не ставится, на следующей странице ставится цифра «2» и т. д.

В тексте записки приводятся исходные данные для каждого из разделов проекта в соответствии с вариантом, а также краткие пояснения, расчеты, обоснования принимаемых технических решений по вопросам, предусмотренным содержанием проекта.

Все инженерно-технические расчеты производятся вручную, либо с использованием пакетов прикладных программ для инженерных расчетов с подробной записью всех исходных и промежуточных расчетных формул, числовых значений и результатов. Расчеты должны быть проиллюстрированы расчетными схемами.

В конце пояснительной записки приводится список использованной литературы.

Чертежи выполняются карандашом на белой или миллиметровой бумаге стандартных размеров 210х297 мм или с использованием пакетов прикладных программ для инженерных расчетов. Некоторые из чертежей (трассы линий связи и др.) разрешается выполнять на листах удлиненного формата. Чертежи вшиваются в пояснительную записку после тех страниц, на которых имеется первая ссылка на соответствующий чертеж.

1 Проектирование кабельной линии связи

1.1 Задание на проектирование

1. На заданном двухпутном участке железной дороги А-К (рис.1) с электротягой переменного тока напряжением 27 кВ предусмотреть строительство КЛС.

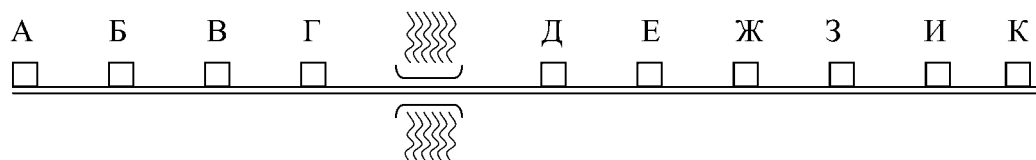


Рисунок 1 – Схема двухпутного участка железной дороги А-К

Предусмотреть организацию дальней (магистральной и дорожной) связи по КЛС с использованием цифровых систем передачи ИКМ-120.

2. Заданное число каналов магистральной и дорожной связи для участка А-К приведены в табл. 1. Виды и число цепей отделенческой связи предусмотреть в соответствии с требованиями п. 1 приложения 2 [4]. Отдельные цепи для телеграфной связи можно не предусматривать. Для работы устройств СЦБ на участке А-К предусмотреть 6° двухпроводных цепей, в том числе одну цепь для частотного диспетчерского контроля (СЦБ-ДК).

Таблица 1 – Число каналов дальней связи на участке А-К

Вид связи	Вариант проекта (последняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
магистральная	180	360	100	340	170	300	240	90	270	160
дорожная	50	100	40	110	50	80	70	45	90	40

3. В проекте предусмотреть применение обслуживаемых (ОУП) и необслуживаемых (НУП) усилительных пунктов для низкочастотных цепей отделенческой связи. ОУП разместить на станциях А, Д, К, а НУП – на станциях участка в соответствии с установленными расстоянием между НУПами (25 – 30 км). Кроме того, при использовании системы ИКМ-120 для уплотнения цепей дальней связи предусмотреть обслуживаемые регенерационные пункты (ОРП) на станциях А, Д, К, совместив их с ОУП, и необслуживаемые регенерационные пункты (НРП) на станциях или перегонах, учитывая, что расстояние между ними равно 5-8 км. Сторонность размещения ОУП и ОРП относительно железной дороги для станции А определена, а для станций Д и К устанавливается студентом по своему усмотрению. НРП и НУП размещаются непосредственно на трассе КЛС.

4. При расчете опасных напряжений в жилах кабельной линии связи рекомендуется ограничиться вынужденным режимом работы тяговой сети, опустив расчет для аварийного режима.

5. При расчете мешающих влияний на кабельные цепи связи ограничиться расчетом для участка А-Д в направлении от станции А к станции Д.

6. В расчетно-пояснительной записке для данного раздела должны быть отражены технические решения по следующим вопросам:

- выбор системы организации КЛС;
- организация связи и цепей автоматики по КЛС;
- выбор типа и емкости магистральных кабелей, распределение цепей по четверкам;
- расчет влияний тяговой сети переменного тока на КЛС;
- выбор трассы прокладки КЛС;
- содержание кабеля под избыточным давлением;
- скелетная схема КЛС для перегона А-Б.

7. Данный раздел проекта должен содержать следующие чертежи:

- схему организации связи и цепей автоматики по КЛС на перегоне А-Б;
- схематический план трассы КЛС (общий чертеж для раздела 1 проекта);
- расчетные схемы опасных и мешающих влияний;
- скелетная схема КЛС на перегоне А-Б.

1.2 Исходные данные для проектирования

Данные изысканий по объекту проектирования:

1. Схема двухпутного участка железной дороги А-К с однопутным ответвлением Д-Н представлена на рис. 1. Данные об участке А-К приведены в табл. 2. Данные о перегоне А-Б (для организации связи на перегоне А-Б и проектирования скелетной схемы) приведены в табл. 3.

2. Данные для расчета влияний тяговой сети на КЛС представлены в табл. 4 и 5. Тяговые подстанции расположены на станциях А (ордината указана в табл. 3), Д и К. Схема работы тяговой сети – встречно-консольная. В вынужденном режиме работы тяговой сети тяговая подстанция, расположенная на станции Д, отключена.

3. Участок А-К оборудован системой автоблокировки, станции участка оборудованы системами электрической централизации. Для электропитания устройств СЦБ вдоль железной дороги с правой стороны по направлению километража на расстоянии 20 м от рельса проложена трехфазная высоковольтная линия автоблокировки напряжением 10 кВ. На

перегоне Г-Д (примерно в середине перегона) железнодорожную линию пересекает судоходная река глубиной 6 м, через которую проложен неразводной железнодорожный мост. Грунт на участке мягкий (1 группа). Климатические условия умеренные.

Таблица 2 – Сведения об участке А-К

Вариант проекта (предпоследняя цифра учебного шифра)	расстояние между осями станций, км								
	А-Б	Б-В	В-Г	Г-Д	Д-Е	Е-Ж	Ж-З	З-И	И-К
1	7	17	19	11	8	8	10	10	9
2	7	8	11	24	7	10	13	8	7
3	7	10	13	26	8	10	7	11	7
4	7	14	20	10	10	8	14	7	9
5	7	18	11	19	11	7	13	6	10
6	7	13	16	12	11	7	13	6	11
7	7	15	20	10	6	11	12	9	9
8	7	12	11	24	10	8	12	8	12
9	7	11	12	22	8	11	11	12	8
0	7	13	10	25	12	6	7	17	13

Таблица 3 – Размещение объектов связи и СЦБ на перегоне А-Б

Ординаты объектов		Наименование объектов для варианта проекта (последняя цифра учебного шифра)									
км	м	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
79	000	ОУП (л)	ОУП (л)	ОУП (п)	ОУП (п)	ОУП (п)	ОУП (п)	ОУП (п)	ОУП (л)	ОУП (п)	ОУП (л)
79	350	–	–	–	ТП(л)	–	–	–	ТП(п)	ТП(л)	ТП(п)
79	450	–	ТП(п)	ТП(п)	ШН(п)	–	ТП(л)	–	–	–	–
79	900	ТП(п)	–	–	–	ТП(п)	–	ТП(п)	–	–	–
80	500	Рш– Вх(л)	Рш– Вх(л)	Рш– Вх(л)	Рш– Вх(л)	Рш– Вх(л)	Рш– Вх(л)	Рш– Вх(л)	Рш– Вх(л)	Рш– Вх(л)	Рш– Вх(л)
82	000	Рш– С(л)	Рш– С(л)	Рш– С(л)	Рш– С(л)	–	–	–	Рш–С(л)	–	–
82	010	–	–	–	Рш– АПС(п)	Рш– С(л)	Рш–С(л)	Рш– С(л)	–	Рш– С(л)	Рш– С(л)
82	020	–	–	–	ПБ(п)	–	–	–	–	П(л)	ШН(п)
82	800	ОП(л)	П(л)	ПБ(п)	–	–	–	–	ПСКС(п)	–	–
82	815	–	–	Рш– АПС(п)	–	ШН(п)	П(л)	П(п)	–	–	(Пп)
83	000	Рш– С(п)	Рш– С(п)	Рш– С(п)	Рш– С(п)	Рш– С(п)	Рш–С(п)	Рш– С(п)	Рш–С(п)	Рш– С(п)	Рш– С(п)
83	000	–	–	ОП(л)	П(л)	–	–	–	–	–	–
84	000	ШН (п)	ПСКС (п)	–	–	ОП(п)	ШН(л)	ОП(л)	ОП(л)	ДПКС (л)	ОП(п)
84	000	ПСКС (л)	ОП(л)	–	–	ПСКС (л)	ПСКС (л)	ПСКС (л)	ШН(п)	ОП(л)	ПСКС (п)
84	800	Рш– Вх(п)	Рш– Вх(п)	Рш– Вх(п)	Рш– Вх(п)	Рш– Вх(п)	Рш– Вх(п)	Рш– Вх(п)	Рш– Вх(п)	Рш– Вх(п)	Рш– Вх(п)
85	800	–	–	ШН(л)	–	–	ДПКС(л)	–	–	ШН(п)	–
86	000	ПЗ(л)	ЭЦ(п)	ЭЦ(л)	ПЗ(п)	ПЗ(л)	ПЗ(п)	ЭЦ(л)	ЭЦ(л)	ПЗ(п)	ПЗ(п)

Примечания

1 Сокращения в названиях объектов связи и СЦБ: ЭЦ – пост ЭЦ; ДПКС – дежурный пункт дистанции контактной сети; ОУП – обслуживаемый усилительный пункт кабельной магистрали; П – жилое или служебное здание службы пути; ПБ – будка дежурного по переезду (охраняемый переезд); РШ-Вх – релейный шкаф входного светофора станции; РШ-С – релейный шкаф проходного светофора; РШ-АПС – релейный шкаф автоматической переездной сигнализации; ШН – квартира электромеханика СЦБ или связи; ТП – тяговая подстанция; ПСКС – пост секционирования контактной цепи; ОП – остановочный пункт пригородных поездов; ПЗ – пассажирское здание.

Буква л или п, указанная в скобках рядом с наименованием объекта, означает расположение объекта с левой или правой стороны железнодорожного пути по счету километров.

2 Ординаты объектов указывают расстояние от окончного пункта кабельной магистрали.

3 ОУП совмещен с постом ЭЦ.

Таблица 4 – Расчетные величины электромагнитных влияний тягового тока

Наименование расчетных величин	Вариант проекта (последняя цифра учебного шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Опережающая частота гармоники влияющего тока, Гц	750	850	950	1050	1150	750	850	950	1050	1150
Проводимость грунта, мСм/м	40	30	25	15	10	5	12	17	11	8

Таблица 5 – Тип подвески контактного провода

Вариант проекта (предпоследняя цифра учебного шифра)	Тип подвески
1 или 0	М-120-ТФ-100
2 или 9	М-95-ТФ-100
3 или 8	Ас-180-ТФ-100
4 или 6	Ас-120-ТФ-100
5 или 7	ПБСМ-195-ТФ-100

1.3 Методические указания к проектированию

1.3.1 Выбор системы организации КЛС

В пояснительной записке по данному пункту необходимо привести обоснование выбранной системы организации КЛС, исходя из анализа свойственных системам

достоинств и недостатков. Обосновать и указать количество комплектов аппаратуры уплотнения ИКМ-120 и соответствующее число цепей магистральной и дорожной связи.

КЛС может быть организована по одно-, двух- или трехкабельной системе.

При однокабельной системе все виды связи и цепи СЦБ организуются по одному кабелю. Эта система рекомендуется для организации лишь дорожной и отделенческой связи на второстепенных участках железных дорог, не имеющих перспектив развития.

При двухкабельной системе для организации всех видов связи и цепей СЦБ прокладывается два кабеля, при этом для цепей магистральной и дорожной связи используются аппаратура уплотнения. Остальные четверки и пары железнодорожных кабелей используются для организации других цепей связи и СЦБ. Двухкабельная система по требуемому количеству каналов и двухпроводных цепей в большинстве случаев удовлетворяет требованиям, предъявляемым к магистральным линиям связи, и является в настоящее время основной системой кабельной магистрали.

При трехкабельной системе прокладывается три кабеля, из которых первый используется для отделенческих связей и цепей СЦБ, а второй и третий — для цепей дальней связи. Все ответвления на перегонах и станциях производятся только от первого кабеля. Эта система находит применение на участках железных дорог, где требуется организация мощных пучков каналов связи.

Достоинства и недостатки различных систем организации КЛС приведены в [1, с.239-241]. В качестве типового решения может быть, например, выбрана двухкабельная система КЛС.

Требуемое количество двусторонних каналов магистральной и дорожной связи задано по вариантам в табл. 1. В общем случае, не используя аппаратуру уплотнения, по одной цепи связи (одной паре, состоящей из двух жил кабеля) можно организовать один односторонний канал тональной частоты (4 кГц). Поэтому при проектировании необходимо предусмотреть использование аппаратуры уплотнения (системы ИКМ-120 – цифровой системы передачи (ЦСП) с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ)).

Данная ЦСП предназначена для организации 120 двусторонних каналов тональной частоты или 120 основных цифровых канала (64 кбит/с). Скорость передачи сигнала в этой системе – 8448 кбит/с, она относится к плезиосинхронной цифровой иерархии ЦСП (ПЦИ или PDH). Если разделить 8448 кбит/с на скорость передачи данных для одного канала (64 кбит/с), то получится 132 канальных интервала, 120 из которых предназначены для организации телефонных каналов, а оставшиеся 12 – для передачи синхросигналов и других целей. В ЦСП используется временное разделение каналов, то есть каждому каналу соответствует определенный интервал времени передачи импульсов. В тракт передачи в виде

импульсов с различной амплитудой (количество возможных значений амплитуды зависит от конечного числа заданных значений уровней сигнала или уровней квантования) передаются отдельные значения аналоговых сигналов, взятые в определенные интервалы времени.

Понятие "иерархии" предполагает наличие нескольких ступеней скорости передачи сигналов и соответствующих ЦСП. Например, для аппаратуры ИКМ скорости передачи и число возможных каналов кратно 4: это первичная ЦСП ИКМ-30 (скорость передачи – 2048 кбит/с), вторичная ЦСП ИКМ – 120, третичная ЦСП ИКМ-480 (скорость передачи – 34368 кбит/с) и четверичная ЦСП ИКМ-1920 (скорость передачи – 139264 кбит/с).

Для организации 120 двусторонних каналов по симметричным цепям с использованием аппаратуры ИКМ-120 необходимо две кабельные пары одна – для организации 120 каналов в прямом, а вторая – в обратном направлении. При этом каналы дорожной и магистральной связи не объединяются, они организуются по отдельным цепям с использованием отдельных комплектов ИКМ-120.

Например, если требуется организовать 450 каналов магистральной и 200 каналов дорожной связи, то потребуется всего 6 комплектов аппаратуры ИКМ-120 (4 для магистральной связи и 2 – для дорожной), и, соответственно 12 пар кабеля в КЛС.

1.3.2 Выбор типа и емкости магистральных кабелей, распределение цепей по четверкам

В пояснительной записке по данному пункту необходимо указать выбранные по ПТЭ необходимые для заданного участка железной дороги виды отделенческой связи с указанием их назначения [1, с.6]; привести обоснование выбора типа магистральных кабелей связи с краткой характеристикой их основных конструктивных элементов, изобразить схематичный разрез выбранного типа магистрального кабеля [1, с.103], показать расчет емкости кабелей и привести таблицу распределения цепей связи и СЦБ по четверкам кабелей.

Для кабельных магистралей, прокладываемых вдоль железных дорог, электрифицированных по системе переменного тока, выпускаются кабели с повышенным защитным действием оболочек МКПАБ, МКПАП, МКПАБП, МКПАК, МКПАПКП, допускающие уплотнение цепей до 252 кГц.

Кабели МКПАБ и МКБАБ предназначены для прокладки в земле, в грунтах, не отличающихся химической агрессивностью.

Кабели МКБАБ выпускаются емкостью 7х4 (семь четверок проводов, то есть содержит 28 проводов, образующих 14 цепей связи (кабельных пар)) и 14х4 с пятью сигнальными парами. Кабели МКПАБ, МКПАП, МКПАБП изготавливаются емкостью

4, 7, 14 четверок, а МКПАК и МКПАПКП имеют только 7 четверок. Кабели 4х4 имеют четыре высокочастотные (ВЧ) четверки, одну сигнальную пару и одну контрольную жилу; 7х4 – четыре ВЧ четверки, три низкочастотные (НЧ) четверки, пять сигнальных пар и одну контрольную жилу. Диаметр жил четверок 1,05 мм, сигнальных и контрольных жил – 0,7 мм. Нумерация и расцветка четверок кабелей МКПАБ приведена на рис. 1.2 (к – красная, ч – черная, ж – желтая, с – синяя, б/к – бело-красная, б/ж – бело-желтая, б/с – бело-синяя, к/с – красно-синяя, с/з – сине-зеленая)

Кабели МКПАПКП с пластмассовым (полиэтиленовым) покрытием алюминиевой оболочки, бронированные стальными проволоками с наружным полиэтиленовым шлангом, рекомендуются для прокладки через водные преграды и поймы рек со средой, агрессивной по отношению к алюминиевой оболочке и стальной броне.

Для определения емкости кабелей, используемым для организации КЛС, следует выбрать по ПТЭ необходимые для заданного участка железной дороги виды отделенческой связи (ПДС – поездная диспетчерская связь; ЭДС – энергодиспетчерская связь; СЭМ – служебная связь электромехаников; ПГС – перегонная связь; ВГС – вагонно-распорядительная связь; ПС – постанционная связь; ЛПС – линейно-путевая связь; МЖС – поездная межстанционная связь; ПРС – цепи поездной радиосвязи; Пр-зд – связь дежурного по станции с охраняемым переездом; ТУ, ТС – цепи телеуправления и телесигнализации тяговыми подстанциями; СЦБ-ДК – цепь диспетчерского контроля СЦБ; СЦБ – цепи СЦБ); а также учесть определенное в пункте 1.3.1 количество цепей магистральной и дорожной связи. При использовании двухкабельной системы с целью обеспечения защищенности от переходных токов для каждого комплекта аппаратуры уплотнения одна цепь располагается в первом, а другая – во втором кабеле.

При определении емкости кабелей необходимо иметь в виду, что цепи ПГС и ПРС являются четырехпроводными, т.е. требуют по две пары кабельных жил. Цепь СЦБ-ДК работает в спектре тональных частот, и поэтому для нее необходимо выделять телефонную пару.

Распределение цепей по четверкам может быть выполнено по различным типовым схемам в зависимости от емкости кабелей.

По типовым схемам распределения четверок при двухкабельной системе рекомендуется для ВЧ связи (магистральной (маг.) и дорожной (дор.) связи) использовать в 7-четверочном кабеле вторую, четвертую и шестую четверки, а в 14- четверочном кабеле – пять четверок (первую, вторую, третью, четвертую, и шестую).

В таблице 6 приведено примерное распределение четверок в кабеле МКПАБ-7х4х1,05+5х2х0,7+1х0,7, при двухкабельной системе и использовании кабелей одинаковой

емкости (столбец "Расцветка" следует заполнить в соответствии с рис. 2, количество цепей дальней связи должно соответствовать расчету).

Таблица 6 – Типовое распределение цепей по четверкам магистральных кабелей

Номера четверок и сигнальных пар	Расцветка	Тип четверок	Цепи связи и СЦБ	
			Кабель 1	Кабель 2
Номер четверки 1 2 3 4 } пары 1, 2 5 6 7		ВЧ ВЧ НЧ ВЧ НЧ ВЧ НЧ	ПДС, ЛПС маг. маг. ЭДС, ПС маг. дор. ПГС, ПГС дор. резерв СЭМ, МЖС	ТУ, ТС маг. маг. ДБК, ВГС маг. дор. ПРС, ПРС дор. Резерв Переезд, СЦБ-ДК
Сигнальные пары: 1 2 3 4 5			СЦБ СЦБ СЦБ СЦБ СЦБ	Резерв Резерв Резерв Резерв Резерв
Контрольная жила			-	-

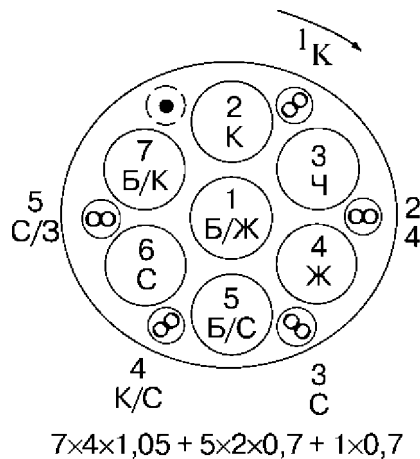


Рисунок 2 – Расцветка кабельных жил

1.3.3 Расчет опасных влияний тяговой сети переменного тока

В пояснительной записке по данному пункту необходимо привести подробный расчет опасных влияний в вынужденном режиме работы тяговой сети, привести расчетную схему с указанием всех длин и расстояний, а также вычислить предварительное значение ширины сближения тяговой сети железной дороги и трассы КЛС.

Расчет влияний тяговой сети переменного тока на КЛС выполняется в соответствии с

[2]. КЛС подвергаются опасным и мешающим магнитным влияниям тяговой сети переменного тока. Цель расчета заключается в определении такой ширины сближения (a , метров) КЛС с тяговой сетью, при которой опасное и мешающее напряжения, индуцируемые в жилах кабеля, не превышали бы предельно допустимые значения. Ширина сближения должна соответствовать расстоянию от КЛС до железной дороги и показывается в масштабе на схеме трассы КЛС (рис. 8).

Опасные напряжения в жилах кабеля могут возникать при аварийном (замыкании тяговой сети на землю или рельсы) и вынужденном (отключении от контактной сети одной из тяговых подстанций) режимах работы тяговой сети. Однако в целях сокращения расчетов, в курсовом проекте разрешается произвести расчет опасных влияний лишь для вынужденного режима.

Шаг 1. В этом шаге следует определить ординаты тяговых подстанций и длину плеча питания тяговой сети переменного тока в вынужденном режиме работы.

Питание тяговой сети может быть организовано по различным схемам. Для быстрого отключения любого поврежденного или ремонтируемого участка сети и сохранения действия цепи на всем остальном ее протяжении тяговую сеть делят на отдельные участки, имеющие на одном или обоих концах источники питания (тяговые подстанции (ТП)). Эти участки называются плечами питания. При использовании встречно-консольной схемы питания в случае выхода из строя одной из ТП срабатывают устройства автоматического включения резерва (АВР), расположенные в данном проекте посередине участка между соседними ТП. Таким образом, в нормальном режиме каждая ТП питает одно или два плеча питания, ограниченных устройствами АВР. В вынужденном режиме за счет перераспределения тока в контактном проводе длины плеч питания ТП изменяются и нагрузку отключенной ТП принимает на себя одна или две смежных ТП.

В данном разделе проекта в соответствии с п. 2 задания имеется три ТП: ТП1, расположенная на станции А, ТП2, расположенная на станции Д и ТП3, расположенная на станции К. При расчетах следует учитывать, что ордината ТП1 указана в таблице 3 исходных данных (ордината ТП на перегоне А-Б), а ординаты ТП2 и ТП3, расположенных на станциях Д и К, совпадают с ординатами этих станций. В соответствии с таблицей 3 ордината станции А – 79000 м, ординаты всех других станций и объектов на участке А-К рассчитываются исходя из расстояний между станциями, указанных в таблице 2. (например, ордината станции Б – 86000 м, так как длина перегона А-Б для всех вариантов – 7 км).

Таким образом, можно указать ординаты ТП и длину плеча питания в вынужденном режиме работы тяговой сети, учитывая что по заданию для всех вариантов в этом режиме ТП2 отключена.

На рис. 3 показано расположение тяговых плеч для нормального (рис. 3а) и вынужденного (рис. 3б – рис. 3г) режимов работы тяговой сети при встречно-консольной схеме питания. Отключенные тяговые подстанции на рисунках закрещены; l_T – длина плеча питания для вынужденного режима работы, l_{Ti} – длина плеча питания i -ой ТП в нормальном режиме работы сети; I_{Ti} – тяговый ток, питающий i -ое плечо тяговой сети. На рис. 3д приведен пример расчета длины плеча питания в вынужденном режиме работы тяговой сети.

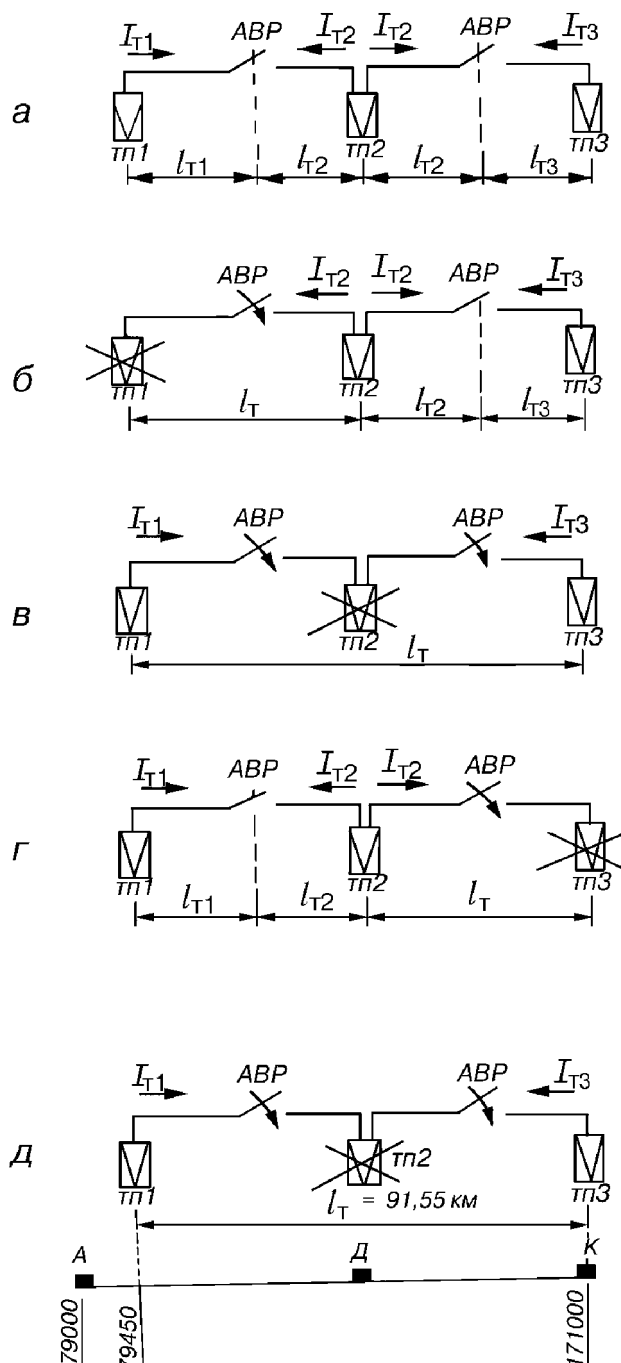


Рисунок 3 – Расположение тяговых плеч для нормального (рис. 3а) и вынужденного (рис. 3б – рис. 3г) режимов работы тяговой сети при встречно-консольной схеме питания

Шаг 2. В этом шаге следует определить длины расчетных участков и изобразить схему взаимного расположения тяговой сети и КЛС для расчета опасных влияний. При определении значений опасного и мешающего влияний цепи проводной связи и проводного вещания разбиваются на расчетные участки. Расчетными являются гальванически неразделенные участки – участки между усилительными пунктами для цепей избирательной связи, размещенными на схеме трассы кабельной магистрали. Гальванически неразделенным называют участок цепи, не содержащий усилителей, трансформаторов и других элементов, препятствующих прямому прохождению переменного тока в проводах.

При расчете опасных и мешающих влияний расчетными участками будут являться усилительные участки для неуплотненных цепей КЛС тональной частоты как имеющие наибольшую длину. В соответствии с п. 3 задания по разделу проекта длина каждого такого усилительного участка составляет 25-30 км. При необходимости, длина некоторых участков может быть меньше 25 км, но не должна превышать 30 км. Учитывая, что по ординатам станций А, Д и К расположены ОУП, необходимо на основе данных о расстояниях между станциями (табл. 2) разместить на станциях участков А-Д и Д-К по одному НУП, учитывая ограничения на длину усилительного участка. Таким образом, будут получены четыре длины расчетных участков ($l_1 - l_4$), что позволит указать ординаты ОУП и НУП и изобразить взаимное расположение тяговой сети в вынужденном режиме работы ТП и расчетных участков КЛС. Пример расчетной схемы приведен на рис. 4.

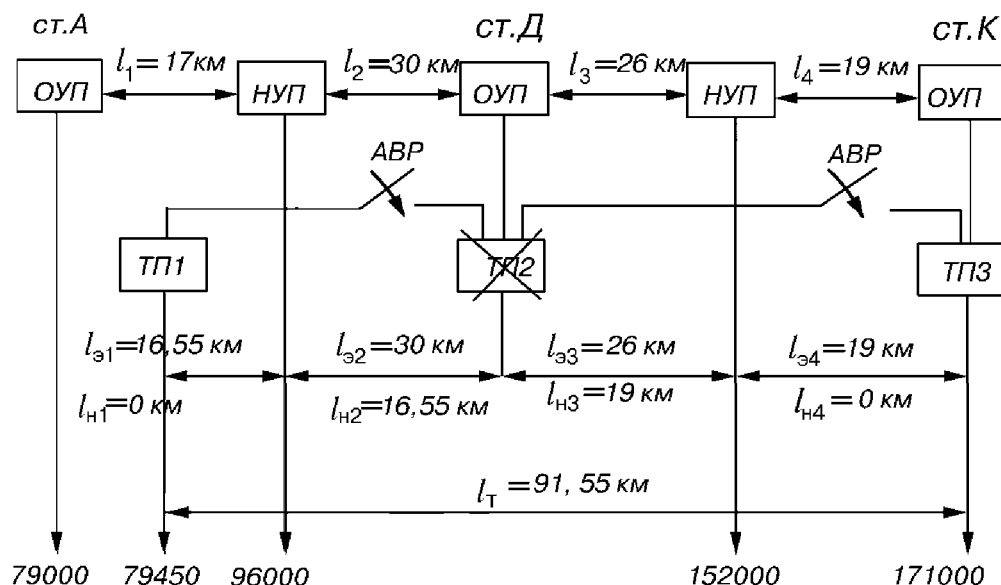


Рисунок 4 – Пример расчетной схемы

Шаг 3. В этом шаге необходимо рассчитать значения опасного напряжения (отдельное значение для каждого расчетного участка).

Значения опасного напряжения между жилой кабеля и землей на конце гальванически неразделенного провода цепи связи рассчитывается по формулам (1 – 8) отдельно для каждого расчетного участка в соответствии с расчетной схемой, полученной в шаге 2.

Расчет следует начинать при ширине сближения $a=10$ м.

Если длина расчетного участка кабельной цепи менее 40 км, то без учета волновых процессов опасное напряжение U , В,

$$U = \omega \cdot M \cdot I_{\text{вл}} \cdot S_p \cdot S_k \cdot l_{\text{с}}, \quad (1)$$

где ω – круговая частота влияющего тока частотой f 50 Гц, рад/с;

S_p – коэффициент экранирования рельсов, рекомендуется принять равным 0,45;

S_k – коэффициент защитного действия оболочки кабеля на частоте 50 Гц, зависит от марки кабеля, в проекте принять равным 0,1.

Взаимная индуктивность M , Гн/км между тяговой сетью и жилой кабеля при частоте 50 Гц определяется по номограмме 3] или приближенно по формуле

$$M = 10^{-4} \ln \left| 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{a^2 \cdot \sigma \cdot f} \right|, \quad (2)$$

где a – ширина сближения, м (в данном шаге взять 10 м);

σ – проводимость грунта, См/м (см. табл. 4).

Длина сближения линии связи с тяговой сетью $l_{\text{с}}$, км в пределах данного расчетного (усилительном) участка l определяется в соответствии с примерами, приведенными на рис. 5. для каждого расчетного участка отдельно.

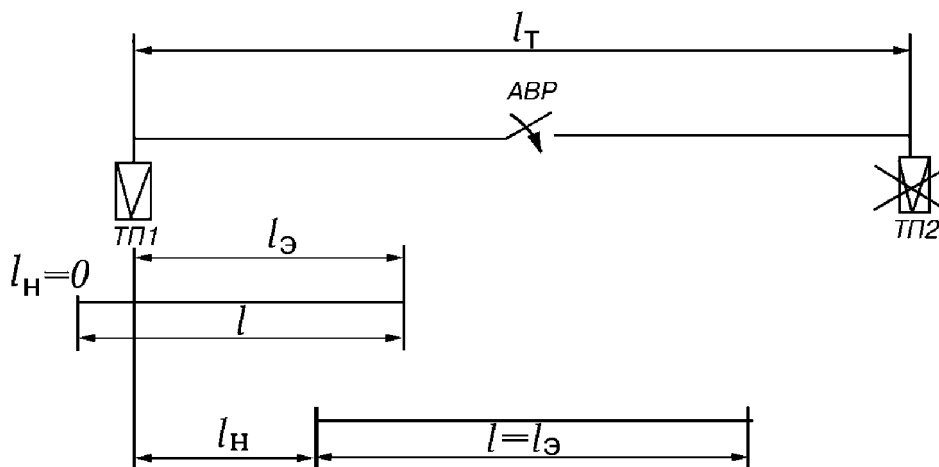


Рисунок 5 – Схема определения длины сближения линии связи с тяговой сетью $l_{\text{с}}$

Сближением между электрифицированной железной дорогой и линиями проводного вещания называют такое их взаимное расположение, при котором в цепях этих линий могут возникать опасные и мешающие напряжения и токи. В этом случае принято считать, что линии проводной связи и проводного вещания находятся в зоне влияния электрифицированной железной дороги. Длиной сближения называют длину той части расчетного участка цепи связи или проводного вещания, которая находится в зоне влияния тяговой сети электрифицированных железных дорог, т.е. располагается на расчетной схеме параллельно соответствующему плечу питания тяговой сети. На рис. 4 в качестве примера показаны длины сближения $l_{31} - l_{34}$ для соответствующих расчетных участков $l_1 - l_4$. Из схемы видно, что участки $l_{32} - l_{34}$ полностью лежат в пределах плеча питания, поэтому для них длины сближения совпадают с длинами расчетных участков.

Эквивалентный влияющий ток частотой 50 Гц $I_{вл}$, А, определяется при вынужденном режиме работы тяговой сети по формуле

$$I_{вл} = I_{рез} \cdot K_m, \quad (3)$$

где $I_{рез}$ – результирующий нагрузочный ток расчетного плеча питания при вынужденном режиме работы тяговой сети, А.

K_m – коэффициент, характеризующий уменьшение влияющего тока по сравнению с нагрузочным.

Ток $I_{рез}$, А рассчитывается по формуле

$$I_{рез} = \frac{2m}{m+1} \cdot \frac{\Delta U_{TCmax}}{(R_{TC} \cdot \cos \varphi + X_{TC} \cdot \sin \varphi) l_T}, \quad (4)$$

где m – число электровозов, одновременно находящихся в пределах плеча питания тяговой сети при вынужденном режиме в часы интенсивного движения (рекомендуется принять 8-12);

ΔU_{TCmax} – максимальная потеря напряжения в тяговой сети между подстанцией и максимально удаленным электровозом, В; при $l_T \geq 30$ км $\Delta U_{TCmax} = 8500$ В;

l_T – длина плеча питания тяговой сети при вынужденном режиме работы, км; (см. рис. 3);

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности электровоза (у большинства отечественных электровозов составляет 0,8).

Соответственно активное R_{TC} и реактивное X_{TC} сопротивление тяговой сети, Ом/км, зависит от типа контактной подвески которая, выбирается по варианту в соответствии с табл. 5, и рассчитываются по формулам

$$R_{TC} = Z'_T \cdot \cos \alpha; X_{TC} = Z'_T \cdot \sin \alpha, \quad (5)$$

где Z'_T – сопротивление одного км тяговой сети выбирается из таблицы 7.

$$\alpha = 65^\circ.$$

Таблица 7 – Сопротивление одного км тяговой сети

Тип подвески	Z'_T , Ом/км	
	Однопутный участок	Двухпутный участок
М-120-ТФ-100	0,429	0,255
М-95-ТФ-100	0,431	0,257
Ас-180-ТФ-100	0,454	0,252
Ас-120-ТФ-100	0,467	0,257
ПБСМ-195-ТФ-100	0,478	0,278

Коэффициент K_m рассчитывается отдельно для каждого расчетного участка по формуле

$$K_m = \frac{1}{m} \left[1 + (m-1) \left(1 - \frac{2l_n + l_{\text{с}}}{2l_T} \right) \right], \quad (6)$$

где l_n – кратчайшее расстояние от ближайшей действующей тяговой подстанции в вынужденном режиме работы до начала сближения с тяговой сетью расчетного участка цепи связи (см. рис. 5).

Длина l_n определяется отдельно для каждого расчетного участка в соответствии с рис. 5. Из расчетной схемы, приведенной на рис. 4, видно, что по проекту в вынужденном режиме работы тяговой сети существует две действующие тяговые подстанции – ТП1 и ТП3. Для каждой длины сближения $l_{\text{с}1} - l_{\text{с}4}$ длина l_n представляет собой кратчайшее расстояние от ординаты одного из концов длины сближения (любой из них может считаться началом сближения) до ординаты соответствующей ближайшей действующей ТП. Если ордината конца длины $l_{\text{с}}$ совпадает с ординатой действующей ТП, то соответствующая длина $l_n = 0$ (в примере – для $l_{\text{с}1}$ и $l_{\text{с}4}$).

Шаг 4. В этом шаге необходимо определить предварительное значение ширины сближения a , м трассы КЛС с тяговой сетью.

Из нескольких полученных в предыдущем шаге значений опасного напряжений выбирается максимальное значение U_{max} . Это значение сравнивается с предельно допустимым индуцированным напряжением $U_{\text{дон}}$, В в жилах кабеля, учитывающим применение мер защиты и техники безопасности. При отсутствии дистанционного питания $U_{\text{дон}} = U_{\text{раб}}$ – рабочему (длительно – допустимому) напряжению, указанному в технических условиях на кабель. В данном проекте его можно принять равным 200 В.

Если $U_{\text{max}} < U_{\text{дон}}$, то в качестве предварительного значения ширины сближения выбирается значение $a=10$ м и расчет опасных влияний считается законченным. В противном случае осуществляется пересчет ширины сближения a по следующей методике.

Значение взаимной индуктивности M , полученное в предыдущем шаге по формуле 2

пересчитывается на новое M'

$$M' = \frac{U_{\text{дон}}}{U_{\text{max}}} \cdot M, \quad (7)$$

и решается уравнение с одним неизвестным x – искомой шириной сближения, м:

$$M' = 10^{-4} \ln \left| 1 + \frac{6 \cdot 10^5}{x^2 \cdot \sigma \cdot f} \right|, \quad (8)$$

В данном уравнении значения параметров σ и f берутся такими же, что и при расчете по формуле 2 в предыдущем шаге.

Полученное значение x , m округляется до большего целого значения и представляет собой предварительное значение ширины сближения.

1.3.4 Расчет мешающих влияний на кабельные цепи связи

В пояснительной записке по данному пункту необходимо привести подробный расчет мешающих влияний в нормальном режиме работы тяговой сети, привести расчетную схему с указанием всех длин и расстояний, а также вычислить окончательное значение ширины сближения тяговой сети железной дороги и трассы КЛС.

Расчет мешающих влияний на кабельные цепи связи производится при нормальном режиме работы тяговой сети переменного тока (см. рис. 3а). В целях сокращения расчетов, в курсовом проекте разрешается произвести расчет мешающих влияний для участка тяговой сети протяженностью А-Д. При этом следует условно считать, что направление передачи по цепи связи осуществляется в направлении от станции А к станции Д и, соответственно, в этом направлении зафиксированы начало и конец каждого расчетного участка цепи.

Наиболее простым методом расчета мешающего напряжения является приближенный метод по одной (определяющей) гармонической составляющей переменного тока, которая наводит в телефонных цепях тональной частоты наибольшее напряжение шума. Частота определяющей k -ой гармоники f_k задана для различных вариантов в исходных данных (табл. 4).

Шаг 1. В этом шаге следует рассчитать длины сближения расчетных участков с тяговой сетью в нормальном режиме работы, а также другие расстояния, необходимые для расчета влияний. Результатом шага будет являться расчетная схема мешающих влияний.

Для расчета мешающих влияний необходимо определить значения длин расчетных участков l , длин сближения l_s для каждого расчетного участка, а также расстояния от конца каждого расчетного участка до середины соответствующих длин сближения в пределах этого расчетного участка $l_{кс}$.

Шаг 2. В этом шаге необходимо рассчитать значения напряжений шума отдельно для каждой длины сближения, а также результирующее значение напряжения шума.

Напряжение шума $U_{шi}$ рассчитывается отдельно для каждой i -ой длины сближения (в примере на рис. 7 их три – $l_{э1} - l_{э3}$). Результирующее напряжение шума $U_{ш}$ в начале цепи определяется путем сложения по квадратичному закону значений напряжений шума для всех длин сближения.

Расчеты следует производить при значении ширины сближения (a , м), полученном при расчете опасных влияний и при значении частоты тока f_k , соответствующему частоте влияющей k -ой гармоники.

Напряжение шума $U_{ш}$, мВ, наводимое в двухпроводной телефонной цепи для одной длины сближения $l_э$ может быть рассчитано либо по формуле 9, либо по формуле 10:

$$U_{ш} = \omega_k \cdot M_k \cdot I_k \cdot \rho_k \cdot \eta \cdot S_p \cdot S_{обк} \cdot \frac{l_э}{2} \cdot 10^3, \quad (9)$$

$$U_{ш} = 2\omega_k \cdot M_k \cdot I_k \cdot \rho_k \cdot \eta \cdot S_p \cdot S_{обк} \cdot 10^3 \cdot \frac{sh(\gamma_A \cdot l_{кэ}) \cdot sh\left(\frac{\gamma_A \cdot l_э}{2}\right)}{|\gamma_A| \cdot sh(\gamma_A \cdot l)}, \quad (10)$$

где $\omega_k = 2\pi f_k$ – круговая частота определяющей k -ой гармоники тягового тока, рад/с;

M_k – взаимная индуктивность между контактным проводом и жилой кабеля на частоте k -ой гармоники, определяется для частоты f_k и новой ширины сближения (a , м) по формуле (2);

ρ_k – коэффициент акустического воздействия k -ой гармоники тягового тока (приведен в табл. 8);

η_k – коэффициент чувствительности телефонной цепи к помехам для k -ой гармоники (см. табл. 8);

$S_{обк}$ – коэффициент экранирующего действия оболочки кабеля для k -ой гармоники тягового тока, составляющий 0,02;

$|\gamma_A| = \sqrt{\alpha_A^2 + \beta_A^2}$ – модуль коэффициента распространения однопроводной цепи, подверженной влиянию, для k -ой гармоники тягового тока, 1/км; значения $\gamma_A = \alpha_A + j\beta_A$ приведены в табл. 8.

S_p – коэффициент экранирования рельсов, рекомендуется принять равным 0,45;

Формула (9) используется для коротких расчетных участков, а в формуле (10) учитываются волновые процессы в цепи связи, она используется для длинных расчетных участков.

Для выбора расчетной формулы для каждой длины сближения необходимо разделить

значение длины сближения l_s на значение длины соответствующего расчетного участка l . Если полученное отношение меньше или равно 0,9, напряжение шума $U_{шi}$ для данной длины сближения следует вычислять по формуле (10), так как данный расчетный участок по отношению к длине сближения считается длинным, во всех остальных случаях – по формуле (9) для коротких расчетных участков. Например, для рис 7: $l_{s1}/l_1=0,97$; $l_{s2}/l_2=0,22$; $l_{s3}/l_2=0,776$, следовательно, $U_{ш1}$ следует рассчитывать по формуле (9), а $U_{ш2}$ и $U_{ш3}$ – по формуле (10).

При расчетах по формуле (10) необходимо использовать формулы гиперболического синуса от комплексной переменной (например, $\gamma_A l$):

$$sh(\gamma_A l) = \sqrt{\frac{1}{2} [ch(2\alpha_A l) - \cos(2\beta_A l)]},$$

$$\text{где } ch(2\alpha_A l) = \frac{e^{2\alpha_A l} + e^{-2\alpha_A l}}{2},$$

α_A и β_A – соответственно действительная и мнимая составляющие коэффициента распространения однопроводной цепи; выражаются, как и при расчете $|\gamma_A|$ в Нп/км и рад/км соответственно.

При расчете следует обратить внимание, что $\cos(2\beta_A l)$ рассчитывается для аргумента, выраженного в радианах.

Таблица 8 – Значения для расчета мешающих влияний

Частота влияющей гармоники f_k , Гц	Порядок гармоники, k	I_k , А	$\eta_k 10^{-3}$	ρ_k	$\gamma_A = \alpha_k + j\beta_k$	
					α_k , мНп/км	β_k , мрад/км
750	15	3,2	0,64	1,035	43,0	52,2
850	17	3,0	0,72	1,109	45,0	55,5
950	19	2,3	0,81	1,109	47,0	59,0
1050	21	1,3	0,90	1,035	49,0	62,0
1150	23	1,2	0,95	0,977	50,7	65,3

После расчета значений напряжений шума $U_{шi}$ для каждой i -ой длины сближения по квадратичному закону определяется результирующее напряжение шума $U_{ш}$, мВ

$$U_{ш} = \sqrt{U_{ш1}^2 + U_{ш2}^2 + \dots + U_{шn}^2}, \quad (11)$$

где n – число длин сближения согласно расчетной схеме.

Шаг 4. В этом шаге необходимо определить значение ширины сближения (a , м) трассы КЛС с тяговой сетью на основе расчетов опасного и мешающего влияний.

Значение результирующего напряжения шума $U_{ш}$, полученное по формуле (11), сравнивается с предельно допустимым значением психофизического напряжения шума $U_{ш доп}$, мВ. Для группового канала оперативно-технологической связи на участке избирательной связи $U_{ш доп} = 1,0$ мВ.

Если $U_{ш} < U_{ш\ доп}$, то в качестве значения ширины сближения выбирается предварительное значение, полученное в результате расчета опасных влияний и расчет мешающих влияний считается законченным. В противном случае осуществляется пересчет ширины сближения (a , м) по методике, аналогичной пересчету в пункте 1.3.3. (см. формулы 7 и 8), но для значения взаимной индуктивности M , Гн/км и частоты тока f_k , используемых при расчете в формулах (9) и (10).

1.3.5 Выбор трассы прокладки КЛС и устройство ее переходов через преграды

В пояснительной записке по данному разделу проекта необходимо привести обоснование сторонности выбранной трассы КЛС и возможности ее прокладки в пределах полосы отвода железной дороги, пояснить принятые решения по конструктивным особенностям переходов трассы через реку (если такие переходы предусматриваются в проекте), изобразить в масштабе схематичный план КЛС.

От правильного выбора трассы зависит стоимость сооружения КЛС, ее долговечность а также надежность и бесперебойность действия. Трасса выбирается с таким расчетом, чтобы число переходов кабеля через железную дорогу было минимальным, а необходимые переходы устраивались в местах с наименьшим количеством путей.

При переходе кабеля через реку учитываются особенности этой реки. Если река судоходна или ее ширина превышает 300 м, то в проекте КЛС предусматривается прокладка двух кабелей для каждого магистрального кабеля: одного – по мосту, а другого – по дну реки. Подводные кабели в этом случае выбираются с проволоочной броней, а на обоих берегах реки в местах стыка с подземным кабелем (примерно на расстоянии 50 м от реки) монтируются разветвительные муфты. Трассу подводных кабелей, особенно при возможности ледяных заторов у моста, отнести от моста на расстояние 300 м.

На перегонах и в пределах небольших станций трасса КЛС прокладывается, как правило, в пределах полосы отвода железной дороги, ширина которой составляет по 60 м в обе стороны от головки рельса железнодорожного пути. Лишь на отдельных участках при соответствующем обосновании, в особенности на подходах к крупным станциям, трасса кабеля может быть выбрана за пределами полосы отвода.

Во всех случаях на участках с электротягой переменного тока минимальное удаление кабеля от контактной сети (т.е. расстояние от трассы кабеля до железнодорожного полотна) должна соответствовать ширине сближения (a , м), определенной на основании расчетов опасных и мешающих влияний тягового тока на КЛС (см. п. 1.3.4 настоящих указаний).

Если на участке имеется высоковольтная линия автоблокировки, то предпочтение

обычно отдается варианту прокладки трассы КЛС вдали от высоковольтной линии, на противоположной стороне железной дороги. Поэтому в соответствии с заданием трассу КЛС следует расположить слева от железной дороги по счету километража.

Выбранное расположение трассы наносится на схематический план КЛС, выполняемый на листе удлиненного формата с ориентировочным масштабом по горизонтали 1:200000 (в 1 см 2 км) и по вертикали 1:2000 (в 1 см 20 м).

На схематическом плане трассы КЛС указываются: границы полосы отвода железной дороги с ординатами привязки их к головке рельса главного пути участка, ВЛС (после выполнения раздела 2 проекта), высоковольтная линия автоблокировки и другие линии электропередач; контуры лесов, лугов и других угодий; расположение станций, переездов, мостов и других искусственных сооружений с указанием их ординат на трассе, ответвления железнодорожных линий, пересекаемые трассой реки и т.п.

На схематичном плане показываются ОУП, ОРП, НУП и НРП с указанием их ординат. Ординаты НУП определены в пункте 1.3.3., а НРП для уплотненных цепей КЛС размещаются на трассе через 5-8 км также с указанием их ординат.

В качестве примера фрагмент схематического плана трассы КЛС для небольшого участка магистрали показан на рис. 8.

1.3.6 Содержание кабеля под избыточным давлением

В пояснительной записке по данному разделу следует:

- 1) раскрыть цели, которые преследуются содержанием кабеля под постоянным избыточным давлением;
- 2) указать пункты КЛС, на которых проектом предусматривается размещение нагнетательных установок для автоматической подкачки воздуха в кабели.

Содержание кабеля под постоянным избыточным воздушным (газовым) давлением, превышающим атмосферное на 49×1000 Па (0,5 кгс/см.кв.), предусматривается в настоящее время на всех строящихся магистральных кабельных линиях.

В этом случае КЛС делится на герметизированные участки, длина которых, как правило, равна усилительному участку ВЧ. Поэтому нагнетательные установки для подкачки воздуха в кабели монтируются во всех усилительных (ОУП, НУП) и оконечных пунктах кабельной магистрали.

При использовании системы ИКМ-120 нагнетательные установки разместить на станциях участка через 15-20 км.

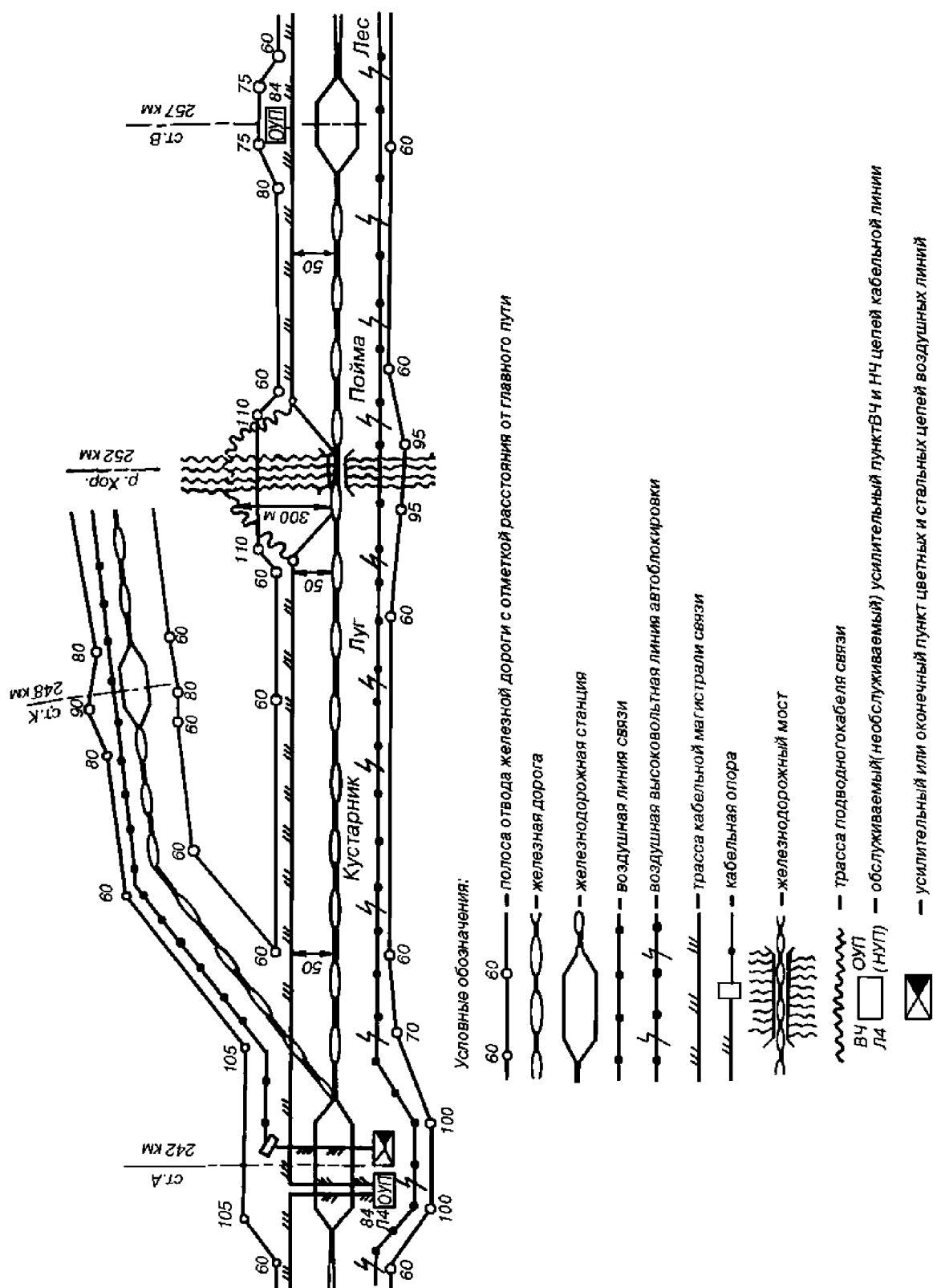


Рисунок 8 – Фрагмент схематического плана трассы КЛС для небольшого участка магистрали

1.3.7 Организация связи и цепей автоматики по КЛС

В пояснительной записке по данному пункту необходимо изобразить схему организации связи КЛС для перегона А-Б и кратко описать особенности ввода цепей КЛС и связи.

Пример схемы организации связи представлен на рис. 9. Строгого масштаба для такой схемы придерживаться необязательно. В соответствии с данными табл. 3 на рисунке схематично изображается трасса железной дороги, объекта СЦБ и связи соответственно справа или слева от железнодорожной магистрали, указываются их ординаты, а также изображается трасса КЛС. В примере на рис. 9 трасса КЛС изображена справа от железной дороги по счету километража, однако в соответствии с п. 1.3.5 ее следует изобразить слева от железной дороги. Кроме этого, на схеме условно изображаются все виды связи, предусмотренные в КЛС (в соответствии с п. 1.3.2, табл. 6).

В промежуточные пункты цепи отдельных видов связи и СЦБ могут вводиться либо шлейфом (с разрезом линейных проводов, обозначенные на схеме $\lceil \rfloor$), либо параллельно (параллельным подключением к линии установок связи, обозначенные на схеме $\perp$). Ввод любой цепи шлейфом требует использования для каждого ответвления двух пар проводов (одна пара проводов заходит в объект от кабеля, вторая пара проводов выводится из объекта и заводит цепь обратно в кабель, рис. 10а). Такой способ ввода цепей имеет эксплуатационные преимущества, поскольку позволяет устраивать замену поврежденных участков одних видов связи исправными цепями других, отключать поврежденные установки связи с сохранением нормальной работы остальных установок, организовать необходимые виды связей с местами восстановительных работ и т. д. Поэтому цепи перегонной и межстанционной связи вводятся в линейные пункты только шлейфом. Шлейфом вводятся также все виды связи в пассажирские здания или посты ЭЦ, если на этих станциях отсутствуют усилительные пункты, в том числе НУПы.

Ответвления цепей СЦБ осуществляются всегда шлейфом, при этом цепь СБК-ДК заводится только на станции, остальные цепи СЦБ заводятся во все релейные шкафы светофоров и переездов на перегонах, что облегчает организацию двухстороннего движения поездов по одному из путей перегона при капитальном ремонте пути.

Параллельные ответвления требуют для каждого ответвления одну цепь ответвления на каждую цепь связи (рис. 10б.).

Типовые решения по организации ответвлений к объектам связи и СЦБ при двухкабельной магистрали приведены в табл. 9.

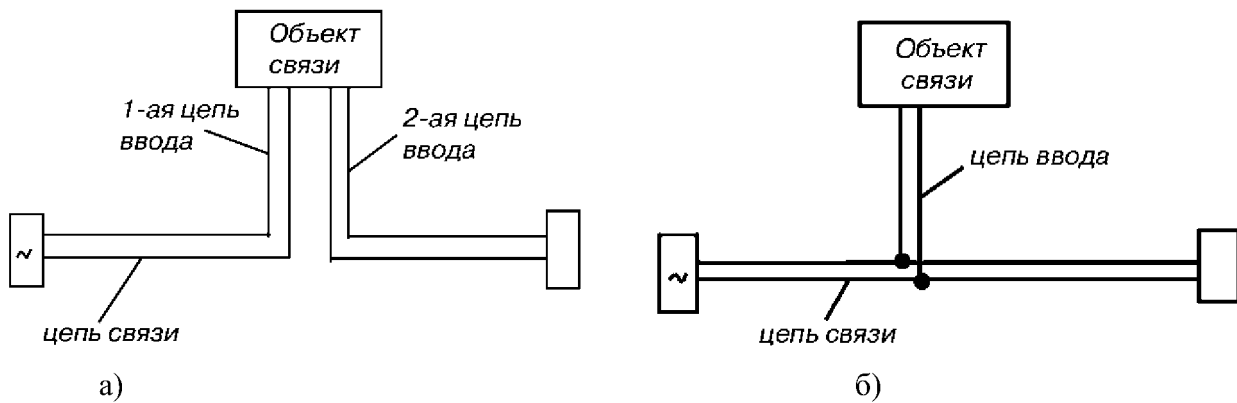


Рисунок 10 – Схемы ввода цепи отдельных видов связи и СЦБ шлейфом (а) и параллельно (б)

Таблица 9 – Типы ответвлений к объектам связи и СЦБ

№ п/п	Наименование объектов связи и СЦБ	Цепи связи и СЦБ, вводимые	
		шлейфом	параллельно
1	Пассажирское здание или пост ЭЦ на станциях, не имеющих усилительных пунктов	ПДС, ЭДС, ЛПС, СЭМ, ДБК, ВГС, ПС, ПРС, ПГС, МЖС, ТУ, ТС, Пр-зд, СЦБ, СЦБ-ДК	-
2	Остановочный пункт	ПГС, МЖС	ПС
3	Проходной сигнал автоблокировки или неохраняемый переезд	ПГС, СЦБ, МЖС	-
4	Входной сигнал станции	ПГС, СЦБ	ПДС
5	Будка дежурного на охраняемом переезде	ПГС, МЖС, СЦБ, Пр-зд	ПДС, ЛПС
6	Тяговая подстанция	ТУ, ТС	ЭДС, ПС
7	Дежурный пункт дистанции контактной сети	-	ЭДС, ПС
8	Пост секционирования контактной сети	ТУ, ТС	ЭДС
9	Здание службы пути (в том числе помещения для обогрева на перегонах и станциях)	ПГС	ЛПС
10	Квартира электромеханика связи или СЦБ		СЭМ
11	Товарная контора станции	-	ВГС
12	Необслуживаемый усилительный пункт (подземный на перегоне)	ВЧ	-

При наличии на станции усилительного пункта ответвления от магистрального кабеля на пост ЭЦ, в пассажирское здание и другие объекты, как правило, не делаются, а необходимые цепи связи и автоматики передаются от усилительного пункта кабелем вторичной коммутации. В соответствии с табл. 3. таким станционным объектом является, например, ТП, расположенная на станции А, так как она расположена до ординаты релейного шкафа входного светофора (РШ-Вх).

Отдельные ответвления не делаются также в тех случаях, когда линейные объекты располагаются друг от друга на расстоянии менее 100м. В этих случаях устраивается один общий отпай от магистрального кабеля и ответвление заканчивается на ближайшем из объектов. Для передачи требуемых цепей ко второму объекту прокладывается кабель вторичной коммутации. Например, на рис. 9 расстояние между РШ (ордината 916 км 810 м) и ПБ (ордината 916 км 825 м) составляет 15 м, поэтому все цепи СЦБ и связи, необходимые для ввода и в РШ, и в ПБ заводятся сначала в РШ, а затем цепи связи, вводимые в ПБ, заводятся в ПБ от РШ кабелем вторичной коммутации.

Для того, чтобы правильно расположить объекты связи и СЦБ относительно друг друга необходимо знать расстояния от объектов связи и СЦБ до ближайшего рельса железнодорожного пути, которые приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Расстояния от объектов связи и СЦБ до ближайшего рельса

Наименование объекта	Расстояние, м
Пост ЭЦ, пассажирское здание, остановочный пункт, дежурный пост контактной сети	35
Тяговая подстанция	50
Будка дежурного по переезду, пост секционирования контактной сети	5
Линейно-путевое здание, квартира электромеханика	100
Релейный шкаф сигнальной точки автоблокировки или переездной сигнализации	3
Здание обслуживаемого усилительного пункта	35

1.3.8 Скелетная схема КЛС

В пояснительной записке по данному пункту необходимо изобразить скелетную схему КЛС для перегона А-Б. В пояснении к скелетной схеме необходимо обосновать выбор типа кабелей, используемых для ответвлений и в качестве кабелей вторичной коммутации, кратко охарактеризовав конструктивные особенности выбранных кабелей; привести расчет емкости и длины кабелей ответвлений и вторичной коммутации для перегона А-Б в форме таблицы 11, пояснить методику расчета длины кабелей; выбрать требуемую для перегона А-Б кабельную арматуру для каждого из ответвлений и вводов магистральных кабелей, составив ее спецификацию по форме таблицы 12.

Шаг 1. В этом шаге необходимо изобразить скелетную схему КЛС для перегона А-Б. Пример скелетной схемы приведен на рис. 11. На скелетной схеме КЛС показывается расположение всех объектов связи, а также устраиваемые к ним ответвления и соединения кабелей между собой, указываются ординаты всех объектов связи и СЦБ, а также ординаты всей кабельной арматуры. Скелетная схема является основным документом для монтажа магистрального кабеля; она дополняется спецификацией кабельной арматуры.

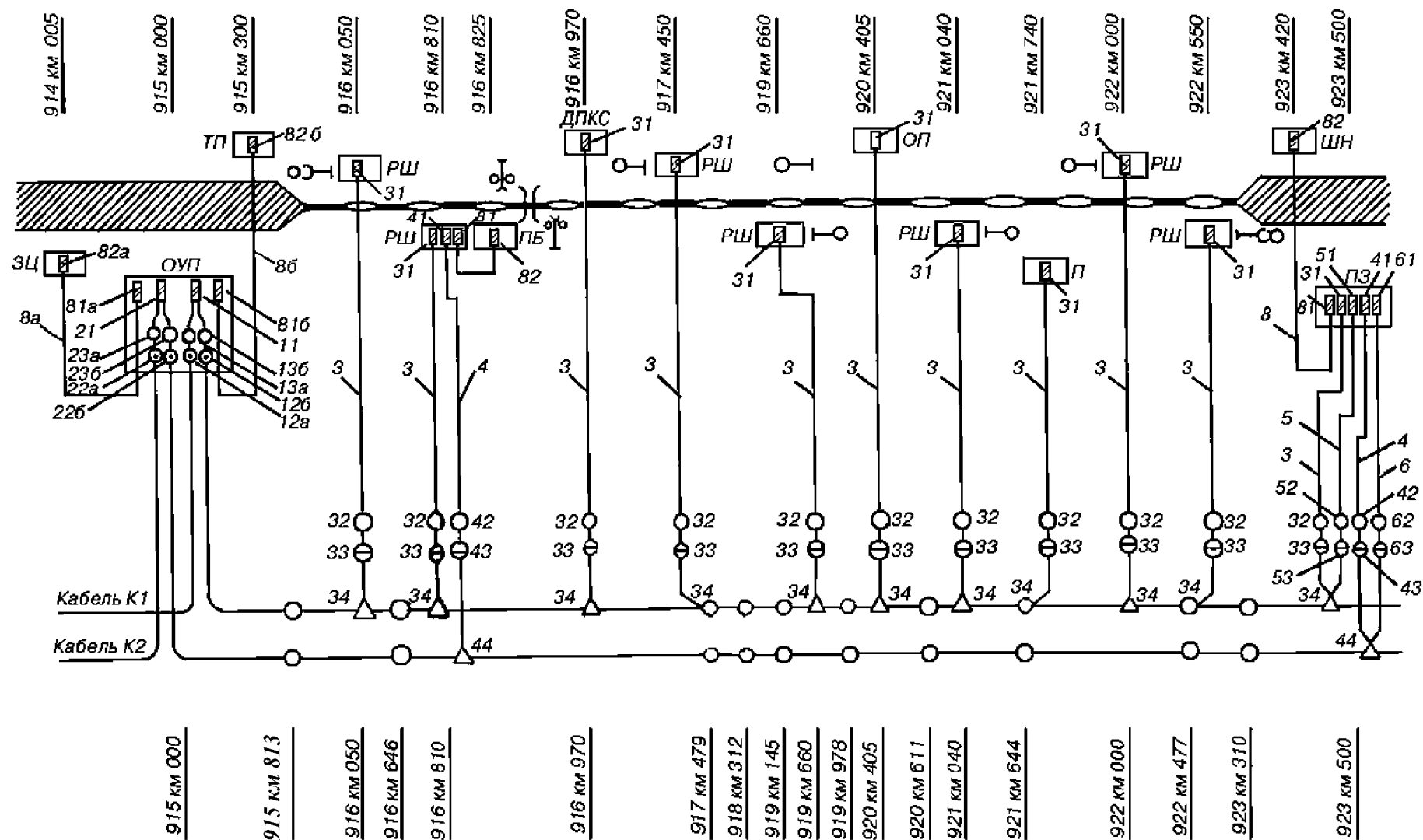


Рисунок 11 – Пример скелетной схемы

В начале следует изобразить трассу КЛС (в примере – кабель К1 и кабель К2), схематично изобразить железнодорожные пути и разместить в соответствии с заданием объекты связи и СЦБ соответственно слева или справа от железной дороги с указанием их ординат. В примере на рис. 11 трасса КЛС изображена справа от железной дороги по счету километража, однако в соответствии с п. 1.3.5 ее следует изобразить слева от железной дороги. Строгого масштаба при построении скелетной схемы придерживаться необязательно.

Далее необходимо на скелетной схеме разместить прямые (соединительные) свинцовые муфты, предназначенные для соединения строительных длин кабеля. Строительная длина магистрального кабеля составляет 825 м. Однако следует учесть дополнительный расход кабеля на изгибы при укладке в траншеях и котлованах в размере 1,6% и отходы при спаечных работах в размере 0,6% от размера строительной длины. Таким образом, как видно из рис. 11, расстояние между ординатами прямых муфт составляет 833 м (например, муфты по ординатам 915 км 813 м, 916 км 646 км и т.д.). Для правильного размещения прямых свинцовых муфт необходимо рассчитать ординату первой муфты (в примере – 915 км 813 м). Для этого следует учесть расход магистрального кабеля на ответвление в ОУП на станции А. Эта величина складывается из расстояния от трассы кабеля до ОУП и дополнительного расхода на ввод кабеля в ОУП (20 м). Например, если полученная в п. 1.3.4. ширина сближения, т.е. расстояние от трассы КЛС до железной дороги, составляет 17 м, то учитывая приведенное в табл. 10 расстояние от железной дороги до ОУП (35 м) можно рассчитать дополнительный расход L магистрального кабеля на ответвление в ОУП в соответствии с рис. 1.11: $L = 35 \text{ м} - 17 \text{ м} + 20 \text{ м} = 38 \text{ м}$. В этом случае ордината первой прямой муфты рассчитывается как $915 \text{ км } 000 \text{ м} + (833 \text{ м} - 38 \text{ м}) = 915 \text{ км } 795 \text{ м}$. Если ОУП располагается справа от железной дороги, то в расчете следует полностью учесть ширину сближения, расстояние от железной дороги до ОУП, а также ширину железной дороги (в расчетах можно принять 6 м). В этом случае $L = 17 \text{ м} + 35 \text{ м} + 6 \text{ м} + 20 \text{ м} = 78 \text{ м}$, а ордината первой прямой муфты составит 915 км 755 м.

Таким образом, установив первую прямую муфту в соответствии с рассчитанной ординатой, остальные прямые муфты устанавливаются последовательно через 833 м.

Затем в местах ответвлений устанавливаются тройниковые свинцовые муфты (например, по ординате 920 км 405 м). С целью сокращения количества муфт следует стремиться к тому, чтобы место ответвления совпадало с прямой муфтой. В таком случае в качестве прямой устанавливается тройниковая муфта. Место ответвления не совмещается с местом соединения строительных длин кабеля, если расстояние между ними превышает 100 м. Например, муфта по ординате 917 км 479 м является тройниковой, хотя изображается

она как прямая, чтобы подчеркнуть, что данная муфта одновременно выполняет роль и тройниковой, и прямой муфт. Это связано с тем, что расстояние от ординаты объекта (917 км 450 м) до ординаты ближайшей прямой муфты (917 км 479 м) не превышает 100 м.

На скелетной схеме при организации ответвлений размещаются газонепроницаемые муфты, которые устанавливаются на вводах кабелей ответвлений для предотвращения утечки воздуха из магистральных кабелей, находящихся под постоянным избыточным давлением; прямые свинцовые муфты типа МС, устанавливаемые на кабелях ответвлений и необходимые для монтажа газонепроницаемых муфт; чугунные прямые и тройниковые муфты, устанавливаемые на свинцовые прямые, газонепроницаемые и тройниковые муфты подземных кабелей для защиты их от механических повреждений.

В объектах связи и СЦБ размещаются междугородные кабельные боксы, служащие для оконечной разделки вводных кабелей в помещениях объектов связи и рассчитанные на ввод (разделку) одного или двух кабелей при количестве плинтов на боксах от одного до трех; малогабаритные кабельные боксы, рассчитанные для установки в релейных шкафах автоблокировки или переездной сигнализации.

Установка прямых муфт при вводе кабелей в усилительные пункты (ОУП, НУП) объясняется технологией монтажа газонепроницаемых муфт, которые монтируются предварительно на небольших отрезках кабеля длиной 4-5 м, затем один конец кабеля посредством прямой муфты соединяется с магистральным кабелем, а другой разделяется на боксе. Прямая соединительная муфта в этом случае одновременно используется для подсоединения оборудования подкачки воздуха в кабели. Для этого в муфте просверливается отверстие и впаивается ниппель, к которому подводится трубопровод со сжатым воздухом.

Газонепроницаемые и соединительные муфты усилительных пунктов размещаются в помещениях непосредственно на вводных кабельных устройствах и поэтому в защите чугунными муфтами не нуждаются.

По существующей типовой нумерации, применяемой на КЛС, магистральный кабель, от которого делаются все основные ответвления на перегонах, обозначается К1, второй кабель – К2, кабели, ответвляющиеся от магистрального кабеля К1, имеют номера 3 и 5, от кабеля К2 – 4 и 6; кабель вторичной коммутации обозначается номером 8.

Боксам присваиваются двузначные номера, при этом второй цифрой является 1, а первая соответствует номеру кабеля ответвления. Кабель 8 оканчивается муфтой или боксом, обозначаемым номером 82. Соединительные, газонепроницаемые и тройниковые муфты на кабелях ответвлений имеют двузначный номер, первая цифра кабеля соответствует номеру кабеля, а вторая – типу муфты: соединительной – 2, газонепроницаемой – 3, тройниковой – 4. Боксы, устанавливаемые в релейных шкафах или релейных помещениях, на скелетной схеме

кабеля заштриховываются.

Ответвления от магистральных кабелей осуществляются в соответствии с распределением цепей по четверкам кабелей, приведенным в п. 1.3.2., табл. 6. Например, на рис. 11 ответвление по ординате 916 км 810 м производится сразу от двух кабелей, т.к. цепь Пр-зд размещена в кабеле К2, а остальные цепи, вводимые в РШ и ПБ – в кабеле К1 (виды связи, вводимые в объекты связи и СЦБ приведены на рис. 9).

Шаг 2. В данном шаге необходимо обосновать выбор типа кабелей, используемых для ответвлений и в качестве кабелей вторичной коммутации, кратко охарактеризовав конструктивные особенности выбранных кабелей; привести расчет емкости и длины кабелей ответвлений и вторичной коммутации для перегона А-Б в форме таблицы 11, пояснить методику расчета длины кабелей.

Таблица 11 – Расчетная таблица кабелей ответвлений и вторичной коммуникации

Ордината объекта связи	Тип ответвления	Цепи ответвления, вводимые		Число требуемых пар кабеля	Емкость, марка выбранного кабеля	Расстояние по трассе до объекта, м	Дополни тельный расход кабеля, м	Общая длина кабеля, м
922 км 550 м	РШ-Вх	ПГС, СЦБ	ПДС	15	ТЗАБп12х4	87	5	92

Для устройства ответвлений от магистрального кабеля рекомендуется использование низкочастотных кабелей дальней связи марок ТЗАБп, ТЗПАБп. Эти же кабели могут использоваться и в качестве кабелей вторичной коммутации. Строительная длина кабелей указанных марок составляет 425 м. Кабели типа ТЗАБп с бумажно-кордельной изоляцией жил в алюминиевой оболочке изготавливаются емкостью 3, 4, 7, 12, 14, 19, 27, 37 и 52 четверок; кабели типа ТЗПАБп с полиэтиленовой изоляцией жил изготавливаются емкостью 4, 7, 14 и 19 четверок.

Требуемая емкость и длина кабеля рассчитываются для каждого объекта в соответствии с числом ответвляющихся цепей и удаленностью объекта от трассы КЛС.

Результат выбора емкости кабелей ответвлений и расчета их длины оформляются в виде таблицы, фрагмент которой приведен в виде таблицы 11.

Ординаты объектов связи, тип ответвлений, а также цепи ответвления, вводимые шлейфом или параллельно указываются в таблице 11 в соответствии со схемой организации связи (рис. 9). В таблице следует указать также объекты, ответвления к которым выполнены с помощью кабелей вторичной коммутации. Например, в объект по ординате 916 км 810 м заводятся все цепи, необходимые для ввода и в РШ, и в ПБ, а в объект по ординате 916 км 825 м заводятся только цепи, необходимые для ввода в ПБ.

Далее определяется число требуемых пар кабелей ответвления или вторичной коммутации. Для этого следует в соответствии с таблицей распределения цепей по четверкам кабеля (табл. 6) определить число цепей, используемое для организации каждого вида связи, а также учесть, что при вводе шлейфом на каждую цепь связи требуется две цепи для организации ввода в объект связи, а при параллельном вводе – одна цепь ввода (см. рис. 10а и 10б). Например, для объекта по ординате 922 км 550 м предусмотрено 2 цепи ПГС, 5 цепей СЦБ и 1 цепь ПДС. Так как цепи ПГС и СЦБ вводятся шлейфом, то общее число требуемых пар кабелей ответвления составит: $2 \text{ цепи ПГС} \cdot 2 + 5 \text{ цепей СЦБ} \cdot 2 + 1 \text{ цепь ПДС} = 15$ пар кабеля. Аналогичные расчеты следует произвести для всех объектов связи и СЦБ на участке А-Б, включая ОУП.

Емкость кабелей ответвлений определяется в соответствии с рассчитанным числом требуемых пар кабеля. Например, для размещения 15 пар (30 жил) кабель емкостью 7х4 не может использоваться, так как позволяет разместить только 14 пар (28 жил). Кабель большей емкости выпускается емкостью 12х4 и позволяет разместить 24 пары (48 жил). Поэтому для ответвления по ординате 922 км 550 м выбран кабель типа ТЗАБп емкость 12х4.

Расчет расстояния по трассе до объекта для каждого объекта связи и СЦБ производится по методике, аналогичной расчету первой прямой свинцовой муфты, приведенной в шаге 1. Например, если полученная в п. 1.3.4. ширина сближения составляет 17 м, то учитывая приведенное в табл. 10 расстояние от железной дороги до РШ-Вх (3 м) можно рассчитать расстояние L по трассе до объекта по ординате 922 км 550 м в соответствии с рис. 11: $L = 17 \text{ м} - 3 \text{ м} + 73 \text{ м} = 87 \text{ м}$. В данном случае учтено, что ордината объекта СЦБ (922 км 550 м) не совпадает с ординатой ответвления кабеля (922 км 477 м). Аналогично рассчитываются расстояния для всех объектов СЦБ и связи, в том числе и для тех, где ввод осуществляется с помощью кабелей вторичной коммутации (например, для ПБ по ординате 916 км 825 м $L = (916 \text{ км } 825 \text{ м} - 916 \text{ км } 810 \text{ м} + (5 \text{ м} - 3 \text{ м})) = 17 \text{ м}$).

Дополнительный расход кабеля учитывает расход кабеля на изгибы при укладке в траншеях и котлованах в размере 1,6% и отходы при спаечных работах в размере 0,6% от расстояния по трассе. Кроме того, необходимо учитывать расход кабеля на устройство вводов, который для различных объектов связи принимается в следующих пределах: ОУП, пост ЭЦ, пассажирское здание или тяговая подстанция – 20 м; остановочный пункт, будка на переезде, линейно-путевое здание, квартира электромеханика, дежурный пост контактной сети – 5 м; релейный шкаф сигнальной установки автоблокировки или переездной сигнализации, пост секционирования контактной сети – 3 м. Таким образом, для объекта по ординате 922 км 550 м дополнительный расход кабеля $L_d = 87 \text{ м} \cdot (0,016 + 0,006) + 3 \text{ м} = 4,9 \text{ м} \approx 5 \text{ м}$. Общая длина кабеля ответвления составляет $L = 87 \text{ м} + 5 \text{ м} = 92 \text{ м}$.

Шаг 3. В данном шаге необходимо выбрать требуемую для перегона А-Б кабельную арматуру для каждого из ответвлений и вводов магистральных кабелей, составив ее спецификацию по форме таблицы 12.

Для монтажа кабельной магистрали предусматривается применение следующей кабельной арматуры: прямых (соединительных) свинцовых муфт типа МСП-7 и МСП-14, рассчитанных на соединение строительных длин кабелей емкостью соответственно 7 и 14 четверок; газонепроницаемых свинцовых муфт ГМС-4, рассчитанных на монтаж кабелей емкостью 3 или 4 четверки, ГМС-7, рассчитанных на монтаж кабелей емкостью 7 четверок, ГМСМ-40, рассчитанных на монтаж кабелей емкостью 12 четверок и ГМСМ-60, рассчитанных на монтаж 14-четверочных кабелей; прямых (соединительных) свинцовых муфт типа МС-20, МС-25, МС-30, МС-40 с внутренним диаметром шейки муфты соответственно 20, 25, 30 и 40 мм, устанавливаемых на кабелях ответвлений и необходимых для монтажа газонепроницаемых муфт; тройниковых свинцовых муфт типов МСТ 7х7, МСТ 7х7х7, МСТ 7х12, МСТ 14х7, МСТ 14х7х7, МСТ 14х7х12, МСТ 14х12, МСТ 14х14, устанавливаемых в местах ответвлений; чугунных прямых (С-35, С-50, С-55, С-65) и тройниковых (Т-35, Т-50, Т-55, Т-65) муфт с внутренним диаметром их горловин соответственно 35, 50, 55 и 65 мм, устанавливаемых на свинцовые прямые, газонепроницаемые и тройниковые муфты подземных кабелей для защиты их от механических повреждений; междугородных кабельных боксов БМ1-1, БМ1-2, БМ2-2, БМ2-3; малогабаритных кабельных боксов БМШ, рассчитанных для установки в релейных шкафах автоблокировки. Фрагмент спецификации, составленной в соответствии со скелетной схемой КЛС (рис. 11), приведен в таблице 12.

При составлении спецификации арматуры в первой графе в порядке возрастания указываются все без исключения ординаты арматуры, объектов связи и СЦБ, указанные на скелетной схеме (рис. 11).

Арматура КЛС подбирается в соответствии с выбранной в шаге 2 емкостью кабелей ответвлений и числом пар кабеля, вводимых в объекты связи и СЦБ. Первая цифра в маркировке муфт типа МСТ указывает емкость магистрального кабеля, а вторая цифра – емкость кабеля ответвления. Например, муфта МСТ 7х12 предназначена для организации ответвления от кабеля емкостью 7х4 с помощью кабеля емкостью 12х4. Если нельзя подобрать муфту МСТ, которая в точности подходила бы к емкостям кабелей, то берется ближайшая муфта больших размеров. Например, в таблице 12 кабель К2 имеет емкость 4х4 (на это указывает использование муфты ГМС-4), однако для организации ответвления используется муфта МСТ 7х7, т.к. муфты МСТ 7х4 не существует.

Тип чугунных муфт выбирается на основе таблицы 13 соответствия чугунных и свинцовых муфт.

Таблица 13 – Таблица соответствия свинцовых и чугунных защитных муфт

Тип муфты			
Свинцовая	Чугунная	Свинцовая	Чугунная
МСП-7	С-50	МСТ 7×7	Т-50
МСП-14	С-50	МСТ 7×7×7	Т-50
МС-20	С-35	МСТ 14×7	Т-65
МС-30	С-50	МСТ 14×7×7	Т-65
ГМС-4	С-50	МСТ 14×14	Т-65
ГМС-7	С-50	МСР 7×4×4	С-50
ГМСМ-60	С-55	ГМСМ-40	С-50

Первая цифра в маркировке междугородных боксов типа БМ1-1, БМ1-2, БМ2-2, БМ2-3 указывает на число кабелей (число патрубков), одновременно вводимых в данный бокс (один или два). Вторая цифра (1, 2 или 3) указывает на количество плиток на боксах. Для включения низкочастотных кабелей кабельный бокс оборудуется плитками ПН-10, рассчитанными на разделку 10 пар кабеля, а при включении высокочастотных кабелей – экранированными плитками ПЭ-6, рассчитанными на разделку 6 высокочастотных цепей. Число цепей, вводимых в каждый из боксов соответствует числу требуемых пар кабеля, указанному в таблице 11. Типы боксов, используемых при организации связи приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Типы боксов, используемых при организации связи

Тип бокса	Плинт		Тип бокса	Плинт		
	первый	второй		первый	второй	третий
БМ1-1	ПН-10	-	БМ2-2	ПЭ-6	ПН-10	-
БМ1-1	ПЭ-6	-	БМ2-2	ПЭ-6	ПЭ-6	-
БМ1-2	ПН-10	ПН-10	БМ2-3	ПН-10	ПН-10	ПН-10
БМ1-2	ПЭ-6	ПН-10	БМ2-3	ПЭ-6	ПН-10	ПН-10
БМ1-2	ПЭ-6	ПЭ-6	БМ2-3	ПЭ-6	ПЭ-6	ПН-10
БМ2-2	ПН-10	ПН-10	БМ2-3	ПЭ-6	ПЭ-6	ПЭ-6

Для монтажа кабеля в релейных шкафах сигнальных точек автоблокировки применяют боксы БМШ1-15х2. Бокс этого типа имеет меньшие размеры по сравнению с боксом БМ1-2, что дает возможность устанавливать его в релейных шкафах сигнальных точек. Бокс имеет по одному плитку ПН-10 и ПН-5 и предназначен для монтажа кабеля емкостью 7х4.

Кабельные боксы перечисленных типов применяются также для оконечной разделки кабелей вторичной коммутации, однако при малой емкости таких кабелей, когда в них заняты одна-две пары, могут применяться оконечные свинцовые муфты типа МСО-3, МСО-4, рассчитанные на емкость кабеля соответственно 3 и 4 четверки.

2 Проектирование волоконно-оптической линии связи

2.1 Задание на проектирование

1. На заданном двухпутном участке железной дороги О-Х (рис. 12) с электротягой переменного тока напряжением 27 кВ предусмотреть строительство ВОЛС с использованием подвески оптического кабеля (ОК) на опорах контактной сети.

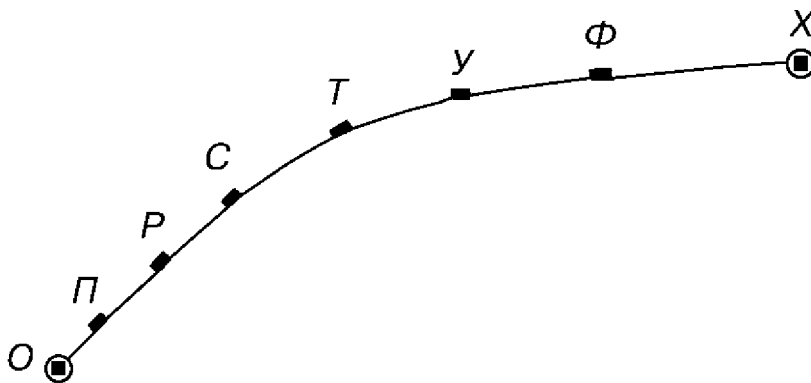


Рисунок 12 – Схема участка железной дороги О-Х

2. Предусмотреть организацию по ВОЛС магистральной, дорожной связи, а также каналов связи для коммерческих нужд и дороги с использованием систем передачи синхронной цифровой иерархии (SDH).

3. Предусмотреть организацию по ВОЛС каналов оперативно-технологической связи, а также резервных каналов связи.

4. В проекте предусмотреть применение НРП на станциях участка в соответствии с расчетной длиной регенерационных участков.

5. В расчетно-пояснительной записке для данного раздела должны быть отражены технические решения по следующим вопросам:

- выбор и краткое описание волоконно-оптических систем передачи;
- выбор ОК и распределение оптических волокон;
- расчет параметров световодов;
- расчет длин регенерационных участков и размещение НРП по трассе ВОЛС.

6. Данный раздел проекта должен содержать следующие чертежи:

- структурная схема ВОЛС;
- конструкция выбранной марки ОК;
- схематический план трассы ВОЛС с размещенными на ней НРП.

2.2 Исходные данные для проектирования

Данные изысканий по объекту проектирования:

1. Схема двухпутного участка железной дороги О-Х представлена на рис. 12. Данные об участке О-Х приведены в табл. 15.

2. Данные о необходимом количестве каналов (поток данных) для магистральной и дорожной связи приведены в табл. 16, а для коммерческих нужд – в табл. 17. В этих же таблицах по вариантам заданы типы мультиплексоров, с помощью которых следует организовать передачу потоков данных, а также условия использования оптических волокон (ОВ) со смещенной дисперсией.

3. В табл. 18 по вариантам задана строительная длина ОК, которую следует использовать при проектировании ВОЛС, а также данные по вариантам, необходимые для теоретического расчета параметров световодов в п. 2.3.3.

Таблица 15 – Сведения об участке О-Х

Вариант проекта (последняя цифра учебного шифра)	Расстояние между осями станций, км						
	О-П	П-Р	Р-С	С-Т	Т-У	У-Ф	Ф-Х
1	61	20	31	67	40	35	15
2	58	64	16	41	61	20	32
3	18	31	65	59	22	43	63
4	63	12	44	61	21	30	58
5	15	39	59	69	57	21	40
6	54	49	17	30	24	38	61
7	62	19	29	65	58	23	34
8	50	63	14	40	20	45	65
9	18	27	59	23	40	64	39
0	42	17	29	63	66	26	21

Таблица 16 – Данные по организации магистральной и дорожной связи

Вариант проекта (предпоследняя цифра учебного шифра)	Количество каналов Е1	Наличие линейного резервирования по схеме «1+1»	Тип мультиплексора	Использование ОВ со смещенной дисперсией
1	100	+	STM-1	+
2	260	+	STM-4	-
3	300	-	STM-4	+
4	180	+	STM-1	-
5	420	+	STM-4	+
6	280	-	STM-1	-
7	310	-	STM-4	+
8	190	+	STM-1	-
9	350	-	STM-4	+
0	510	-	STM-4	-

Таблица 17 – Данные по организации связи для коммерческих нужд

Вариант проекта (последняя цифра учебного шифра)	Количество каналов E1	Наличие линейного резервирования по схеме «1+1»	Тип мультиплексора	Использование ОВ со смещенной дисперсией
1	310	-	STM-4	-
2	250	-	STM-1	+
3	150	+	STM-1	-
4	430	-	STM-4	+
5	210	-	STM-1	-
6	510	-	STM-4	+
7	180	+	STM-1	-
8	390	-	STM-4	+
9	200	+	STM-4	-
0	220	+	STM-1	+

Таблица 18 – Строительная длина ОК

Вариант проекта (предпоследняя цифра учебного шифра)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Строительная длина ОК, км	4	6	9	4	6	9	4	6	9	4
Номер окна прозрачности для теоретического расчета дисперсии	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
Длина волны λ для теоретического расчета собственного затухания ОВ, мкм	1,31	1,55	1,31	1,55	1,31	1,55	1,31	1,55	1,31	1,55

2.3 Методические указания к проектированию

2.3.1 Организация передачи по ВОЛС

В пояснительной записке по данному пункту необходимо произвести выбор количества и типа систем передачи для ВОЛС, определить требуемое число и тип оптических волокон, а также привести структурную схему ВОЛС с кратким описанием назначения всех ее элементов и оптоэлектронных компонентов.

Потребности существенного увеличения объемов, надежности и экономичности передачи цифровой информации предопределили дальнейшие поиски в области разработки ЦСП. Семейство оборудования, разработанное на принципах синхронной цифровой иерархии (SDH), явилось качественно новым этапом развития техники систем передачи. Концепция SDH позволяет оптимально сочетать процессы высококачественной передачи больших объемов цифровой информации с процессами автоматизированного управления, контроля и обслуживания сети в рамках единой системы.

Для переноса информации в SDH используются синхронные транспортные модули (Synchronous Transport Modul, STM), которые представляют собой циклическую структуру с

периодом повторения 125 мкс. Основной модуль STM-1, модули высших уровней STM-4 и STM-16.

Принцип построения иерархии SDH аналогичен принципам построения иерархии PDN (см.п.1.3.1). Синхронная цифровая иерархия содержит три уровня, скорости передачи которых относятся как 1:4:16. Номера уровней совпадают с этими числами: первый уровень (STM-1) имеет скорость передачи 155520 Кбит/с (155 Мбит/с), четвертый уровень (STM-4) – 622080 Кбит/с (620 Мбит/с), а 16-й – 2488320 Кбит/с (2,5 Гбит/с).

Если (как для аппаратуры ИКМ в п.1.3.1.), разделить скорость передачи соответствующего модуля на скорость передачи для одного канала (64 Кбит/с), можно, с учетом служебных каналов, определить количество телефонных каналов.

Однако, например, сигнал видеоконференции емкостью 384 Кбит/с не может быть передан по каналу 64 Кбит/с.

Поэтому в соответствии с европейским стандартом при рассмотрении ЦСП используют не телефонный канал, а стандартные цифровые каналы, условно обозначаемые E-1 – E-5:

E-1 – первичный цифровой канал (ПЦК) 2048 Кбит/с (2 Мбит/с), соответствующий первому уровню в европейской иерархии PDH;

E-2 – вторичный цифровой канал (ВЦК) 8448 Кбит/с, соответствующий второму уровню в европейской иерархии PDH;

E-3 – третичный цифровой канал (ТЦК) 34,368 Мбит/с, соответствующий третьему уровню в европейской иерархии PDH;

E-4 – четвертичный цифровой канал (ЧЦК) 139,264 Мбит/с, соответствующий четвертому уровню в европейской иерархии PDH;

E-5 – пятеричный цифровой канал (ПЦК) 564,992 Мбит/с, соответствующий пятому (не стандартизованному) уровню в европейской иерархии PDH.

Как было показано в п.1.3.1.. при использовании аппаратуры ИКМ канал E1 позволяет организовать 120 телефонных каналов. Аналогично разделив скорость передачи мультиплексора STM-1 (155 Мбит/с) на скорость передачи для канала E1 (2 Мбит/с) можно определить максимальное количество каналов E1 (максимальную нагрузку) для данного мультиплексора.

Однако, кроме информационной нагрузки, STM несут значительный объем избыточных сигналов, обеспечивающих функции контроля, управления и обслуживания, а также вспомогательные функции.

Поэтому, например, модуль STM-1 позволяет организовать не 77 (155 Мбит/с : 2 Мбит/с = 77,5), а 63 канала E1.

Характеристики синхронных мультиплексоров STM-1 и STM-4 приведены в табл. 19.

Таблица 19 – Сравнительные характеристики синхронных мультиплексоров ввода/вывода.

Параметры мультиплексоров	Название фирмы				
	Alcatel	ECI	Lucent Technologies	Nortel	Siemens
Синхронные мультиплексоры – STM-1					
Тип оборудования	1640FOX	SDM-1	ADM 4/1(AM155)	TN-1X,-1X/4	SMA-1 R2
Трибные интерфейсы, Мбит/с	2,34, 140, 155	2,34, 140	2,34,140	2,34,155	2,34,140,155
Максимальная нагрузка на мультиплексор	63×2/3×34	96×2/6×34/4×140	126×2/3×34	63×2/3×34/45	126×2
Агрегатные интерфейсы: типы (число)	2×STM-1	2×STM-1	2×STM-1/4	2×STM-14(1/2)	2×STM-1
Тип/схема защиты по выходу	1:1, 1+1/SNCP	1:1, 1+1	1:1, 1+1/MSP	1:1, 1+1/MSP	1:1, 1+1/MSP, SNCP
Синхронные мультиплексоры – STM-4					
Тип оборудования	1650SM	SDM-4	ADM 4/1(AM155)	TN-4X,-4XE	SMA-4 R4
Трибные интерфейсы, Мбит/с	1,5/2,34/45, 140, 155	2,34, 140,155	2,34,140	2,34/45,140,15 5E+0	2,34,140,155
Максимальная нагрузка на мультиплексор	252×2/6×34	288×2/18×34	126×2/3×34	252×2/6×34/4 ×140	252×2/24×34
Агрегатные интерфейсы: типы (число)	2×STM-1/4	2×STM-4	2×STM-1/4	2×STM-1/4	2×STM-1/4
Тип/схема защищенного режима	1:1, 1+1/SNCP	1:1, 1+1/MSP	1:1, 1+1/MSP	1:1, 1+1/SNCP	1+1/SNCP/MS-SPRing

В этой таблице в графе «трибные интерфейсы» перечислены цифровые каналы, используемые в соответствующих типах мультиплексоров. Например для системы SDM-1 (фирмы ECI) могут использоваться каналы E1, E3 и E4. В графе «максимальная нагрузка на мультиплексор» указано максимально-возможное число соответствующих цифровых каналов, которое можно организовать, используя данный тип оборудования. Например, для системы SDM-4 (фирмы ECI) можно организовать 288 каналов E1 или 18 каналов E3.

Для каждого комплекта аппаратуры STM-1 или STM-4 необходимо предусмотреть два оптических волокна: одно для организации связи в прямом, а второе – в обратном направлениях. Важной особенностью SDH мультиплексора является наличие двух

оптических линейных выходов (каналов приема/передачи), называемых агрегатными выходами и используемых для создания режима 100%-ного резервирования или защиты по схеме «1+1» с целью повышения структурной надежности ВОЛС. При линейной топологии сети эти выходы называются основными и резервными. Возможность применения линейного резервирования указана в графе «Тип/схема защиты по выходу». При необходимости линейного резервирования для каждого комплекта аппаратуры STM-1 или STM-4 необходимо четыре оптических волокна: 2 основных и 2 резервных.

Исходные данные для выбора и организации системы передачи по ВОЛС приведены в табл. 16 и 17. Тип оборудования выбирается произвольно в соответствии с исходными данными и данными табл. 19. Результаты расчета сводятся в табл. 20. При этом следует учесть, что каналы, заданные в табл. 16 и 17 организуются по разным парам ОВ.

Например, пусть необходимо организовать 200 каналов Е1 с использованием мультиплексора STM-4 и линейным резервированием по схеме «1+1». Из табл. 19 выбираем аппаратуру типа 1650 SM фирмы Alcatel, т. к. она позволяет организовать потоки с заданными параметрами. Из табл. 19 следует, что максимальная нагрузка на мультиплексор – 252 канала Е1. Следовательно, для организации 200 каналов Е1 требуется один комплект аппаратуры STM-4, с учетом 100%-ного резервирования общее количество волокон – 4.

Таблица 20 – Результаты расчетов

Тип мультиплексор а	Фирма	Тип оборудования	Требуемое количество мультиплексоров			Требуемое число ОВ		
			всего	В том числе		всего	В том числе	
				Для магистр. и дорожной связи	Для коммерческих нужд		Для магистр. и дорожной связи	Для коммерческих нужд
STM-1								
STM-4								
Итого:								

На основе данных об аппаратуре передачи необходимо также, воспользовавшись рекомендованной литературой, начертить структурную схему ВОЛС, кратко описать назначение всех ее элементов и оптоэлектронных компонентов.

2.3.2 Выбор оптического кабеля связи и распределение ОВ в кабеле

В настоящее время на железнодорожном транспорте применяются ВОЛС железнодорожной связи с прокладкой кабелей в пластмассовых трубопроводах, а также с подвеской ОК на опорах контактной сети и высоковольтных линий автоблокировки.

В условиях железнодорожного транспорта эффективна технология подвески ОК, так

как железная дорога представляет готовую систему для воздушной подвески ОК на опорах контактной сети и высоковольтных линии автоблокировки.

В соответствии с заданием, необходимо предусмотреть строительство ВОЛС с использованием подвески ОК на опорах контактной сети. Для этого используют специальные марки ОК, например, кабель марки ОКМС фирмы «Трансвок».

ОКМС – кабель магистральной, самонесущий кабель для подвески на опорах контактной сети и линий автоблокировки железных дорог, на опорах линий электропередач до 110 кВ и воздушных линий связи и эксплуатации при температуре окружающей среды от -60 до $+70^{\circ}\text{C}$.

Кабель марки ОКМС полностью выполнен из диэлектрических материалов и имеет внутреннюю и внешнюю оболочку из полиэтилена, защитные покровы выполнены из арамидных нитей. В сердечнике кабеля расположены 6 или 8 скрутки элементов (оптических модулей). Внешний и внутренний диаметр модулей составляет соответственно 2,0/1,3 мм, 2,4/1,6 мм и 3,0/1,9 мм. В каждом оптическом модуле располагаются от 2 до 12 одномодовых оптических волокон. Таким образом, всего в кабеле может быть уложено до 96 волокон.

Кабели сконструированы таким образом, чтобы гарантированно выдерживать эксплуатационные и климатические воздействия. Например, кабели для воздушной подвески типа ОКМС рассчитаны на перепады температуры от -60 до $+70^{\circ}$, растягивающие нагрузки до 10 кН, ветровые нагрузки со скоростью ветра до 43 м/с.

Кабели ОКМС имеют систему условных обозначений, приведенную в табл. 21.

Например, система условного обозначения кабеля марки ОКМС-А-4/2(2,4)Сп-12(2)/4(5) означает:

ОКМС – оптический кабель магистральный самонесущий;

Внешняя оболочка – полиэтиленовая (в обозначении не указывается);

Защитные покровы А – обмотка из арамидных нитей;

Внутренняя оболочка – полиэтиленовая (в обозначении не указывается);

Число оптических модулей в кабеле – 6, в том числе 4 – с оптическими волокнами и 2 – заполняющих (без волокон);

Номинальный наружный диаметр соответственно оптического и заполняющего модуля – (2,4);

Центральный силовой элемент кабеля Сп – стеклопластиковый пруток;

Число оптических волокон – 16, в том числе 12 типа G.652 и 4 – G.655;

Тип оптического волокна (2) – G.652, (5) – G.655.

В соответствии с «Концепцией создания цифровой сети связи МПС России» на магистральных направлениях ВОЛС принята, в основном, емкость ВОК – 16 одномодовых волокон со следующим распределением:

4 ОВ – STM-4 с линейным резервированием 1+1;

2 ОВ – STM-1;

6 ОВ – для отделенческой связи;

4 ОВ – резерв и взаимный обмен с другими операторами взаимоувязанной сети связи.

Таблица 21 – Система условного обозначения кабелей

Наименование элемента конструкции, характеристика	Символы для обозначения (выделены жирным шрифтом)
Оптический кабель: - магистральный самонесущий - магистральный в пневмотрубопровод - внутризоновый	ОКМС ОКМТ ОКЗ
	-дефис
Внешняя оболочка (материал)	- полиэтиленовая оболочка, в обозначении не указывается; В – оболочка из поливинилхлоридного пластика; Н – не распространяющая горение.
Защитный покров (броня)	А – обмотка из арамидных нитей; С – оболочка из стальной гофрированной ленты.
Внутренняя оболочка (материал)	- полиэтиленовая оболочка, в обозначении не указывается; П – полиамидная оболочка.
	- дефис
Количественная характеристика сердечника кабеля	6, 8 – число оптических модулей в кабеле; .../... – для кабелей, имеющих кроме оптических модулей заполняющие модули, через знак «/» указывается число оптических модулей и число заполняющих модулей.
Номинальный наружный диаметр оптического модуля и заполняющего модуля	(2,0); (2,4); (3,0) указывается в скобках, после количественной характеристики сердечника кабеля.
Центральный силовой элемент кабеля	Сп – стеклопластиковый прут; Т – стальной трос.
	- дефис
Предпочтительный ряд числа волокон -В кабеле (если волокна одного типа), шт - В модулях (если имеются модули с различными типами волокон) , шт	От 6 до 64 (четное число) От 2 до 56 (четное число) .../... для кабелей, имеющих различные типы волокон; через знак «/» указывается общее число волокон одного типа и общее число волокон другого типа, причем тип волокна указывается в скобках после числа волокон данного типа в кабеле.
Тип оптического волокна	Одномодовое оптическое волокно, соответствующее рекомендациям ITU.T. ... G.652 G.653 G.655 (2) (3) (5)

Шесть оптических волокон, предназначенных для отделенческой связи, вводятся в служебно-технологические здания шлейфом на всех промежуточных станциях и разделяются на оптических кроссах. При расстоянии между узлами сети SDH, не превышающем 40 км, передача ведется на длине волны 1,31 мкм; на участках свыше 40 км – на длине волны 1,55 мкм.

В данном курсовом проекте следует предусмотреть 6 ОВ для оперативно-технологической связи и 4 ОВ – в качестве резервных. Причем эти две резервные пары ОВ не относятся к системе резервирования «1+1» и могут располагаться при наличии свободных мест в разных оптических модулях (ОМ).

Воспользовавшись данными табл. 20 можно определить общее число ОВ и, следовательно, количество ОМ в кабеле (в одном ОМ в зависимости от конструкции ОК может располагаться от 2 до 12 ОВ). При этом желательно ОВ для разных типов мультиплексоров (STM-1 и STM-4) разместить в разных модулях, также разные ОМ обычно соответствуют разным маркам ОВ. Однако по конструкции ОК число ОВ в каждом ОМ берется одинаковое.

Марка оптических волокон определяется исходя из предполагаемого расстояния между НРП и необходимостью использования волокон со смещенной дисперсией. Расстояния между узлами сети SDH определяются на основе данных табл. 15 в п. 2.3.4, поэтому целесообразно использовать ОВ, применяемые сразу в двух окнах прозрачности: как на длине волны 1,31 мкм (второе окно прозрачности), так и на длине волны 1,55 мкм (третье окно прозрачности).

Кроме обозначений первых трех окон указывается и более точный интервал, например, 1530-1565 нм, если ОВ оптимизировано для работы именно в этом интервале. Первоначально под окнами понимались узкие области минимумов кривой поглощения света в ОВ в окрестности – 850 нм (1), 1310 нм (2), 1550 нм (3). Сейчас 2 окно – это область от 1280 до 1325 нм, 3 окно – от 1525 до 1565 нм, 4 окно – от 1565 до 1620 нм, 5 окно – 1325 до 1450 нм. Например, волокно *AllWave* (компании Lucent Technologies) можно работать в четырех окнах со 2 по 5, т. е. в полосе от 1280 до 1620 нм.

Волокна со смещенной и несмещенной дисперсией выбираются в соответствии с заданием в табл. 16 и 17. Тип волокна определяется стандартом:

G.652 – Стандарт для «одномодового» волокна, имеющего нулевую дисперсию на 1,31 мкм и допустимого для работы на 1,55 мкм;

G.653 – Стандарт для «одномодового» волокна со смещенной дисперсией, имеющего нулевую дисперсию на 1,55 мкм и допустимого для работы на 1,31 мкм;

G.654 – Стандарт для «одномодового» волокна, оптимизированного по затуханию для

работы на 1,55 мкм и имеющего нулевую дисперсию на 1,31 мкм;

G.655 – Стандарт для «одномодового» волокна со смещенной дисперсией, имеющего малую ненулевую дисперсию на 1,55 мкм и допустимого для работы на 1,31 мкм.

Для упрощения дальнейших расчетов рекомендуется выбирать стандарт G.655 для ОВ со смещенной дисперсией.

Основные характеристики одномодовых ОВ различных типов приведены в табл. 22.

Таблица 22 – Параметры промышленных одномодовых ОВ

Параметры		Параметры промышленного волокна								
		Cominq				Fujikura			Lucent	
Фирменное обозначение		SMF-28	SMF-DS	SMF-LS	LEAF	SM-9/125	DSM-8/125	DSMNZ-9/125	TrueWave	TrueWave RA
Тип волокна		SSF	DSF	NZDSF-	NZDSF+	SSF	DSF	NZDSF	NZDSF+	NZDSF+
Соответствие стандарту ИТУ-T		G.652	G.653	G.655	G.655	G.652	G.653	G.655	G.655	G.655
Рабочие окна прозрачности, нм		1310/1550	1550	1530-1560	1530-1625	1310/1550	1310/1550	1310/1550	1530-1560	1525-1620
Затухание, дБ/км		1310 нм	1383 нм (максимум ОН)	1550 нм	в окне 1285-1330 нм	в окне 1525-1565/1575 нм	1310 нм	1383 нм (максимум ОН)	1550 нм	в окне 1285-1330 нм
		<0,4/0,34	<2,0/0,40	<0,30/0,20	<0,45/0,39	<0,35/0,25	<0,4/0,34	<2,0/0,6	<0,25/0,2	<0,3/0,27
		<0,5/0,38	<2,0/0,6	<0,25	н/п	<0,3	<0,45	<2,0/0,6	<0,25	<0,3
		<0,5/0,38	<2,0/0,6	<0,25	н/п	<0,3	<0,45	<2,0/0,6	<0,25	<0,3
		<0,5	<1,0/0,6	<0,25	н/п	<0,3/0,25	<0,45	<1,0/0,6	<0,25	<0,3/0,26
		<0,4/0,34	<0,60/0,55	<0,25/0,21	<0,39/0,3	<0,25	<0,4/0,34	<0,60/0,55	<0,25/0,21	<0,39/0,3
		<0,45	<0,40	<0,25	н/д	<0,30	<0,45	<0,40	<0,25	<0,30
		<0,45	н/д	<0,25	н/д	<0,25	<0,45	н/д	<0,25	<0,25
		<0,5/0,4	<2,0/0,5	<0,25/0,2	н/п	<0,3	<0,5/0,4	<2,0/0,5	<0,25/0,2	<0,3
		<0,5/0,4	<1,0/0,5	<0,25/0,22	н/п	<0,3/0,27	<0,5/0,4	<1,0/0,5	<0,25/0,22	<0,3/0,27
		<0,35	<0,31	<0,25/0,21	<0,45	<0,3/0,26	<0,35	<0,31	<0,25/0,21	<0,45

	в окне 1565-1625 нм	<0,35/0,25	<0,3	<0,3	<0,3/0,25	<0,25	<0,30	<0,25	<0,3	<0,3/0,27	н/д
Изменение дисперсии в окне 1550нм, пс/(нм.км)		7-11,5	<2,7	-3,5-0,1	2,0-6,0	н/п	н/п	н/д	1,0-4,0/5,53	3-7	н/д
Дисперсия поляризованной моды (PMD), пс/км ^{-1/2}		<0,2	н/д	н/д	<0,2	<0,2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Дисперсия PMD для протяженной линии, пс/км ^{-1/2}		<0,1	н/д	н/д	<0,08	н/д	н/д	н/д	н/д	<0,1	0,05
Ограничение по PMD на скорость передачи, Гбит/с		н/д	н/д	н/д	40	н/д	н/д	40	10	40	40
Диаметр сердцевины, мкм		8.3	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д	6	н/д	н/д
Эффективная площадь светового поля, мкм ²		н/д	н/д	н/д	72	н/д	н/д	72	н/д	н/д	н/д
Числовая апертура		0,13	0,17	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13	н/д	н/д	н/д
Групповой показатель преломления	1310 нмн	1,4675	1,4718	1,471	н/п	1,4668	1,468	н/д	1,4738	1,471	1,466
	1550 нм	1,4681	1,4711	1,470	1,469	1,4671	1,468	1,469	1,4732	1,47	1,467

(н/д – нет данных, н/н – не нормированы, н/п – не применимо).

В табл. 22 тип волокна – стандартное одномодовое волокно обозначено как SSF, одномодовое волокно со смещенной дисперсией – DSF и для волокно с ненулевой смещенной дисперсией – NZDSF. Знак «+» означает, что дисперсионный параметр D (называемый также дисперсией, хотя эти понятия разные в том числе и по знаку) положительный, знак «-» – что он отрицателен.

Таким образом, зная общее число ОМ, требуемое число ОВ различных типов, а также используя указанные выше рекомендации можно выбрать типы ОВ, осуществить распределение ОВ в ОК и указать его полную маркировку с расшифровкой. Пример распределения ОВ в кабеле марки ОКМС-А-4/2(2,4)СП-12(2)/4(5) приведен на рис. 13 и в табл. 23.

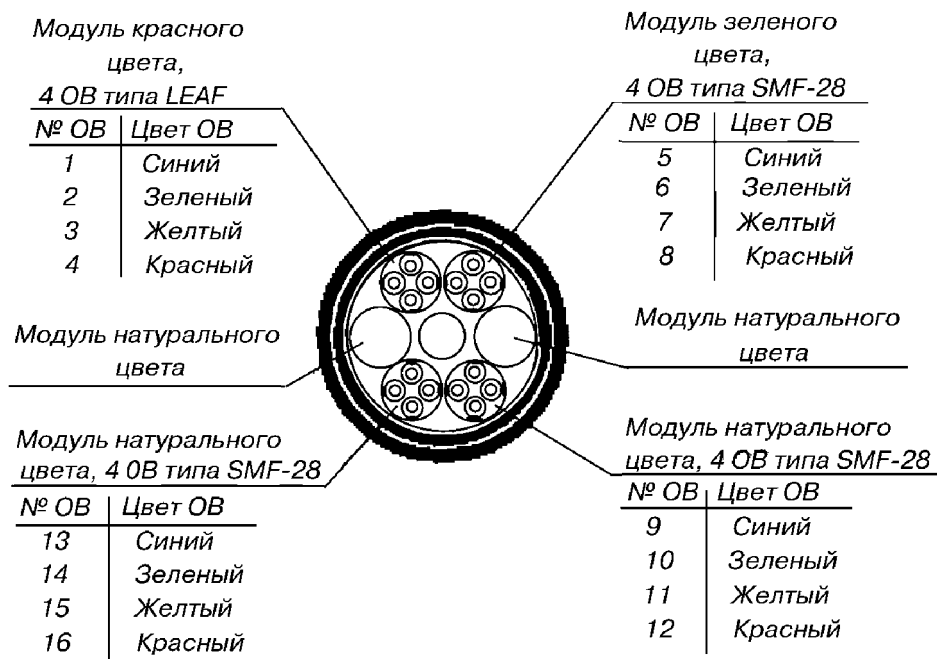


Рисунок 13 – Распределения ОВ в кабеле марки ОКМС-А-4/2(2,4)Сп-12(2)/4(5)

В приведенном примере выбраны ОВ типа SMF-28 и LEAF (последние – со смещенной дисперсией), предназначенные для работы одновременно во втором и третьем окнах прозрачности. Для мультиплексора STM-4 с работой по схеме «1+1» предназначено 4 ОВ (1 модель), для STM-1 – два оптических волокна, причем для аппаратуры STM-4 используются волокна стандарта G.655, т.е. со смещенной дисперсией. Два оптических модуля (третий и шестой) являются заполняющими, т. е. без ОВ (пустыми).

Таблица 23 – Распределения ОВ в кабеле марки ОКМС-А-4/2(2,4)Сп-12(2)/4(5)

Номер волокна в кабеле	Номер модуля, цвет маркировки	Марка оптических волокон	Номер волокна в модуле	Примечание
1,2	1 красный	LEAF TM CPC 6	1,2	STM-4
3,4			3,4	STM-4(1+1)
5,6	2 зеленый	SMF-28TM CPC 6	1,2	STM-1
7,8			3,4	Оперативно-технологическая связь
-	3 натуральный	-	-	-
9,10 11,12	4 натуральный	SMF-28TM CPC 6	1,2	резерв
			3,4	
13,14	5 натуральный	SMF-28 TM CPC 6	1,2	Оперативно-технологическая связь
15,16			3,4	
-	6 натуральный	-	-	-

В строгом соответствии с используемым типом ОВ и их распределением по ОМ указана маркировка кабеля ОКМС.

В пояснительной записке по данному параграфу необходимо описать принцип выбора ОК и распределения в нем ОВ, используя данные полученные в табл. 20, а также исходные данные в табл. 16 и 17, выбрать типы используемых ОВ распределить ОВ в кабеле ОКМС в виде рисунка, аналогично рис. 13, и табл. 23; указать полную маркировку для своего кабеля и ее расшифровку.

2.3.3 Расчет параметров световодов

В пояснительной записке по данному пункту необходимо рассчитать: собственное затухание ОВ (λ_c) для значения длины волны, указанного в табл. 18, а также дисперсию D_λ оптического волокна для третьего окна (1525 нм – 1565 нм) или четвертого окна прозрачности (1565 нм – 1620 нм) в соответствии с вариантом, указанным в табл. 18.

Все расчеты следует произвести для ОВ с несмещенной дисперсией, выбранного в п. 2.3.2 в соответствии с данными для этого ОВ, указанными в табл. 22.

Расчет затухания световодов. Важнейшим параметром световода является затухание передаваемой энергии. Для заданных значений скорости передачи информации и вероятности ошибки мощность на входе фотодетектора должна быть больше некоторой величины. Потери наряду с дисперсией определяют длину ретрансляционного участка ВОЛС т.е. расстояние, на которое можно передавать сигнал без усиления. В тех участках спектра, где существуют надежные источники излучения, световоды должны иметь минимально возможное затухание. Существуют две главные причины собственных потерь в световодах: поглощение и рассеяние энергии.

Затухание поглощения, α_n связанное с потерями на диэлектрическую поляризацию, линейно растёт с частотой и существенно зависит от свойств материала световода ($\text{tg}\delta$).

Расчет затухания поглощения, дБ/км:

$$\alpha_n \approx \frac{\pi \cdot n}{\lambda} \text{tg}\delta \cdot 8,69 \cdot 10^9, \quad (12)$$

где n – групповой показатель преломления, заданный в табл. 22;

λ – длина волны, мкм;

$\text{tg}\delta=0,4 \cdot 10^{-11}$ – тангенс угла диэлектрических потерь в световоде.

В этой формуле приближенное вычисление объясняется тем, что показатели преломления и тангенс диэлектрических потерь зависят от частоты, а следовательно, и от длины волны, в связи с чем не могут быть заданы постоянными величинами при расчете.

Потери на рассеяние определяют нижний предел потерь, присущих волоконным световодам. Потери с увеличением длины волны уменьшаются. Рассеяние обусловлено неоднородностями материала волоконного световода, размеры которых меньше длины волны, а также тепловой флуктуацией преломления.

Различают линейное и нелинейное рассеяние. При линейном рассеянии его мощность пропорциональна мощности падающей волны. В этом случае происходит частичное изменение потока энергии.

Потери на рассеяние, возникающие в результате флуктуации показателя преломления, называются рэлеевским и определяются по формуле, дБ/км,

$$\alpha_p = \frac{R_p}{\lambda^4}, \quad (13)$$

где λ – длина волны, мкм;

R_p – коэффициент рассеяния, зависит от материала ОВ;

$$R_p = 0,7 - 0,9 [(\text{мкм}^4 \cdot \text{дБ})/\text{км}]$$

Другими факторами, которые вносят вклад в общие потери, могут быть потери, вызванные механическими, конструктивными и эксплуатационными факторами при использовании волокна, а именно:

- потери, вызванные наличием в материале волоконного световода посторонних примесей;
- потери, вызванные различными дефектами при соединении волокон:
 - несогласованностью размеров сердцевин волокон и ее эксцентриситетом;
 - различием профилей показателей преломления волокон;
 - несоосностью и скрещиванием продольных осей при соединении волокон;
 - различием апертур волокон;
 - неплоскостностью и плохой обработкой торцев волокон;
 - неплотным соединением концов с образованием воздушной прослойки (потери на френелевское отражение);
 - потери, вызванные микро- и макроизгибами волокна;
 - потери, вызванные рассеянием на границе между сердцевиной и оболочкой.

Характер зависимости наиболее важной составляющей этих потерь – потерь от посторонних примесей рассеяния на микроизгибах $\alpha_{пр}$ – имеет вид

$$\alpha_{пр} = \frac{C_{ми}}{NA^6}, \quad (14)$$

где $C_{ми}$ – постоянная потеря на микроизгибах; для $\lambda=1,31$ мкм $C_{ми}=10^{-7}$; для $\lambda=1,55$ мкм $C_{ми}=0,8 \cdot 10^{-7}$;

NA – числовая апертура, указанная в табл. 22.

Суммарное значение собственного затухания оптического волокна в общем случае

$$\alpha_c = \alpha_n + \alpha_p + \alpha_{нк} + \alpha_{пр}, \quad (15)$$

где $\alpha_{нк}$ – коэффициент затухания в инфракрасной области, расположенной в диапазоне длин волн свыше 1,6 мкм (для заданных длин волн не рассчитывается).

Расчет дисперсии световодов. В световоде при передаче импульсных сигналов (отличающихся друг от друга различной мощностью) после прохождения ими некоторого расстояния световые импульсы искажаются и расширяются во времени, т. е. время подачи одного импульса увеличивается. Так как импульсы передаются друг за другом с определенной частотой, то в результате наступает такой момент, когда соседние импульсы начинают перекрывать друг друга и вместо отдельных световых импульсов в световоде будет иметь место сплошной световой поток. Данное явление в теории световодов называют дисперсией.

Расширение импульсов устанавливает предельные скорости передачи информации по световоду при цифровой модуляции и при малых потерях ограничивает длину ретрансляционного участка. Дисперсия ограничивает пропускную способность ВОЛС, которая предопределяет полосу частот ΔF , пропускаемую световодом, ширину линейного тракта и соответственно объем информации, который можно передать по ОК. Уширение определяется как квадратичная разность длительности импульсов на выходе и входе кабеля, пс/км:

$$D = \sqrt{t_{вых}^2 - t_{вх}^2}. \quad (16)$$

Причем, значения $t_{вых}^2$ и $t_{вх}^2$ берутся на уровне половины амплитуды импульсов.

Дисперсия не только ограничивает частотный диапазон использования световодов, она существенно снижает дальность передачи по ОК, т. к. чем длиннее линия, тем больше проявляется дисперсия и больше уширение импульса. Дисперсия возникает по двум причинам: некогерентность источников излучения и появление спектра $\Delta\lambda$, существование большого числа мод N. Первая называется хроматической (частотной) дисперсией, которая делится на материальную и волновую. Материальная дисперсия обусловлена зависимостью коэффициента преломления материала световода от длины волны. Волновая дисперсия обусловлена процессами внутри моды и связана со световодной структурой моды. Она характеризуется зависимостью коэффициента распространения моды от длины волны. Модовая дисперсия объясняется наличием большого числа мод, каждая из которых распространяется со своей скоростью. Результирующее значение уширения импульсов за

счет модовой $\tau_{\text{мод}}$, материальной $\tau_{\text{мат}}$ и волновой $\tau_{\text{вв}}$ дисперсий

$$D = \sqrt{\tau_{\text{мод}}^2 + (\tau_{\text{мат}} + \tau_{\text{вв}})^2}. \quad (17)$$

Данная формула справедлива для многомодовых световодов. В одномодовых световодах отсутствует модовая дисперсия. Здесь проявляются волновая и материальная дисперсии:

$$D = \tau_{\text{мат}} + \tau_{\text{вв}}. \quad (18)$$

Дисперсия проявляется по-разному в различных типах волоконных световодов. В ступенчатых световодах при многомодовой передаче доминирует модовая дисперсия, достигающая значений порядка 102-107 нс/км. В одномодовых световодах волновая и материальная дисперсии практически равны по абсолютной величине и противоположны по фазе. В силу этого происходит их взаимная компенсация и результирующая дисперсия при $\lambda=1,2 - 1,7$ мкм не превышает 1 нс/км.

В градиентных световодах происходит выравнивание времени распространения различных мод, и определяющим является дисперсия материала, которая уменьшается с увеличением длины волны.

В соответствии с заданием, дисперсия D_λ [(пс/(нм·км))] на длине волны 1550 нм для 3 и 4 окна прозрачности (см. табл. 18) может быть рассчитана, используя линейную интерполяцию и граничные значения указанного параметра:

$$D_\lambda = (D_{\lambda_{\text{нр}}} - D_{\lambda_{\text{лев}}}) \cdot \frac{\lambda - \lambda_{\text{нр}}}{\Delta\lambda} + D_{\lambda_{\text{нр}}}, \quad (19)$$

где $D_{\lambda_{\text{нр}}}$ и $D_{\lambda_{\text{лев}}}$ – значения дисперсии на границах окна (правой и левой соответственно; см. табл. 22, показатель «Изменение дисперсии в окне 1550 нм»);

$\lambda_{\text{нр}}$ – правая граница соответственно третьего или четвертого окон прозрачности, нм;

$\Delta\lambda$ – ширина соответствующего окна прозрачности, нм.

Результаты расчета показателей α_n ; α_p ; $\alpha_{\text{нр}}$; α_c и D_λ следует свести в таблицу.

2.3.4 Расчет длин регенерационных участков и размещение НРП по трассе кабеля

В пояснительной записке по данному разделу необходимо рассчитать максимального допустимые значения длин регенераторных участков для различных типов используемого оборудования; выбрать станции на участке О-Х, на которых будут располагаться НРП ВОЛС, и соответствующие типы регенераторных секций для используемого оборудования;

рассчитать параметры регенерационных участков и изобразить схематический план трассы ВОЛС.

Шаг 1. В этом шаге производится расчет максимально допустимых длин регенераторных участков различных типов.

Классификация типов регенераторных участков (секций) приведена в табл. 24. Она дает стандартное обозначение секций в зависимости от уровня STM (1,4, 16) и приведена для указанных трех типов применения: внутри станции (код использования I), между станциями – короткая секция (код использования S), между станциями – длинная секция (код использования L). В общем случае кодировка типов использования линейных регенераторных секций как оборудования SDH включает три элемента и имеет формат:

<код использования> – <уровень STM>.<индекс источника>

здесь «код использования» и «уровень STM» приведены выше, а «индекс источника» имеет следующие значения и смысл:

- 1 или без индекса – указывает на источник излучения с длиной волны 1310 нм;
- 2 – указывает на источник излучения с длиной волны 1550 нм для волокна, соответствующего стандартам ITU-T G.652 (секции S) и G.652, G.655 (секции L);
- 3 – указывает на источник излучения с длиной волны 1550 нм для волокна, соответствующего стандарту G.653.

Например, обозначение L-4.3 расшифровывается как длинная межстанционная регенераторная секция линейного оборудования STM-4, использующая источник излучения (света) с длиной волны 1550 нм.

Таблица 24 – Классификация стандартных оптических интерфейсов

Использование		Внутри станции	Между станциями				
			Короткая секция		Длинная секция		
Длина волны источника, нм		1310	1310	1550	1310	1550	
Тип волокна		Rec.G.652	Rec.G.652	Rec.G.652	Rec.G.652	Rec.G.652 Rec.G.655	Rec.G.653
Расстояние (км) ^{a)}		≤2	~ 15		~40	~80	
Уровни STM	STM-1	1-1	S-1.1	S-1.2	L-1.1.	L-1.2	L-1.3
	STM-4	1-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1	L-4.2	L-4.3
	STM-16	1-16	S-16.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	L-16.3

* Расстояние условны и используются для классификации, а не для расчетов в технических заданиях.

В курсовом проекте рекомендуется использовать только длинные L-секции. В соответствии с исходными данными (табл. 16 и 17, а также табл. 20) необходимо определить типы секций, которые могут быть применены в курсовом проекте. Например, если в проекте используются волокна стандарта G.655 и G.652 для аппаратуры STM-1 и STM-4, то можно

использовать секции L-1.1, L-1.2, L-4.1 и L-4.2. Эти секции будут различаться длиной волны λ , мкм и максимально допустимыми потерями на секцию А, дБ, значения которых приведены в табл. 25. (для фирмы Nortel).

Таблица 25

Тип секции	L-1.1	L-1.2	L-1.3	L-4.1	L-4.2	L-4.3
Максимально допустимые потери на секцию, дБ	28	28	28	29,5	29,5	29,9

Далее, воспользовавшись расчетами в п.2.3.3 и данными табл. 22. следует определить два максимальных значения собственного затухания оптического волокна: α_{c1} – на длине волны 1,31 мкм и α_{c2} – на длине волны 1,55 мкм. Пусть например, в п. 2.3.3 в соответствии с вариантом было рассчитано α_{c2} для волокна SMF-28 типа G.652 на длине волны 1,55 мкм: $\alpha_{c2} = 0,28$ дБ/км. В кабеле также используется волокна типа LEAF (G.655). По данным табл. 22 для волокна SMF-28 $\alpha_{c2} = 0,3$ дБ/км, а для волокна типа G.655 – $\alpha_{c2} = 0,25$ дБ/км. Из этих трех значений выбираем максимальное: $\alpha_{c2} = 0,3$ дБ/км. Аналогично для двух значений $\alpha_{c1} = 0,4$ дБ/км и $\alpha_{c1} = 0,5$ дБ/км (по данным табл. 22 для волокон SMF-28 и LEAF) выбираем $\alpha_{c1} = 0,5$ дБ/км.

Таким образом, для рассмотренного случая имеем четыре варианта исходных данных, (пример приведен в табл. 26).

Таблица 26

Значения параметров	Тип секции			
	L-1.1	L-1.2	L-4.1	L-4.2
A, дБ/км	28	28	29,5	29,5
α_c , дБ/км	0,5	0,3	0,5	0,3

В соответствии с этими исходными данными необходимо рассчитать четыре максимально возможных длины соответствующих регенерационных участков $l_{py1}-l_{py4}$, км

$$L_{py} = \frac{A - n\alpha_p - A_z - \alpha_{np}m}{\alpha_c + \Delta\alpha + \frac{\alpha_{np}}{L_{co}}}, \quad (20)$$

где A – максимально допустимые потери на участок (данные табл. 26), дБ;

α_p – затухание разъемного соединения, равное 0,3-0,5 дБ;

n – количество разъемных соединителей, n=2;

A_z – эксплуатационный запас на затухание кабеля с учетом будущих изменений его конфигурации, $A_x = 4-6$ дБ;

α_c , – километрическое затухание одномодового ОВ на расчетной длине волны (данные табл. 26), дБ;

$\Delta\alpha$ – увеличение затухания ОВ при температуре воздуха ниже -40°C , $\Delta\alpha$ не превышает 0,05 дБ;

$\alpha_{нр}$ – затухание неразъемного (сварного) соединения, $\alpha_{нр}$ не должно превышать 0,1 дБ;

$L_{сд}$ – строительная длина кабеля (задана в табл.18 по вариантам), км;

m – количество промежуточных вводов магистрального кабеля на регенерационном участке (предварительно $m=2$).

Результаты расчета следует свести в табл. 27.

Таблица 27

Тип секции	L-1.1	L-1.2	L-4.1	L-4.2
l_{py} , км				

В приведенном примере в кабеле использовались ОВ, предназначенные для передачи на длине волны 1,31 мкм и 1,55 мкм, а также применялась аппаратура как STM-1, так и STM-4. Если в соответствии с вариантом в проекте используется только один тип аппаратуры (например, STM-4) и тип ОВ G.652 и G.655, либо один из них, то в табл. 26 и 27, а также в последующих шагах следует рассматривать только два типа регенерационных участков (соответственно, L-4.1 и L-4.2), если же, например; используются волокна стандартов G.652 и G.653 – и система STM-1 и STM-4, то необходимо рассмотреть шесть типов регенерационных участков.

Шаг 2. В этом шаге следует разместить НРП по трассе ВОЛС и выбрать тип секции для каждого из полученных регенераторных участков.

Исходные данные об участке О–Х приведены в табл. 15. На станциях О и Х следует разместить обслуживаемые регенерационные пункты. Затем на участке О–Х размещаются НРП. Для того, чтобы правильно расположить НРП по трассе и выбрать соответствующие типы секций необходимо выполнить следующие мероприятия:

- количество НРП должно быть минимальным;
- стремиться располагать НРП на станциях;
- для любого регенерационного участка следует учесть длину участка по кабелю, т.е. учесть провисание кабеля на опорах и изгибы трассы (4-5% от расстояния между станциями, на которых предполагается разместить НРП);
- длина любого регенераторного участка по кабелю не должна превышать наименьшую из длин l_{py} для секций на длине волны 1,55 мкм (т. е. минимальное значение l_{py} для секций L-1.2, L-4.2, L-1.3, L-4.3).

Если данное условие не выполняется, то регенераторный участок делится на

несколько частей в соответствие со значением l_{py} , при этом НРП ставятся на перегоне и на ограничивающих его станциях.

На основе полученных данных изображается схема трассы ВОЛС с размещенными на ней НРП, а также с указанием длин регенерационных участков по трассе и по кабелю.

Пример (реальный проект) схемы трассы ВОЛС приведен на рис. 14. В курсовом проекте схему трассы ВОЛС по сравнению с этим примером можно упростить. В данном примере указаны только те станции, на которых размещены НРП. Из рисунка видно, что аппаратура STM-4 с резервированием по схеме «1+1» на станции Глазов не требует усиления, ($l_{py}=68,45$ км), а аппаратура STM-1 без резервирования заводится на этой станции в НРП.

Для полученных на схеме трассы длин регенераторных участков по кабелю выбирается соответствующий тип секции:

- если для данного регенераторного участка полученная l_{py} по кабелю не превышает наименьшую из длин l_{py} для секции для длины волны $\lambda=1,31$ мкм (L-1.1 и L-4.1 см. табл. 27), то выбирается тип секции L-1.1 или/и L-4.1 для типа волокна G.652 и соответствующей аппаратуры STM-1 или/и STM-4 (для своих исходных данных);
- в противном случае выбирается тип секции для длины волны $\lambda=1,55$ мкм: в соответствии с заданием секции типа L-1.2 или/и L-4.2 или/и L-1.3 или/и L-4.3.

В соответствие с заданием могут получиться следующие варианты выбора типа секции (табл. 28):

Таблица 28

Используемое оборудование	Наличие волокон со смещенной дисперсией	Тип интерфейса
STM-1	-	L1.1, L1.2
STM-1	есть	L-1.2
STM-4	-	L-4.1, L-4.2
STM-4	есть	L-4.2
STM-1, STM-4	-	L1.1, L1.2, L-4.1, L-4.2
STM-1, STM-4	STM-1 – есть, STM-4 – нет.	L-1.2, L-4.1, L-4.2
STM-1, STM-4	STM-4 – есть, STM-1 – нет	L1.1, L1.2, L-4.2
STM-1, STM-4	STM-1 и STM-4 – есть	L-1.2, L-4.2

В соответствии с произведенным выбором заполняются первые 5 столбцов таблицы, отражающей параметры регенерационных участков по трассе кабеля. Пример такой таблицы приведен в виде табл. 29.

Шаг. 3. В этом шаге необходимо рассчитать затухание α , дБ для каждого регенерационного участка и эксплуатационный запас по затуханию, дБ.

Таблица 29 – Параметры регенерационных участков

Наименование участка	Система передачи	Длина участка, км	Длина волны, нм	Тип интерфейса	Затухание участка, дБ	Энергетический потенциал аппаратуры, дБ	Эксплуатационный запас по затуханию, дБ по проекту
1	2	3	4	5	6	7	8
Ст. Киров – ст. Бумкомбинат	STM-4	38,66	1550	L-4.2	12,43	29,5	17,07
	STM-1		1550	L-1.2		28	15,57
Ст. Бумкомбинат – ст. Зуевка	STM-4	70,80	1550	L-4.2	21,82	29,5	7,86
	STM-1		1550	L-1.2		28	6,18
Ст. Зуевка – ст. Яр	STM-4	68,10	1550	L-4.2	21,09	29,5	8,41
	STM-1		1550	L-1.2		28	6,91
Ст. Яр – ст. Балезино	STM-4	68,45	1550	L-4.2	22,08	29,5	7,42
Ст. Яр – ст. Глазов	STM-1	38,40	1550	L-1.2	12,27	28	15,73
Ст. Глазов – Ст. Балезино	STM-1	30,50	1550	L-1.2	9,81	28	18,19
Ст. Базено – ст. Пибаньшур	STM-4	23,00	1550	L-4.2	7,71	29,5	21,79
	STM-1		1310	L-1.1	10,93	28	17,07

Данные расчета заносятся в столбец 6 и 8 табл. 29, чтобы рассчитать затухание участка, дБ необходимо воспользоваться формулой (20). При этом неизвестной величиной будет являться параметр A , дБ (в данном случае – затухание участка, дБ). Величина L_{py} , берется из табл. 28 как длина участка, км; величина m будет соответствовать числу промежуточных станций на рассматриваемом регенерационном участке; остальные параметры использовались при расчете в шаге 1.

Значения эксплуатационного запаса по затуханию, дБ рассчитывается как разность энергетического потенциала аппаратуры, дБ и полученного затухания участка, дБ.

Список литературы

1. Виноградов В. В., Кустышев С. Е., Прокофьев В. А. Линии железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: учебник для вузов ж.-д. трансп. – М.: Маршрут, 2002 – 416 с.
2. ГОСТ Р 54938-2012 Национальный стандарт Российской Федерации. Железнодорожная электросвязь. Правила защиты проводной связи от влияния тяговой сети электрифицированных железных дорог постоянного и переменного тока. – М.: Стандартинформ, 2012. – 21 с.
3. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых сетей связи. – М.: Радио и связь, 2000.
4. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации, утвержденные приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 21.12.2010 г. № 286