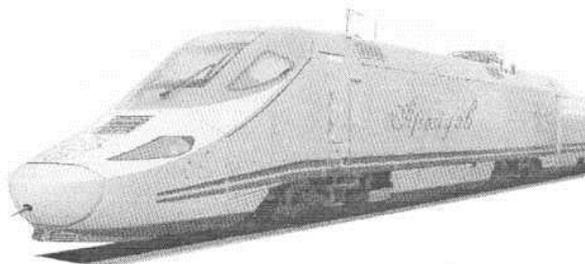


ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ



Ҳимоя қилишга рухсат
берилсин

“ЭА ва Р” кафедра мудири
Самф Жадилов О.Х.

«24» 06 2013 й.

“Электр алоқа ва радио” кафедраси _____

*Построение волоконно-оптической
системы передачи*

_____ мавзудаги

МАЛАКАВИЙ БИТИРУВ ИШИ

Муаллиф _____

Битирув иши раҳбари _____

Меҳнатни муҳофаза қилиш бўйича
маслаҳатчи _____

Тақризчи _____

ТОШКЕНТ ТЕМИР ЙЎЛ МУҲАНДИСЛАРИ ИНСТИТУТИ

Ташишни ташкил этиш ва транспорт логистикаси факультети
«Электр алоқа ва радио» кафедраси

5522200 - Телекоммуникация йўналиши ТК-30 гуруҳ

“Тасдиқлайман”
“ЭА ва Р” кафедра мудири
Кадиров О.Х.
2013 йил 12.02

МАЛАКАВИЙ БИТИРУВ ИШИ БЎЙИЧА ТОПШИРИҚ

Талаба Қудратов И
(фамилия, исм, шарфи)

1. Битирув ишининг мавзуси Построение волоконно-оптической системы передачи

«25» 12 2013 йил кафедра мажлисида мақуллашган.

2. Битирув ишни топшириш муддати _____

3. Битирув ишни бажаришга доир бошланғич маълумотлар _____

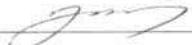
4. Ҳисоблаш – тушунтириш ёзувларининг таркиби (ишлаб чиқиладиган масалалар рўйхати)

1. Введение
2. Построение и методы расчета систем сигналов в волоконно-оптических системах передачи.
3. Приемно-передающие модули волоконно-оптических систем передачи.
4. Оборудование волоконно-оптических систем передачи.
5. Охрана труда.

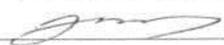
5. Чизма ишлар рўйхати (чизмалар номи аниқ кўрсатилади)

1. Принципы организации волоконно-оптической связи.
2. Принципы пространственного управления.
3. Структурная схема организации связи с использованием системы передачи ИММ-120-4/5

6. Битирув иши бўйича маслаҳатчи (лар)

№ т/р	Бўлим мавзуси	Маслаҳатчи ўқитувчи Ф.И.Ш.	Имзо, сана	
			Топширик берилди	Топширик бажарилди
1	Основная часть	Бекбоев Г.А	12.02.13	11.06.13
2	Охрана труда	Кривокутский		

7. Битирув ишни бажариш режаси

№ т/р	Битирув иши босқичларининг номи	Бажариш муддати (сана)	Текширувдан ўтганлик белгиси
	Введение		
1.	Построение и методы применения сигналов в волоконно-оптических сл.пер.	12.03.13	29.03.13
2.	Применение передаточных модулей волоконно-оптических сл.пер.	29.03.13	19.04.13
3.	Оборудование волоконно-оптической системы передачи	19.04.13	11.06.13
4.	Охрана труда	19.06.13	

Битирув иши раҳбари асс. Бекбоев Г. А.
(фамилия, исм, шарфи) (сана)

Топширикни бажаришга олдим Қудратов И. 12.06.2013
(фамилия, исм, шарфи) (сана)

Топширик берилган сана 2013 йил 12.02.2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

АННОТАЦИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ПОСТРОЕНИЕ И МЕТОДЫ УПЛОТНЕНИЯ СИГНАЛОВ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ.....	7
1.1. Принципы построения волоконно-оптических систем передачи.....	7
1.2. Временной метод уплотнения ВОЛС.....	14
1.3. Частотное уплотнение оптического волокна.....	16
2. ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩИЕ МОДУЛИ ВОЛОКОННО- ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ.....	19
2.1. Передающие оптические модули.....	19
2.2. Приемные оптические модули.....	23
2.3. Линейные коды ВОСП.....	28
3. ОБОРУДОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ.....	32
3.1. Оптический ретранслятор.....	32
3.2. Аппаратура ВОСП для ГТС.....	35
3.3. Аппаратура цифровых ВОСП для зонавых и магистральных линий связи.....	41
4. ОХРАНА ТРУДА.....	50
4.1. Определение времени оповещения о приближении подвижного состава к месту работы и напольных устройствах.....	50
4.2. Технологическое время выхода из опасной зоны.....	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	57
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	58

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена изучению построения волоконно-оптической системы передачи. Рассмотрены построение и методы уплотнения сигналов в волоконно-оптических системах передачи. Изучены приёмопередающие модули и оборудование волоконно-оптических систем передачи. Также рассмотрены вопросы охраны труда.

В первой главе рассмотрены построение волоконно-оптической системы передачи. Изучены принципы построения волоконно-оптических систем передачи, временной и частотный методы уплотнения оптических волокон.

Во второй главе изучены основные элементы волоконно-оптических систем передачи, такие как передающие и приемные оптические модули. Определены требования, предъявляемые к линейным сигналам ВОСП.

В третьей главе изучены структуры построения оптических ретрансляторов, различные типы оборудования волоконно-оптических систем передачи для городских телефонных станций, для зонавых и магистральных линий связи.

Четвёртая глава посвящена вопросам охраны труда и безопасности жизнедеятельности.

Выпускная работа содержит 58 стр. текста, 4 таблиц, 24 рисунков и 7 источников использованной литературы.

ВВЕДЕНИЕ

Наступивший XXI век может быть охарактеризован бурным развитием процессов информатизации во всех сферах человеческой жизни, объединяющим людей из разных стран. Информация, роль которой в таком обществе, часто именуемым информационным (постиндустриальным) неумолимо возрастает, становится не только фактором общения, обладания новыми знаниями, но также и важнейшим средством производства.

Основными направлениями в развитии систем передачи являются: повышение эффективности использования линий связи, увеличение дальности связи, повышение ее качества и надежности, постоянное техническое совершенствование элементов и узлов аппаратуры.

Последние два десятилетия знаменуются развитием волоконно-оптических систем передачи (ВОСП). По сравнению с существующими системами, работающими по медному кабелю, ВОСП обладают рядом преимуществ, основными из которых являются: широкая полоса пропускания, позволяющая организовывать необходимое число каналов по одному волоконно-оптическому тракту; возможность предоставления абоненту наряду с телефонной связью любых из существующих ныне и создаваемых в процессе развития видов услуг связи (телевидение, телефакс, широкополосное радиовещание, различные телематические и справочные службы, рекламу, местную связь и др.); высокая защищенность от электромагнитных помех; малое километрическое затухание и возможность организации регенерационных участков большой протяженности; значительная экономия меди и потенциально низкая стоимость оптического кабеля.

Развитие высокоскоростных волоконно-оптических систем передачи органически связано с концепциями постепенного внедрения цифровых сетей и заменой кабелей с металлическими жилами на волоконно-оптические.

1. ПОСТРОЕНИЕ И МЕТОДЫ УПЛОТНЕНИЯ СИГНАЛОВ В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ

1.1. Принципы построения волоконно-оптических систем передачи

В настоящее время в развитых странах волоконно-оптические системы передачи (ВОСП) широко внедряются на всех участках сетей связи, так как по сравнению с существующими системами связи на медных кабелях ВОСП обладают рядом преимуществ.

На передающей станции А (рис. 1.1) первичные сигналы в электрической форме поступают на аппаратуру системы передачи (СП), с выхода которой групповой сигнал подается в оборудование сопряжения (ОС). В ОС электрический сигнал преобразуется в форму, целесообразную для передачи по волоконно-оптическому линейному тракту. Оптический передатчик (ОПер) преобразует электрический сигнал с помощью модуляции оптической несущей в оптический сигнал. При распространении последнего по оптическому волокну (ОВ) происходят его ослабление и искажение.

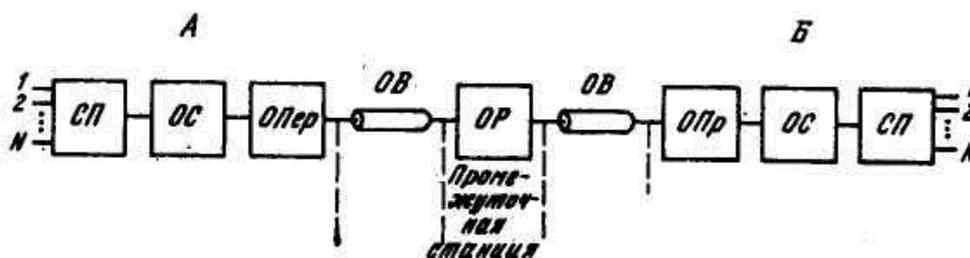


Рис. 1.1. Принцип организации волоконно-оптической связи

Для увеличения дальности связи через определенное расстояние, называемое участком ретрансляции, устанавливаются промежуточные обслуживаемые или необслуживаемые станции, где осуществляются коррекция искажений и компенсация затухания.

На промежуточных станциях главным образом по техническим причинам целесообразно производить обработку (усиление, коррекцию, регенерацию и т. д.) электрического сигнала. Поэтому промежуточные станции ВОСП строятся с преобразованием на входе оптического сигнала в электрический и обратным преобразованием на выходе. В принципе возможно построение чисто оптических промежуточных станций на основе оптических квантовых усилителей. На приемной оконечной станции Б осуществляется обратное преобразование оптического сигнала в электрический.

Для модуляции оптической несущей информационным сигналом можно использовать частотную модуляцию, фазовую, амплитудную, модуляцию по интенсивности (МИ), поляризационную модуляцию (ПМ) и др. В подавляющем большинстве случаев применяется модуляция по интенсивности оптического излучения. При фиксированных пространственных координатах мгновенное значение электрического поля монохроматического оптического излучения можно записать в виде $E(t) = E_M \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$, где E_M — амплитуда поля; ω_0 и φ_0 — соответственно частота и фаза оптической несущей. Тогда мгновенное значение интенсивности $P_{мг} = E_M^2(t) = \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0)$, а усреднение по периоду $T_0 = 2\pi / \omega_0$ дает величину $P = 0,5 E_M^2$, которая называется средней интенсивностью или мощностью. При МИ именно величина P изменяется в соответствии с модулирующим сигналом $c(t)$, т. е. $P(t) \sim c(t)$. Обладая волновой природой, оптическое излучение в то же время дискретно. Оно излучается и поглощается только в виде дискретных квантов — фотонов с энергией $h f_0$, где h — постоянная Планка. Поэтому мощность оптического излучения P можно характеризовать интенсивностью (количеством в единицу времени) потока фотонов $J = P / h f_0$. Следовательно, при модуляции интенсивности $J(t) \sim c(t)$.

Применение МИ объясняется тем, что этот вид модуляции в широком диапазоне частот выполняется для используемых в оптических передатчиках полупроводниковых источников излучения (светодиодов, лазерных диодов)

простыми техническими средствами. Для управления интенсивностью излучения полупроводникового источника достаточно изменять ток инжекции (накачки) в соответствии с модулирующим сигналом. Это легко обеспечивается электронной схемой возбуждения в виде усилителя тока. Модуляция по интенсивности оптического излучения приводит и к простым решениям обратного преобразования оптического сигнала в электрический. Действительно, фотодетектор, входящий в состав фотоприемника, является квадратичным прибором, выходной ток которого пропорционален квадрату амплитуды оптического поля, т. е. мощности падающего на фоточувствительную поверхность оптического сигнала.

Рассмотренный принцип приема оптического сигнала относится к методу прямого фотодетектирования (некогерентный, энергетический прием). Другим методом приема является метод фотосмещения (когерентный, гетеродинный и гомодинный прием). Гетеродинный прием реализуется значительно сложнее метода прямого детектирования и требует совмещения волнового фронта поля гетеродинного излучения с волновым фронтом поля сигнала. В результате фотодетектирования суммарного поля выделяется сигнал промежуточной (разностной) частоты, амплитуда, частота и фаза которого соответствуют указанным параметрам принимаемого оптического сигнала.

Гомодинный прием отличается от гетеродинного тем, что частоты излучений гетеродина и передатчика совпадают. Он дает дополнительное улучшение отношения сигнал-шум до 3 дБ, но его практическая реализация еще более затруднена в связи с необходимостью фазовой автоподстройки частоты лазерного гетеродина.

В настоящее время в качестве оконечной аппаратуры ВОСП используются цифровые системы передачи, т. е. ВОСП строятся как цифровые. Это объясняется существенными преимуществами цифровых СП по сравнению с аналоговыми: высокой помехоустойчивостью; малой зависимостью качества передачи от длины линейного тракта; высокими

технико-экономическими показателями и др. Аналоговые СП пока не применяются на волоконно-оптических трактах из-за сравнительно высокой нелинейности источников оптического излучения и технической сложности обеспечения требуемой помехозащищенности. Тем не менее исследования в области аналоговых ВОСП показывают их перспективность в ряде областей (оптическое кабельное телевидение, телеметрия, системы оперативной и служебной связи).

В настоящее время ВОСП строятся как двухволоконные однополосные однокабельные (рис. 1.2). При таком построении передача и прием оптических сигналов ведутся по двум волокнам и осуществляются на одной длине волны λ . Каждое ОВ является эквивалентом двухпроводной физической цепи. Так как взаимные влияния между оптическими волокнами кабеля практически отсутствуют, тракты передачи и приема различных систем организуются по одному кабелю, т. е. ВОСП являются однокабельными.

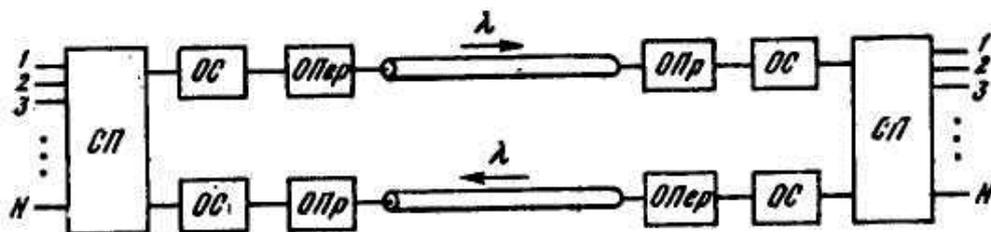


Рис. 1.2. Принцип построения двухволоконной однополосной однокабельной ВОСП

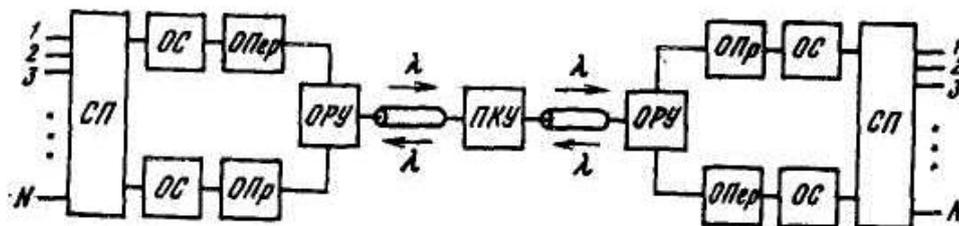


Рис. 1.3. Принцип построения одноволоконной двухполосной однокабельной ВОСП

К достоинствам данной схемы организации связи следует отнести однотипность оборудования передачи и приема оконечных и промежуточных станций. Существенным недостатком является весьма низкий коэффициент использования пропускной способности ОВ.

С учетом того, что доля затрат на кабельное оборудование составляет значительную часть стоимости ВОСП, а цены на оптический кабель в настоящее время остаются достаточно высокими, возникает задача повышения эффективности использования пропускной способности ОВ за счет одновременной передачи по нему большего объема информации. Этого можно добиться, например, передачей информации во встречных направлениях по одному ОВ при использовании на оконечных станциях оптических развязывающих устройств (ОРУ) и в линии промежуточных корректирующих усилителей (ПКУ) (рис. 1.3). Особенностью данной схемы является использование ОВ для передачи сигналов в двух направлениях на одной длине волны.

Принципиальной особенностью двусторонних (дуплексных) систем является наличие переходных помех между информационными потоками, распространяющихся во встречных направлениях. Переходные помехи возникают за счет обратного рэлеевского рассеяния в ОВ, ответвителях, из-за отражения света от сварных стыков и разъёмных соединений на концах линии. Помеху обратного рассеяния можно разделить на постоянную и частотно-зависимую переменную, влияние которых на чувствительность фотоприемного устройства различно. В табл. 1.1 приведены результаты расчетов постоянной составляющей A_0 переходного затухания.

Таблица 1.1.

λ , мкм	α , дБ/км	A_0 , дБ, для волокна	
		многомодового	одномодового
0,85	2,3	29	35
1,3	1,0	33	39
1,55	0,3	31	37

Как видно из табл. 1.1, максимальное значение $A_0 = 39$ дБ достигается в одномодовом ОВ (ООВ) при $\lambda = 1,3$ мкм.

Наибольший интерес представляют ВОСП со спектральным разделением (ВОСП-СР). Такие системы строятся как одноволоконные многополосные однокабельные (рис. 1.4).

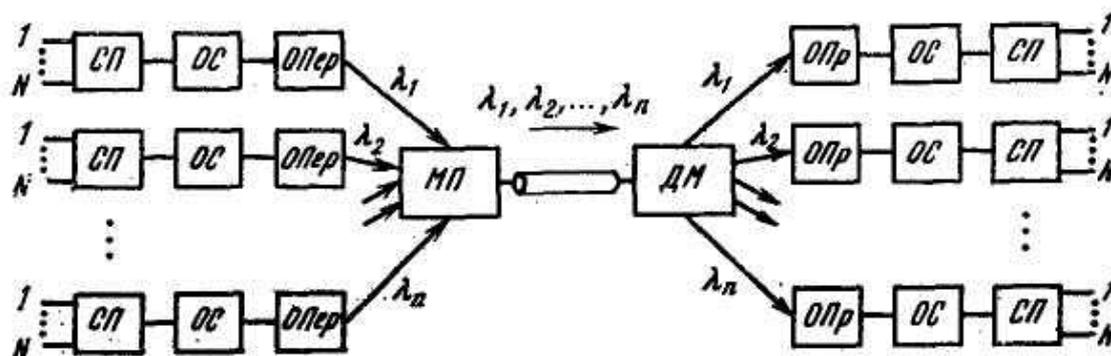


Рис. 1.4. Структурная схема ВОСП-СР

На передающей станции электрические сигналы от n систем передачи поступают на передатчики, излучающие оптические несущие с длинами волн $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \dots \lambda_n$. С помощью мультиплексоров (МП) и демультиплексоров (ДМ) осуществляется их ввод в одно волокно на передаче и разделение на приеме. Таким образом, по одному ОВ организуется n спектрально разделенных оптических каналов, что значительно увеличивает коэффициент использования пропускной способности волокна. Возможность построения таких систем основывается на сравнительно слабой зависимости коэффициента затухания оптического кабеля в пределах используемого спектрального диапазона от частоты (или длины волны) оптической несущей.

Принцип работы мультиплексора и демультиплексора основан на известных явлениях физической оптики: дисперсии, дифракции и интерференции. В основе их структуры может быть оптическая призма, многослойный диэлектрик, дифракционная решетка и др.

Относительно высокие плотности оптической энергии в ОВ вызывают заметное проявление нелинейных эффектов. В ВОСП-СР наиболее заметным из них является эффект усиления вследствие комбинационного рассеяния (УВКР), который обусловлен резонансным взаимодействием оптических несущих с оптическими фотонами вещества волокна.

В результате эффекта УВКР в ОВ наблюдаются взаимодействие между оптическими сигналами различных каналов, которое выражается уменьшением мощности оптических несущих с меньшей длиной волны и увеличением за счет этого мощности оптических несущих с большими длинами волн. Перекрестные помехи, вызванные эффектом УВКР в ВОСП-СР, характеризуются условным отношением сигнал-шум $C/\text{Ш} = 10 \lg P_1 / P'_1$, где P_1 — мощность оптического сигнала в ОВ одной несущей при отсутствии УВКР помехи; P'_1 — то же, но при воздействии УВКР помехи.

Заметное (более 20 дБ) подавление УВКР-помехи в ВОСП-СР может быть обеспечено даже при сравнительно больших (несколько милливатт) мощностях излучения в ОВ, если разнос спектральных несущих не превышает 10 нм. Это указывает на целесообразность использования в ВОСП-СР мультиплексоров и демодуляторов, а также излучателей с высокой разрешающей способностью по длине волны. Данное условие согласуется с рекомендациями по построению ВОСП-СР с минимальным разносом несущих, основанными на оценках энергетического потенциала и широкополосности таких систем.

Изменение отношения сигнал/шум, обусловленное УВКР, наиболее заметно на начальном участке ОВ и практически не зависит от уровня мощности передаваемых сигналов. При длине ОВ более 15 км влияние эффектов УВКР стабилизируется. При использовании ОВ в качестве среды распространения информационных сигналов можно использовать различные методы его уплотнения: временное, пространственное, частотное и спектральное.

1.2. Временной метод уплотнения ВОЛС

Данный метод предполагает объединение нескольких информационных потоков в один. Объединение может быть осуществлено на уровне электронной аппаратуры (электрических сигналов) и на уровне оптических сигналов. При объединении электрических сигналов (рис. 1.5) две серии импульсов (может быть N источников), поступающие с входов A и B , с помощью устройства объединения (УО) суммируются в определенной последовательности чередования в групповой сигнал. Последний в оптическом передатчике модулирует оптическую несущую. Оптическое излучение распространяется по ОВ и в оптическом приемнике вновь преобразуется в электрический сигнал. Затем этот сигнал разделяется устройством разделения (УР) на две серии импульсов, подобных входным, которые поступают на выходы A' и B' .

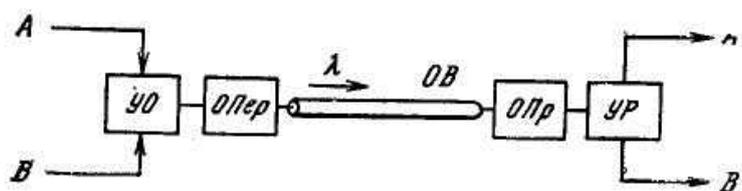


Рис.1.5. Принцип временного уплотнения на уровне объединения электрических сигналов

Схема объединения оптических цифровых потоков показана на рис. 1.6. Электрические цифровые потоки от N источников поступают на N оптических передатчиков, в которых осуществляется преобразование электрических сигналов в оптические. Перед объединением оптических сигналов происходит их задержка на Δt ; $2\Delta t$; $3\Delta t$;...; $(N - 1) \Delta t$. После такой задержки на выходе оптического смесителя (ОС) имеем последовательность оптических импульсов. На приеме осуществляется обратное преобразование.

При временном уплотнении требуется передача коротких (10^{-9} с и менее) световых импульсов. Однако передача субнаносекундных импульсов предъявляет чрезвычайно высокие требования к быстродействию оптоэлектронных компонент приемопередающей аппаратуры ВОСП, близкие к их предельным возможностям. Кроме того, скорость передачи (широкополосность) ограничена дисперсионными свойствами оптического волокна.

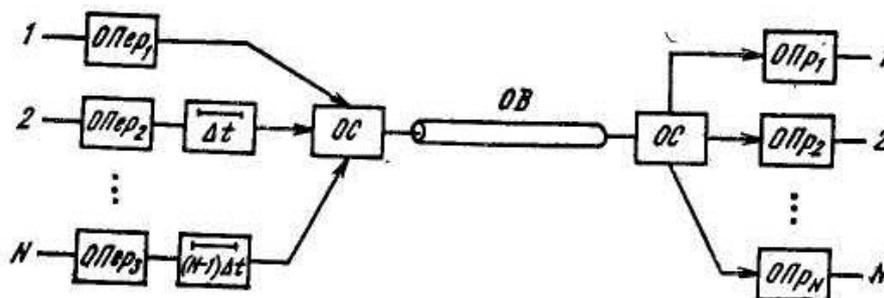


Рис. 1.6. Принцип временного уплотнения на уровне объединения оптических сигналов

К основным достоинствам временного уплотнения относятся: увеличение коэффициента использования пропускной способности оптического волокна (уже экспериментально достигнуты скорости передачи 8... 16 Гбит/с); возможность создания полностью оптической сети связи.

Пространственное уплотнение. Этот метод использует преимущества оптических волокон: гибкость и малые размеры. Это позволяет создавать оптический кабель, содержащий несколько десятков ОВ (рис. 1.7).

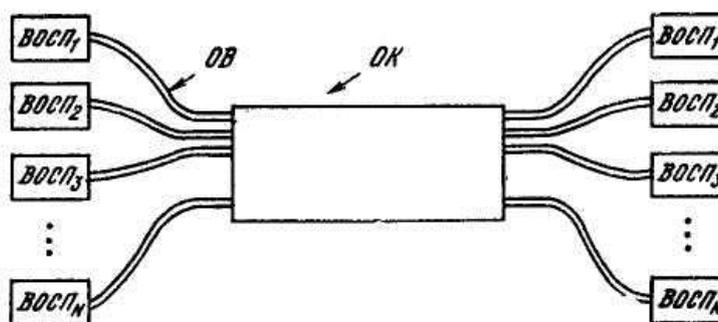


Рис. 1.7. Принцип пространственного уплотнения

При таком методе число ВОСП равно числу ОВ в оптическом кабеле, а следовательно, пропускная способность определяется числом ОВ в кабеле. Недостатком пространственного уплотнения являются большой расход оптического волокна, значительные затраты на каблирование, а следовательно, и высокая стоимость линейного тракта. Для магистральных ВОСП, где стоимость 1 кан. км определяется в основном стоимостью кабеля, метод пространственного уплотнения не обеспечивает улучшения технико-экономической эффективности.

1.3. Частотное уплотнение оптического волокна

В системах передачи с частотным уплотнением исходным сигналам различных источников информации в линейных трактах отводятся определенные полосы частот. В этом случае для получения группового линейного сигнала требуются близко расположенные стабильные оптические несущие. Однако нестабильность линии излучения, полупроводниковых лазеров, особенно при высокоскоростной модуляции, приводит к тому, что расстояние по спектру между рабочими длинами волн соседних каналов во много раз превышает полосу информационного сигнала. Поэтому для получения близко расположенных спектральных каналов в ВОСП используются различные несущие не от разных источников, а от одного с помощью сдвига оптической несущей.

Оптическое излучение с выхода лазерного источника излучения (ИИ) (рис. 1.8), содержащего ряд несущих $f_1, f_2, f_3, \dots, f_N$, поступает на анализатор A_1 представляющий собой призму Глана-Тейлора, а затем, пройдя четвертьволновую призму, — на фильтр первого канала Φ_1 . Этот фильтр пропускает оптическую несущую первого канала f_1 к оптическому модулятору OM_1 где она и модулируется. Оптическое излучение с частотами f_2, f_3, \dots, f_N (т. е. кроме f_1) отражается фильтром и возвращается к анализа-

тору A_1 , по пути к которому вторично проходит через четвертьволновую призму и попадает на анализатор A_2 . Оптическая несущая первого канала, промодулированная в оптическом модуляторе OM_1 информационным сигналом, отражаясь от зеркала, также возвращается к анализатору A_1 .

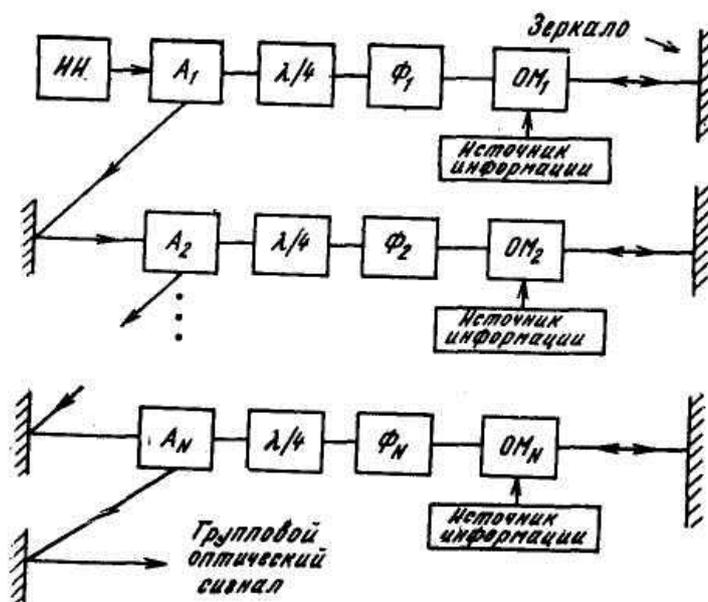


Рис. 1.8. Принцип формирования группового оптического сигнала при частотном уплотнении

Плоскость поляризации оптического сигнала, дважды прошедшего четвертьволновую призму, поворачивается на $\pi/2$ по отношению к плоскости поляризации исходного колебания, в связи, с чем световой пучок отклоняется в призме и выходит из нее. Далее общий сигнал поступает на анализатор A_2 и процесс повторяется, с той лишь разницей, что модулируется оптическое излучение с частотой f_2 . Таким образом, формируется оптический групповой сигнал, поступающий в оптическую линию связи.

На приеме оптический групповой сигнал, содержащий ряд промодулированных оптических несущих, поступает на анализатор A_1 (рис. 1.9), а затем после прохождения через четвертьволновую призму и фильтр первого канала — на оптический смеситель (ОС). Фильтр Φ_1

пропускает только оптический сигнал с частотой f_1 остальные сигналы отражаются и поступают на A_2 . Оптическая промодулированная несущая с частотой f_1 перемножается в ОС с частотой местного гетеродина, затем промежуточная частота $f_{ПР}$ выделяется полосовым фильтром (ПФ) и поступает на фотодетектор (ФД), на выходе которого формируется электрический сигнал. Таким образом, прием осуществляется гетеродинным способом. Аналогично происходит детектирование сигнала во всех остальных каналах.

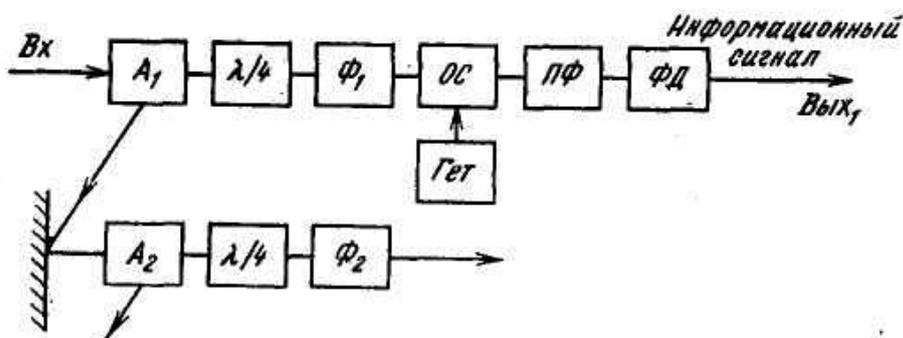


Рис. 1.8. Принцип приёма группового оптического сигнала при частотном уплотнении

Достоинства метода частотного (гетеродинного) уплотнения заключаются в том, что длина участка регенерации за счет гетеродинного приема возрастает до 100...200 км; значительно повышается коэффициент использования пропускной способности оптического волокна. К недостаткам относится то, что при данном методе требуется оптический тракт приема и передачи с сохранением поляризации, а также целый ряд дополнительных устройств: сдвигателей частоты, оптических вентилях, контроллеров поляризации, оптических усилителей, системы автоподстройки частоты и т.п., что значительно усложняет систему и увеличивает ее стоимость.

Что касается метода спектрального уплотнения, рассмотренного ранее, то можно отметить, что он является наиболее перспективным.

2. ПРИЁМОПЕРЕДАЮЩИЕ МОДУЛИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

2.1. Передающие оптические модули

Оптические передатчики и приемники ВОСП выполняются в виде модулей, в состав которых входят источники и приемники оптического излучения и электронные схемы обработки электрических сигналов.

К источникам оптического излучения предъявляются следующие требования: длина волны излучения должна совпадать с одним из минимумов спектральных потерь оптических волокон; конструкция источника должна обеспечивать достаточно высокую мощность выходного излучения и эффективный ввод его в оптическое волокно; источник должен иметь высокую надежность и большой срок службы; габаритные размеры, масса и потребляемая мощность должны быть минимальными; простота технологии должна обеспечивать невысокую стоимость и высокую воспроизводимость характеристик.

Известны три класса источников оптического излучения для ВОСП: планарные полупроводниковые, волоконные и объемные микрооптические (микролазеры). Все они в той или иной мере удовлетворяют изложенным выше требованиям, однако только планарные полупроводниковые источники — светоизлучающие (СИД) и лазерные диоды (ЛД) — широко используются в реальных системах. Они работают в диапазоне волн 0,8... 1,6 мкм, который характеризуется минимальными потерями в ОВ, и позволяют вводить в волокно достаточно большую мощность (0,05... ... 2 мВт),

В СИД оптическое излучение происходит в результате спонтанной эмиссии, когда к области *p-n*-перехода в полупроводниковом материале с прямыми переходами приложено положительное смещение. Спонтанное оптическое излучение возникает при переходе любого электрона с

одного энергетического уровня на другой. Частота излучения f определяется разностью энергетических уровней E_q , т. е. шириной запрещенной энергетической зоны $f = c/\lambda = E_q/h$, где h — постоянная Планка; c — скорость света в вакууме.

Поскольку время перехода всех электронов с одного энергетического уровня на другой не совпадает, то происходит наложение излучения и возникают оптические волны с неодинаковой амплитудой и фазой, а вследствие этого наблюдается неоднородность и по частоте. Кроме того, мельчайшие колебания энергии E_q также влияют на частотный разброс излучения. Эти флуктуации приводят к тому, что спектр излучения приобретает некоторую ширину Δf (рис. 2.1). Значение Δf используется как параметр, характеризующий монохроматичность источника излучения. Спонтанное излучение обладает низкой монохроматичностью (некогерентное излучение).

Основными характеристиками источников излучения наряду с шириной спектра излучения являются ватт-амперная характеристика, максимальное значение частоты модуляции, срок службы и надежность.

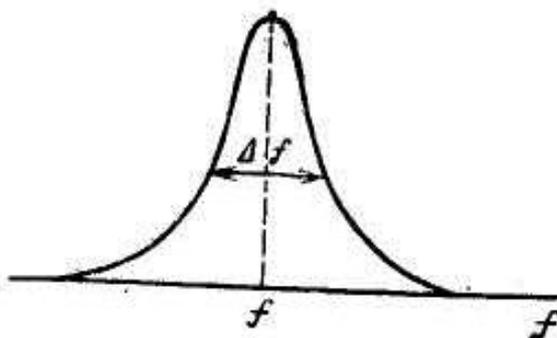


Рис. 2.1. Спектр излучения СИД

Зависимость мощности излучения от тока инжекции (накачки) показана на рис. 2.2. Особенностью этих характеристик является практически линейная зависимость $P = f(I_n)$. Это позволяет использовать аналоговые системы передачи для модуляции оптического излучения.

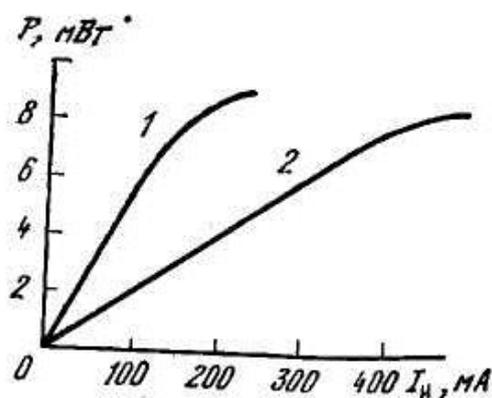


Рис. 2.2. Зависимость мощности излучения от тока инжекции для СИД с поверхностным излучением (1) и торцевого типа (2)

Максимальная частота модуляции $f_{max} = 1/(2\pi\tau_u\eta_{vu})$, где η_{vu} — внутренняя квантовая эффективность материала полупроводника; τ_u — время жизни неосновных носителей, обусловленное излучательными переходами.

По возможности необходимо уменьшить излучательное время жизни τ_u . При этом возрастает как значение τ_{vu} на низких частотах модуляции, так и высокочастотная граница. Уменьшить значение τ_{vu} можно увеличением степени легирования и уровня инжекции. Так, в СИД торцевого типа удастся получить в 4 раза большую полосу модуляции (100 МГц) по сравнению с СИД с поверхностным излучением без снижения квантовой эффективности.

Всем параметрам СИД присуща деградация — постепенное уменьшение мощности излучения при длительной эксплуатации. Эмпирически установлено, что после некоторого начального периода «приработки» изменение мощности подчиняется обычному экспоненциальному закону

$$P(t) = P(0)e^{-t/t_{cl}}, \text{ где } t_{cl} = AI_u^{-m}e^{-\varepsilon_{cl}/(KT)} \text{ — срок службы (деградации) СИД.}$$

Здесь A и m — константы, определяемые материалом и конструкцией СИД. Обычно $m \approx 1...2$ и растет с увеличением тока I_u . Активационная энергия ε_{cl} такова, что при возрастании температуры на 10...20°C t_{cl} снижается вдвое. Для использования в ВОСП срок службы СИД должен составлять 10^5 ч для наземных и 10^6 ч для подводных оптических кабелей.

К числу основных характеристик лазерных диодов, определяющих возможность их использования в системах связи и передачи информации, относятся: мощность излучения и ее зависимость от тока накачки, диаграмма направленности излучения, спектр излучения и срок службы.

Передающий оптический модуль (ПОМ) конструктивно состоит из оптической головки и электронной схемы, основным назначением которой является модуляция излучаемого света. В оптической головке с СИД размещаются диод и модулятор, а в головке с ЛД — лазер, модулятор, фотодиод обратной связи и электронная схема, с помощью которой стабилизируется режим работы лазера. Одна из основных задач, которую необходимо решать при разработке ПОМ, — стабилизация выходной мощности полупроводниковых лазеров.

Светоизлучающий диод установлен на теплоотводящем радиаторе (рис. 8.20), излучение выводится из оптической головки наружу через отрезок оптического волокна, к которому, в свою очередь, присоединяется внешнее оптическое волокно. Модулятор смонтирован в общем корпусе с оптической головкой и представляет собой микросхемную схему (преобразователь «напряжение-код»), управляющую током в цепи питания светодиода.

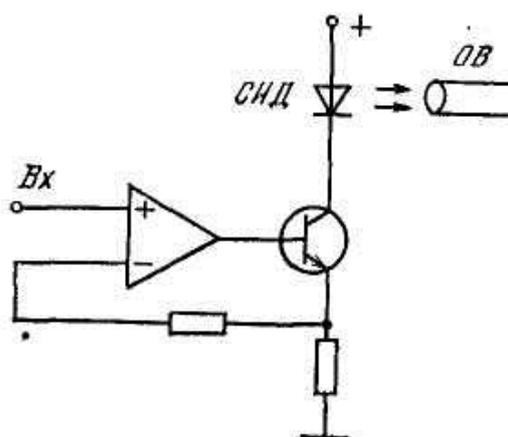


Рис. 2.3. Схема простейшего оптического модуля с СИД

2.2. Приемные оптические модули

Основным элементом приемных оптических модулей (ПрОМ) является фотодиод, который играет роль фотодетектора. Функция детектора ВОСП сводится к преобразованию входного оптического сигнала в электрический, который затем подвергается усилению и обработке электронными схемами фотоприемника. Фотодетектор должен точно воспроизводить форму оптического сигнала, не внося дополнительно шума, т. е. обладать требуемыми широкополосностью, динамическим диапазоном и чувствительностью, иметь небольшие, но достаточные размеры для надежного соединения с волокном, быть нечувствительным к изменениям параметров внешней среды, иметь большой срок службы и минимальную стоимость. Наиболее полно указанным требованиям удовлетворяют полупроводниковые фотодиоды.

Принцип действия полупроводникового фотодиода основан на внутреннем фотоэффекте. Поглощаемый фотон рождает пару новых носителей заряда — электрон и дырку. Иначе это означает, что, поглощаясь атомом, фотон возбуждает электрон и переводит его из валентной зоны в зону проводимости (собственное поглощение) или же с примесного уровня в зону проводимости (приемное поглощение). Такие переходы изменяют электрические характеристики полупроводника, создавая условия формирования электрических сигналов. Высокое быстродействие и эффективное поглощение падающего излучения, как правило, связаны с эффектом примесного поглощения. По этой причине фотодетекторы для ВОСП в настоящее время выполняются на основе материалов с примесным поглощением.

В результате поглощения кванта света с энергией hf во внешней цепи диода протекает импульс тока. Если каждый поглощенный квант рождает электронно-дырочную пару и носители тока пересекают плоскость p - n -перехода, то число носителей N , определяемое отношением мощности

оптического излучения P к энергии кванта hf , умноженное на величину заряда носителя q , определит средний ток, протекающий через нагрузку R_H :

$$I = qN = qP/hf.$$

Как правило, не все поглощаемые кванты света приводят к появлению импульсов тока. Этот факт необходимо учитывать коэффициентом (η), характеризующим эффективность преобразования фотонов в электрический ток. Этот коэффициент называется квантовой эффективностью (выходом) фотодетектора.

Таким образом, в общем случае средний ток, протекающий через нагрузку, определяется соотношением

$$I = \eta qP / hf. \quad (2.1)$$

Фотодиоды, выполненные из германия, работают при длине волны до 1,8 мкм, из кремния — до 1,2 мкм, из арсенида галлия — до 0,87 мкм.

Основными характеристиками фотодиодов наряду с квантовой эффективностью являются постоянная времени и чувствительность.

Постоянная времени фотоприемника характеризует его быстродействие и зависит от многих параметров: подвижности носителей заряда, ширины обедненной зоны, длины волны света, а также от того, движутся ли носители заряда под действием электрического поля или вследствие диффузии. Зная постоянную времени фотоприемника τ , можно определить ширину пропускания фотодетектора: $\Delta f_{np} = 0,4/\tau$. Таким образом, чем меньше τ , тем больше полоса пропускания.

Постоянная времени фотодиода зависит от времени диффузии и времени перехода обедненной зоны. Поэтому важными параметрами являются толщина p -слоев и p - n перехода. Общая тенденция заключается в уменьшении толщины n - и p -областей и увеличении обедненной области. При этом возрастает также квантовая эффективность.

Толстый обедненный слой может создаваться различными способами, чаще всего слабым легированием части p - или n -области, которые делаются более толстыми в этом случае, либо введением специального слабо легированного i -слоя или слоя типа π собственно полупроводника.

Чувствительность фотоприемника — это полный КПД преобразования световой мощности в электрический ток (отношение среднего значения фототока к среднему значению оптической мощности):

$$S = I/P, \text{ A/Вт.}$$

С учетом (2.1) $S = \eta q/(hf)$. Отсюда следует, что чувствительность фотоприемника тем выше, чем больше квантовый выход, т. е. чем больше доля светового потока, поглощаемая в активной зоне.

Наибольшее распространение в волоконно-оптических системах получили фотодетекторы на основе p - i - n фотодиодов (PIN) и лавинные (ЛФД).

На выходе ФД в зависимости от мощности оптического сигнала протекает фототок, определяемый выражением (2.1). В общем случае фототок состоит из отдельных носителей с зарядом q . Каждый носитель заряда вызывает импульс, длительность которого равна времени пробега носителя между электродами. Поэтому на постоянный либо изменяющийся с оптическим сигналом фототок накладываются нерегулярные колебания, чьи спектральные составляющие в полосе B при частоте модуляции ω имеют среднеквадратическое значение $2qI / |\Gamma(\omega)^2|$ В. Множитель $|\Gamma(\omega)^2|$ описывает ослабление колебаний из-за дрейфа носителей и для времени дрейфа τ_d определяется выражением

$$\Gamma(\omega) = (1 - e^{-i\omega\tau_d}) / (i\omega\tau_d).$$

Таким образом, нерегулярные колебания приводят к дробовым шумам. Спектральное распределение этих шумов — равномерное вплоть до частоты

$f = 1/\tau_d$; только на более высоких частотах они уменьшаются из-за конечного времени дрейфа. Однако этот же эффект приводит к ослаблению сигнала в той же степени.

Дробовые шумы сопровождают не только фототок I принимаемого оптического потока, но и фототок I_p рассеянного света, который большей частью подается одновременно в виде фонового излучения. Кроме того, дробовые шумы вызываются темновым током I_T , создаваемым термически возбужденными носителями заряда.

В целом средний квадрат флуктуации тока дробовых шумов

$$\bar{I}_{ш}^2 = 2q(I + I_p + I_T)|\Gamma(\omega)|^2 B.$$

В лавинных фотодиодах происходит усиление тока в M раз, ею флуктуации также умножаются как минимум в той же мере. В этом случае среднее значение квадрата флуктуации

$$\bar{I}_{ш}^2 = 2q(I + I_p + I_T)|\Gamma(\omega)|^2 B|M(\omega)|^2 F.$$

Здесь $M(\omega)$ обозначает усиление переменного тока, определяемое для лавинных фотодиодов выражением $M(\omega) = M_0/(1 + i\omega\tau)$. Коэффициент F учитывает увеличение дробовых шумов из-за нерегулярного характера умножения носителей заряда.

Усиление тока не остается постоянным во времени, а флуктуирует в зависимости от вида процесса умножения. При лавинном умножении в фотодиодах флуктуации усиления тока тем значительнее, чем больше усиление, В соответствии с этим дополнительные шумы также возрастают с усилением тока. Для лавинных фотодиодов функция $F(M)$ хорошо аппроксимируется степенным законом $F = M^x$. Показатель экспоненты находится в диапазоне $x = 0,4 \dots 1$. Для германиевых диодов $x=1$,

в то время как для кремниевых диодов $x = 0,5$, если в лавинную зону инжектируют преимущественно электроны. При инжекции дырок в лавинную зону кремниевых диодов показатель экспоненты увеличивается до $x=1$. Таким образом, в оптических приемниках использование фотодиодов приводит к тому, что значение шума зависит от сигнала. Эта особенность принципиально отличает приемники ВОСП от приемников классических систем передачи.

Приемный оптический модуль ПрОМ представляет собой собранное в общем корпусе устройство, состоящее из фотодетектора ($p-i-n$ фотодиода или лавинного фотодиода) и малошумящего предварительного усилителя. На рис. 2.4 приведены принципиальные схемы ПрОМ двух типов — с подключением фотодетектора к усилителю (схема «прямой линии») и с трансимпедансным усилителем, в котором осуществляется обратная связь через сопротивление $R_{o.c}$

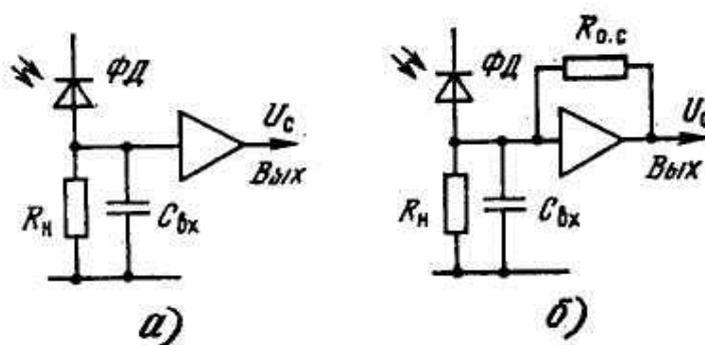


Рис. 2.4. Схема ПрОМ с подключением фотодетектора к усилителю (а) и с трансимпедансным усилителем (б)

При использовании ЛФД в качестве фотодетектора можно изменять подаваемое на него напряжение обратного смещения и таким образом регулировать коэффициент лавинного умножения фотодиода. Это позволяет существенно расширять динамический диапазон модуля, но требует наличия в модуле блока автоматической регулировки усиления (АРУ). В блоке АРУ получаемое напряжение должно сравниваться с напряжением опорного сигнала, определяющего амплитуду выходного сигнала модуля.

Напряжение рассогласования должно поступать на схему, управляющую одновременно коэффициентами усиления ЛФД и усилителя.

В случае применения *p-i-n* диода в качестве фотодетектора электронная схема предварительного усиления упрощается. Она сводится к двойному амплитудному детектору, схеме сравнения и фильтру. Однако тогда динамический диапазон модуля получается значительно меньшим, чем при использовании лавинного фотодиода с блоком АРУ.

2.3. Линейные коды ВОСП

К линейным сигналам ВОСП предъявляются следующие требования: спектр сигнала должен быть узким и иметь ограничение как сверху, так и снизу. Чем уже спектр сигнала, тем меньше требуется полоса пропускания фотоприемника, а соответственно уменьшаются мощность шума и его влияние. Ограничение спектра сверху снижает уровень межсимвольной помехи, а ограничение снизу — флуктуации уровня принимаемого сигнала в электрической части фотоприемника, имеющего цепи развязки по постоянному току. Минимальное содержание низкочастотных составляющих позволяет также обеспечивать устойчивую работу цепи стабилизации выходной мощности оптического передатчика:

- код линейного сигнала должен обеспечивать возможность выделения колебания тактовой частоты, необходимой для нормальной работы тактовой синхронизации;
- код линейного сигнала должен обладать максимальной помехоустойчивостью, которая позволяет получать при прочих равных условиях максимальную длину участка регенерации;
- код линейного сигнала должен обладать избыточностью, которая позволяет по нарушениям правила образования кода судить о возникновении ошибок;

- код линейного сигнала должен быть простым для практической реализации преобразователей кода.

Для формирования линейных сигналов ВОСП используются блочные коды вида $nBmB$, где n означает число кодируемых цифровых разрядов, B определяет двоичное основание системы счисления исходного кода, m — число передаваемых по ОВ двухуровневых сигналов, соответствующих n разрядам. Например, $1B2B$ обозначает, что один цифровой разряд передается двумя сигналами по ОВ и относительная скорость передачи в линейном тракте в 2 раза выше скорости входных символов.

Наиболее простыми линейными кодами являются так называемые NRZ-коды (без возвращения к нулю) и RZ-коды (с возвращением к нулю). В NRZ-коде «1» передается импульсами, а «0» — паузой (рис. 2.5,а). В RZ-коде «1» передается последовательностью из импульса и паузы, причем имеет в 2 раза меньшую длительность, а «0», как и раньше, передается паузой (рис. 2.5,б). Недостатком кода RZ по сравнению с NRZ является необходимость использования более широкой полосы передачи из-за применения импульсов меньшей длительности, а преимуществом его является то, что источник оптического излучения в этом случае работает в течение меньшего времени и соответственно степень деградации его параметров снижается.

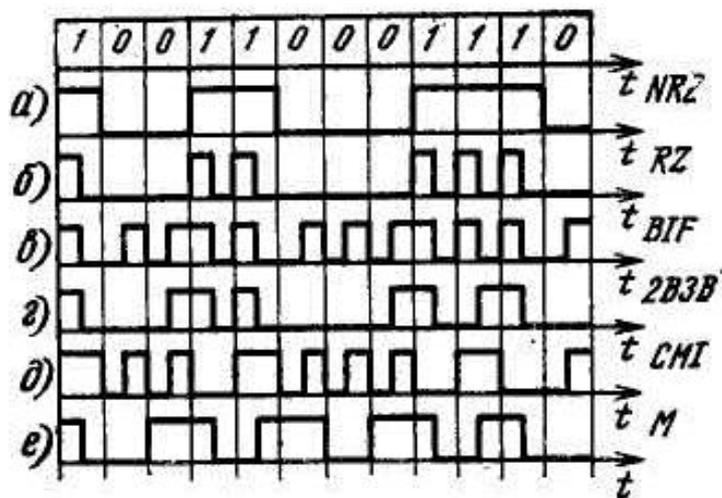


Рис. 2.5 Линейные коды ВОСП

Согласно принятому определению RZ-код является примером *1B2B*-сигнала. Недостаток рассмотренных кодов заключается в том, что они не удовлетворяют перечисленным требованиям (за исключением последнего пункта), поэтому такие коды могут быть рекомендованы лишь на линиях небольшой протяженности при отсутствии регенерационных участков.

Для снижения содержания в спектре сигналов низкочастотных компонент применяют манчестерский, или бифазный, код VIF, в котором «0» передается последовательностью из паузы и импульса, а «1» - последовательностью из импульса и паузы, причем длительность импульса в 2 раза меньше длительности «1» (рис. 2.5,в). В данном коде отсутствуют подряд более чем два идентичных символа, что определяет снижение в спектре низкочастотных компонент. Такой код также целесообразен при передаче в линиях малой протяженности без регенераторов и является примером *1B2B*-сигнала. Пример кода *2B3B* приведен на рис. 2.5,г. Алгоритм образования следующий: разряды 00 заменяются на 001; 01 на 010; 10 на 100 и 11 на 011. Такой код обеспечивает возможность снижения скорости передачи в линии по сравнению с *1B2B*-сигналами.

К общим недостаткам рассмотренных кодов относятся следующие: невысокая помехозащищенность, сложности с выделением тактовой частоты, а также с обнаружением ошибки. По этой причине коды не могут быть рекомендованы для организации линейного тракта ВОСП большой протяженности. Введение корреляционных связей между амплитудами передаваемых двухуровневых сигналов позволяет устранять отмеченные недостатки. Примером сигнала с корреляционными связями является код СМІ или код с поочередной инверсией токовых сигналов, временные диаграммы которого показаны на рис. 2.5,д. Введение корреляционных связей в СМІ позволяет обнаруживать ошибки, приводящие к сбою чередования комбинаций 11 и 00 при передаче двоичной 1.

Одной из разновидностей сигналов *1B2B* является код Миллера (М). Этот код, в котором кодовой посылке 0 бинарного сигнала ставится в

соответствие кодовое слово 11 или 00, а кодовой посылке 1 - 01 или 10, причем последовательность нулей исходного бинарного сигнала передается чередованием кодовых слов 11 или 00. При других комбинациях посылок бинарного сигнала первая кодовая посылка кодового слова должна быть такой же, как последняя предыдущего кодового слова (рис. 2.5,е). Например, бинарная последовательность 01100 передается в линейном тракте последовательностью 1110011100. В результате соседние переходы вида 10 или 01 в линейном сигнале будут находиться не ближе, чем на тактовый интервал T , и не дальше, чем на $2T$, вследствие чего основная часть энергетического спектра линейного сигнала сосредоточена в области ниже тактовой частоты f_T и низкочастотная составляющая энергетического спектра оказывается частично подавленной (составляет 30% низкочастотной составляющей бинарного сигнала в формате NRZ). Контроль за появлением переходов с частотой, большей $1/T$, позволяет просто осуществлять оперативный контроль за появлением ошибок в регенераторе.

В качестве перспективных для использования в цифровых волоконно-оптических системах связи МККТТ предлагает двухуровневые коды $1B2B$, $2B3B$, $5B6B$, $6B8B$ и $MBIP$, где символ IP обозначает добавление одной балансовой посылки к M бинарным (например, таким образом, чтобы число единиц и нулей в кодовом слове всегда было четным или нечетным).

В цифровых ВОСП для первичной ступени ИКМ иерархии целесообразно использовать код СМІ; для вторичной - СМІ и ВІF; для третичной - ВІF и код Миллера; для более высоких ступеней - код Миллера и скремблированный бинарный сигнал в формате NRZ.

Использование многоуровневых кодов по сравнению с двух уровневыми на городских, зонавых и магистральных сетях связи приводит к снижению энергетического потенциала системы на 15... 20 дБ. Поэтому многоуровневые коды рекомендуется использовать во внутриобъектовых линиях связи специального назначения.

3. ОБОРУДОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

3.1. Оптический ретранслятор

Передача информации по ОВ ограничивается максимальной мощностью излучения передатчика, затуханием и дисперсией ОВ, а также чувствительностью приемника. Эти обстоятельства накладывают ограничения на дальность передачи и объясняют необходимость установки ретрансляторов сигнала через участок определенной длины. Ретрансляторы строятся как чисто оптические, так и с преобразованием оптических сигналов в электрические, с последующей регенерацией электрических сигналов и обратным преобразованием.

Оптические ретрансляторы корректируют и усиливают световые сигналы непосредственно, не преобразуя их в электрические. Они содержат лазерный усилитель (оптический квантовый усилитель) и нелинейный поглотитель для частичной регенерации световых импульсов. Усилитель компенсирует потери передачи сигнала в световоде и нелинейном поглотителе, т. е. возвращает световым импульсам их первоначальную интенсивность. Нелинейный поглотитель сужает импульсы и тем самым частично компенсирует расширение импульсов и их перекрытие, которое происходит в ОВ из-за дисперсии материала и разброса времени пробега. Помимо этого он уменьшает уровень шумов и других интерференционных помех, находящихся в стороне от пиков импульсов. В настоящее время ретрансляторы на основе оптических квантовых усилителей находятся в стадии проектирования и опытной эксплуатации.

Наибольшее применение в технике оптической связи получили ретрансляторы с преобразованием оптического сигнала в электрический и последующей обработкой и регенерацией сигнала электронными схемами

(рис. 3.1). Оптический ретранслятор отличается от регенераторов проводных ЦСП только наличием оптических модулей (ПрОМ и ПОМ). Электронный регенератор (ЭР) содержит решающее устройство (РУ), устройство тактовой синхронизации (УТС) и формирователь сигналов (ФС).

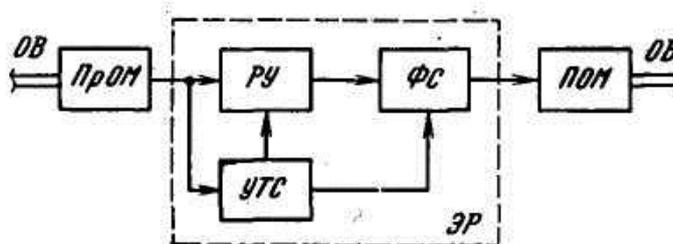


Рис. 3.1. Структурная схема линейного ретранслятора для цифровых ВОСП

Процесс регенерации в ЭР происходит следующим образом. Значения передаваемых символов (0 или 1) оцениваются решающим устройством, которое анализирует поступающий сигнал и принимает решение о том, какой символ передается по ОВ. В регенераторах при оценке значений символов используется прием методом однократного отсчета, что позволяет при относительно простой реализации получать высокую помехоустойчивость. Временные диаграммы (рис. 3.2) приведены для случая, когда с оконечной ВОСП передается в оптическую линию двухуровневый код с пассивной паузой (рис. 3.2, а). При этом в решающем устройстве периодически с тактовой частотой $f_T = 1/T$ производится стробирование сигнала на выходе ПрОМ и сравнение полученного отсчета с порогом.

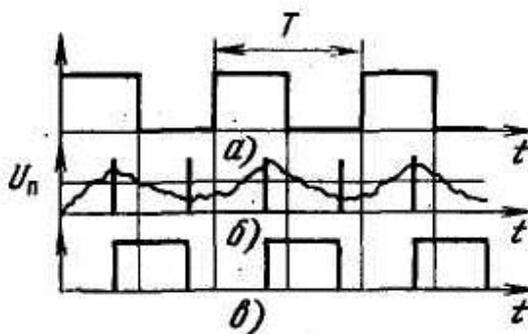


Рис. 3.2. Временные диаграммы работы линейного ретранслятора

При превышении порога в формирователе сигнала формируются импульсы прямоугольной формы с определенной амплитудой и длительностью (рис. 3.2, в). Стробирование сигнала осуществляется с помощью узких импульсов, которые вырабатываются устройством тактовой синхронизации (рис. 3.2, б).

При передаче сигналов по ОВ величина ослабления и искажений зависит от длины участка l_{yc} .

При увеличении l_{yc} уровень оптического сигнала p_{np} падает плавно на строительных отрезках ОВ и скачком в точках их соединений (рис. 3.3).

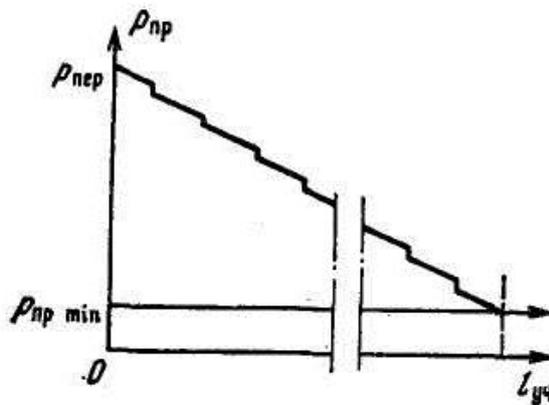


Рис. 3.3. Зависимость мощности оптического сигнала от длины участка регенерации

Для восстановления сигнала необходимо, чтобы на входе ЭР уровень сигнала $p_{np} \geq p_{np \text{ min}}$ где $p_{np \text{ min}}$ — минимальный уровень приема оптического излучения, при котором происходит полное восстановление сигнала, т. е. можно записать $p_{пер} - a_в - nр a_p - nн a_n - \alpha l_{yc} \geq p_{np}$, где $p_{пер}$ — уровень передачи на выходе станции или регенератора; $a_в$ — потери при вводе и выводе излучения в волокно; a_p, a_n — потери в разъёмных и неразъёмных соединениях на длине регенерационного участка. Это выражение удобно записать в виде

$$\alpha l_{yc} + nр a_p + nн a_n \leq Q, \quad (3.1)$$

где $Q = p_{пер} - a_в - p_{np \text{ min}}$ — энергетический потенциал ВОСП. Из (3.1) можно получить значение l_{yc} по затуханию: $l_{yc} = (Q - nр a_p - nн a_n) / \alpha$.

Кроме затухания ОВ длина участка регенерации ограничивается за счет дисперсионных потерь. Для уменьшения межсимвольной интерференции необходимо выполнение неравенства

$$B \leq 0,25/\sigma, \quad (3.2)$$

где B — скорость передачи информации; σ — среднеквадратическая ширина импульсной характеристики в кабеле длиной l_{yc} . Из (3.2) следует, что $l_{yc} \leq 0,25/(\sigma_0 B)$, где σ_0 — среднеквадратическое уширение импульса в ОВ длиной 1 км. Следовательно, для определения максимальной длины регенерационного участка необходимо решить систему неравенств

$$\begin{cases} l_{yc} \leq (Q - n_p \alpha_p - n_n \alpha_n) / \alpha, \\ l_{yc} \leq 0,25 / (\sigma_0 B). \end{cases}$$

Расчеты по определению l_{yc} показывают существенные преимущества оптических систем передачи, где регенерационные расстояния превышают 100 км. При использовании коаксиальных кабелей длина l_{yc} составляет 1,5...6 км.

Следует отметить возможность создания ВОСП, не содержащих регенераторы, что объясняется значительным прогрессом в технологии производства активированных оптических волокон для мощных полупроводниковых лазеров.

3.2. Аппаратура ВОСП для ГТС

Волоконно-оптические системы передачи, как и СП, работающие по металлическому кабелю, подразделяются на городские, внутризонавые и магистральные. К системам передачи, работающим по оптическому кабелю на линиях ГТС, относятся «Соната-2», ИКМ-120-4/5 и «Сопка-Г» (ИКМ-480-5), технические данные которых приведены в табл. 3.1 [4].

Таблица 3.1.

Параметр	Значение параметра для волоконно-оптической СП		
	«Соната-2»	ИКМ-120-4/5	ИКМ-480-5 («Сопка-Г»)
Число стандартных каналов ТЧ	120	120	480
Скорость передачи, Мбит/с	8,5	8,5	34,4
Линейный код	СМІ	МСМІ	МСМІ
Коэффициент ошибок (на регенератор)	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}
Тип приемника излучения	ЛФД	ЛФД	ЛФД
Тип ОВ	МОВ	МОВ	МОВ; ООВ
Длина волны, мкм	0,85	0,85 1,3	1,3
Тип источника излучения	ЛД	ЛД; СИД	ЛД
Энергетический потенциал, дБм	50	50; 34 37; 24	38
Затухание ОВ, дБм/км	3	3,0 0,7	0,7
Максимальная длина участка регенерации, км	12	12; 8 26; 13	35; 32

В состав ВОСП «Соната-2» (рис. 3.4) входят: оборудование аналого-цифрового преобразования из состава ИКМ.-30 или ИКМ-30-4; комплект оборудования вторичного временного группообразования (КВВГ) из состава ИКМ-120; комплекты стоек оборудования линейного световодного тракта оконечной (КОЛСТ-0-2) и промежуточной (КОЛСТ-П-2); устройство стыка стационарного и линейного оптического кабелей (УССЛК); линейный оптический кабель; стационарный оптический кабель; шнуры световодные соединительные (ШСС).

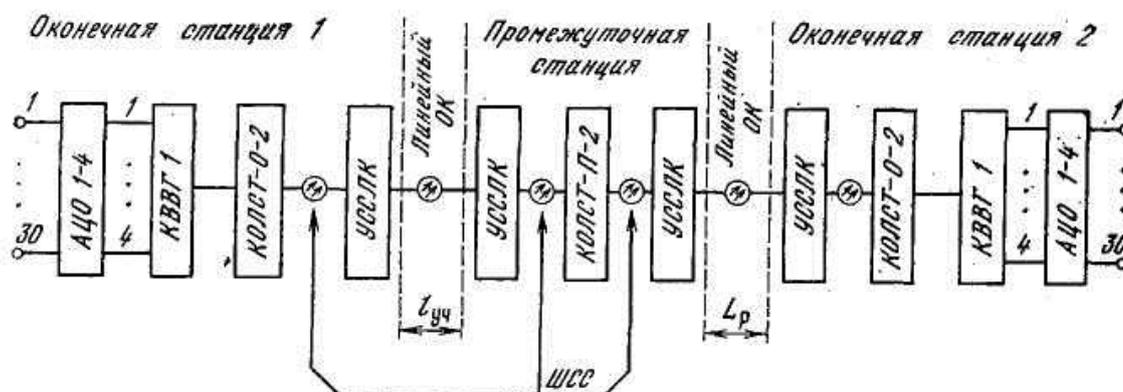


Рис. 3.3. Структурная схема ВОСП «Соната-2»

Конструкция и комплектация СОЛСТ-0 и СОЛСТ-П идентичны. Каркасы стоек предназначены для размещения восьми кассет оконечного оборудования линейного световодного тракта и двух кассет оборудования обслуживания стойки.

Стык стационарного и линейного световодных кабелей осуществляется в устройстве стыка стационарного и линейного световодных кабелей (УССЛК), которое представляем собой плату размерами 650x194x16 мм, защищенную кожухом, с устройством для ввода одного линейного световодного кабеля емкостью 4 или 8 оптических волокон и четырех двухволоконных стационарных кабелей. Сращивание волокон линейного и стационарного кабелей осуществляется методом сварки.

В качестве линейного используются, кабели ОК-50-2-5-8 и ОК-50-2-5-4, предназначенные для прокладки в телефонной канализации ГТС.

Аппаратура вторичной цифровой системы передачи ИКМ-120-4/5 относится к четвертому, а блоки световодного линейного тракта — к пятому поколению средств связи. Аппаратура предназначена для организации межузловой и межстанционной связи ГТС и позволяет организовывать соединительные линии между АТС всех типов, а также между АТС и АМТС всех типов.

В состав оборудования оконечной станции ИКМ-120-4/5 (рис. 3.4) входят: оборудование световодных переключений (ОСП), обеспечивающее ввод оптического линейного и переход к стационарному ОК; оборудование линейного тракта (ОЛТ), обеспечивающее прием и преобразование оптического линейного сигнала в электрический сигнал, его регенерацию, коррекцию, передачу и преобразование его в линейный оптический сигнал.

Для организации двух линейных световодных трактов используется блок ОЛТ-24 с двумя комплектами КЛТ-2С.

Для системы ИКМ-120-4/5 разработаны четыре типа комплектов КЛТ-2С, параметры которых приведены в табл. 3.2.

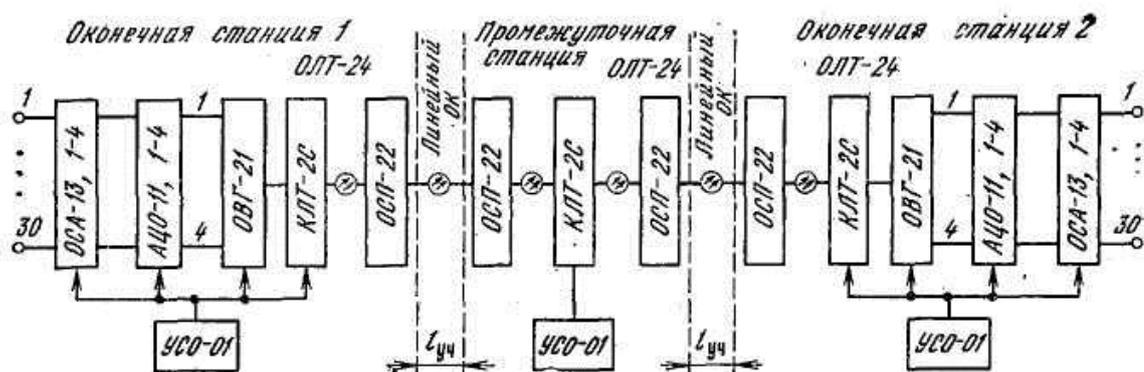


Рис. 3.3. Структурная схема организации связи с использованием системы передачи ИКМ-120-4/5

Таблица 3.2.

Тип КЛТ-2С	Длина волны, мкм	Энергетический потенциал, дБ	Тип источника излучения
КЛТ-24	1,3	37	ЛД
КЛТ-25	0,85	50	ЛД
КЛТ-26	1,3	24	СИД
КЛТ-27	0,85	24	СИД

Оборудование вторичного группобразования (ОВГ-21) объединяет четыре цифровых потока 2,048 Мбит/с в один групповой поток со скоростью 8,448 Мбит/с на передаче и производит обратное преобразование на приеме; аналого-цифровое оборудование (АЦО-11) преобразует каналы ТЧ в цифровой поток 2,048 Мбит/с; согласующее оборудование межстанционных линий АТС, АМТС (ОСА) обеспечивает согласование оборудования ИКМ с оборудованием АТС всех типов. При включении ИКМ трактов в электронные АТС непосредственно вводятся цифровые потоки со скоростью 2,048 Мбит/с с блока ОВГ-21. При этом блоки ОСА-13 и АЦО-11 не устанавливаются.

Система ИКМ-120-4/5 содержит оборудование ТК и СС, выполненное в виде блоков УСО и ТСО. Оборудование ТК ИКМ-120-4/5 работает в одном из трех следующих режимов: контролирующем, контролируемом и промежуточном. В соответствии с этим система ТК включает в себя:

контролирующую станцию (ТТ), главную по телеконтролю; контролируемую станцию (ОТ), оконечную по телеконтролю; промежуточную контролируемую станцию (ПТ); промежуточную контролируемую станцию с ретрансляцией дистанционного питания цепи ТК для увеличения дальности ТК.

Блоки аппаратуры ИКМ-120-4/5 устанавливаются на унифицированные стоечные каркасы СКУ с размерами 2600х600х225 и 2150х600х225.

В состав оборудования системы передачи «Сопка-Г» (ИКМ-480-5) входят (рис. 3.4): оборудование линейного тракта ОЛТ-01, в котором могут быть установлены два комплекта линейного тракта КЛТ-31 (КЛТ-32) для организации двух линейных световодных трактов третичной ЦСП ИКМ-480-5 на оконечной станции. Блок также предназначен для организации электропитания и передачи сигналов аварийной информации в блок УСО-01.

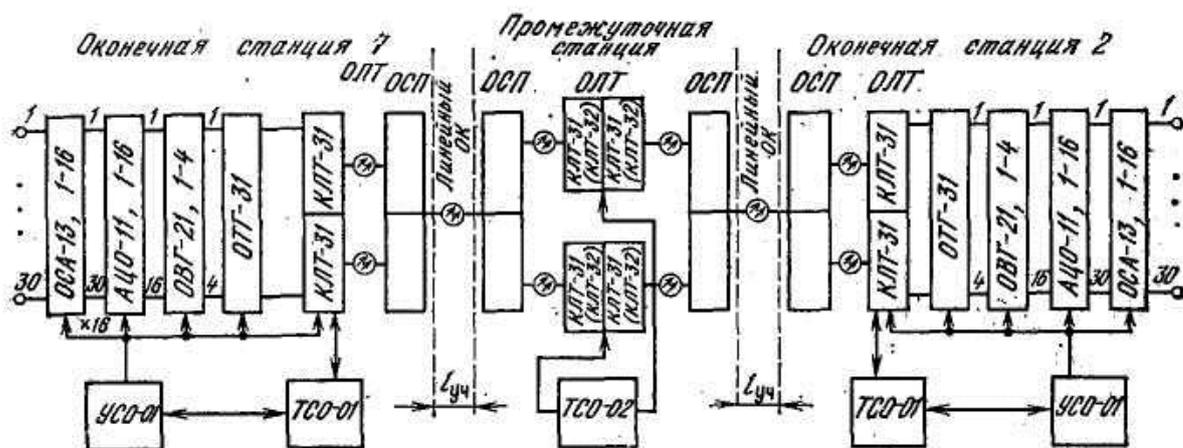


Рис. 3.4. Структурная схема ВОСП «Сопка-1» (ИКМ-480-5)

Для аппаратуры разработаны два типа КЛТ, работающих на длине волны оптического излучения 1,3 мкм и отличающихся режимом работы лазерного излучающего диода (одномодовый и многомодовый). В КЛТ происходит преобразование цифрового сигнала из стационарного кода HDB-3 в линейный код 1B2B (МСМІ) и затем преобразование в оптический сигнал на выходе тракта передачи и обратное преобразование оптического

сигнала в электрический на входе тракта приема окончного оборудования и РП.

Блок ОСП служит для перехода с линейного оптического кабеля к станционным. Предусмотрено подсоединение одного 16-волоконного, либо двух 8-волоконных, либо четырех 4-волоконных линейных ОК и 16 станционных одноволконных ОК. При использовании многомодовых ОК соединение может быть разъемным, но с дополнительным затуханием до 6 дБ либо сварным. При использовании одномодовых линейного и станционного ОК соединение выполняется только сварным способом.

Система сигнализации и обслуживания ИКМ-480-5, ИКМ-120-4/5 и ИКМ-30-4 унифицирована. Основным блоком системы является УСО-01, на который поступает информация о состоянии блоков с локализацией места неисправности с точностью до платы. В системе использована организация обмена информацией между УСО-01 и другими блоками. Предусмотрена возможность подключения к одному блоку УСО-01 до 99 блоков любого типа, а также резервирование УСО-01 блоками другого ряда. Аварийные состояния блоков фиксируются загоранием световода на передней панели УСО-01.

Система телеконтроля осуществляет дистанционное определение аварийных состояний рабочих блоков промежуточных и окончных станций. Скорость передачи служебной информации совместно с информационным сигналом по рабочей паре ОК составляет 64-кбит/с. По назначению станции подразделяются на главную (контролирующую), контролируемую окончную и промежуточную. Для организации ТК на главной станции имеется блок ТСО-01 (см. рис. 3.3), который совместно с УСО-01 обеспечивает передачу на контролируемую станцию сигналов запроса, приема аварийных сигналов и передачу их в блок УСО-01 на устройство отображения. С помощью одного блока ТСО-01 с пятью комплектами плат, каждая из которых работает по своему каналу со скоростью 64 кбит/с, организуется пять направлений ТК. В каждом

направлении передачи контролируются несколько последовательно расположенных друг за другом станций. Общее число контролируемых на этих станциях блоков не превышает десяти.

На контролируемой (оконечной и промежуточной) станциях блок ТСО-02 вырабатывает команду запроса о состоянии блоков контролируемых станций, происходят сбор и передача (транзит) по каналу ТК совместно с информационным сигналом аварийной информации. Один блок ТСО-02 может обслуживать три направления ТК, содержит три комплекта плат, каждый из них имеет индивидуальный стык с каналом 64 кбит/с контролируемого направления. Вместо канала ТК предусмотрена организация цифрового канала СС.

3.3. Аппаратура цифровых ВОСП для зонавых и магистральных линий связи

Для уплотнения зонавых и магистральных ОК разработаны системы передачи «Сопка-2», «Сопка-3», «Сопка-3М», «Сопка-4», «Сопка-4М», «Сопка-5» и «Сопка-5 ТСЛ», основные технические данные которых приведены в табл. 3.3.

Системы «Сопка-2» и «Сопка-3» предназначены для организации вторичных и третичных цифровых потоков на первичных сетях и передачи различной информации в дискретном виде. В состав оборудования (рис. 3.5) входят стойки: стойка аналого-цифрового оборудования (САЦО), входящая в состав ИКМ-30 (ИКМ-30-4); стойка вторичного временного группообразования из состава оборудования ИКМ-120 (СВВГ); стойка третичного временного группообразования из состава оборудования ИКМ-480 (СТВГ); стойка оборудования линейного тракта оконечная (СОЛТ-О); стойка телемеханики и служебной связи оконечная (СТМСС-О).

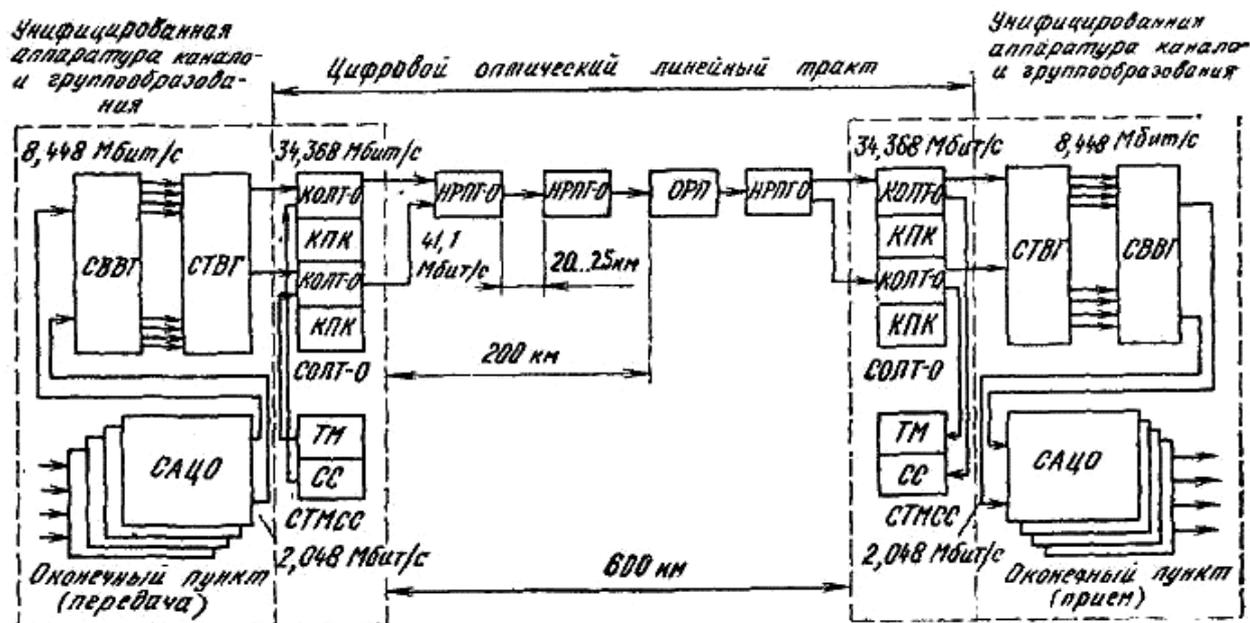


Рис. 3.5. Структурная схема оборудования «Сопка-2» и «Сопка-3»

Стойка САЦО в полном составе формирует четыре цифровых потока со скоростью передачи 2,048 Мбит/с. В СВВГ формируются цифровые потоки, соответствующие 120 каналам ТЧ со скоростью передачи 8,448 Мбит/с. В СТВГ формируются потоки, соответствующие 480 каналам ТЧ со скоростью передачи 34,368 Мбит/с. Эти сигналы в стыковочном, коде HDB-3 поступают на СОЛСТ-О, которая обеспечивает: формирование, передачу и прием линейного сигнала; поэтапное преобразование цифрового электрического сигнала из кода HDB-3 в линейный код 5565; преобразование электрического сигнала в оптический линейный сигнал; преобразование информационного оптического сигнала в электрический; контроль линейного оборудования и линейного тракта; организацию служебной связи.

На качество передачи оказывает влияние тип линейного кода. В аппаратуре «Сопка-2» и «Сопка-3» используется блочный сбалансированный код 5565, удовлетворяющий основным требованиям, предъявляемым к линейным оптическим кодам.

Таблица 3.3.

Параметр	«Сопка-2»	«Сопка-3»	«Сопка-3М»	«Сопка-4»	«Сопка-4М»	«Сопка-5»	«Сопка-5 (ТСЛ)»
Число стандартных каналов ТЧ	120	480	480	1920	1920×4	1920×4	1920×4
Скорость передачи ЦСП, Мбит/с	8,5	34,4	34,4	140	140×4	140×4	140×4
Линейный код	5В6В	5В6В	2В4В	10В1Р1R	10В1Р1R	40В4Р4R	40В4Р4R
Тип приемника излучения	ЛФД	ЛФД	PIN-ГЕТ	ЛФД	ЛФД	PIN-ГД	PIN-ГД
Тип оптического волокна	МОВ	МОВ	ООВ	ООВ	ООВ	ООВ	ООВ
Длина волны, мкм	1,3	1,3	1,55	1,3	1,55	1,55	1,55
Тип источника излучения	ЛД	ЛД	ЛД	ЛД	ЛД	ЛД	ЛД
Энергетический потенциал, дБм	38	36	38	38	38	38	33
Затухание ОВ, дБм/км	0,7	0,7	0,3	0,7	0,3	0,3	0,22
Максимальная длина регенерационного участка, км	26	25	70	30	70	70	100...120
Рекомендуемый оптический кабель	ОЗКГ	ОЗКГ	ОКЛ	ОМЗКГ	ОКЛ	ОКЛ	—

100

Для семейства систем «Сопка» расчетный коэффициент ошибок для одиночного регенератора составляет 10^{-10} .

Оборудование телемеханики и служебной связи, размещенное в стойке СТМСС, предназначено для сбора, передачи и отображения на каждом оконечном пункте информации сигналов извещения с датчиков и схем контроля, установленных на каждом НРП и ОРП. На ОРП обеспечиваются сбор и отображение информации только с НРП, входящих в секцию обслуживания данного ОРП. Оборудование ТМ ОП обслуживает 33 пункта с нумерацией от 0 до 32. Секция обслуживания ОРП включает в себя данный ОРП и до четырех НРП, прилегающих к каждой из сторон с отображением общего порядкового номера НРП в системе ТМ. Информация со среднего НРП поступает на два соседних ОРП одновременно. Система ТМ обеспечивает циклический опрос всех промежуточных пунктов с помощью 16 сигналов извещения, передаваемых с каждого НРП, ОРП и ОП.

В аппаратуре используется метод централизованного адресно-циклического опроса с передачей контрольных сообщений с опрашиваемых НРП, ОРП, ОП на оба ОП и все ОРП. Любой из ОП может выполнять функцию ведущего и по запросу оператора представить информацию о состоянии датчиков на каждом из контролируемых пунктов. Ведущий ОП последовательно осуществляет опрос всех пунктов с указанием адреса опрашиваемого пункта в команде. Опрашиваемый пункт формирует и передает контрольное сообщение, которое содержит код номера сигнализирующего датчика, информацию о состоянии оборудования и наличии сообщений в памяти этого пункта. На ОРП выделяется информация, относящаяся к данной секции обслуживания. Сообщения с НРП и ОРП передаются одновременно на оба ОП и выводятся на табло по команде «Вывод».

Для передачи сигналов ТМ используется канал с частотной модуляцией, использующий низкочастотную часть спектра линейного сигнала в коде

5565. Между контролируемым оборудованием по данному каналу осуществляется дуплексная связь.

Оборудование служебной связи, работающее по одной паре оптического кабеля, предназначено для организации СС персонала ОП, ОРП и НРП. Цифровые сигналы СС передаются на низкочастотной части спектра совместно с информационным сигналом методом адаптивной дельта-модуляции с последующим компандированием и скоростью передачи 0,032 Мбит/с. В направлении передачи сигнал СС подается на вход кодера, где преобразуется в дельта-модулированный цифровой сигнал, затем преобразуется в цифровой линейный сигнал СС в коде СМІ и вместе с информационным сигналом поступает на вход КОЛСТ-О, где с помощью ПОМ формируется линейный оптический сигнал.

На входе тракта приема в ПрОМ осуществляется обратное преобразование линейного оптического сигнала в электрический сигнал, представляющий собой смесь информационного сигнала в коде 5565 и цифрового сигнала СС в коде СМІ. Фильтр НЧ выделяет цифровой сигнал СС, имеющий скорость 0,032 Мбит/с, который затем поступает на вход регенератора, где происходит полное восстановление его параметров, и после преобразования кода СМІ в двоичный поступает на декодер. С выхода декодера тональный сигнал СС подается на приемное устройство сигналов СС. Для связи с НРП предусмотрено переговорное устройство с автономным питанием.

Аппаратура «Сопка-4» применяется на магистральных соединительных линиях с использованием одномодового кабеля с коэффициентом затухания менее 0,7 дБ/км при длине волны излучения 1,3 мкм. Аппаратура позволяет организовывать 1920 каналов ТЧ (или ОЦК) и передавать любую информацию в дискретном виде.

Комплекс аппаратуры «Сопка-4» состоит из типового цифрового каналобразующего оборудования первичного, вторичного, третичного и четверичного группообразования, которое на каждом ОП обеспечивает

транзит либо ответвление четверичного (139,264 Мбит/с), третичного (34,368 Мбит/с) и первичного (2,048 Мбит/с) цифровых потоков. На каждом ОП осуществляется транзит четверичного цифрового потока без аппаратуры временного группообразования.

Аппаратура «Сопка-4» включает в себя: стойку оборудования линейного тракта четверичную оптическую (СОЛТ-4-О) с устройством стыка стационарного и линейного кабеля (УССЛК). Стойка СОЛТ-4-0 предназначена для эксплуатации не только на ОП, но и на транзитном регенерационном пункте (ТРП), а также на ОРП с возможностью ответвления цифрового потока со скоростью, меньшей 139,264 Мбит/с. Оборудование стойки СОЛТ-4-0 выполняет следующие функции:

- прямое и обратное преобразование информационного сигнала в коде СМІ в линейный сигнал в коде 10S1P1.R. В качестве символов кода *10BIPiR* помимо десяти информационных символов присутствуют еще два дополнительных *P* и *R*. Функции символа *R* заключаются в передаче дополнительной информации, а именно: кода синхронизации, сигналов СС,- символов ТМ, резервных цифровых потоков. Функции символа *P* заключаются в организации процесса компенсации дрейфа постоянной составляющей кода *10BIPXR*. Частота следования дополнительных символов *P* и *R* составляет 27,85 МГц при скорости передачи сигналов в линии 167,1168 Мбит/с;

- преобразование электрического сигнала в оптический и обратно;
- ввод (вывод) в структуру линейного сигнала информации от оборудования ТМ, СС и дополнительного тракта со скоростью передачи сигналов 2,048 Мбит/с для спецпотребителя;

- контроль и измерение коэффициента ошибок линейного сигнала;
- контроль качества работы узлов линейного оборудования;
- формирование и распознавание сигнала индикации аварийного состояния (СИАС).

В состав ЗИП включены устройства затухания. Это объясняется тем, что допускается проектирование укороченных участков регенерации на секции ОП-ОП (ОРП). Разброс длин участков регенерации компенсируется оптическими аттенуаторами и системой АРУ в приемных оптоэлектронных устройствах (УПРО-О) оборудования СОЛТ-4-0 или АРП-4-О. Минимальная длина участка регенерации составляет 12 км. Для компенсации длин укороченных участков на входе приемного оптического модуля СОЛТ-4-0 устанавливаются нерегулируемые устройства затухания (НУЗ). В процессе настройки оборудования линейного тракта используют регулируемые устройства затухания (УЗ).

Аппаратура ТМ состоит из оборудования, устанавливаемого на ОП линий передачи, стоек ТМ (ОТМ) и блоков ТМ (БТМСС), устанавливаемых на НРП. Аппаратура ТМ рассчитана на обслуживание оптических линий передачи, содержащих 28 пунктов контроля, пять из которых могут быть обслуживаемыми. Одной системой ТМ обслуживается четыре цифровые ВОСП «Сопка-4». Стойка телемеханики (СТМ) предназначена для автоматизированного контроля за состоянием аппаратуры линейных трактов ОК с восемью ОВ и состоянием станционных помещений всех типов. Функции участковой и магистральной связи в аппаратуре «Сопка-4» совмещены. Сигналы ТМ передаются совместно с информационными сигналами. Канал ТМ формируется в основном линейном тракте и передается по двум трактам передачи одновременно. Ввод сигналов ТМ осуществляется как в информационный сигнал, так и в сигнал, передаваемый при пропадании основного, так называемый сигнал индикации аварийного состояния (СИАС). Как отмечалось, сигналы ТМ передаются за счет введения в цифровой поток дополнительных информационных символов в коде.

Документирование и отображение информации производится электронным телеграфным аппаратом и видеоконтрольным устройством.

Система СС предназначена для организации оперативной телефонной связи эксплуатационно-технического персонала между ОП, ОРП и НРП по оптическому кабелю. Оборудование СС состоит из аппаратуры, устанавливаемой на ОП, стоек СС (ССС) и блоков СС (БТМСС), устанавливаемых в НРП. Для обеспечения нормальной эксплуатации линейного оборудования и линейно-кабельных сооружений используется два вида СС: постанционная (ПСС), предназначенная для организации связи между ОП, и участковая (УСС) — для организации связи между смежными ОП и связи их с НРП.

Цифровые сигналы СС передаются одновременно с информационным сигналом за счет введения в цифровой поток дополнительных символов. Каналы ПСС дублируют друг друга. Передача и прием сигналов по каналам УСС ведутся по двум системам одновременно. Сигналы СС вводятся, в основной цифровой поток на этапе формирования сигнала передачи, где происходит увеличение скорости передачи, за счет чего образуются дополнительные места для записи сигналов ПСС и УСС. На приеме сигналы ПСС и УСС выделяются устройством коммутации и синхронизации стойки СОЛТ-4-О. Ввод и выделение этих сигналов не зависят от другой сервисной информации, которая дополнительно может вводиться в линейный сигнал. Предусмотрен ввод и вывод сигналов УСС в любом НРП.

Особенности развития ВОСП на данном этапе заключаются в следующем. Во-первых, это переход к более длинноволновому диапазону, превышающему длину волны излучения 1,3 мкм. Осваивается серийный выпуск электрооптических элементов и кабелей, работающих в диапазоне длин волн 1,55 мкм. В этом диапазоне коэффициент затухания кабеля уменьшается до 0,3 дБ/км, что позволяет увеличивать длину участка регенерации до 100 км. В более длинноволновом диапазоне (до 10 мкм) за счет снижения коэффициента затухания кабеля длина регенерационного участка может быть увеличена до 500 км. Во-вторых, это увеличение

скорости передачи информации до нескольких гигабит в секунду, применение спектральных методов уплотнения. В-третьих, это применение более эффективных методов модуляции оптического излучения и когерентных методов приема сигнала, что позволит повышать чувствительность цифровых ВОСП на 5... 20 дБ по сравнению с системами с прямым фотодетектированием.

На стадии экспериментальных исследований находятся системы, в которых используются нелинейные, свойства оптических волокон с целью создания солитонного режима распространения. В таком режиме скорость передачи может достичь нескольких десятков гигабит в секунду при длине регенерационного участка до 100 км.

К новому поколению ВОСП можно отнести такие системы передачи, как «Сопка-Г» (городская связь), «Сопка-3М» (зоновая связь), «Сопка-4М» и «Сопка-5» (магистральная связь). Отличительная особенность аппаратуры зоновой связи - «Сопка-3М» - более высокий диапазон волн (1,55 мкм). В этом диапазоне коэффициент затухания уменьшается до 0,3 дБ/км, длина участка регенерации достигает 70 км.

Для организации магистральной связи применяются новые системы «Сопка-4М» и «Сопка-5». Они также работают на длине волны излучения 1,55 мкм, длина участка регенерации составляет 70...100 км. В системе «Сопка-5» используется аппаратура ЦСП ИКМ-7680. Система «Сопка-5 ТСЛ» разрабатывается для использования на длинные линии оптической связи, которая замкнет глобальное цифровое кольцо связи.

4. ОХРАНА ТРУДА

4.1. Определение времени оповещения о приближении подвижного состава к месту работы на напольных устройствах

Время оповещения работников суд и связь можно определять по методике для расчета времени низведения на переездах. В атом случае дополнительно следует учитывать время, необходимое для завершения работ и приведения инструмента в нерабочее состояние, про должительность выхода людей и выноса инструментов из пределов габарита подвижного состава. Тогда, безопасность людей, работающих в близи путевого развития будет обеспечиваться при выполнении условия

$$t_n \geq t_p + t_{зр} + t_{сн} + t_{сп} + t_v + t_r,$$

где t_n - время оповещения о приближении подвижных единиц;

$t_p = 2$ с - время ре а кция к человека на сигналы оповещения;

$t_{сн} = 4$ с-время срабатывает приборов извещения и включения сигнализации;

$t_r = 10$ с - гарантийное время, принятое на ГАЖКа.

Составляющие t_p , $t_{зр}$, $t_{сн}$, t_v образуют технологическое время выхода ($t_{гв}$) людей из опасной зоны, т.е.

$$t_{гв} = t_p + t_{зр} + t_{сн} + t_v,$$

где $t_{зр}$ - время, необходимое для завершения работ и освобождение пути;

$t_{сн}$ - время свертывания инструмента, т.е. приведения инструмента в нерабочее положение и его выключение;

t_v - продолжительность выноса инструмента. Тогда, время извещения определяется по формуле

$$t_n \geq t_{гв} + t_{сп} + t_r.$$

В этом уравнении неизвестным является только первое слагаемое - технологическое время выхода ($t_{гв}$). Определение времени выхода проводилось с учетом вида работ и количества работающих в бригаде. Фиксировалось технологическое время выхода бригады из 6 человек (n_1), работающих с механическим инструментом и бригады из 4 человек (n_2), использующих электрический инструмент. В обоих случаях фиксировалось времени приближения подвижных единиц к мосту работ на участке приближения 800 м. На рис. 1 и 2 показаны законы распределения технологического времени выхода бригад из опасной зоны производства работ.

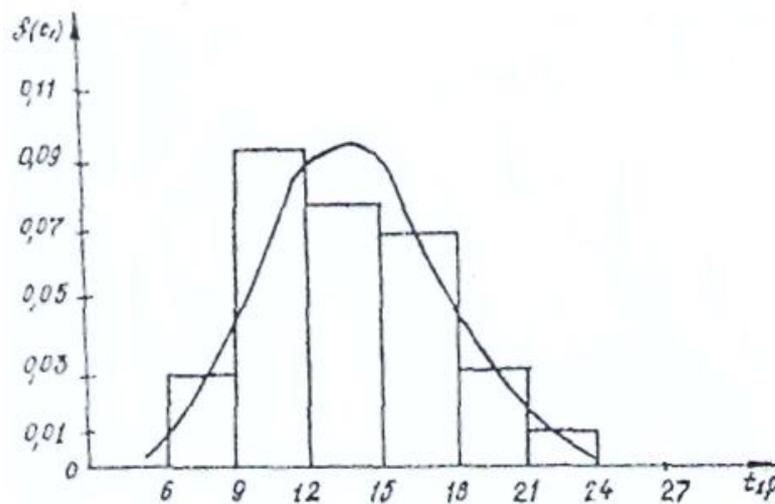


Рис. 4.1. Гистограмма и плотность распределения времени выхода из опасной зоны-бригады из четырех человек при работах с электрическим

$$\text{инструментом } f(t_i) = \frac{1}{4,1\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i-14,5)^2}{39,4}}$$

Результаты обработки хронометража показали, что среднее время выхода в первом случае составит $m_{i1}=14,5$ с, во втором - $m_{i2}=9,5$ с, т.е. время выхода из опасной зоны существенно зависит от количества людей в бригаде и вида выполняемых работ. Влияние вида работ учитывается коэффициентом k_1

$$K_1 = \frac{m_{t1} \cdot n_1}{m_{t2} \cdot n_2}$$

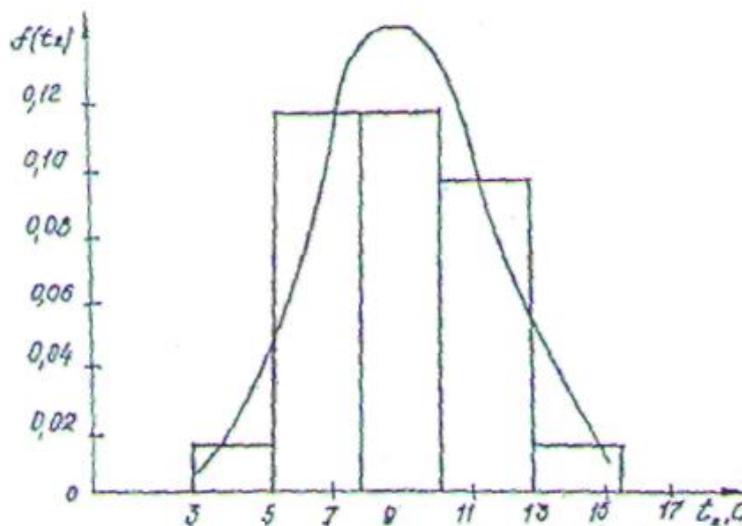


Рис. 4.2. Гистограмма в плотность распределения времени выхода из опасной зоны бригад из шести человек при работах с механическим инструментом

$$f(t_2) = \frac{1}{2,5\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_2-9,5,5)^2}{12,06}}$$

Подставляя числовые значения, получим K , - 2,25. Таким образом, при различных видах работ меняется время и, следовательно, скорость выхода из опасной зоны. Это объясняется, прежде всего, различной структурой производства работ с механическим я электроинструментом. Механический инструмент легче, его по обязательно выносить из колея пути. Электроинструмент обладает значительным весом, для его выноса из зоны работ требуется несколько человек, что затрудняет и снижает скорость выхода. Серьезно снизит скорость выхода электромехаников из опасной зоны уборка кабеля электропитания, или сварочных проводов.

4.2. Технологическое время выхода из опасной зоны

Количество людей L , работающих на путях, также влияет на время выхода из опасной зоны. Результаты эксперимента, подтверждающие этот вывод, снимались при производстве одного вида работ. С увеличением числа работающих из одного человека, время выхода увеличивалось в K_2 раз

$$K_2 = \frac{t_1}{n_1} : \frac{t_2}{n_2}$$

где t_1 - среднее время выхода из опасной зоны n_1 человек $t_1 = 7,3$ с, $n_1=3$ чел.;

t_2 - среднее время выхода из опасной зоны n_2 человек $t_2 = 12$ с, $n_2=4$ чел.

Подставляя числовые значения получим $K_2 = 1,28$. Следовательно, время выхода из опасной зоны увеличивается пропорционально числу работающих. Причем увеличение количества бригады на одного человека вызывает увеличение времени выхода в среднем в 1,26 раза.

Таким образом, с учетом вида работ и количества людей, работающих на путях, технологическое время выхода из опасной зоны можно представить в виде

$$t_{\text{ТВ}} = K_1 \cdot K_2 \cdot n \frac{L_6}{V_4}$$

где L_6 - безопасное расстояние выхода;

V_4 - средняя скорость выхода человека из опасной зоны;

n - количество людей в зоне работ.

Подставляя числовые значения получим

$$T_{\text{ТВ}} = 2,84n \frac{L_6}{V_4}$$

Тогда формула для нахождения времени извещения (t_u) примет вид

$$t_n = 2,84_n \frac{L_{\delta}}{V_4} + t_{\text{сп}} + t_r$$

Данное выражение позволяет учитывать влияние вила робот и число работающих на перегоне, т.е. ведется учет конкретных эксплуатационных условия.

Первое слагаемое уравнения можно упростить, если учесть, что в самом общем случае время выхода из опасной зоны может быть определено через время перехода колеи пути. Плотность распределения времени перехода колон пути представлена на рис. 4.3. Среднее значение времени перехода колеи пути составляет $t = 3,42$ с. Учитывая условия, ведения работ, с электроинструментом подставляя вместо отношения значение среднего времени перехода дуты, получим

$$t_n = 9,71_n + 14$$

Для случая, когда работы ведутся механическим инструментом, первое слагаемое уравнения уменьшается в K_I раз.

Зная время извещения и скорость движения подвижных единиц на перегоне, определяем длину участка приближения к месту работ

$$L_p = 0,28 V_n \cdot t_n,$$

где V_n - скорость движения подвижных единиц по перегону;

0,28 - коэффициент перевода скорости из (км/ч), в (м/с);

L_p - длина участка приближения.

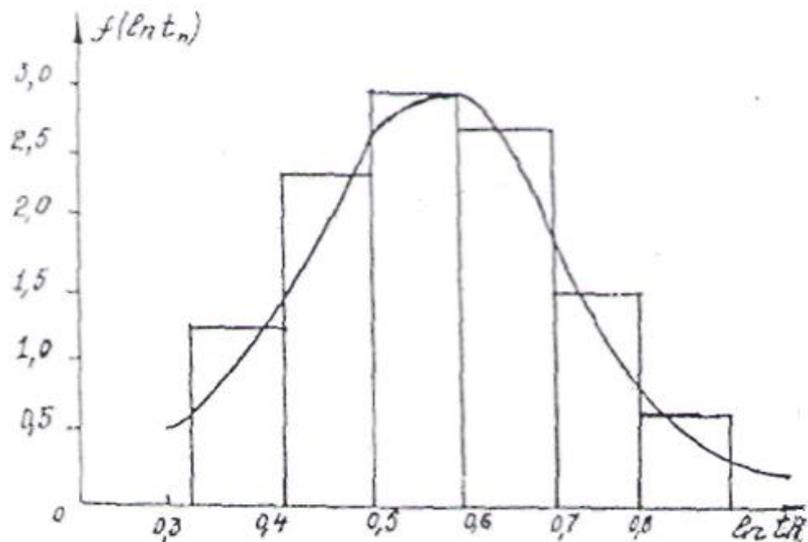


Рис. 4.3. Гистограмма и плотность распределения времени перехода
колей пути

$$f(t_n) = \frac{1}{0,13 t_n \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln t_n \cdot 0,51)^2}{0,03}}$$

Подставляя полученное выше выражение t_n в формулу для нахождения длины участка приближения, будем иметь

$$L_p = 0,28 V_n (9,71n + 14)$$

Полученное выражение позволяет определить зависимости длины участка приближения от числа работающих, вида про изводимых работ и скорости движения подвижных дошла по перегону. Результаты расчета длины участка приближения при работах с электроинструментом приведены в таблице.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что длина участка приближения устанавливается не только в зависимости от максимальной скорости движение подвижного состава контролируемом участке пути, по от вида выполняемых работ и количества людей в бригаде

Расчетная длина участка приближения при работах с
электроинструментом

Численность бригады, чел. <i>n</i> .	Длина участка приближения L_p , м							
	40	80	70	80	90	100	110	120
	Скорость движения подвижных единиц V_n , км/ч							
3	483	725	845	966	1087	1208	1328	1449
4	592	888	1036	1184	1332	1480	1627	1775
5	701	1051	1226	1401	1576	1751	1927	2102
6	809	1214	1416	1619	1821	2023	2226	2428
7	918	1377	1607	1836	2066	2295	2625	2754
8	1027	1540	1797	2054	2310	2567	2824	3080
9	1136	1703	1987	2271	2555	2939	3123	3407
10	1244	1866	2178	2489	2800	3111	3422	3733
11	1353	2030	2368	2706	3044	3389	3721	4059
12	1462	2193	2558	2924	3289	3655	4020	4385

В результате этого увеличивается эффективности работы устройства оповещения за счет исключения потерь рабочего времени и повышается степень доверия работающих к устройствам сигнализации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной работе рассмотрено построение волоконно-оптической системы передачи.

Изучены принципы построения волоконно-оптических систем передачи, временной и частотный методы уплотнения оптических волокон. Рассмотрены основные элементы волоконно-оптических систем передачи, такие как передающие и приемные оптические модули. Определены требования, предъявляемые к линейным сигналам ВОСП.

Кроме того, изучены структуры построения оптических ретрансляторов, различные типы оборудования волоконно-оптических систем передачи для городских телефонных станций, для зонавых и магистральных линий связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волоконно-оптические линии связи/ Л.М. Андрушко, В.А. Вознесет, В.Б. Каток и др.; Под ред. С.В. Свечникова и Л. М. Андрушко. - Техника, 2003. - 240 с.
2. Носов Ю.Р. Основы оптоэлектроники. -М: Радио и связь, 2004. -360 с.
3. Волоконно-оптические системы передачи и кабели/ И. И. Гроднев, А.Г, Мурадян, Р.М. Шарафутдинов и др. - М: Радио и связь, 2001. - 264 с.
4. Волоконная.оптика и приборостроение/ М.Н. Бутусов, С.Л. Галкин, И.П. Оробинский, Б. П. Пал. - Л.: Машиностроение, 1997. - 328 с.
5. А.М. Аненко, В.И. Бекасов, М.А. Шевандин. Учет опасности поезда при проектирование переходов через станционный пути.