

**РОСЖЕЛДОР**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Ростовский государственный университет путей сообщения»**  
**(ФГБОУ ВО РГУПС)**

---

Х.Ш. Кульбикаян, Б.Х. Кульбикаян, А.В. Шандыбин

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ**  
**ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ**

Учебно-методическое пособие  
для лабораторных работ

Часть 1

Ростов-на-Дону  
2017

УДК 656.25(07) + 06

Рецензент – кандидат технических наук, доцент Д.В. Швалов

**Кульбикаян, Х.Ш.**

Эксплуатация технических средств обеспечения движения поездов: учебно-методическое пособие для лабораторных работ. Ч. 1 / Х.Ш. Кульбикаян, Б.Х. Кульбикаян, А.В. Шандыбин. – ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 142 с.

Рассмотрены краткие сведения из теории технической эксплуатации средств связи. Приведены методические указания к лабораторным работам в соответствии с учебным планом. Показаны алгоритмы оборудования рабочего места, производства измерений и обработки результатов измерений.

Методические указания предназначены для студентов специальности «Системы обеспечения движения поездов» всех форм обучения, изучающих дисциплину «Эксплуатация технических средств обеспечения движения поездов».

Одобрено к изданию кафедрой «Связь на железнодорожном транспорте».

## Оглавление

1. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ .....	4
1.1 Цель: изучить конструкции и параметры оптических направляющих линий. 4	
1.2 Краткие сведения из теории .....	4
1.3 Контрольные вопросы.....	35
2. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ.....	37
2.1 Цель: .....	37
2.2 Краткие сведения из теории .....	37
2.3 Контрольные вопросы.....	63
3. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ КОММУТАТОРОВ .....	64
3.1 Цель: .....	64
3.2 Краткие сведения из теории .....	64
3.3. Логика и топология многокаскадных оптических коммутаторов .....	76
3.4 Контрольные вопросы.....	87
4. ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ РЕФЛЕКТОМЕТРОВ. ....	88
4.1 Цель:.....	88
4.2. Краткие сведения из теории.....	88
4.3 Контрольные вопросы.....	94
5. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАЦИОНАРНОЙ РАДИОСТАНЦИИ.....	95
6. ИССЛЕДОВАНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОБИЛЬНОЙ РАДИОСТАНЦИИ .....	123
Рекомендуемая литература.....	142

# 1. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

**1.1 Цель:** изучить конструкции и параметры оптических направляющих линий.

## 1.2 Краткие сведения из теории

### 1.2.1 Оптическое волокно

Основу оптического кабеля составляет *оптическое волокно* (ОВ), представляющего собой *диэлектрический волновод*, изготовленный из *оптически прозрачного диэлектрика*, который из-за малых размеров поперечного сечения обычно называют волокном.

Явления распространения света в ОВ принято описывать аппаратом *геометрической оптики*, где световые волны изображаются лучами, направленными по нормали к волновой поверхности и претерпевающими изменения на границах раздела сред с разными оптическими свойствами, характеризующихся показателями преломления.

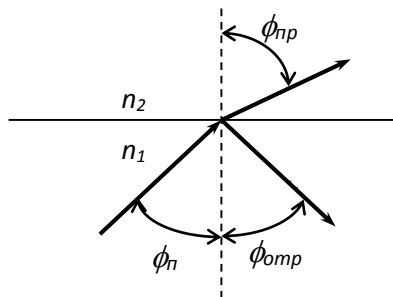
Конструктивно ОВ состоит из сердечника, изготовленного из материала с коэффициентом преломления  $n_1$  и отражающей оболочки, выполненной из материала с коэффициентом преломления  $n_2$ . Напомним, что коэффициент или *показатель* преломления материала определяется по формуле:

$$n = \sqrt{\varepsilon\mu},$$

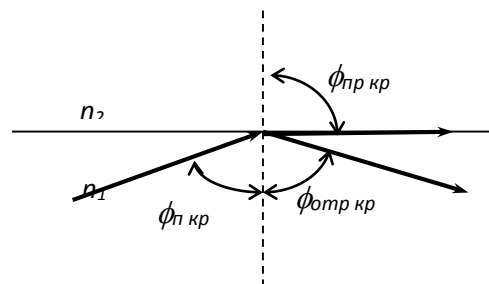
где  $\varepsilon$  – относительной диэлектрической постоянной и  $\mu$  – относительной магнитной проницаемостью.

Относительная магнитная проницаемость  $\mu$  материалов сердечника и оболочки, как правило, постоянна и равна единице. Показатель преломления оболочки  $n_2$  обычно постоянен, а сердечника –  $n_1$  в общем случае является функцией поперечной координаты. Эту функцию называют *профилем показателя преломления* (ППП) ОВ. Обычно  $n_1 > n_2$  и, следовательно, сердечник представляет более *плотную* оптическую среду.

При падении луча света на границу раздела двух сред (сердечника и оболочки ОВ), в самом общем случае, наблюдается его *преломление* и *отражение*, рис. 1.1а, где приняты следующие обозначения :  $\phi_n$  – угол падения;  $\phi_{отр}$  – угол отражения;  $\phi_{пр}$  – угол преломления.



а) отражение и преломление светового луча на границе двух сред



б) полное внутренне отражение светового луча на границе двух сред

Рисунок 1.1 – Падение плоской волны на границу двух сред при  $n_1 > n_2$

Согласно закону Снеллиуса угол падения  $\phi_n$  связан с углами отражения  $\phi_{отр}$  и преломления  $\phi_{пр}$  следующими соотношениями:

$$\phi_n = \phi_{отр}, n_1 \phi_n = n_2 \phi_{пр}. \quad (1.1)$$

По мере увеличения угла падения луча со стороны более плотной среды можно достичь такого состояния, когда преломленный луч начнет скользить по границе раздела сред без перехода в оптически менее плотную среду, рис. 2.1б. Угол падения, при котором имеет место данный эффект, называется *критическим углом  $\phi_{п\ кр}$  полного внутреннего отражения*. Критический (или предельный) угол падения определяется из соотношения:

$$\phi_{п\ кр} = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \quad (1.2)$$

При всех углах падения  $\phi_n > \phi_{п\ кр}$  преломленная волна отсутствует и свет полностью отражается от поверхности оптически менее плотной среды. Это явление называется *полным внутренним отражением*, и, поскольку вся мощность светового луча практически полностью возвращается в область более плотной среды, этот эффект используется для передачи оптического излучения по ОВ. Оболочка защищает распространяющийся по сердечнику свет от любых внешних воздействий и помех.

В сердечнике и оболочке существует два типа световых лучей: *меридиональные*, которые пересекаются в некоторой точке с осью световода – ОВ, и *косые*, которые с осью световода не пересекаются.

Процесс распространения меридиональных световых лучей в оптически более плотной среде, окруженной менее плотной, в рамках геометрической оптики, показан на рис. 1.2.

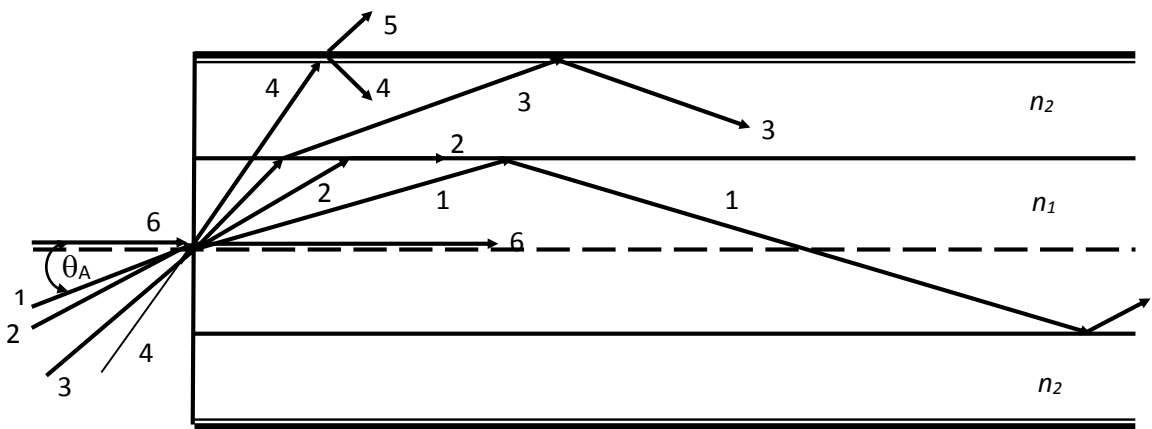


Рисунок 1.2 – Распространение излучения по оптическому волокну

При попадании светового излучения на торец ОВ в нем могут распространяться три типа световых лучей: направляемые (лучи 1,2,6 рис. 1.2), вытекающие (луч 3, рис. 1.2) и излучаемые (луч 4, 5 рис. 1.2), причем наличие и преобладание какого-либо типа лучей определяется углом их падения на границу раздела “сердцевина – оболочка“. Очевидно, что при некотором угле падения лучей на торец волокна, т.е. *угле ввода*  $\theta_в$  оптического излучения в ОВ и их дальнейшем попадании на границу раздела на ней может иметь место полное внутренне отражение. Те лучи, которые падают на границу раздела под углом  $\theta \geq \theta_{кр}$  (лучи 1,2, и 6), отражаются от нее и вновь возвращаются в сердцевину волокна, распространяясь в ней, не претерпевая преломления. Так как траектории таких лучей всегда расположены внутри сердцевины волокна, то они полностью распространяются на большие расстояния и называются *направляемыми*, являясь основным типом лучей сердцевины ОВ.

Лучи, падающие на границу раздела под углами  $\theta < \theta_{кр}$  (лучи 4, , рис. 1.2) носят название *вытекающих* лучей или лучей оболочки. Достигая границы “сердцевина – оболочка “, эти лучи отражаются и преломляются, теряя каждый раз в оболочке волокна часть энергии, в связи с чем исчезают вовсе на некотором расстоянии от торца волокна. Те же лучи, которые излучаются в окружающее пространство (лучи 5), носят название *излучаемых* лучей. Они не распространяются вдоль ОВ, а, как правило, возникают в местах нерегулярностей волокна. Очевидно, что излучаемые и вытекающие волны – это *паразитные* волны, приводящие к рассеиванию энергии и искажению формы передаваемого оптического сигнала. Эти волны распределяются непрерывно по всей принадлежащей им области углов и образуют непрерывный спектр. Волны излучения трудно исключить при введении светового излучения в ОВ, кроме того, они также возникают на геометрических нерегулярностях ОВ и неоднородностях материала.

Отметим, что из всей совокупности *световых лучей* в пределах угла полного внутреннего отражения для данного типа оптического волокна только ограниченное число лучей с дискретными углами может образовать *направляемые волны*, которые принято называть *волноводными модами*, или просто *модами*. Эти лучи характеризуются тем, что после двух последовательных переотражений от границы “сердцевина – оболочка” (или “оболочка – окружающее пространство”) волны должны быть в фазе. Если это условие не выполняется, то волны интерферируют, так что гасят друг друга и исчезают. Каждая волноводная мода обладает характерной для нее структурой электромагнитного поля, фазовой и групповой скоростями.

В своей математической формулировке *модовая теория* вытекает из уравнений *Джеймса Кларка Максвелла*, получившим математическое выражение для соотношения между электрической и магнитной энергиями электромагнитного поля. Он показал, что они являются лишь различными формами одного вида электромагнитной энергии, а не различными видами. Мода - это возможное решение уравнений Д.К. Максвелла и представляет *вид траектории*, вдоль которой может распространяться свет. Число мод в ОВ колеблется от 1 до 100000 и зависит от размера и свойств ОВ.

В зависимости от числа распространяющихся на рабочей частоте мод (волн) ОВ подразделяются на *одномодовые* (или single mode – SM) и *многомодовые* (или multi mode – MM).

Для характеристики ОВ большое значение имеет профиль показателя преломления (ППП) в поперечном сечении. Если сердцевина ОВ имеет постоянное по радиусу значение показателя преломления  $n_1$  и скачком изменяется на границе раздела “сердцевина – оболочка” до значения  $n_2$ , то такие ОВ называются *оптическими волокнами со ступенчатым ППП*. Если показатель преломления от центра к краю изменяется не ступенчато, а плавно, то такие ОВ называются *оптическими волокнами с градиентным ППП*, или *градиентными ОВ*. Типичные радиальные ППП приведены на рис. 1.3.

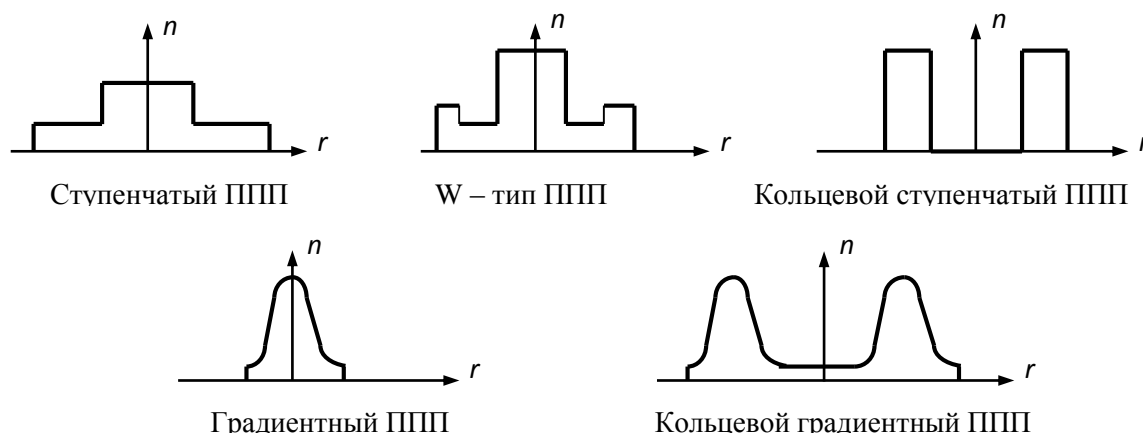


Рисунок 1.3. – Радиальные профили показателя преломления ОВ

Наиболее полно изучены характеристики ОВ, для которого ППП описывается функцией

$$n(r) = n_1 \left[ 1 - 2\Delta \left( \frac{r}{a} \right)^g \right], 0 \leq r \leq a, \quad (1.3)$$

где  $r$  - текущий радиус;  $n_1$  - показатель преломления сердцевинки ОВ;  $n_2$  - показатель преломления оболочки ОВ;  $\Delta = (n_1 - n_2) / n_1$  - относительная разность показателей преломления;  $g$  - показатель степени, определяющий изменение  $n(r)$ ;  $a$  - радиус сердцевинки.

Оптическое волокно с  $g = 2$  называются *параболическими*, так как их ППП описывается параболой. Использование таких ОВ позволяет минимизировать разницу во времени распространения различных мод и тем самым увеличить ширину полосы пропускания ОВ.

Угол  $\theta_A$  между оптической осью ОВ и одной из образующих светового конуса лучей, падающих в торец ОВ (рис. 1.2), для которых в дальнейшем выполняется условие полного внутреннего отражения, носит название *апертура ОВ* и является важной его характеристикой. От значения апертуры зависят эффективность ввода оптического излучения в ОВ, потери на его микроизгибах, изменения формы и длительности импульсов оптического излучения, числа распространяющихся мод. Для количественной оценки апертуры ОВ используется понятие *номинальной числовой апертуры (Numerical Aperture - NA)*, значение которой для ступенчатого ОВ определяется выражением

$$NA = n_0 \sin \theta_A \quad (1.4)$$

где  $n_0$  - показатель преломления окружающей среды, равный для воздуха  $n_0 = 1$ . Учитывая, что критическое значение угла  $\theta_A$  равно  $\theta_{кр} = \arcsin(n_2 / n_1)$ , номинальную числовую апертуру можно представить в форме

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \approx n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (1.5)$$

Из выражения (1.5) видно, что с увеличением разности показателей преломления сердцевинки и оболочки значения  $NA$  возрастает и, следовательно, повышается эффективность ввода излучения в ОВ. Например, при  $n_1 = 1,51$  и  $n_2 = 1,13$  все меридиональные лучи, падающие из воздуха на торец ОВ, входят в сердцевину ( $NA=1$ ,  $\theta_A = \pi/2$ ).

Для градиентных ОВ вводится понятие *локальной числовой апертуры*, равной

$$NA(r) = \sqrt{n_1^2(r) - n_2^2} \quad (1.6)$$

которая показывает, что максимальный угол ввода оптического излучения в этом случае определяется тем, в какой точке сердцевинки волокна находится вершина конуса, иными словами, захват волокном вводимого луча света зависит от того, в какой точке сердцевинки он вводится а градиентное волокно.



Очевидно, что при  $r=0$ , т.е. при вводе излучения по оси волокна, локальная числовая апертура равна номинальной числовой апертуре. Для ОВ с параболическим ППП числовая апертура определяется по формуле

$$NA = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (1.7)$$

Знание числовой апертуры позволяет определить число мод по следующим формулам

$$N = 2 \left[ \pi NA \left( \frac{a}{\lambda} \right) \right]^2 \quad (1.8)$$

для ступенчатого ОВ и

$$N = \left[ \pi NA \left( \frac{a}{\lambda} \right) \right]^2 \quad (1.9)$$

для градиентного ОВ. В этих формулах:  $a$  – радиус сердцевинки ОВ;  $\lambda$  – рабочая длина оптического излучения.

Из рассмотрения формул (1.8) и (1.9) очевидно, что в градиентном ОВ число мод меньше, чем в ступенчатом тех же геометрических размеров и с теми же коэффициентами преломления сердцевинки  $n_1$  и оболочки  $n_2$ .

Важными параметрами ОВ являются геометрические размеры сердцевинки и оболочки. Для многомодовых ОВ обычно диаметр сердцевинки равен 50 мкм, а диаметр оболочки – 125 мкм. Диаметр сердечника одномодового ОВ необходимо выбирать таким, чтобы обеспечивались условия распространения только *основной* моды.

Обобщающим параметром для оценки свойств ОВ, связывающего его структурные параметры и длину волны, распространяемой в ОВ, является *нормированная частота*

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda} NA \quad (1.10)$$

Выбирая параметры ОВ, можно получить режим распространения только одной (т.н. фундаментальной) моды, что реализуется при условии  $V < 2,405$  для ступенчатого ОВ и  $V < 3,53$  – для параболического ОВ.

Минимальная длина волны, при которой в ОВ распространяется фундаментальная мода, называется *волоконной длиной волны отсечки*  $\lambda_{отс}$ , легко определяется из общей формулы нормированной частоты:

$$\lambda_{отс} = 2\pi a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} / 2,405 \quad (1.11)$$

для параболического ОВ и

$$\lambda_{отс} = 2\pi a \sqrt{n_1^2 - n_2^2} / 3,53 \quad (1.12)$$

для ступенчатого двухслойного ОВ.

При определенной длине волны наступает такой режим, при котором волна, попадая на границу “сердцевина – оболочка”, отражается от нее под прямым углом. В этом случае в ОВ устанавливается режим стоячей волны, и энергия

вдоль волокна не распространяется, что соответствует *критической длине волны*. Поэтому по ОВ возможна передача электромагнитного излучения (каким является и оптическое излучение) только с длиной волны, меньшей диаметра волокна, т.е.  $\lambda < d$ .

При распространении оптического сигнала по ОВ он испытывает затухание (ослабление), которое оценивается *коэффициентом затухания*  $\alpha$ , в общем случае равным

$$\alpha = \alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{р}} + \alpha_{\text{пр}} + \alpha_{\text{к}} + \alpha_{\text{ик}}, \text{ дБ/км} \quad (1.13)$$

где  $\alpha_{\text{п}}$  и  $\alpha_{\text{р}}$  – коэффициенты затухания, обусловленные потерями соответственно *на поглощение* и *рассеяние* энергии оптического излучения;  $\alpha_{\text{пр}}$  – коэффициент затухания, обусловленного присутствующими в ОВ примесями;  $\alpha_{\text{к}}$  – дополнительные потери за счет скрутки, деформаций и изгибов ОВ при изготовлении оптического кабеля (их называют кабельными);  $\alpha_{\text{ик}}$  – потери на поглощение в инфракрасной области.

Потери на поглощение зависят от чистоты материала и при наличии посторонних примесей могут достигать значительной величины. Коэффициент затухания  $\alpha_{\text{п}}$  за счет поглощения обратно пропорционален длине волны оптического излучения  $\lambda$ , существенно зависит от показателя преломления  $n_1$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg } \delta$  материала сердцевины ОВ и рассчитывается по формуле

$$\alpha_{\text{п}} = 8,69 \frac{\pi n_1}{\lambda} \tan \delta = 8,69 \frac{\pi n_1 f}{c} \tan \delta, \text{ дБ/км} \quad (1.14)$$

здесь  $c$  – скорость света.

Потери рассеяния (переизлучения) обусловлены неоднородностями материала ОВ, расстояние между которыми меньше длины волны, и тепловой флуктуацией показателя преломления. Потери на рассеяние часто называются *рэлеевскими* и оцениваются коэффициентом затухания равным

$$\alpha_{\text{р}} = K_{\text{р}} \lambda^{-4} \quad (1.15)$$

где  $K_{\text{р}}$  – коэффициент рассеяния, зависящий от материала (для кварца  $K_{\text{р}} = 0,8 \text{ мкм}^4 \text{ дБ/км}$ ). Потери на рэлеевское рассеяние определяют нижний предел потерь, присущих оптическим кабелям. Этот предел зависит от частоты оптического излучения и с увеличением частоты возрастает (уменьшается с увеличением длины волны).

На рис.1.4,*а* представлены частотные зависимости коэффициентов затухания  $\alpha_{\text{п}}$  и  $\alpha_{\text{р}}$  для оптического волокна. Из рисунка видно, что потери на поглощение растут линейно с увеличением частоты, а потери на рассеяние существенно быстрее – по закону  $f^4$ .

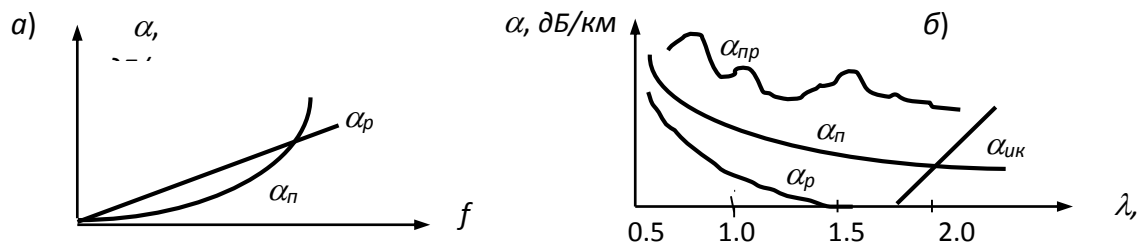


Рисунок 1.4 – Частотная зависимость затухания поглощения  $\alpha$  и затухания рассеяния  $\alpha_p$  (а) и суммарное затухание ОВ (б)

Коэффициент затухания  $\alpha_{np}$  связан с наличием в ОВ посторонних примесей, которые приводят к дополнительному поглощению оптической мощности и появлению *резонансных всплесков затухания* на определенных длинах волн.

Коэффициент затухания  $\alpha_k$  вызван деформациями ОВ в процессе изготовления кабеля (скруткой, изгибами, отклонениями от прямолинейного расположения ОВ, а также термомеханическими воздействиями на ОВ при наложении оболочек и покрытий на сердцевину волокна. Эти дополнительные потери в основном определяются процессами рассеивания энергии оптического излучения на неоднородностях, так как приводят к излучению энергии в местах деформаций волокна и соответственно к возрастанию потерь.

В процессе изготовления оптического кабеля коэффициент  $\alpha_k$ , вызванный скруткой, изгибом, отклонением от прямолинейного расположения ОВ и термомеханическими воздействиями, имеющими место при наложении оболочек и покрытий на сердцевину ОВ. Эти дополнительные потери в основном определяются процессами рассеивания энергии на неоднородности, так как приводят к излучению энергии в местах деформации ОВ и соответственно к возрастанию потерь на поглощение.

Установлено, что кабельные потери приводят к увеличению затухания. Так если собственное затухание ОВ составляет 1 дБ/км, то за счет дополнительных кабельных потерь оно может возрасти до 2...3 дБ.

При длине волны оптического излучения  $\lambda > 2$  мкм начинает увеличиваться коэффициент затухания  $\alpha_{ик}$  за счет поглощения в инфракрасной области. Величина  $\alpha_{ик}$  определяется по формуле

$$\alpha_{ик} = C e^{-k/\lambda} \quad (1.16)$$

где  $C$  и  $k$  – постоянные коэффициенты ( для кварца  $k = (0,7...0,9) \cdot 10^{-6}$  м,  $C = 0,9$ ).

На рис. 1.4,б представлены типовые зависимости основных составляющих потерь от длины волны (спектральные характеристики коэффициента затухания ОВ). Здесь не приведены и дополнительные кабельные потери  $\alpha_k$ . Они всегда приводят к увеличению затухания ОВ и зависят от многих факторов. Типовая

зависимость коэффициента затухания ОВ оптического кабеля от длины волны приведена на рис. 2.5. Здесь указаны три *окна прозрачности* ОВ, из которых наименьшее затухание имеет место

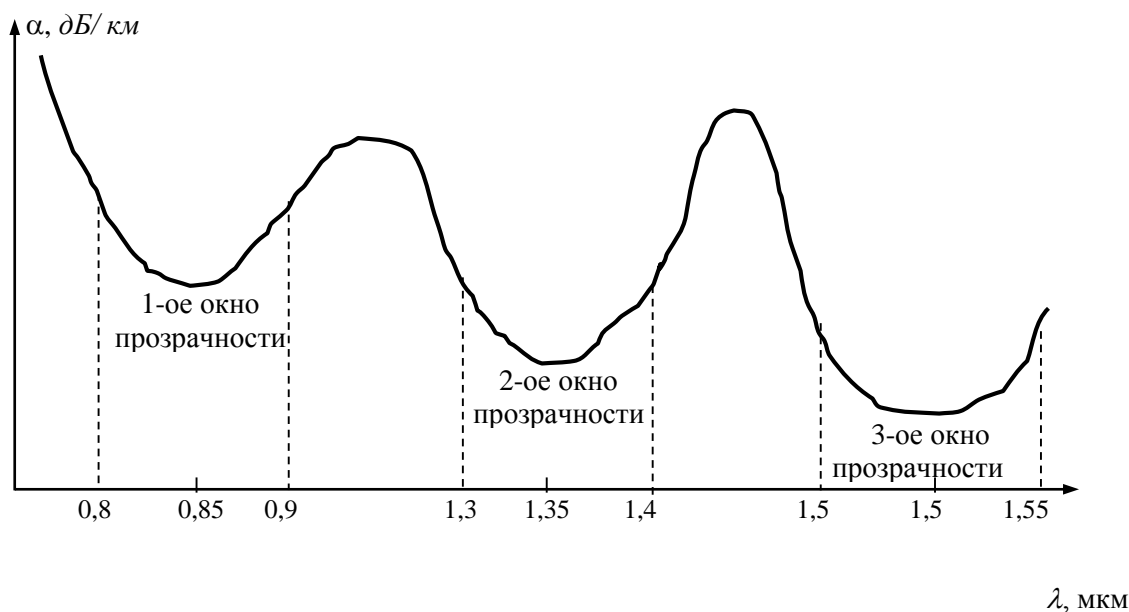


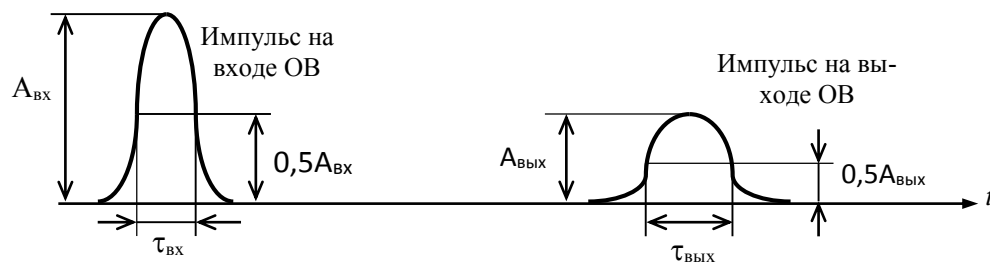
Рисунок 1.5 – Типовая спектральная характеристика коэффициента затухания оптического волокна

в третьем окне на длине волны  $\lambda = 1,55$  мкм. В настоящее время в технике многоканальных телекоммуникационных системах и сетях в основном применяются кварцевые ОВ, область эффективного использования которых находится в диапазоне длин волн до 2 мкм. На более длинных волнах в качестве материала для оптического световода используются галоидные, халькогенидные и фторидные стекла. Исследуются возможности применения ОВ из тетрафторида, изиркония и фторида бериллия. Они обладают высокой прозрачностью и обеспечивают снижение потерь во много раз и открывают возможности построения ВОЛС большой протяженности без применения промежуточных ретрансляторов.

Отметим, что в оптических кабелях в весьма широком диапазоне частот затухание волокна практически не зависит от частоты и стабильно. Поэтому можно увеличить число каналов и мощность системы передачи без установки дополнительных ретрансляторов.

При прохождении оптического сигнала по волокну происходит рассеяние во времени его спектральных или модовых составляющих. Это явление носит название *дисперсии* и обусловлено различием времени распространения различных мод в ОВ и наличием частотной зависимости показателя преломления. При передаче импульсных сигналов изменяется не только их амплитуда, но и форма

– импульсы уширяется. Под дисперсией понимается увеличение длительности (*уширение*) импульса оптического излучения при распространении его по ОВ.



Рису-

нок 1.6. – Уширение импульсов за счет дисперсии

*Уширение импульсов* определяется по формуле

$$\tau = \sqrt{\tau_{\text{ВЫХ}}^2 - \tau_{\text{ВХ}}^2}, \quad (1.17)$$

где значения  $\tau_{\text{вых}}$  и  $\tau_{\text{вх}}$  определяются на уровне половины амплитуды импульсов, рис. 1.6.

Следовательно, физический смысл дисперсии заключается в увеличении длительности импульса оптического излучения при его распространении по волокну длиной 1 км, причем значения длительности входного и выходного импульсов берутся на уровне половинной амплитуды.

Связь между величиной уширения импульсов и шириной полосы пропускания оптического волокна приближенно определяется соотношением

$$\Delta F = 1/\tau \quad (1.18)$$

Так, если  $\tau = 20$  нс/км, то  $\Delta F = 50$  МГц · км.

Наличие дисперсии ОВ приводит к постепенному увеличению длительности импульсов и к появлению *межсимвольной интерференции* и в конечном счете к увеличению вероятности ошибки в принимаемом сигнале.

Следовательно, уширение импульсов определяет предельную скорость передачи цифровых потоков, а при малом затухании оптического кабеля для заданной скорости передачи ограничивает максимальное расстояние между ретрансляторами.

Основными причинами возникновения дисперсии являются:

различие фазовых (групповых) скоростей распространения направляемых мод;

направляющими свойствами оптического волокна и параметрами материала, из которого оно изготовлено;

некогерентностью источников оптического излучения, реально работающих в спектре длин волн  $\Delta\lambda$ .

Различие скоростей распространения направляемых мод на фиксированной частоте (длине волны) излучения приводит к тому, что время прохождения этих мод по ОВ от входа до выхода неодинаково. В результате образуемый ими импульс оптического излучения уширяется, причем величина уширения равна

разности времени распространения самой медленной и самой быстрой моды. Указанное явление называется *межмодовой дисперсией*. Этот вид дисперсии обусловлен наличием большого числа мод  $N$ , время распространения которых различно [ $t = \varphi_{\text{мм}}(N)$ ], и преобладает в многомодовом волокне.

Межмодовая дисперсия зависит от профиля показателя преломления ОВ: для ОВ со ступенчатым ППП на порядок и более выше, чем у градиентных ОВ и не зависит от характеристик источника оптического излучения, поэтому дисперсию многомодовых ОВ оценивает по его полосе пропускания, (1.18).

Значение межмодовой дисперсии для двухслойного ОВ с коэффициентами преломления сердцевины и оболочки  $n_1$  и  $n_2$  соответственно равно

$$\tau_{\text{мм}} = \frac{L}{c} n_1 \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} = \frac{n_1 \Delta}{c} \quad (1.19)$$

здесь  $L$  – длина волокна,  $c$  – скорость распространения света.

Из (1.19) следует, что межмодовая дисперсия возрастает с увеличением длины волокна. Однако это справедливо только для идеального волокна, в котором взаимодействие между модами отсутствует.

В реальных условиях наличие неоднородностей, кручение и изгиб волокна приводят к постоянным переходам энергии из одних мод в другие – *взаимодействие мод*, в связи с чем дисперсия становится пропорциональной  $\sqrt{L}$ . Это явление проявляется не сразу, а после определенного расстояния прохождения световой волны. Это расстояние называется *длиной установившейся связи мод*. Это значение принимается равным 5...7 км для ступенчатого волокна и 10...15 – для градиентного.

В градиентных многомодовых волокнах с параболическим профилем показателя преломления ( $g=2$ ) межмодовая дисперсия определяется формулой

$$\tau_{\text{мм}} = \frac{L \Delta^2}{c \cdot 2} n_1 \quad (1.20)$$

а при  $g = \sqrt{2(1 - 2\Delta)}$  она достигает минимального значения, равного

$$\tau_{\text{мм}} = \frac{L \Delta^2}{c \cdot 8} n_1 \quad (1.21)$$

В одномодовых ОВ межмодовая дисперсия отсутствует, так как передается одна мода и, следовательно, взаимодействия мод, приводящих к уширению импульсов наблюдаться не будет.

Различие скоростей распространения каждой из направляемой мод, образующих сигнал, на различных частотах спектра излучения приводит к временной задержки частотных составляющих сигнала, т.е. к *хроматической* (частотной) *дисперсии*. Это вид дисперсии, следовательно, определяется некогерентностью источника оптического излучения, частотной зависимостью группового времени распространения ОВ и конечной шириной полосы пропускания. Чем шире спектр излучения оптического источника, тем больше хроматическая дисперсия. Хроматическая дисперсия делится на материальную и волноводную (или *внутримодовую*).

*Материальная дисперсия* обусловлена зависимостью показателя преломления от длины волны, т.е.  $n = \varphi_{mat}(\lambda)$ , что приводит к различным скоростям распространения спектральных составляющих источников излучения. Отметим, что материальная дисперсия кварцевого ОВ на длине волны  $\lambda = 1,28$  мкм меняет свой знак. Эта точка называется *точкой нулевой материальной дисперсии*.

*Волноводная дисперсия* обусловлена направляющими свойствами сердцевины ОВ, и характеризуется зависимостью коэффициента распространения моды от длины волны, т.е.  $\gamma = \varphi_{wg}(\lambda)$ .

Для расчетов материальной  $\tau_{mat}$  и волноводной  $\tau_v$  дисперсией пользуются экспериментальными данными и упрощенными формулами:

$$\tau_{mat} = \Delta\lambda * L * M(\lambda) \quad (1.22)$$

$$\tau_v = \Delta\lambda * L * B(\lambda) \quad (1.23)$$

где  $\Delta\lambda$  - ширина спектральной линии источника излучения, равная 0,1...4 нм для лазеров и 15...80 нм для светодиодов;  $L$  – длина волокна, км;  $M(\lambda)$  и  $B(\lambda)$  – удельные материальная и волноводная дисперсии соответственно. Удельные дисперсии выражаются в пикосекундах на километр длины волокна и на метр ширины спектра. Величины  $M(\lambda)$  и  $B(\lambda)$  для кварцевого волокна приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

$\lambda$ , мкм	0,6	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,55	1,6	1,8
$B(\lambda)$ , пс/км	5	5	6	7	8	8	12	14	16
$M(\lambda)$ , пс/км	400	125	40	10	-5	-5	-18	-20	-25

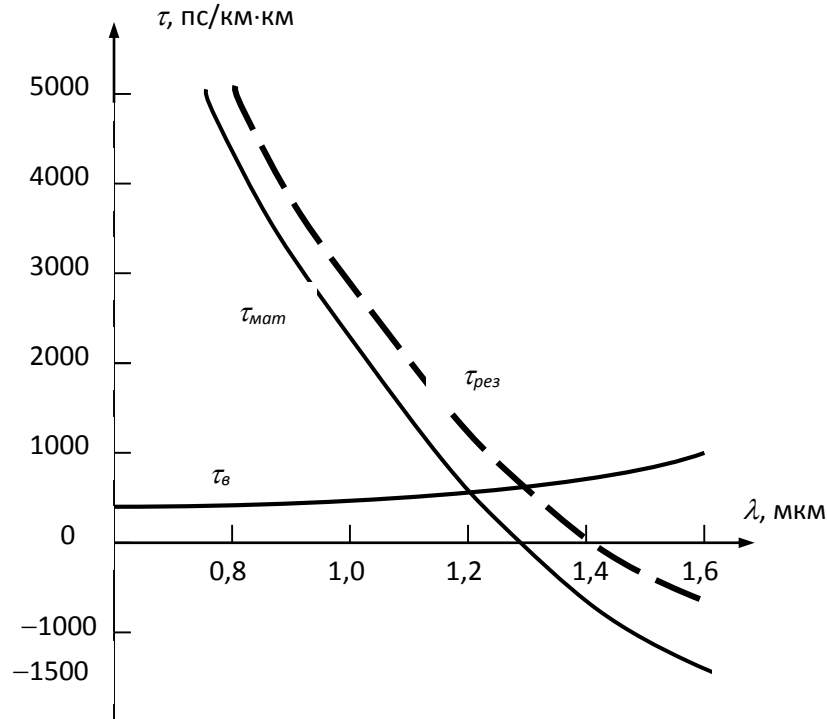


Рисунок 1.7 – Зависимость материальной, волноводной и результирующей дисперсии от длины волны

Как следует из (1.22) и табл.1.1 с увеличением длины волны  $\tau_{\text{мат}}$  уменьшается и проходит через нуль (*точка нулевой материальной дисперсии*), а  $\tau_{\text{в}}$  несколько растет. Причем вблизи  $\lambda = 1,35$  мкм происходит их взаимная компенсация, и результирующая дисперсия приближается к нулевому значению, рис. 1.7. Поэтому волна 1,3 мкм нашла широкое применение в одномодовых оптических кабелях.

—Однако по затуханию предпочтительнее волна 1,55 мкм и для достижения минимума дисперсии в этом случае приходится варьировать профилем показателя преломления и диаметром сердцевины. При сложном профиле и трехслойном волокне можно и на волне 1,55 мкм получить минимум дисперсионных искажений.

Хроматическая дисперсия выбрана Международным Союзом Электросвязи (МСЭ) выбрана основным критерием для классификации одномодовых оптических волокон (ОМ), согласно которому существует три типа ОМ:

1. *Стандартное ОМ* (тип G.652). Это наиболее ходовой тип ОВ используется в мире с 1988 года на магистральных и зонавых ВОСП. Параметры (затухание и дисперсия) этого ОВ оптимизированы на длину волны 1310 нм (минимум хроматической дисперсии), оно может использоваться и в диапазоне длин волн 1525...1565 нм, где имеет абсолютный минимум затухания.

2. *ОМ со смещенной дисперсией* (тип G.653). Называется так потому, что абсолютный минимум хроматической дисперсии путем выбора специальной



формы ППП смещен в диапазон длин волн 1550 нм абсолютного минимума затухания ОВ G.653 оптимизировано для высокоскоростной передачи на одной длине волны и имеет ограниченные возможности для передачи на нескольких длинах волн.

3. *ООМ со смещенной* в область длин волн 1550 нм *ненулевой* дисперсии (тип G.655). ОВ оптимизировано для высокоскоростной передачи информации на нескольких длинах волн в третьем окне прозрачности. Волокно G.655 разработано для ВОСП со спектральным разделением каналов, т. н. – DWDM систем передачи.

В общем виде результирующее уширение импульсов на выходе ОВ относительно импульса, поданного на его вход, или дисперсия за счет модовой  $\tau_{мм}$ , материальной  $\tau_{мат}$  и волноводной (хроматической)  $\tau_v$  дисперсией определяется по формуле

$$\tau_{рез} = \sqrt{\tau_{мм}^2 + (\tau_{мат} + \tau_v)^2} \quad (1.24)$$

С учетом реального соотношения вкладов отдельных видов дисперсий уширение импульсов для многомодовых ОВ  $\tau_{рез} = \tau_{мм}$ , а для одномодовых –  $\tau_{рез} = \tau_{мат} + \tau_v$ .

В ступенчатых ОВ при многомодовой передаче доминирует модовая дисперсия, которая достигает 10...20 нс/км; в одномодовых ступенчатых ОВ отсутствует модовая дисперсия и в целом дисперсия сказывается существенно меньше; в градиентных ОВ происходит выравнивание времени распространения различных мод и определяющей является материальная дисперсия, которая уменьшается с длиной волны и по абсолютной величине колеблется в пределах 1...2 нс/км.

Одномодовые градиентные ОВ обладают существенными преимуществами перед другими и существует множество типов профилей показателей преломления одномодовых оптических волокон, которые помимо требуемой минимизации величины волноводной (хроматической) дисперсии, обеспечивают также необходимые механические характеристики, минимизацию рэлеевских потерь, технологичность производства и прокладки оптических кабелей.

Сравнивая различные ОВ по их дисперсионным характеристикам, можно отметить, что лучшими в этом плане являются одномодовые волокна с градиентным законом изменения показателя преломления.

Дисперсионные свойства ОВ можно оценить *коэффициентом широкополосности*, имеющим размерность МГц·км,

$$S = 1/\tau$$

С увеличением длины оптической линии связи дисперсия ОВ возрастает, а полоса пропускания уменьшается.

Соотношение между полосой частот и дальностью передачи устанавливается как

$$\Delta f_x * l_x = \Delta f_0 * L_0$$

для коротких  $l < L_c$  линий связи и

$$\Delta f_x^2 * l_x = \Delta f_0^2 * L_0 / L_c$$

для протяженных  $l > L_c$  линий связи.

В этих формулах значения с индексом  $x$  относятся к искомым значениям,  $\Delta f_0$  - полоса пропускания заданной длины  $L_0$ , а  $L_c$  - длина установившейся связи мод.

Широкополосность оптического волокна определяет предельный объем информации, который можно передать по волоконно-оптической линии связи.

**Конструктивные параметры оптического волокна.** В зависимости от материала сердцевины и оболочки ОВ подразделяются на следующие типы: **кварцевые, кварц-полимерные, многокомпонентные и полимерные.**

В волоконно-оптических кабелях связи (ВОКС) в основном используются кварцевые ОВ. В таких ОВ сердцевина и оболочка изготавливаются из высококачественного кварца, обладающего малыми потерями и высокой прозрачностью.

Кварц-полимерные ОВ изготавливаются с сердцевиной из кварца и оболочкой из полимера.

Многокомпонентные ОВ изготавливаются из стекла с добавками различных окислов металлов.

Кварц-полимерные и многокомпонентные ОВ используются для организации внутри-и межобъектовой связи.

В полимерных ОВ сердцевина и оболочка изготавливаются из полимерных материалов. Из-за значительных потерь и нестабильности параметров во времени полимерные ОВ для целей связи не нашли применения.

В конструкции ОВ в целях сохранения передаточных параметров и механической прочности используют различные покрытия (рис. 2.3). Сразу же после вытяжки ОВ на него наносится первичное защитное покрытие (ПЗП) толщиной 5...10 мкм из материала, обладающего несколько большим коэффициентом преломления, чем оболочка ОВ и большими потерями на поглощение для подавления распространения нежелательных мод и исключения вытекающих и излучаемых волн.

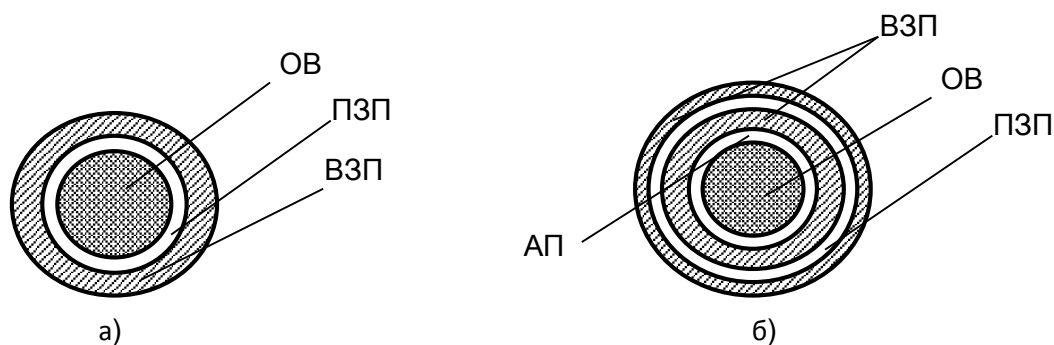


Рисунок 1.8 – Оптические волокна (ОВ) с различными покрытиями: первичное защитное покрытие (ПЗП), вторичное защитное покрытие (ВЗП) и армирующее покрытие АП

В качестве материала для ПЗП обычно используется *акрил*. В отдельных случаях для защиты от механических воздействий на ОВ наносится вторичное защитное покрытие (ВЗП) толщиной 200...300 мкм из материала с высокими механическими характеристиками и влагостойкостью (рис. 1.8а). Выполняется ВЗП из традиционных для кабельной промышленности термопластичных материалов: *полиамидов*, *фторопластов* и некоторых других. Иногда в конструкцию ОВ вводится дополнительное армирующее покрытие, обеспечивающее стабильность его характеристик при радиальном (поперечном) сжатии (рис. 1.8,б).

Таблица 1.2

Параметр	ОМ ОВ с двумя окнами прозрачности	ОМ ОВ со смещенной дисперсией
Диаметр сердцевины или диаметр модового поля, мкм, на длине волны 1310 нм 1550 нм	(9...10) ±10%	(7,0...8,3) ±10%
Диаметр оболочки, мкм	125±1	125±1
Диаметр покрытия	245±10	245±10
Длина волны отсечки, нм	1100...1280	<1300
Затухание кабеля, дБ/км, на длине волны 1310 нм 1550 нм	0,35...0,40 0,2...0,25	— 0,22...0,25
Длина волны нулевой дисперсии, нм	1310±10	1550±10
Максимальная дисперсия, пс/нм·км, на длине волны 1285...1330 нм 1525...1575 нм	2,5...2,6 16...18	— 2,7...3,5
Изменение затухания, дБ/км, при воздействии внешних факторов (интервал температур	±0,05	±0,05

–60...+85°С, влажность 98%, щелочные и кислотные растворы, силикатные смолы)		
--	--	--

Процесс совершенствования ОВ, как основного элемента конструкции любого ОК, происходит непрерывно. Это касается улучшения конструктивных, механических и оптических параметров, а также расширения используемого диапазона длин волн.

Лидерами мирового производства ОВ являются компании Corning, Lucent Technologies, Fujikura и Alcatel, а также отечественные производители: ЗАО «Электропровод», Фирма «СОКК», ЗАО «Севкабель-Оптик», ЗАО «Саранскабель» и «Лусент Технолджис Связьстрой-1».

ОВ изготавливается из высококачественного кварцевого стекла, обеспечивающее распространение светового сигнала. Различают одно-и многомодовые градиентные ОВ.

**Градиентное одномодовое волокно.** Конструктивные и оптические характеристики одномодовых ОВ определены Рекомендациями G.651 (МОВ градиентные типа 50/125), G.652 (ООВ), G.653(ООВ со сдвигом дисперсии), G.654 (ООВ для  $\lambda = 1,55$  мкм) и G.655 (ОВВ со смещенной ненулевой дисперсией) МСЭ-Т (табл. 1.2).

По характеру дисперсии одномодовые волокна (ОМ) подразделяются на

- ОВ с несмещенной дисперсией (SSF – Standard Single Fiber или SSMF – Standard Single Mode Fiber);

- ОВ со смещенной нулевой дисперсией (DSF – Dispersion Shifted Fiber);

- ОВ со смещенной ненулевой дисперсией (NZDSF – Non-Zero Dispersion Shifted Fiber);

Стандартные ООВ с несмещенной дисперсией выпускаются в соответствии с рекомендацией МСЭ-Т G.652.

В ООВ отношение  $n_c/n_{об} \approx 1,505/1,50$ , а числовая апертура  $NA = 0,122$ , луч падает на границу сред под углом близким к прямому  $\approx 83^\circ$ .

Чтобы распространялась одна мода, отношение диаметра сердцевины ООВ  $d_c$  к длине волны оптического сигнала  $\lambda$  должно удовлетворять условию  $d_c/\lambda < 10$  (практически  $d_c = 8...10$  мкм).

**Градиентное многомодовое волокно.** Широко используются два стандарта многомодового градиентного ОВ – 62,5/125 и 50/125. Основные характеристики градиентного МОВ для этих стандартов приведены в табл. 2

Профили показателя преломления и спектральные характеристики коэффициента затухания имеют вид, показанный на рис. 1 и рис. 2 соответственно.

Напомним, что МОВ характеризуется таким параметром, как ширина полосы пропускания частот  $\Delta F$ . Ширина полосы пропускания  $\Delta F$  определяет допустимую верхнюю частоту спектра сигнала, которая может передаваться по ОВ определенной длины. Часто вместо ширины полосы пропускания используют понятие *коэффициент широкополосности*  $S$ , МГц·км.

Например, если МОВ характеризуется коэффициентом широкополосности 500 МГц·км, это означает, что сигнал с верхней частотой 500.

Таблица 1.3

Параметры	Градиентное многомодовое волокно	
	MMF 50/125	MMF 62.5/125
Номинальное затухание, дБ/км, на длине волны: 850 нм 1300 нм	$\leq 2,4$ $\leq 0,5$	$\leq 2,8$ $\leq 0,6$
Номинальное затухание, дБ/км, на длине волны: 850 нм 1300 нм	$\leq 2,5$ $\leq 0,8$	$\leq 3,0$ $\leq 0,7$
Полоса пропускания, МГц·км на длине волны 850 нм 1300 нм	$\geq 400$ $\geq 800$	$\geq 200$ $\geq 400$
Длина волны нулевой дисперсии ( $\lambda_0$ ), нм	1297...1319	1332...1354
Диаметр сердцевины, мкм	$50,0 \pm 3,0$	$62,5 \pm 3,0$
Диаметр оболочки, мкм	$125,0 \pm 2,0$	$125,0 \pm 2,0$
Числовая апертура (NA)	$0,2 \pm 0,015$	$0,275 \pm 0,015$
Относительная разность показателей преломления, %	1	2
Рабочий диапазон температур, °С	-60...+85	-60...+85
Стандартная длина волокна, поставляемого на катушке, м	1100...4400	1100...8800
Диаметр защитного покрытия	$245 \pm 10$	$245 \pm 10$
Эффективный показатель преломления на длине Волны 850 нм 1300 нм	1,4897 1,4856	1,5014 1,4966

При заданном коэффициенте широкополосности  $S$  полоса пропускания  $\Delta F$  ОВ в зависимости от его длины  $l$  определяется соотношением

$$\Delta F = \frac{S}{l}$$

Как видно, чем длиннее ОВ, тем меньше полоса пропускания и, следовательно, меньше объем передаваемой информации (например, если для МОВ с типоразмерами 50/125 нормируемые значения коэффициента широкополосности  $S$  400...1500 МГц·км, то для ОВ длиной 10 км полоса пропускания составит 40...150 МГц·км).

Таким образом, ширина полосы пропускания ограничивает как скорость передачи информации, так и расстояние, на которое может быть передан сигнал.

Полоса пропускания ОВ в зависимости от дисперсии равна

$$S = \frac{0,44}{\tau}$$

где  $\tau$  – уширение импульса в МОВ, которое для ОВ со ступенчатым профилем показателя определяется по формуле

$$\tau = L * \frac{(NA)^2}{2n_1 c}$$

Уширение импульса в МОВ с параболическим профилем показателя преломления (ППП) равно

$$\tau = L * \frac{(NA)^4}{3n_1^3 c}$$

Сравнивая значения уширения для ступенчатого и параболического ППП, видно, что для ОВ с параболическим ППП уширение в  $(2n_1 / NA)^2$  раз меньше, чем в ОВ с дискретным законом изменения ППП.

В связи с тем, что МОВ со ступенчатым ППП характеризуется большим значением межмодовой дисперсии, коэффициент широкополосности  $S$  не превышает 50 МГц·км. В то же время в ОВ с параболическим ППП он равен 100...200 МГц·км. При соответствующей конструкции ОВ с параболическим ППП коэффициент широкополосности  $S$  достигает 1000 МГц·км.

Таблица 1.4

Параметры	Тип ОВ			
	МСО1-2	МСО2-2	МГО1-1 МГО2-1	ЕСО1-1 ЕСО2-1
Диаметр сердцевины, мкм	200 ± 10	400 ± 15	50 ± 3	–

Диаметр модового пятна, мкм	–	–	–	10 ± 1
Диаметр оболочки, мкм	360 ± 40	600 ± 50	125 ± 3	125 ± 3
Наружный диаметр защитного покрытия, мкм	600 ± 100	900 ± 150	230 ± 20	230 ± 20
Неконцентричность защитного покрытия, мкм	60	90	20	20
Некруглость сердцевины, оболочки и защитного покрытия, мкм	В пределах допуска на диаметры			
Неконцентричность сердцевины и оболочки не более, мкм	20	30	3	2
Строительная длина не менее, м	1200	300	2200	2200
Рабочая масса 1 км, кг	0,52	1,2	0,086	0,086

Отечественной промышленностью изготавливаются следующие типы ОВ (табл. 1.4).

МСО1-2, МСО2-2 – многомодовое ступенчатое волокно с кварцевой сердцевиной, полимерной оболочкой из силиконового (МСО1-2) или морозостойкого (МСО2-2) компаунда и защитным покрытием из фторопласта;

МСО1-1, МСО2-1 – многомодовое ступенчатое волокно с кварцевой сердцевиной, кварцевой оболочкой и одно (МГО1-1) или двухслойным (МГО2-1) полимерной оболочкой из силиконового (МСО1-2) или морозостойкого (МСО2-2) защитным покрытием из эпоксиакрилата;

ЕСО1-1, ЕСО2-1 – одномодовое ступенчатое волокно с кварцевой сердцевиной, кварцевой оболочкой и одно-(ЕСО1-1) или двухслойным (ЕСО2-1) защитным покрытием из эпоксиакрилата.

### 1.2.2 Оптические кабели

**Классификация оптических кабелей.** Оптический кабель (ОК) представляет собой совокупность скрученных по определенной системе оптических волокон, заключенных в общую влагозащитную оболочку, поверх которой, в зависимости от условий эксплуатации, могут быть наложены защитные покровы. При необходимости ОК может содержать силовые (упрочняющие) и демпфирующие элементы, металлические жилы. Основной задачей ОК является обеспечение требуемого качества передачи при существующих условиях эксплуатации.

К ОК, как и к традиционным электрическим кабелям связи, предъявляются следующие требования:

- возможность прокладки в тех же условиях, в каких прокладываются электрические кабели связи;
- использование при прокладке методов, техники и оборудования, применяемых при прокладке электрических кабелей;
- возможность сращивания и монтажа в полевых условиях;
- устойчивость к внешним механическим и климатическим воздействиям в процессе строительства и эксплуатации;
- эксплуатационная надежность с заданными показателями безотказности, долговечности и ремонтпригодности.

Конструкции ОК в основном определяется назначением и областью их применения. Они различаются видом защитных покровов ОК, характером компоновки ОВ в составе кабельного сердечника, характером и способом упрочнения ОК от продольных и радиальных воздействий.

В настоящее время выпускается большое количество типов ОК, отличающихся назначением, условиями прокладки и конструкцией составляющих элементов.

**По своему назначению** ОК подразделяются по месту в первичной сети ВСС РФ на:

- магистральные;
- зонавые (внутризонавые);
- местные (городские, районные);
- объектовые и монтажные.

*Магистральны и зонавые* ОК предназначаются для передачи информации на большие расстояния и организации большого числа каналов. Они обладают малыми затуханием, дисперсией и большой широкополосностью.

*Местные* ОК используются в качестве соединительных линий между городскими и районными АТС. Они рассчитаны на работу без промежуточных регенераторов, т.е. на сравнительно короткие расстояния (5...10 км) и относительно небольшое число каналов.

*Объектовые* ОК служат для передачи различной информации на малые расстояния внутри объекта и содержат, как правило, большое число ОВ.

*Монтажные* ОК предназначаются для внутри- и межблочного монтажа аппаратуры.

**По способам прокладки.** В зависимости от условий прокладки и эксплуатации ОК подразделяются:

- для внутренней и наружной прокладки;
- специальные.

*Кабели внутренней прокладки* используются внутри телефонных станций, офисов, зданий и помещений. По условиям прокладки эти кабели подразделяются на:

- кабели вертикальной и горизонтальной прокладки;
- шнуры коммутации.



*Кабели наружной прокладки* применяются на любых (сельских, городских, зонавых и магистральных) линиях связи и по условию прокладки их можно разделить: воздушные, подземные, подводные.

*Кабели воздушной прокладки* подвешиваются на опорах различного типа и в свою очередь подразделяются на кабели:

- самонесущие – с несущим тросом или без него, подвешиваемые на опорах различного типа, в том числе на опорах ЛЭП и контактной сети железных дорог;

- прикрепляемые – крепятся к несущему проводу с помощью специальных зажимов;

- навиваемые – навиваются вокруг несущего, например, фазового провода или грозотроса;

- встраиваемые в грозотрос.

*Кабели подземной прокладки* подразделяются на:

- прокладываемые в кабельной канализации (в пластмассовых трубах диаметром 40...100 мм – один ОК в одной трубе, в асбестоцементных или пластмассовых трубах диаметром > 100 мм – несколько ОК в одной трубе, в поверхностных лотках полотна железной дороги – несколько ОК на лоток, в водопроводных трубах совместно с водой, в газовых трубах совместно с газом);

- прокладываемые в тоннелях (на консолях стен тоннеля ниже силовых кабелей, совместно с силовыми кабелями, в верхней токе тоннеля);

- закладываемые в грунт (непосредственно в грунт, в полотне железной дороги, в асфальте автомобильной дороги);

- автоматической прокладки в специальных трубах, например, в полиэтиленовых.

*Подводные ОК* подразделяются на:

- укладываемые на дно несудоходных рек, неглубоких озер и болот;

- укладываемые на дно морей и океанов.

**Конструктивные элементы оптических кабелей. Основные элементы.** Высокая чувствительность ОК к механическим воздействиям и факторам окружающей среды в процессе изготовления, прокладки и эксплуатации требует особого подхода к конструированию ОК. Следует учитывать необходимость предохранения ОК от растяжения и изгибов, упрочнения ОК силовыми элементами защиты его от внешних механических воздействий.

Высокая надежность ОК обеспечивается соответствующим подбором материалов и расчетами конструктивных элементов ОК. Правильно разработанные конструкции ОК обладают высокой механической прочностью, позволяющей прокладывать их как обычные металлические кабели. Кроме того, конструкция ОК должна гарантировать и поддерживать характеристики передачи ОК в течение всего срока службы ОК, который должен составлять не менее 25...30 лет.

В ОК, как следует из вышесказанного, кроме ОК содержатся следующие конструктивные элементы;

- заполнители в виде сплошных пластмассовых нитей;
- силовые (упрочняющие) элементы (стальные, медные и алюминиевые проволоки, а также арамидные нити и стеклопластиковые стержни), воспринимающие на себя продольную нагрузку на разрыв;
- армирующие элементы, повышающие стойкость ОК при механических радиальных воздействиях;
- наружные защитные покрытия – оболочки (металлопластмассовая с металлическими лентами или металлическим слоем, пластмассовая, пластмассовая с силовыми элементами, пластмассовая с впрессованными силовыми элементами с металлической лентой, бронированная оболочка кабеля)), предохраняющие от проникновения влаги, паров вредных веществ и внешних механических воздействий;
- изолированные медные жилы для питания различных устройств на линии;
- гидрофобные компаунды, препятствующие проникновению влаги в ОК.

**Модуль.** При изготовлении оптических кабелей ОК в процессе их укладки подвергаются воздействию поперечных сил, которые их деформируют и смещают в поперечном направлении, что приводит в конечном итоге к изменению передаточных характеристик ОК. Поэтому для снижения отрицательных влияний поперечных деформаций ОК снабжают индивидуальным защитным покрытием в виде *модуля*.

Модуль является одним из основных конструктивных элементов, из которых формируется *сердечник* ОК. Под модулем понимается самостоятельный элемент ОК, содержащий одно или несколько ОК.

Модули бывают трех типов: *трубчатые, профильные и ленточные*.

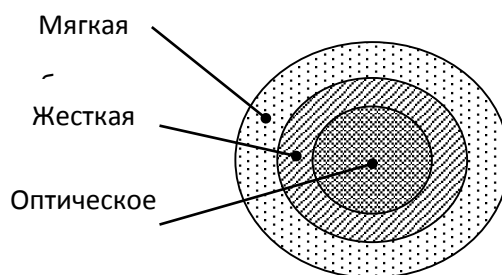


Рисунок 1.9 – Оптическое волокно в двойной защитной оболочке

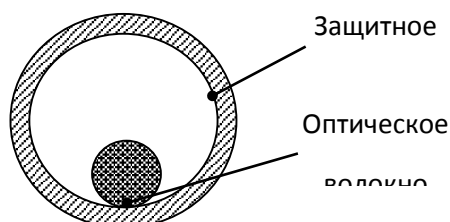


Рисунок 1.10 – Оптическое волокно в трубчатом защитном покрытии

*Трубчатые* модули в свою очередь разделяются на плотные (рис. 2.1) и свободные (рис. 2.2). Первые применяются в кабелях внутренней прокладки.

Свободные трубчатые модули наравне с профильными составляют основу кабелей наружной прокладки.

В *плотных модулях* в качестве сплошного защитного покрытия используются как твердые, так и мягкие оболочки.

Жесткая внутренняя оболочка с высоким модулем упругости придает ОВ жесткость, а мягкая внутренняя оболочка с низким модулем упругости обеспечивает поперечную сжимаемость, т.е. уменьшает любые смещения, обусловленные упругой деформацией при изготовлении ОВ.

Трубчатые свободные модули обеспечивают максимальную механическую развязку ОВ от других элементов конструкции ОК. Сама трубка изготавливается, как правило, из бутилентерефталата толщиной 0,8 мкм и наружным диаметром 2,5 мкм (рис. 1.10).

*Профильный модуль* представляет пластмассовый стержень с V-образными или прямоугольными пазами на периферии, в которых расположены одно или несколько ОВ (рис. 1.11). Указанная конструкция модуля позволяет отдельным ОВ оставаться в ненапряженном состоянии при удлинении ОК под воздействием внешних сил.

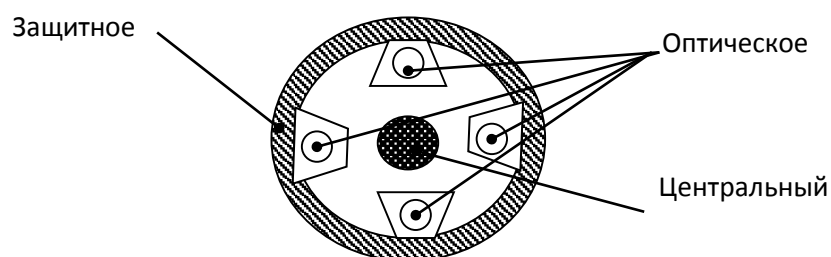


Рисунок 1.11 – Конструкция ОК со свободным поддержанием ОВ, уложенных по спирали в пазах фигурного стержня

В свободных трубчатых и профильных модулях ОВ должны быть длиннее трубки и профилированного стержня на 0,3...0,5%, чтобы при воздействии на ОК растягивающей нагрузки она не передавалась на ОВ.

Ленточный модуль представляет плоскую ленту с параллельно уложенными на определенном расстоянии друг от друга ОВ. Для ленты используется обычные ОВ с первичным покрытием порядка 250 мкм.

При создании самой ленты используются два основных метода фиксирования ОВ. Один из них – метод вторичного покрытия, а другой – метод, использующий липкие ленты. Обычно в одной ленте содержится от 2 до 24 ОВ. ОВ в модулях должны иметь разную расцветку. При большом числе ОВ в модуле их группируют в пакеты по 8 или 12, обматывая цветной нитью.

**Сердечник.** ОК классифицируются на одномодульные и многомодульные в зависимости от того содержит ли кабель один модуль (в центре) или несколько (в повиве).

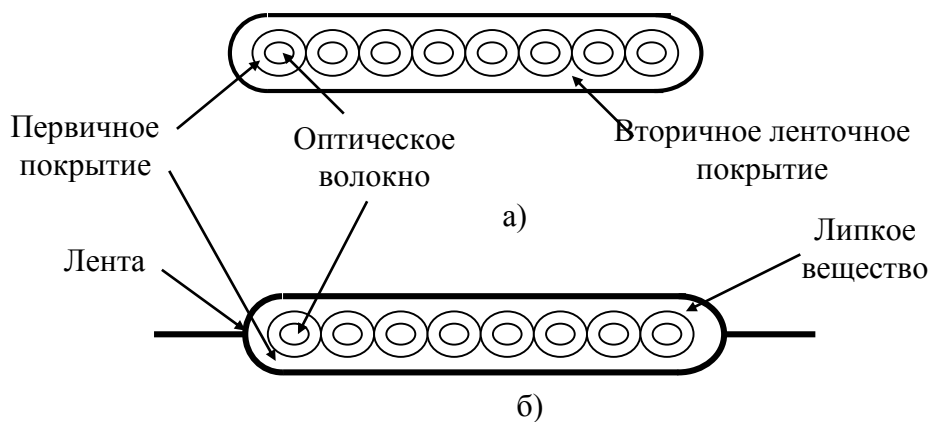


Рисунок 1.12 – Способы фиксирования ОВ в ленточных модулях

В одномодульных ОК сердечником является сам модуль. В многомодульных ОК скрученный, как правило, в один повив сердечник скрепляется поясной изоляцией из синтетической полипропиленовой, тефталатной (лавсановой) ленты, накладываемой путем спиральной обмотки в один или два слоя. В этом случае за сердечником с поясной изоляцией также сохраняется наименование сердечник.

Во избежание воздействиям растягивающим усилиям в процессе производства и прокладки кабеля внутри повива расположен центральный силовой элемент (ЦСЭ), вокруг которого окручиваются модули и который воспринимает растягивающие усилия ЦСЭ служит стальная проволока, тонкий стальной трос либо стеклопластиковый стержень.

Модули скручиваются вокруг ЦСЭ в необходимых количества. Если число модулей менее 6, то для обеспечения устойчивой правильной скрутки вместе с модулями скручиваются пластмассовые кордели-заполнители сплошного сечения. Если по ОК организуется служебная связь или дистанционное питание, роль корделей-заполнителей выполняют изолированные медные жилы (одиночные или скрученные в пары или четверки).

**Силовые элементы.** ОВ имеют высокий модуль упругости по сравнению с большинством материалов, используемых в конструкциях ОК. В конструкцию ОВ для устранения появления больших напряжений вводят силовые (упрочняющих) элементы.

Конструктивно упрочняющий элемент выполняется в виде корделя из сплошного материала или жгута из тонких волокон (проволок). Использование жгута в качестве упрочняющего элемента обеспечивает достаточную гибкость ОК.

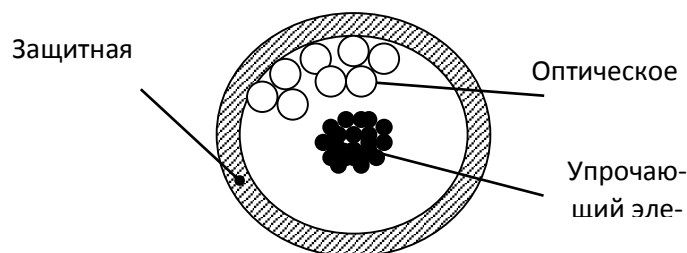


Рисунок 1.13 - Конструкция ОК с центральным расположением упрочняющего

Возможны два варианта конструктивных решений в расположении упрочняющих элементов (УЭ) в ОК. В первом варианте УЭ располагается в центре сердечника кабеля, во втором варианте УЭ размещается на периферии. В первом варианте УЭ обеспечивает лучшую гибкость ОК, во втором – гибкость ОК меньше, но более эффективно противостоит радиальным усилиям и ударам.

**Защитные покровы.** Для защиты ОВ от воздействий внешней среды и механических повреждений в процессе прокладки ОК и его эксплуатации кабельный сердечник защищается наружной оболочкой.

В общем случае в конструкциях ОК используются 4 варианта оболочек: *полиэтиленовая, алюмополиэтиленовая, поливинилхлоридная* и из *безгалогенного материала*, не распространяющего горения.

**Полиэтиленовая** оболочка используется, главным образом, в бронированных кабелях наружной прокладки, **алюмополиэтиленовая** оболочка – в небронированных ОК, прокладываемых в пластмассовых трубах методом пневмопротяжки.

Конструктивно алюмополиэтиленовая оболочка формируется из алюминиевой лент толщиной 0,12...0,2 мм, покрытой с одной или с обеих сторон пленкой полимера. Пленка и оболочка привариваются и в результате получается экран и оболочка образуют монолитную конструкцию, обладающую значительно меньшей влагонепроницаемостью, чем обычная полиэтиленовая оболочка.

В кабелях, прокладываемых в пожароопасных местах, применяется оболочка из **поливинилхлорида** или **безгалогенного** материала, не распространяющих горения и практически не выделяющего при горении дыма и других токсичных веществ.

При больших внешних нагрузках на ОК в его конструкцию вводятся броневые покровы. Броня бывает 3 видов: **ленточная, одноповивная** (одинарная) круглоопроволочная и **двухповивная** (двойная) круглоопроволочная.

В ОК для прокладки в кабельной канализации, трубах, коллекторах, тоннелях, на мостах и эстакадах используется **стальная ленточная** броня. Стальная гофрированная лента толщиной 0,15...0,25 мм, покрытая с наружной стороны полимером, накладывается продольно с перекрытием на внутреннюю оболочку ОК.

В ОК для прокладки в грунтах, не подверженных мерзлотным деформациям, на переходах через неглубокие несудоходные реки, озера и болота применяется одноповивная броня из круглых стальных оцинкованных проволок различного диаметра.

В ОК для прокладки в сложных грунтах всех групп, в том числе и подверженных мерзлотным деформациям, а также на переходах через глубокие судоходные реки применяется двухповивная круглопроволочная броня. В указанной броне оба повива стальных проволок могут быть разделены промежуточной полиэтиленовой оболочкой. В основном броня обеспечивает стойкость ОК к такому внешнему механическому воздействию, как растяжение.

На броню накладывается защитный шланг, который изготавливается из полиэтилена или негорючего безгалогенного материала. В защитный шланг могут быть впрессованы для механического усиления две толстые проволоки.

Особые требования к защитным покровам предъявляются к ОК для воздушной подвески. В связи с тем, что подвесные кабели не содержат металлических элементов и изготавливаются полностью диэлектрическими, их защитный покров состоит из полиэтиленовой оболочки, двух повивов арамидных нитей или повив стеклопластиковых стержней и защитного шланга из полиэтилена.

**Типовые конструкции оптических кабелей.** В настоящее время в зависимости от назначения, условий прокладки и эксплуатации разработаны и производятся ОК различных типов и конструкций. Среди большого их многообразия можно выделить четыре типа ОК (рис. 2.6):

- многоповивные, или кабели повивной скрутки;
- кабели пучковой скрутки
- кабели с профильным несущим сердечником;
- ленточные конструкции.

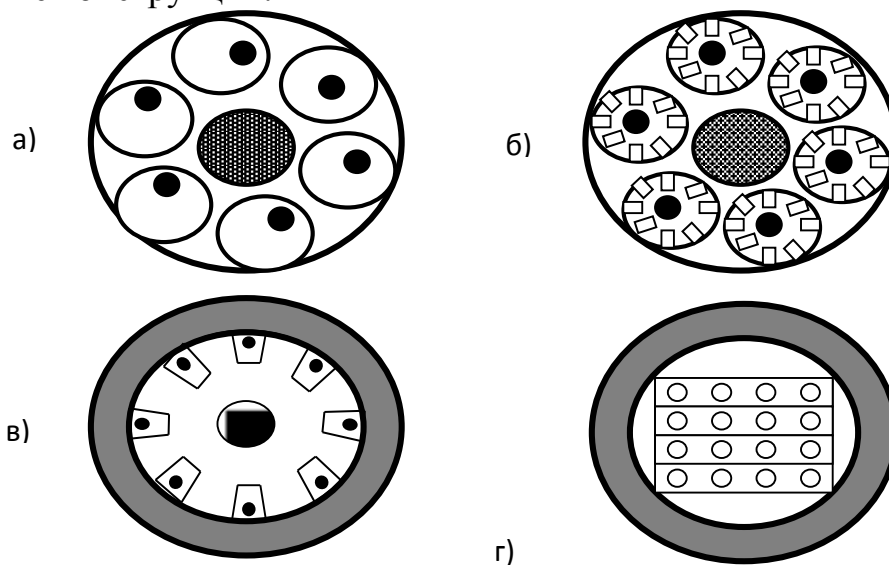


Рисунок 1.14 – Типы конструкций кабелей. а) – повивной скрутки, б) – пучковой; в) с профильным сердечником; г) – ленточный

ОК повивной скрутки выполнен в виде повивов из оптических модулей, скрученных вокруг ЦСЭ, которые эффективны при числе модулей до 20.

Типовая конструкция повивного ОК содержит от 6 до 8 оптических модулей и имеет наружный диаметр порядка 12 мм.

В тех случаях, когда вокруг ЦСЭ скручивается один повив с числом модулей меньше 6, промежутки между ними заполняются пластмассовыми корделями сплошного сечения с диаметром, равным диаметру модуля. Для заполнения можно использовать и изолированные медные жилы.

ОК пучковой скрутки состоят из пучков ОМ, скрученных вокруг ЦСЭ. Пучок представляет собой полимерную трубку, внутри которой размещается профильный сердечник с продольными пазами в которые свободно уложены ОВ. Кабели этого типа содержат от 25 до 500 модулей и внешний диаметр составляет 15...25 мм.

ОК с профильным несущим сердечником состоит из сердечника, представляющего собой несущий пластиковый элемент с винтообразными пазами, в которых свободно уложены ОВ в первичном защитном покрытии или оптические модули. Диаметр профилированного сердечника с пазами составляет 6... 12 мм в зависимости от числа волокон.

Сердечник ленточных ОВ собран из отдельных плоских лент с параллельно уложенными на определенном расстоянии друг от друга ОВ (рис. 2.6,г).

Для ленты обычно используются обычные ОВ с первичным покрытием диаметром порядка 250 мкм. Обычно в одной ленте содержится от 2 до 24 волокон. Сложенные ленты образуют сердечник кабеля. Уплотняющие элементы в указанной конструкции расположены в оболочке. Благодаря плотной укладке ОВ, конструкция кабеля имеет небольшой диаметр (например, ОК из 144 ОВ имеет внешний диаметр 12 мм).

### **Оптические кабели отечественного производства.**

#### **ОК городской связи типа ОК-50 (рис. 2.7)**

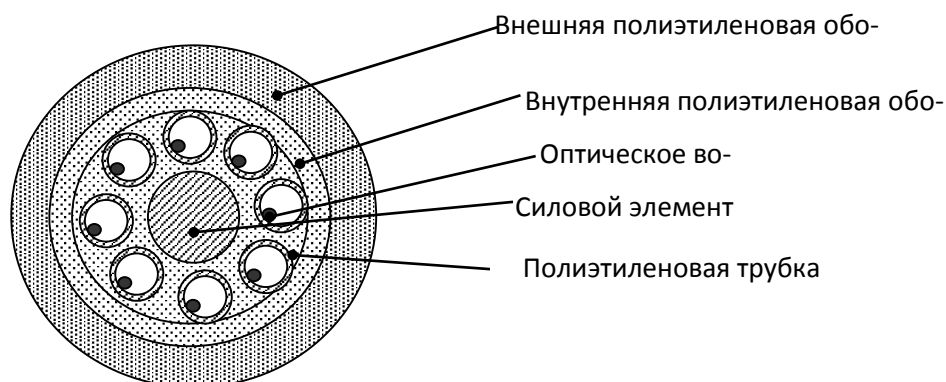


Рисунок 1.15 – Кабель типа ОК-30

Кабель с повивной скруткой сердечника имеет в центре упрочающий силовой элемент из нитей синтетической высокомолекулярной пластмассы. Волокна расположены в пластмассовых трубках, а снаружи – лавсановая лента и пластмассовая оболочка. Для влагостойкости сердечник ОК в процессе изготовления заполняется гидрофобной (лагоотталкивающей) массой.

Кабель предназначен для прокладки в телефонной канализации и поэтому не содержит наружных армирующих покровов.

**Маркировка кабеля:** ОК – оптический кабель; 50 – диаметр сердцевины, мкм; 1 и 2 номер разработки; 3 или 5 – коэффициент затухания, дБ/км; 4 или 8 число ОВ.

**ОК -50-2-5-4.....** Кабель линейный из четырех ОВ с диаметром сердцевины 50 мкм, разработки 2, с гидрофобным заполнением, ЦСЭ, вокруг которого скручены ОВ в полимерном покрытии, каждое из которых защищено фторопластовой трубкой, с наружной оболочкой из полиэтилена и затуханием до 5 дБ/км

**ОК -50-2-5-8** То же, но с 8 ОВ

**ОК -50-2-3-4**

**ОК -50-2-3-8**

**ОН -50-1-5-1** Кабель стационарный с одним ОВ с диаметром сердцевины 50 мкм, разработки 1, с полимерным покрытием, защитной фторопластовой трубкой, наружной оболочкой из поливинилхлорида и затуханием до 5 дБ/км

**ОН -50-1-5-2**

**ОН -50-1-3-1**

**ОН -50-1-3-2**

Строительная длина линейного ОК не менее 1000 м, а стационарного не менее 100 м.

Геометрические размеры ОВ следующие: диаметр оболочки ОВ  $125 \pm 3$  мкм; диаметр ОВ  $50 \pm 3$  мкм; сердцевина ОВ  $50 \pm 3$  мкм;

Широкополосность не менее 250 МГц/км, коэффициент затухания на  $\lambda = 0,85$  мкм не более 3 дБ/км для одних марок и не более 5 дБ/км; числовая апертура ОВ  $0,2 \pm 0,002$  мкм.

Срок хранения и срок службы кабеля 25 лет из них в полевых условиях не менее 10 лет.

**ОК городской связи типа ОКК-50** (рис. 2.8). Используется на длине волны  $\lambda = 1,31$  мкм, 16-волоконный ОК, прокладывают как в канализации, так и в грунте, эксплуатируют при температуре  $-40...+50^\circ\text{C}$ . ОКК изготавливают в двух вариантах:



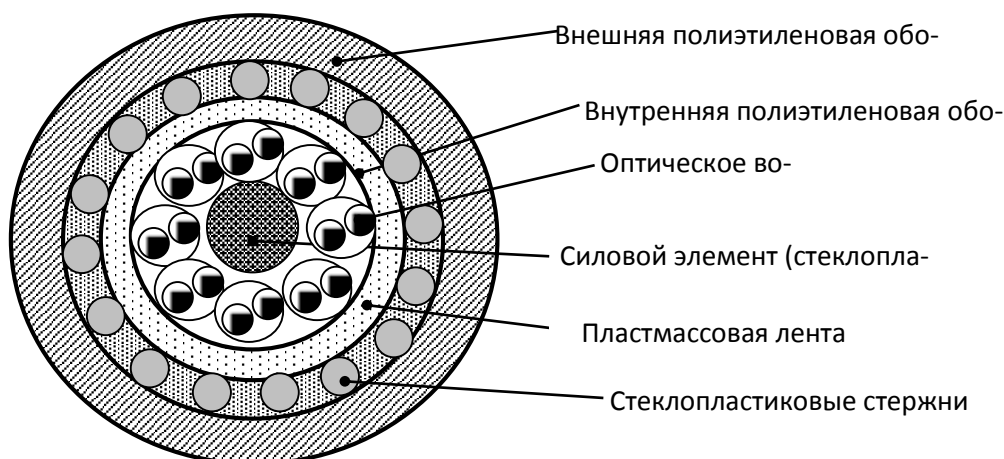


Рисунок 1.16 – Кабель типа ОКК-50

– на основе градиентного ОВ с диаметром сердцевины 50 мкм (модификация 01), с затуханием 0,7дБ/км и при восьми ОВ типа ОКК-50-01-07-8;

– на основе одномодового ОВ с диаметром сердцевины 10 мкм (модификация 02), с затуханием 1,0дБ/км и при четырех ОВ типа ОКК-10-02-1,0-4.

**Маркировка:** ОКК – оптический кабель для прокладки в канализации; ОККО – то же, с броней в виде металлической оплетки; ОККС – с броней из стеклопластиковых стержней; ОККАК – в алюминиевой оболочке и с броней из круглых проволок; ОКС – стационарный кабель. 10 или 50 – диаметр сердцевины; 01 или 02 – центральный элемент из стеклопластика или стали; 07 или 1 – коэффициент затухания; 4,8,16 – число ОВ.

**ОКК-50-01** – кабель городской с сердечником из градиентного ОВ, ЦСЭ из стеклопластикового стержня, оптическими модулями, скрученными вокруг стержня, гидрофобным наполнителем, поверх которого наложена полиэтиленовая оболочка; прокладка в канализации, трубах, блоках, коллекторах, на мостах и в шахтах;

**ОКК-10-01** – то же, но с одномодовым ОВ;

**ОКК-50-02** – то же, но с градиентным ОВ и стальным тросом в центре;

**ОКК-10-02** – то же, но с ООВ;

**ОККО 50-01** – поверх сердечника наложена ПЭ промежуточная оболочка, металлическая оплетка и ПЭ защитная оболочка, с защитой от грызунов;

**ОКС-50-01** – кабель стационарный, в котором поверх сердечника наложена поливинилхлоридная защитная пленка: для прокладки внутри станций и в НРП:

**ОКС-10-01** – то же, но с ООВ.

Строительная длина для линейного ОК не менее 2000 м и для стационарного – 300 м, дисперсия ООВ не более 3,5 нс/(нм·км), коэффициент широкополосности градиентного ОВ на  $\lambda = 1,31$  мкм не менее 1000 МГц·/км, эффективная числовая апертура градиентного ОВ  $0,2 \pm 0,02$ .

**ОК зоновой связи типа ОЗКГ.** Имеют профилированный пластмассовый сердечник с 8-ю геликоидальными пазами, в которых размещены ОВ. В центре расположен силовой упрочающий элемент. По периферии имеются стальные (16) и медные проволоки (4) для ДП НРП. Снаружи – ПЭ оболочка. Сердечник заполнен гидрофобной массой.

**Маркировка кабеля: ОЗКГ** – оптический зонный кабель для прокладки в грунте; 1 – первая разработка; 0,7-1,0-1,5 – коэффициент затухания; дробь – в числителе число ОВ, в знаменателе – число медных проволок для ДП.

**ОЗКГ-1-0,7-4/4** – кабель оптический с металлическим армирующими элементами, центральным профильным элементом, в пазы которого уложены ОВ с четырьмя медными жилами для ДП, 4-мя ОВ с градиентным ППП и коэффициентом затухания 0,7 дБ/км:

**ОЗКГ –1-0,7-8/4** – то же но 8-ю ОВ;

**ОЗКГ –1-0,7-4/0** – то же, но без медных жил;

**ОЗКГ –1-0,7-8/0** – то же, с 8-ю ОВ;

**ОЗКГ – 1-1,0-4/4** – то же, но с затуханием 1 дБ/км (разных модификаций);

**ОЗКГ – 1-1,5-4/4** – то же, но с затуханием 1 дБ/км (разных модификаций).

**ОКЗ** – зонный ОК второго поколения.

**ОК магистральной связи типа ОМЗКГ.** ОК с 4, 8 или 16 волокнами.

**Маркировка: ОМЗКГ** – ОК магистральный и зонный для прокладки в грунт; – диаметр сердцевины ОВ; 1, 2, 3 – номер разработки; 0,7 – коэффициент затухания; 4, 8 – число ОВ.

**ОМЗКГ – 10-1-0,7-8** ОК магистральный и внутризоновый, разработки 1, с центральным профилированным элементом, в пазы которого уложены ООВ диаметром 10 мкм, гидрофобным наполнителем, броней из неметаллических армирующих элементов в виде стеклопластиковых стержней, коэффициентом затухания до 0,7 дБ/км и восьмью ОВ, **ОМЗКГ – 10-1-0,7-4** – с четырьмя ОВ;

**ОМЗКГ – 10-2-0,7-8** ОК магистральный и внутризоновый, разработки 2, с центральным профилированным элементом, в пазы которого уложены ООВ диаметром 10 мкм, гидрофобным наполнителем, броней из неметаллических армирующих элементов четырьмя ОВ в виде стеклонитей, в ПЭ оболочке, коэффициентом затухания до 0,7 дБ/км и восьмью ОВ., **ОМЗКГ – 10-2-0,7-4** – с четырьмя ОВ;

**ОМЗКГ – 10-3-0,7-8** ОК магистральный и внутризоновый, разработки 2, с центральным профилированным элементом, в пазы которого уложены ООВ диаметром 10 мкм, гидрофобным наполнителем, броней из стальных проволок, в ПЭ оболочке, коэффициентом затухания до 0,7 дБ/км и восьмью ОВ; **ОМЗКГ – 10-2-0,7-4** – с четырьмя ОВ;

**ОМЗВ – 10-1-0,7-8** ОК магистральный и внутризоновый для прокладки через судоходные и сплавные реки, болота глубиной более 2 м, разработки 1, с

центральным профилированным элементом, в пазы которого уложены ООВ диаметром 10 мкм, гидрофобным наполнителем, металлической трубкой, броней из стальных проволок, в ПЭ оболочке, коэффициентом затухания до 0,7 дБ/км и семью ОВ; **ОМЗВ – 10-1-0,7-4** – с четырьмя ОВ;

**ОН** – кабель оптический стационарный на основе ООВ с диаметром сердцевины 10 мкм. Разработки 1, с наружной оболочкой из ПВХ, затуханием до 1,0 дБ/км и одним ОВ. Дисперсия ОВ не более не более 3,5 нс/(нм·км).

**ОК магистральной связи типа ОКЛ.** Предназначены для одномодовой связи на длине волны 1,55 мкм. Наличие медных проводов для ДП НРП. Емкость 4, 5, 16 ОВ.

**Маркировка:** **ОКЛ** – оптический кабель линейный, **ОКЛС** – то же, с броней из стеклопластиковых стержней; **ОКЛБ** – то же с броней из ленточной стали; **ОКЛК** – то же с броней из круглых стальных проволок; **ОКЛАК** – то же в алюминиевой оболочке и с броней из круглых стальных проволок; **ОКС** – оптический кабель стационарный.

**ОКЛ-01-3/3,5-4(8,16)** – число пар 4,8,13; коэффициент затухания 0,3; дисперсия 3,5 нс/(нм·км). С центральным силовым элементом из стеклопластикового стержня, вокруг которого скручены оптические модули (ОМ), с гидрофобным наполнением защитной оболочкой. Для прокладки в канализации, трубах, блоках, коллекторах, на мостах и в шахтах.

**ОКЛ-01-3/2,0-4(8,16)** – то же но с дисперсией 2,0 нс/(нм·км),

**ОКЛ-02-3/3,5-4(8,16)** – то же, но со стальным тросом в центре,

**ОКЛС-01-03/3,5-4(8,16)** – число пар 4,8,13; коэффициент затухания 0,3; дисперсия 3,5 нс/(нм·км). С центральным силовым элементом из стеклопластикового стержня, вокруг которого скручены оптические модули (ОМ), с гидрофобным наполнением защитной оболочкой, промежуточной оболочкой из ПЭ, броней из стеклопластиковых стержней и защитной оболочкой из ПЭ. Для прокладки в канализации, трубах, блоках, коллекторах, на мостах и в шахтах, в грунтах всех категорий, кроме подверженных мерзлотным деформациям, через неглубокие болота и несудоходные реки, в условиях повышенных ЭМ влияний и т. д.

### 1.3 Контрольные вопросы

1. Формула показателя преломления
2. Что такое профиль показателя преломления
3. Закон Снеллиуса
4. Критический угол падения
5. Что такое волноводный мод
6. Что такое апертура
7. Логическая числовая апертура
8. Какие стекла обеспечивают высокую прозрачность оптического волокна

9. Какие причины вызывает возникновение дисперсии оптического волокна

10. Какая дисперсия является основным критерием одмодового оптического волокна

11. Как определяется коэффициент широкополосности

12. В чем особенность градиентного одно- и многомодового волокна.

## **2. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ. КОНСТРУКЦИЯ ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ.**

**2.1 Цель:** изучить конструкции и параметры пассивных оптических устройств.

### **2.2 Краткие сведения из теории**

#### **2.2.1 Разъемные и неразъемные соединители**

##### **Назначение и требования к разъемным и неразъемным соединителям**

Волоконно-оптическая система передачи представляет собой каскадное соединение технических устройств (оптических компонент) различного вида и назначения. Одни из них вносят ослабление оптическому сигналу и потому называются пассивными оптическими устройствами другие – усиление или регенерацию оптического сигнала и называются активными оптическими устройствами.

К пассивным оптическим устройствам (ПОУ) относятся:

Устройства ввода/вывода – для ввода оптического излучения от источника в ОВ и от ОВ в фотоприемник;

Оптические соединители (коннекторы) – ПОУ, необходимые для оптического соединения двух и более компонентов ВОСП, для подключения измерительных приборов при проведении различных измерений и контроля параметров оборудования без закрытия связи и подразделяются на:

- разъемные соединители, предназначенные для простого многократного и легкого соединения и разъединения компонентов ВОСП;
- неразъемные соединители, предназначенные для однократного соединения и не допускающие разъединения;

Соединительный оптический кабель – пассивный компонент ВОСП, представляющий собой ОК, армированный с двух сторон кабельными частями оптического соединителя;

Шнур оптический (называемый иногда патч-корд), представляющий короткий соединительный ОК;

Оптический разветвитель (называемый иногда сплиттер) – пассивный оптический многополюсник, в котором оптическое излучение, подаваемое на входные оптические полюса перераспределяются в определенном соотношении на выходные оптические полюса;

Оптический ответвитель, – оптический разветвитель с одним входным и двумя выходными оптическими полюсами и предназначенный для ответвления заданной части мощности оптического излучения;

Оптический объединитель – пассивный оптический многополюсник, в котором оптическое излучение, подаваемое на входные оптические полюса, суммируются в определенном соотношении на выходные полюса;

Спектрально-селективный разветвитель – оптический разветвитель, коэффициенты пропускания между оптическими полюсами которого зависят от длины волны в заданном диапазоне длин волн оптического излучения;

Спектрально-селективный объединитель – оптический объединитель, коэффициенты пропускания между оптическими полюсами которого зависят, от длины волны в заданном диапазоне длин волн оптического излучения;

Y- образный разветвитель – направленный оптический разветвитель с тремя полюсами;

Оптический комбинированный разветвитель – направленный оптический разветвитель, в котором мощность от нескольких входных полюсов распределяются между меньшим количеством выходных полюсов;

Оптические мультиплексоры/демультиплексоры – ПОУ, предназначенные для объединения и разделения оптических сигналов, имеющих различные длины волн;

Оптические аттенюаторы – ПОУ, предназначенные для уменьшения мощности оптического излучения, причем снижение уровня мощности может быть постоянной (фиксированные аттенюаторы) или изменяемой (переменные аттенюаторы);

Оптические изоляторы – ПОУ, пропускающие излучение в одном (рабочем) направлении с малыми потерями, а в другом (обратном) направлении затухание в них на значительно выше и предназначены для защиты источников излучения от нежелательного отражения излучения в ОВ и обеспечения тем самым стабильной генерации, а также снижения шума в них

Компенсатор дисперсии – пассивный оптический двухполюсник, в котором компенсируется дисперсия времени распространения оптического излучения по ОВ

Циркулятор – ПОУ кольцевой структуры, в котором имеется  $n$ -оптических полюсов, обладающие свойством последовательной трансляции оптического сигнала последовательно от одного полюса к другому;

Волоконно-оптические фильтры – устройства, пропускающие с минимальным затуханием оптическое излучение определенной длины волны или диапазона длин волн (полоса пропускания) и имеющие максимально возможное затухание для других длин волн или диапазонов длин волн (полоса задерживания).

Основными параметрами для ПОУ являются: вносимое затухание (ослабление); рабочий диапазон длин волн  $\lambda_{\text{мин}} \dots \lambda_{\text{макс}}$  (или  $f_{\text{мин}} \dots f_{\text{макс}}$ ), где параметры ОПУ не выходят за пределы, установленные нормативно-технической документацией; допустимый уровень мощности, степень согласования ПОУ между собой и другими компонентами оптического тракта. Основными требованиями к ПОУ являются следующие: малые вносимые потери, устойчивость к внешним механическим, климатическим и другим воздействиям; высокая надежность и простота конструкции, исключая необходимость дополнительной юстировки в процессе эксплуатации.

## **Устройства ввода/вывода**

Как отмечено выше, представляют из себя соединители типа источник излучения – оптическое волокно (ИИ – ОВ) и конструируются из условий получения максимальной эффективности ввода  $\eta_{\text{вв}}$  оптического излучения, которая равна:

$$\eta_{\text{вв}} = P_{\text{ов}} / P_{\text{ии}}, \quad (2.1)$$

где  $P_{\text{ов}}$  – мощность излучения, вводимая в ОВ;  $P_{\text{ии}}$  – мощность источника излучения.

Потери при вводе/выводе излучения в ОВ, в разъемных и неразъемных и других ПОУ могут быть оценены и величиной вносимого затухания, под которым понимается соотношение вида:

$$A_{\text{вн}} = 10 \lg(P_{\text{вх}} / P_{\text{вых}}), \quad (2.2)$$

где  $P_{\text{вх}}$  – мощность оптического излучения на входе ПОУ и  $P_{\text{вых}}$  – мощность оптического излучения на выходе ПОУ.

Вносимое затухание обусловлено поглощением, рассеянием и отражением (степенью согласования) оптических волн в месте соединения. Степень согласованного ввода/вывода излучения в месте соединения определяется коэффициентом отражения  $\rho_{\text{отр}}$ , под которым понимается величина:

$$\rho_{\text{отр}} = \sqrt{P_{\text{отр}} / P_{\text{пад}}}, \quad (2.3)$$

где  $P_{\text{отр}}$  и  $P_{\text{пад}}$  – мощности отраженной и падающей волны соответственно. При полном согласовании  $P_{\text{отр}} = 0$  и коэффициент отражения  $\rho_{\text{отр}} = 0$ .

Конструкция устройств ввода/вывода определяется как характеристиками источников и приемников оптического излучения, так и оптического волокна.

Эффективность ввода излучения зависит от диаграммы направленности источника излучения, площади излучения, диаметра сердцевины ОВ, их взаимной апертуры.

Для источников излучения на основе светоизлучающих диодов (СИД) возможен большой разброс яркости и площади излучения (типичные значения 0,2... 5,6 мм<sup>2</sup>). Для СИД высокой яркости и малой площади излучения возможно непосредственное, как лазерных (инжекционных) диодов (ЛД) к ОВ в стык.

Потери на ввод излучения в многомодовое ОВ приближенно могут быть оценены по формуле

$$A_{\text{вв}} = 10 \lg(1/\eta) + 10 \lg(1/\rho) + A_{\text{и}}, \quad (2.4)$$

где  $10\lg(1/\eta)$  – затухание эффективности ввода,  $10\lg(1/\rho)$  – затухание отражения и  $A_n$  – потери на излучение на длине установления стационарного состояния мод, дБм.

Наилучшее и стабильное согласование источника излучения с многомодовым ОВ достигается за счет покрытия поверхности источника излучения четвертьволновым слоем соответствующим подбором его коэффициента преломления.

Проблема создания устройств ввода оптического излучения от лазерных диодов в одномодовое ОВ значительно сложнее. Большое значение имеют методы изготовления высокопрецизионных микрокомпонентов, их юстировка и фиксация в требуемом положении и обеспечении этого положения в процессе эксплуатации. Высокая эффективность достигается за счет применения как дискретных микролинз (сферические линзы, граданы), так и линз, изготовленных непосредственно на торцах ОВ.

Устройства ввода оптического излучения от ОВ в фотодетектор (ОВ – ФД) не представляют особых конструктивных сложностей по сравнению с устройствами ввода ИИ – ОВ, так как числовая апертура ( $NA$ ) и диаметр рабочей – светочувствительной площади ФД больше, чем соответствующие величины ОВ. У большинства применяемых ФД такие параметры, как чувствительность (квантовый выход)

Время нарастания и спада фототока, шумовые свойства, дробовый и темновой токи мало отличаются в различных точках светочувствительной площадки. Поэтому незначительная разъюстировка разъема, как правило, не влияет на параметры устройства ввода/вывода.

Однако процесс стыковки ОВ с ФД сопровождается посторонним излучением и изменением светочувствительности по активной поверхности фотодиода, которые могут вызвать паразитную модуляцию сигнала и дополнительные шумы.

Эффективность устройств ввода/вывода оптического излучения можно значительно повысить использованием дополнительной оптики (обычно увеличительных линз) между торцом ОВ источником излучения или фотоприемником. Линзы помещаются между торцом ОВ для того, чтобы примерно уравнивать эффективное значение апертуры источника и ОВ. Допуская отсутствие потерь в линзах и пространстве между источником и ОВ, линзой и ОВ или ФД и ОВ, можно так подобрать линзу, что теоретически весь поток лучей источника будет сфокусирован на торцах – ОВ или на светочувствительной поверхности ФД.

При использовании линз для снижения потерь ввода возникают проблемы согласования. Если диаметр излучающей поверхности источника излучения сравнительно велик, то диаметр сердцевины ОВ по сравнению с ним необходимо увеличить пропорционально отношению максимальных углов излучения источника и захвата света ОВ. Это отношение обычно составляет величину равную 5.



Например, для достижения оптимального ввода с линзой при диаметре излучающей площадки источника 20 мкм минимальный диаметр сердцевины ОВ должен составлять 100 мкм.

Потери на отражение при вводе/выводе можно свести к минимуму использованием эпоксидной смолы с подобранным показателем преломления между излучающей поверхностью источника и линзой, между линзой и ОВ. Используя подходящую линзовую систему и просветляющие покрытия торца ОВ и источника излучения можно достичь потерь устройств ввода/вывода не более 2 дБ.

Одно из возможных устройств ввода оптического излучения является коническое устройство, рис. 2.1.

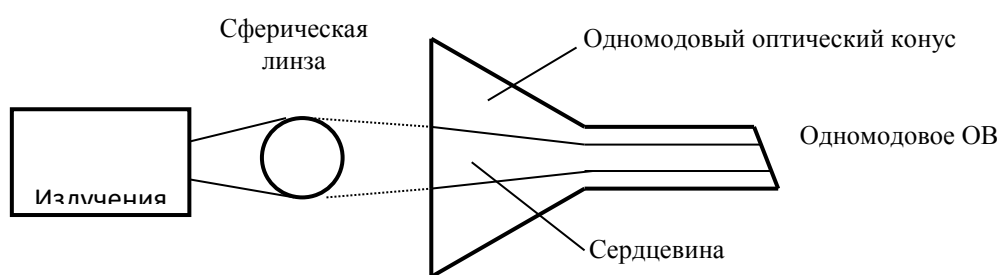


Рисунок 2.1 – Устройство ввода излучения

При больших диаметрах торцевой поверхности конуса (1...2 мм) могут возникнуть моды высших типов. С целью их исключения между торцом конуса и источником излучения (лазером) вводится фазокорректирующий элемент – сферическая линза. Такое устройство обладает эффективностью ввода порядка 1,6...2,6 дБ.

### Оптические соединители – ОС

Из всего многообразия ОС рассмотрим разъемные и неразъемные соединители, предназначенные для соединения двух ОВ. Основные требования к ОС следующие:

- малые вносимые потери, т. е. установка ОС не должна приводить к значительным потерям мощности оптического излучения;
- устойчивость к внешним механическим, климатическим и другим воздействиям, высокая надежность и простота конструкции;
- простота установки, т. е. ОС должны легко и быстро устанавливаться, не требуя дорогостоящего оборудования и длительного обучения технического персонала;

- надежность: ОС должен гарантировать многократное подключение и отключение без изменения вносимых потерь;
- параметры ОС должны соответствовать техническим условиям вне зависимости от времени его установки;
- экономичность: цена ОС и оборудования для их установки должна быть невысокой.

Потери в ОС в основном возникают по следующим причинам:

– Производственными допусками на воспроизводимость конструктивных параметров ОВ: несовпадение апертуры соединяемых ОВ (рис. 2.2, а), несовпадения диаметров сердцевины ОВ (рис. 2.2, б), невыполнения концентричности ОВ (рис. 2.2, в), эллиптичности сердцевины ОВ (рис. 2.2, г) и несовпадения диаметров оболочек ОВ (рис. 2.2, д).

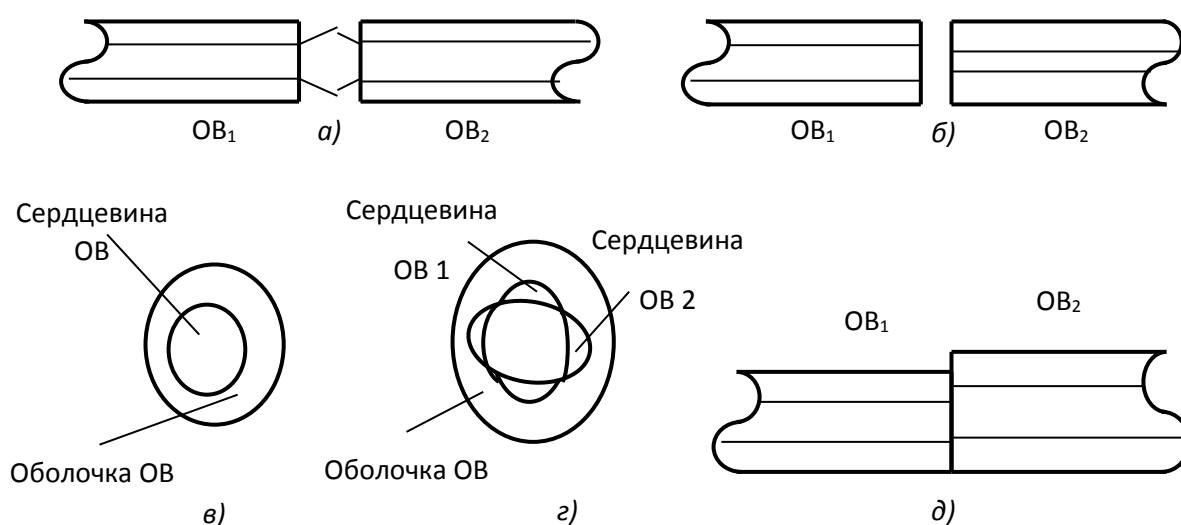


Рисунок 2.2 – Потери в оптических соединителях

Типичные допустимые отклонения (допуски) конструктивных параметров современных ОВ приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1.

Параметр	Допуск
Диаметр сердцевины (62,5 мкм)	$\pm 3$ мкм

Диаметр оболочки (125 мкм)	$\pm 2$ мкм
Апертура (0,275)	$\pm 0,015$
Концентричность	$\leq 3$ мкм
Эллиптичность сердцевины	$\geq 0,98$
Эллиптичность оболочки	$\geq 0,98$

– Потери из-за несовпадения апертуры соединяемых ОВ (рис. 2.2,*а*) могут быть рассчитаны по формуле:

$$A_{NA} = 10 \lg(N_{A_1} / N_{A_2}) \text{ для } N_{A_1} > N_{A_2} \quad (2.5)$$

– Потери из-за несовпадения диаметров сердцевин соединяемых ОВ (рис. 2.2,*б*) равны:

$$A_d = 10 \lg(d_1 / d_2) \text{ для } d_1 > d_2, \quad (2.6)$$

где  $d_1$  и  $d_2$  диаметры ОВ<sub>1</sub> и ОВ<sub>2</sub> соответственно.

Возможны дополнительные потери из-за несовпадения индексов, определяющих профиль показателя преломления для  $g_2 > g_1$ :

$$A_g = 10 \lg \left[ \frac{g_2 (g_2 + 2)}{g_1 (g_1 + 2)} \right], \quad (2.7)$$

### Оптические потери

Они вызваны отражением излучения от торца ОВ из-за несоответствия показателей преломления сердцевины ОВ и среды в зазоре между торцами (френелевские отражение или потери). Эти потери определяются по формуле:

$$A_F = 10 \lg \frac{1}{1 - 2 \left( \frac{n_1 - n}{n_1 + n} \right)^2}, \quad (2.8)$$

где  $n_1$  и  $n$  – показатели преломления сердцевины и среды между торцами ОВ соответственно.

По принципу организации соединения двух ОВ оптические соединители подразделяются на две группы. Первая группа реализуется на основе соединения ОВ с помощью микролинз (например, сферических рис. 2.3). Излучение, выходящее из ОВ, преобразуется сферической линзой Л1 в коллимированный луч и затем с помощью фокусирующей линзы (возможно применение градиентных стержневых – градианов, обеспечивающих потери на поглощение не более 0,05 дБ, или трехмерных линз Л2) вводится в другое ОВ (из одной строительной длины ОК в другую).

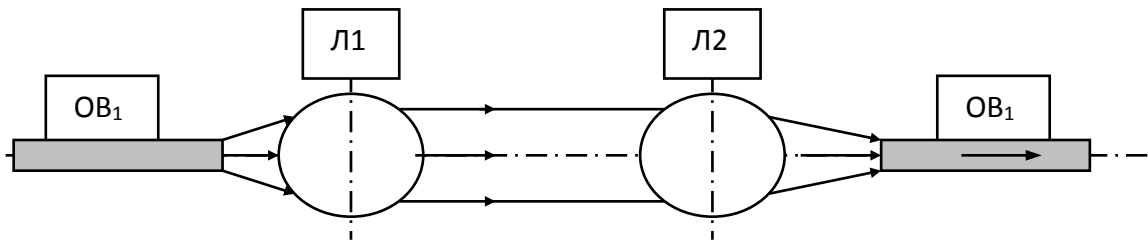


Рисунок 2.3 – Оптический соединитель на основе сферических линз

### **Оптические потери в таком соединении (ОВ<sub>1</sub> – Л1 – Л2 – ОВ<sub>2</sub>)**

Они определяются оптическими свойствами микролинз, взаимным расположением всех элементов и потерями, указанными выше.

Для обеспечения малости потерь необходимо, чтобы числовая апертура микролинзы была больше числовой апертуры соединяемых ОВ, диаметр фокального пятна был как можно меньше (2... 10 мкм), а оптические потери в материале на заданной длине волны не превышали десятых долей децибела.

### **Потери, определяемые смещением ОВ**

Могут возникать, при их торцевом соединении. При соединении ОВ с одинаковыми номинальными размерами сердцевин, оболочки и одинаковым распределением показателей преломления по радиусу ОВ наиболее эффективным является соединение торец в торец (торцовое соединение). При таком соединении ОВ необходимо обеспечить строгую со-осность, т. е. ОВ в соединителе должно размещаться вдоль его центральной оси. Если центральная ось одного ОВ не совпадает с центральной осью другого ОВ, т. е. имеет место радиальное смещение ОВ, сопровождающееся потерями  $A_{pc}$ .

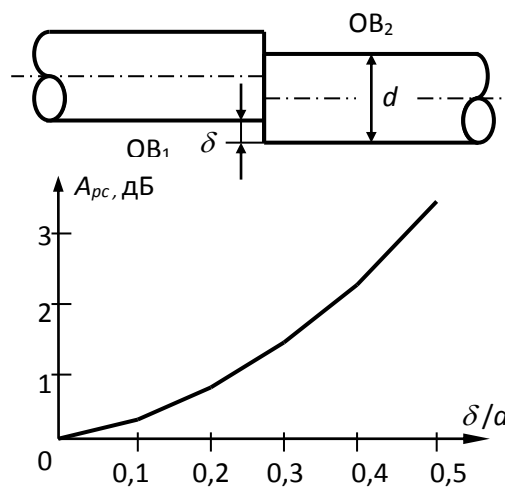


Рисунок 2.4 – К потерям радиального смещения

Коэффициент передачи мощности оптического излучения от одного ОВ к другому в идеальном случае при:

– отсутствии радиального смещения равен  $K_u = 1$ . В случае радиального смещения  $K_{pc} = 1 - \delta/d$ , величина потерь определится по формуле:

$$A_{pc} = 10 \lg \frac{1}{K_{pc}} = 10 \lg \frac{1}{1 - \delta/d}, \text{ дБ} \quad (2.9)$$

На рис. 2.4 показана зависимость этих потерь от соотношения абсолютной величины смещения  $\delta$  к диаметру  $d$  волокна.

Соединение двух ОВ, разделенных небольшим зазором (рис. 2.5), сопровождается потерями осевого смещения, которые подразделяются на два вида. Первый – это френелевское отражение, связанное с разницей показателей преломления ОВ и среды зазора (обычно воздуха). Это отражение имеет место как на выходе из ОВ<sub>1</sub>, так и на входе ОВ<sub>2</sub>. Френелевские потери составляют около 0,34 дБ и могут быть существенно снижены при использовании в зазоре эпоксидной смолы с выбранным показателем преломления, близким к показателю преломления ОВ.

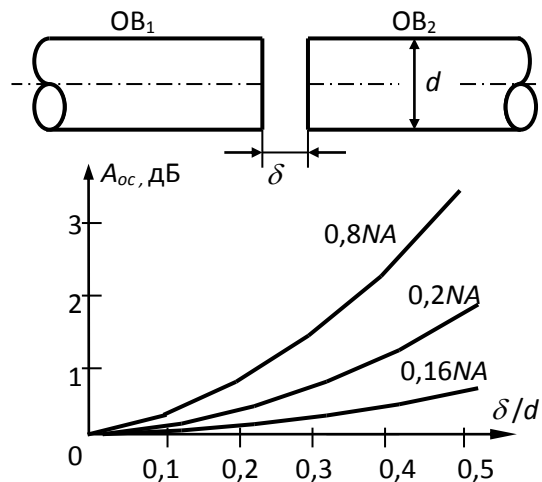


Рисунок 2.5 – К потерям осевого смещения

Второй вид потерь в многомодовых ОВ связан с потерей мод высокого порядка при прохождении излучением зазора и на входе в сердцевину второго ОВ. Свет, выходящий из ОВ<sub>1</sub>, распространяется в некотором конусе. Величина потерь  $A_{oc}$ , связанных с этим эффектом, зависит от величины  $NA$ . ОВ с большим значением  $NA$  не допускает столь большого зазора между

ОВ при том же уровне потерь, что и ОВ с меньшим значением  $NA$ . Потери при наличии осевого смещения равны:

$$A_{oc} = 10 \lg \frac{1}{1 - \delta \operatorname{tg} \theta / 2d}, \text{ дБ}, \quad (2.9)$$

где  $\theta$  – апертурный угол,  $d$  – диаметр ОВ.

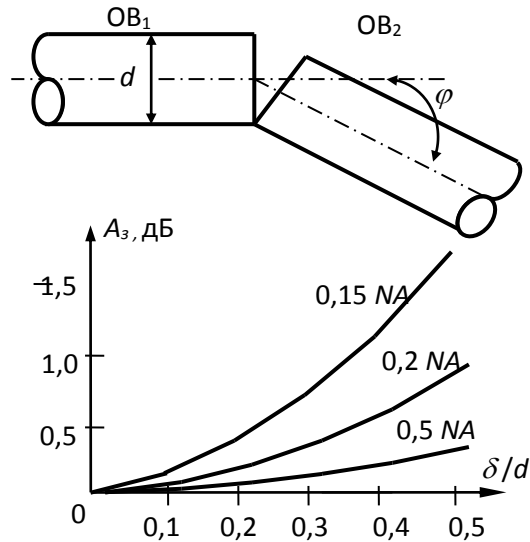


Рисунок 2.6 – К потерям углового смещения

Потери, представленные на рис. 6, связаны с угловым смещением ОВ относительно друг друга. Снова, как и ранее, уровень потерь определяется апертурой  $NA$  оптического волокна. Отметим, что влияние апертуры  $NA$  в данном случае противоположно эффекту наличия зазора между ОВ.

Величина потерь для такого соединителя равна:

$$A_z = 10 \lg \frac{1}{1 - \varphi / \theta}, \text{ дБ}, \quad (2.10)$$

где  $\varphi$  – угол смещения.

Исследования и практика показывают, что наиболее жесткие требования предъявляются к радиальному и – угловому смещениям. Наличие зазора между торцами ОВ влияет на дополнительные потери существенно меньше.

### Разъемные соединители – РС.

Конструкции РС весьма разнообразны, но условно могут быть сведены к двум типам.

Симметричные штекерные РС. В конструкции таких РС

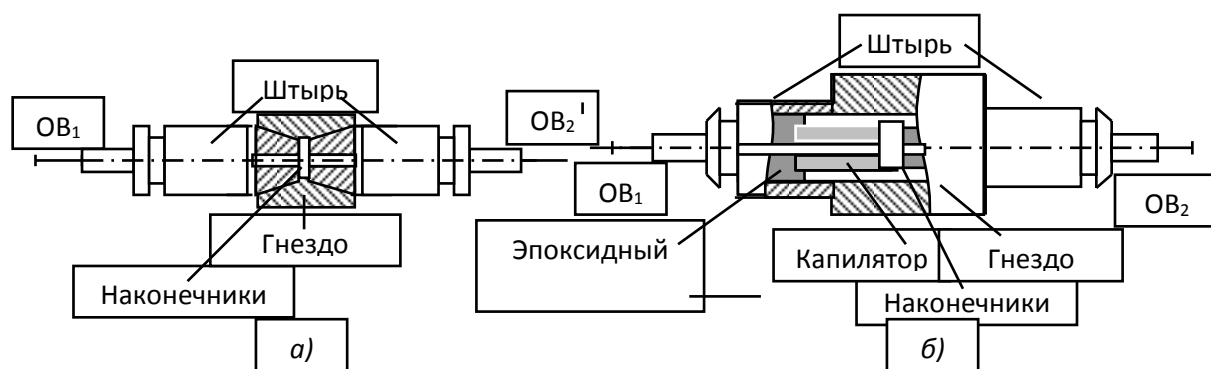


Рисунок 2.7 – Симметричные разъёмные соединители

На концах соединяемых волокон монтируют два одинаковых штыря. Гнездо соединителя не содержит оптических деталей (рис. 2.7,а) и служит лишь направляющим устройством, в которое с двух сторон симметрично входят штыри. В гнездо и штыри вставляют заранее подготовленные концы ОВ, зафиксированные в стальных или стеклянных трубках (капеллярах), которые надевают на оболочку ОВ, образуя оптический наконечник. Торцы ОВ тщательно зачищают, шлифуют и полируют. После выполнения операции соединения сопрягаемые поверхности плотно соприкасаются друг с другом, а торцы волокон оказываются разделенными очень небольшим зазором.

Несимметричные штекерные РС (рис. 2.8). Конструкция несимметричного штекерного соединителя состоит из двух частей: вилочной (штыря) и розеточной (гнезда). Все остальные элементы конструкции аналогичны симметричному штекерному РС.

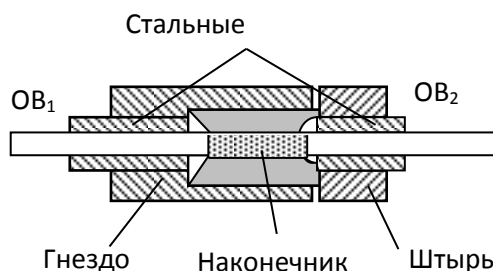


Рисунок 2.8 – Несимметричный разъёмный соединитель

Точность взаимного расположения торцов ОВ обеспечивается сопрягаемыми поверхностями гнезда и штырей. Для фиксации положения вилочной и розеточной частей в обоих типах соединителей используются гайки с накаткой, накручиваемые на поверхность розеточной части, имеющей резьбу (на рис. 2.7 и 2.8 не показано). Средние потери, вносимые такими РС, составляют 0,5...1 дБ,



что достигается прецизионной технологией обработки деталей. Недостатком их является необходимость юстировки и ее контроль.

В большинстве соединителей для поддержания ОВ вдоль оптической оси используются специальные наконечники. Широкое применение находят керамические наконечники, позволяющие достичь высокого качества, и наиболее предпочтительны для одномодовых ОВ. Керамика достаточно прочный материал, позволяющий высверлить отверстия под ОВ с высокой точностью. Кроме того, она обладает высокими температурными и механическими свойствами, которые практически не изменяются при изменении внешних условий.

Для наконечников используются два вида керамик: окись алюминия и окись циркония. Недостатком окиси алюминия является его хрупкость и разрушение при незначительных давлениях, кроме того, полировка окиси алюминия достаточно сложна. Окись циркония – более мягкий вид керамики и более устойчив по отношению к механическим воздействиям. Он к тому же достаточно прочен и позволяет выдерживать допуски подобно окиси алюминия, но, в отличие от нее, значительно легче полируется.

Находят применение и пластиковые наконечники, стоимость которых значительно ниже керамических, но они обеспечивают менее качественное соединение. Наконечники из нержавеющей стали имеют промежуточные характеристики. Их популярность объясняется прочностью и меньшей хрупкостью по сравнению с керамикой.

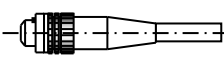
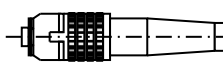
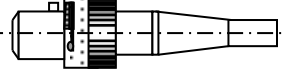
Наиболее популярный размер наконечника равен 2,5 мм в диаметре, что фактически стало стандартом.

Первым соединителем, основанном на 2,5 мм керамическом наконечнике, был соединитель типа FC (Fiber optic Connector). В этом РС применялись корпуса с резьбой, обеспечивающие надежное соединение даже при наличии вибраций, но неудобное при быстром разъединении. Необходимо несколько раз повернуть резьбовую головку, прежде чем соединение разомкнется или восстановится.

В этих соединителях использовались также головки с проворачиваемыми фиксаторами, что обеспечивало при малом повороте фиксатора обеспечить точное попадание наконечника в одно и то же положение внутри соединителя.

Любой тип FC имеет как одномодовый, так и многомодовый варианты. Многокомпонентная конструкция соединителя FC допускает азимутальное вращение в процессе оконцевания ОВ, что позволяет достигать потерь менее 0,2 дБ. В первых FC соединителях использовали наконечники с плоскими гранями, но позднее стали применять вставки со скругленной внешней поверхностью, что снижает влияние обратного отражения.

Таблица 2.2

Внешний вид					
Стандарт	FC	SC		ST	
Обозначения	FC/PC	SC MM	SC SM	ST MM	ST SM
Физические характеристики					
Тип соедине-	Резьба	Защелка с		Байонетная фиксация	

Соединитель типа ST используется в первую очередь для одномодовых и многомодовых применений, его моноблочная конструкция (корпус из никелированной латуни) отличается быстрорасчлняемым штырьковым механизмом фиксации соединения. Он широко используется в локальных сетях, внутренних кабельных системах, тестовом и измерительном оборудовании и т. д.

Соединитель ST-типа производится в нескольких модификациях: с керамической, стальной или пластиковой насадкой. Потери соединения не превышают 0,3 дБ для керамической версии и 0,7 дБ для пластиковой.

Большое распространение в последнее время получили соединители SC (Subscriber Connector – подключаемый соединитель)-типа, использующие защел-

квивающийся механизм для соединения. Соединители этого типа предусматривают защиту от случайных механических воздействий и находят применение в современных глобальных телекоммуникационных системах, и составляет заметную конкуренцию соединителям ST-типа в локальных сетях, внутренних кабельных системах и аналогичных областях применения. Рекомендуются для многомодовых и одномодовых ОВ. Одним из положительных качеств соединителя ST-типа является простота конструкции многоволоконных подключений, основанных на много позиционном адаптере или клипсах, объединяющих корпус двух и более вилок.

Малогабаритным вариантом соединителя ST-типа является соединитель LC-типа для одномодовых и многомодовых ОВ, конструкция которого выполнена на пластмассовой основе. Наконечник изготавливается из керамики и имеет диаметр 1,25 мм.

Основные параметры рассмотренных разъемных соединителей приведены в табл. 2.2.

### **Неразъемные оптические соединители – НРС.**

Эти соединители обеспечивают минимально возможные оптические потери, так как в них нет френелевских потерь, а также потерь, вызванных перпендикулярностью, кривизной поверхности или качеством обработки торцов. Они жестко фиксируют друг с другом два ОВ и разделяются на два типа: сварные и сплавленные неразъемные соединители, где сращивание ОВ осуществляется электрической дугой и механические неразъемные соединители, где сращивание ОВ осуществляется методами склеивания.

Сварные соединители позволяют добиваться очень точного, контролируемого компьютером взаимного расположения ОВ, что в свою очередь, определяет их чрезвычайно низкие потери на уровне 0,05 дБ. Поскольку установка таких соединителей сопровождается расплавлением волокон, то полностью исчезает проблема обратного отражения. Основным недостатком сварных неразъемных соединителей является высокая стоимость оборудования. Тем не менее, сварные НРС продолжают широко применяться там, где существуют строгие ограничения на уровне допустимых потерь.

В сварных НРС всегда обеспечивается защита места сварки с помощью лаков или клеев от внешних воздействий. После сварки прочность ОВ снижается приблизительно на 30% в результате термического удара, поэтому в соединителях применяют упрочающие элементы (металлические и керамические стержни).

Широкое распространение получил электродуговой метод сплавления ОВ сваркой из-за простоты регулирования теплового режима и возможности проведения сплавления в полевых условиях. Эта технология хорошо отработана, обеспечивает потери не более 0,1...0,2 дБ для много и одномодовых соединителей. Ее недостатком является применение открытого огня, что не всегда позволяет использовать эту технологию при изготовлении соединителей в помещениях с

повышенными пожаро и взрывоопасностью, а также возможным нарушением при сплавлении структуры ОВ.

Структура неразъемного соединителя механического типа на основе склеивания представлена на рис. 2.9.

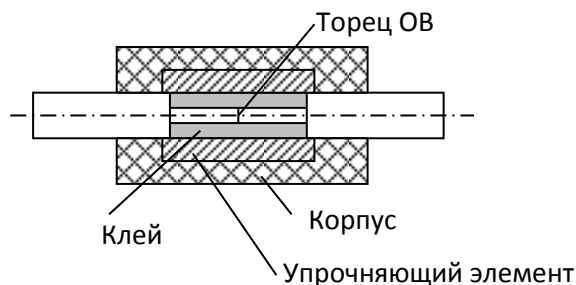


Рисунок 2.9 – Механический неразъемный соединитель

При изготовлении таких соединителей методом склеивания выполняются те же технологические операции, что и при изготовлении сварных соединителей, но склеивание осуществляется в юстировочном элементе.

На оптические потери в таких неразъемных соединителях влияют только радиальное и угловое смещения. Для многомодовых ОВ со стандартной геометрией склеивание обеспечивает оптические потери в пределах  $0,1 \dots 0,3$ .

Методы плавления и склеивания позволяют смонтировать неразъемный соединитель в любой области применения и обеспечить при этом малые оптические потери и малую чувствительность к внешним воздействиям.

### 2.2.2 Оптические разветвители и ответвители

Для распределения оптических сигналов по нескольким направлениям (например, для контроля параметров ВОСП, организации двусторонней связи по одному ОВ и т. п.) или, наоборот, для их объединения требуются устройства, позволяющие осуществлять эти операции, т. е. рода различного оптические разветвители и ответвители.

#### Оптический разветвитель

Она представляет собой пассивное многополюсное (или многопортовое) устройство, в котором оптическое излучение, подаваемое на часть входных полюсов разветвителя, распределяется между его остальными полюсами. Полюсом (или портом) называется входная или выходная точка ввода/вывода оптического излучения. На рис. 2.10 представлена схема четырехполюсного разветвителя вида X (или симметричного разветвителя типа  $2 \times 2$  – 2 входа и 2 выхода), где

стрелками показаны возможные направления излучения внутри него. Оптическое излучение, вошедшее через полюс (порт) 1, может выходить через полюса 2 и 3.

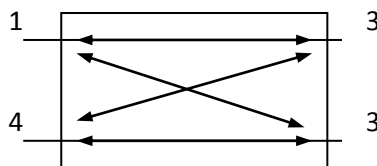


Рисунок 2.10 –Разветвитель X-типа (2x2)

При этом в идеальном случае оптическое излучение не должно поступать на полюс 4. Аналогично, излучение, введенное через полюс 4, может выходить только через полюсы 2 и 3, но не через полюс 1.

Изображенный разветвитель является пассивным и двунаправленным. Полюса 1, 4 могут быть входными, а полюса 2, 3 – выходными. В двунаправленном разветвителе каждый полюс может работать как на прием излучения, так и на его передачу. Группы приемных и передающих полюсов могут меняться местами в функциональном смысле, т. е. возможно обратное распространение излучения и изменение роли полюсов.

Находят широкое применение направленные и спектрально-селективные разветвители. Коэффициенты передачи между оптическими полюсами направленных разветвителей зависят от направления оптического излучения, а спектрально-селективных – от длины волны оптического излучения.

Несимметричные (или Y-образные) разветвители типа 1x2 (1 вход и 2 выхода), необходимы для ответвления заданной мощности оптического излучения, называются ответвителями.

Различают следующие типы разветвителей: древовидный, звездообразный и ответвитель.

### ***Древовидный разветвитель***

Изображенный на рис. 2.11, а, осуществляет разделение одного потока излучения на несколько выходных, или выполняет обратную функцию – объединение несколько потоков оптического излучения в один выходной поток. Коэффициенты передачи такого распределителя от полюса а к полюсам 1,2,... n равны.

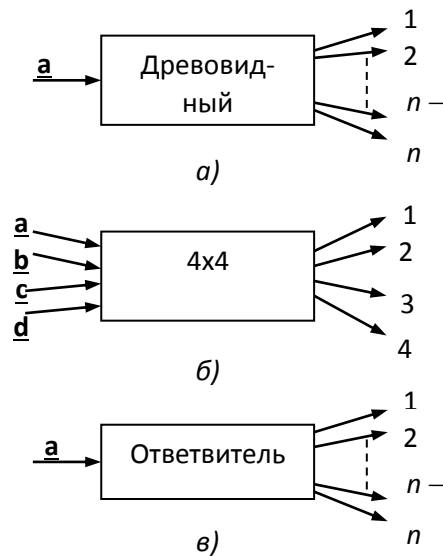


Рисунок 2.11 –Типы разветвителей

Конфигурация полюсов разветвителя обозначается как  $n \times m$ , где  $n$  – число входных полюсов (для древоподобного разветвителя  $n = 1$ ),  $m$  – выходных полюсов, когда устройство работает в режиме деления потока оптического излучения. Число выходных полюсов лежит в пределах от 2 до 256. Древоподобные разветвители, как правило, полностью двунаправленные.

### Звездообразный разветвитель

Предназначен (рис. 2.11, б) для распределения мощности от нескольких источников оптического излучения к нескольким приемникам. Такой разветвитель обычно имеет одинаковое число входных и выходных полюсов. Оптическое излучение поступает

на один из входных полюсов и в равной степени распределяется между выходными полюсами. Обычно входные полюса разветвителя обозначаются латинскими буквами, а выходные – арабскими цифрами.

Большое распространение получили разделители типа 2x2 и 4x4. Звездообразные разветвители распределяют мощность в равной степени между всеми выходными полюсами.

Ответвитель – это обобщение древоподобного разветвителя, когда выходная мощность распределяется необязательно в равной пропорции между выходными полюсами (рис. 2.11, в). Конфигурации ответвителей бывают 1x2, 1x3, 1x4, 1x5, 1x6, 1x8, 1x16, 1x32. Некоторая часть (меньше 50%) выходной мощности идет на канал (каналы) ответвителя, в то время как большая часть остается в магистральном канале. Выходные полюса ответвителя нумеруются в порядке убывания мощности.

### **Основные параметры оптических разветвителей-ответвителей и требования к ним.**

Основными параметрами устройств распределения оптического излучения – разветвителей (ответвителей), являются:

1) вносимое затухание, под которым понимается соотношение вида:

$$A_{\text{вн}} = 10 \lg(P_1 / P_{3(2)}), \quad (2.11)$$

где  $P_1$  – мощность оптического излучения на полюсе 1, а  $P_{3(2)}$  – мощность оптического излучения на оптическом полюсе 3 (2);

2) коэффициент направленности, характеризующий переходное затухание между входными полюсами:

$$A_n = 10 \lg(P_1 / P_4), \quad (2.12)$$

здесь  $P_4$  – мощность оптического излучения на оптическом полюсе 4 при подаче мощности  $P_1$  на оптический полюс 1;

3) избыточные потери, определяемые соотношением вида:

$$A_{\text{ин}} = 10 \lg P_1 [(P_2 + P_3)], \quad (2.13)$$

где  $P_2 + P_3$  – сумма мощностей оптического излучения на оптических полюсах 2 и 3 при подаче излучения мощностью  $P_1$  на оптический полюс 1.

Избыточные потери возникают из-за того, что разветвитель не является идеальным устройством. Потери происходят внутри ОВ в разветвителе благодаря наличию рассеяния, поглощения и отражения и просто плохой изоляции. В идеальных разветвителях сумма выходных мощностей равно входной, т. е.  $P_2 + P_3 = P_1$ . В реальном разветвителе сумма выходных мощностей всегда меньше входной.

Избыточные потери не включают в себя потери, связанные с подключением ОВ к полюсам. Более того, так как у большинства разветвителей производится подключение ОВ ко всем полюсам, дополнительные потери могут возникнуть из-за рассогласования диаметров и апертуры НА.

Входная мощность должна разделяться между двумя выходными полюсами. Разделительное отношение разветвителя равно отношению мощностей, выходящих через сквозной и заглушенный полюса:  $P_2/P_3$ . Типичные значения отношений равны 1:1, 2:1, 3:1, 6:1 и 10:1.

Для разветвителя (ответвителя) Y-типа (древовидный разветвитель типа 1x2) вносимое затухание и избыточные потери определяются аналогичными соотношениями, а коэффициент направленности равняется  $A_n = 10 \lg(P_2 / P_3)$ , где

$P_3$  – мощность оптического излучения на оптическом полюсе 3 при подаче излучения мощностью  $P_2$  на оптический полюс 2.

Требования, предъявляемые к разветвителям-ответвителям, следующие:

– малые вносимые потери, которые в лучших образцах разветвителей типа 1x2 и 2x2 составляют около 0,1 дБ;

– большой коэффициент направленности, характеризующий высокое переходное затухание (изолированность) между направленными потоками излучений и составляющей для большинства разветвителей для большинства разветвителей величину  $> 55$  дБ;

– минимальное отклонение от заданного коэффициента ответвления, характеризующее степень равномерности или требуемой неравномерности деления вводимой мощности излучения (значения отклонения, как правило, нормируются);

– сохранение заданных параметров в зависимости от ширины спектра вводимого излучения, отклонение может составлять  $\pm 40$  нм;

– сохранение модового состава распространяющегося излучения для многомодовых разветвителей и состояние плоскости поляризации одномодовых разветвителей.

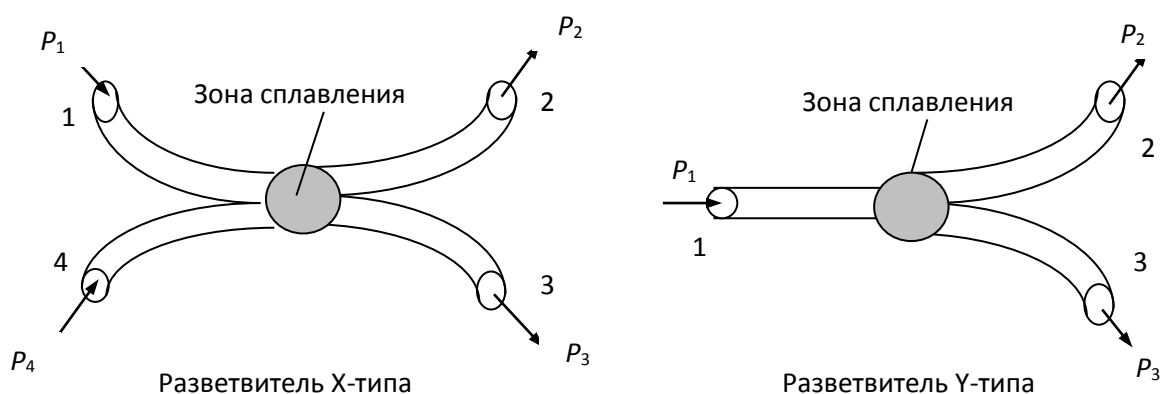


Рисунок 2.12 – Направленные разветвители

Наиболее полно этим требованиям отвечают сплавные (сварные) разветвители, в которых оптические волокна, образующие входные и выходные полюса, сплавляются в монолитную конструкцию. Направленные сплавные разветвители X и Y-типов представлены на рис. 2.13.

Многомодовые разветвители изготавливаются из многомодового градиентного ОВ типа 50/125 и 62,5/125, удовлетворяющего рекомендациям МСЭ-Т G.651. Одномодовые разветвители изготавливаются из одномодового ОВ типа 9/125, удовлетворяющего рекомендациям МСЭ-Т G.652.



При выборе типа ОВ для разветвителя-ответвителя, прежде всего необходимо учитывать тип ОВ в основном оптическом канале, в котором они устанавливаются, т. к. средний диаметр модового поля ОВ может отличаться более чем на 10%.

Технология изготовления сплавных (сварных) разветвителей-ответвителей такова:

- сначала осуществляется предварительная подготовка к сплавлению волокон, включающая в себя удаление с волокон внешнего защитного акрилатного покрытия механическим способом на коротком участке, тщательная очистка и обеспечение плотного контакта между ними, что можно сделать, например, скручиванием волокна;

- далее следует фиксирование подготовленных ОВ на устройстве, обеспечивающем их растяжение в процессе сварки;

- затем производится электродуговая сварка (сплавление) ОВ в местах их наибольшего взаимного контакта, например, в точке скрутки, при этом ОВ плавятся в однородную массу и вытягиваются, образуя (конструктивно) биконическое соединение с монолитной оптической средой, проходя через которую из сердцевины любого ОВ выходных полюсов может проходить на выход через сердцевины других концов ОВ. Таким образом формируется неразъемное соединение ОВ в разветвителях Х-типа (2x2), обеспечивающее заданное распределение выходной мощности.

Из-за большого разброса диаметров сердцевины ОВ используются различные методы их утончения в месте их взаимного контакта, например, химическое травление плавиковой кислотой.

В процессе сварки ОВ в одно из них вводится излучение соответствующей рабочей длины волны, а на выходных полюсах устанавливаются измерители мощности. В процессе нагревания и сварки ОВ производится вытягивание нагретой зоны с образованием конических участков симметрично месту сварки (сплавления) Параметры конических участков определяют степень распределения оптической мощности между ОВ выходных полюсов. Вытягивание нагретой зоны свариваемых ОВ разветвителя-ответвителя проводят до тех пор пока не будет достигнуто требуемое относительное распределение выходной мощности, после чего процесс сварки ОВ прекращается.

На зону (место) сплавления ОВ разветвителя-ответвителя наносится защитное покрытие. Затем эта зона закрепляется в кварцевой трубке или на кварцевой подложке и герметизируется эпоксидным компаундом. По завершению процесса упрочнения места сплавления образуется сплавной модуль длиной 40...50 мм и диаметром 2,5...4 мм с волокнами полюсов требуемой длины, имеющими защитное покрытие толщиной 0,25 мм.

Разветвитель Y-типа (1x2) изготавливается из разветвителя Х-типа (2x2) путем укорочения ОВ одного из полюсов и оплавления его конца так, чтобы свести

до минимума отражение. Все другие конфигурации разветвителей изготавливаются из этих типов путем наращивания ими же полюсов в зависимости от требуемой конфигурации разветвителя.

Сплавная (сварная) технология позволяет изготовить разветвители-ответвители, обладающие следующими важными достоинствами:

- высокой однородностью и, следовательно, стабильностью параметров;
- механической прочностью, что обеспечивает их высокую надежность;
- относительно малыми размерами сплавного модуля разветвителя-ответвителя.

Помимо сплавных разветвителей находят применение разветвители с цилиндрическими градиентными линзами (рис. 13).

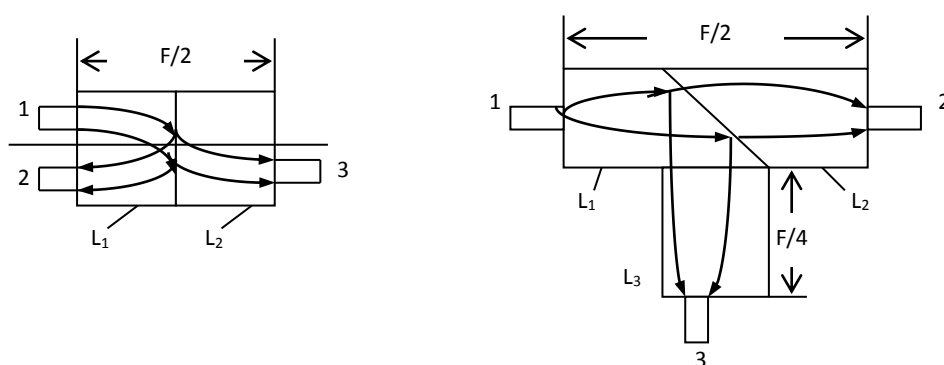


Рисунок 2.13 – Разветвители на цилиндрических градиентных линзах

Цилиндрическая градиентная линза представляет собой отрезок градиентного ОВ с параболическим профилем показателя преломления. Однако в отличие от обычного ОВ она имеет больший диаметр (порядка 1...2 мм) и не имеет оболочки. Распределение показателя преломления цилиндрической градиентной линзы в радиальном от оси направлении задается параметром  $g$ , который называется *степенью фокусировки* и определяется выражением

$$n(r) = n_0 [1 - 0,5(gr)^2], \quad (2.14)$$

где  $n_0$  – показатель преломления на оси.

Ход лучей, распространяющихся в такой линзе при осевом и не осевом падении луча, приведен на рис. 13. Синусоидальная траектория распространения лучей имеет период  $F = 2\pi/g$ , называемый шагом или фокусным расстоянием линзы. Изменяя параметр  $g$ , можно управлять фокусным расстоянием. Плоские торцы цилиндрической градиентной линзы позволяет строить на ее основе разнообразные механически прочные и компактные оптические устройства, например, согласующие соединители для передачи излучения от лазерного диода в ОВ, разветвители и др.

### 2.2.3. Оптические спектрально-селективные разветвители

Разветвители такого типа находят широкое применение в ВОСП со спектральным разделением каналов, в одноволоконных двухполосных системах передачи технологии пассивных оптических сетей. Спектрально-селективные разветвители (ССР) строят в основном с использованием интерференционных фильтров и дифракционных решеток.

#### Разветвитель на дифракционной решетке

Они показаны на рис. 2.14. К цилиндрической градиентной линзе с одной стороны через призму-вставку (не является здесь диспергирующим элементом) приклеена дифракционная решетка, а с другой стороны – оптическое волокно. Плоская поверхность линзы позволяет приклеить внешние элементы, обеспечив тем самым жесткость конструкции.

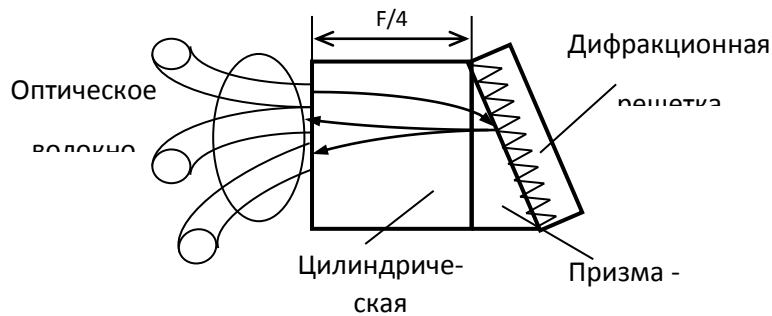
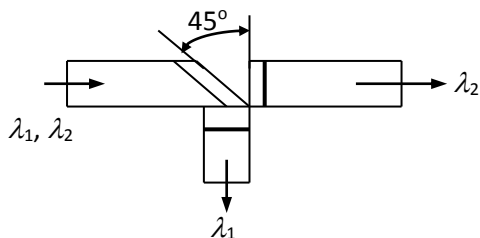


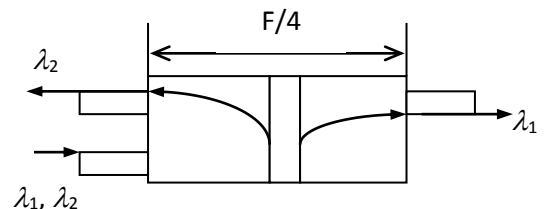
Рисунок 2.14 – Разветвитель на дифракционной решетке

#### Разветвитель на интерференционных фильтрах

Он представляет трехполосный делитель – непоглощающий интерференционный фильтр, состоящий из трех отрезков ОВ и работающий при углах падения  $45^\circ$ , с тем, чтобы можно было использовать как передаваемый, так и отраженный лучи света, рис. 2.15.



Разветвитель из трех отрезков ОВ



Разветвитель на основе градиентных линз

Рисунок 2.15 – Спектрально-селективные разветвители

В конструкции разветвителя из трех отрезков ОВ для фиксации их положения на подложке имеются V-образные канавки. Торцы ОВ полированы, а их плоскости покрыты чередующимися слоями  $\text{SiO}_2$  и  $\text{TiO}_2$ , представляющими несложные интерференционные фильтры. Такие фильтры на скошенных торцах входного ОВ позволяют разделить излучение двух длин волн по направлениям, а торцах выходных ОВ – объединить излучение двух волн в одно.

Разветвители на основе градиентных линз (рис. 15) представляют собой фильтры нижних и верхних частот.

На основе изложенных принципов построения селективных разветвителей строятся мультиплексоры и демультимплексоры ВОСП со спектральным (частотным) разделением каналов. Более полно такие устройства будут рассмотрены в седьмой главе.

#### 2.2.4 Оптические изоляторы и аттенюаторы

Оптический изолятор представляет собой невзаимное устройство, которое пропускает оптическое излучение в одном направлении с малым затуханием (ослаблением) и практически не пропускают свет в обратном направлении. Изоляторы обычно используются для того, чтобы избежать попадания отраженных оптических лучей на полупроводниковый лазерный диод, так как это приводит к флуктуациям интенсивности излучения, изменению спектра излучения и возникновению дополнительных шумов в ВОСП.

Основными параметрами оптических изоляторов являются:

– затухание в обратном направлении  $A_{\text{обр}}$ , которое должно быть не менее 30 дБ;

– вентиляное отношение  $V = A_{\text{обр}}/A_{\text{пр}}$ , где  $A_{\text{пр}}$  – затухание в прямом направлении передачи оптического излучения, которое не должно превышать 1...2 дБ.;

– длина волны оптического излучения, относительно которой определяется рабочая полоса частот изолятора;

– полоса длин волн – диапазон длин волн, в котором изолятор имеет низкое затухание в прямом направлении и для которого определены параметры изолятора;

– потери, зависящие от поляризации, обусловленные тем, что спектральное функционирование изолятора зависит от входного состояния поляризации световой волны.

Известно, что такие оптические свойства, как отражение, пропускание, поляризация и др., ряда материалов при их помещении в магнитное поле изменяются в зависимости от его протяженности и напряженности. Взаимодействие магнитного поля с такими материалами называется магнитооптическим эффек-

том. Среди магнитооптических эффектов с изменением отражения или пропускания световой волны наибольшее применение нашел эффект Фарадея, а материалы, в которых этот эффект проявляется называются магнитооптическими материалами.

В магнитооптических материалах, таких как железоиттриевый гранат ( $Y_3Fe_5O_{12}$ ), помещенных в магнитное поле, происходит вращение плоскости поляризации оптического луча. Магнитное вращение плоскости поляризации обусловлено возникновением асимметрии оптических свойств материала под воздействием магнитного поля.

Зависимость вращения плоскости поляризации от длины волны оптического излучения называется вращательной дисперсией.

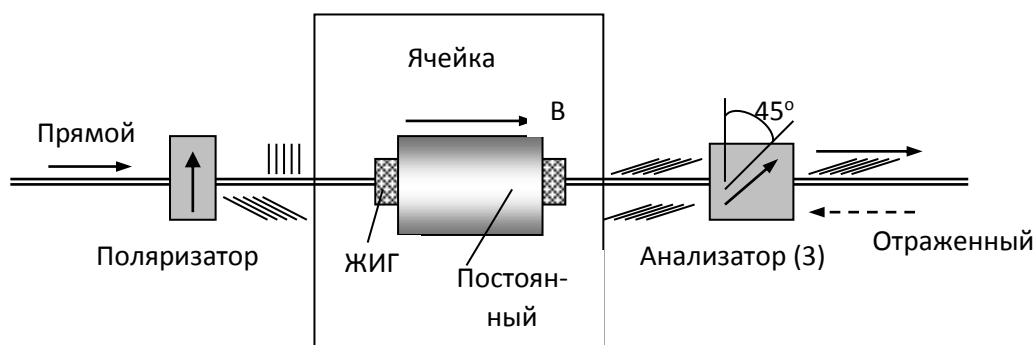


Рисунок 2.16 – Схема оптического изолятора

Оптический изолятор состоит из трех элементов, рис. 2.16: поляризатора 1 (входного поляризатора), ячейки Фарадея 2, состоящего из постоянного магнита, создающего постоянное магнитное поле и магнитооптического материала на основе железоиттриевый гранат (ЖИГ), и анализатора 3 (выходного поляризатора). Параметры ячейки Фарадея выбираются так, чтобы ось поляризации света, проходящего через нее, разворачивалась на  $45^\circ$ . Под таким же углом устанавливаются оси поляризаторов.

Входной полезный сигнал, проходя через поляризатор 1, оставляет свою вертикальную составляющую без изменения, устраняя горизонтальную составляющую, рис. 2.16. Далее вертикально поляризованный свет проходит через ячейку Фарадея 2, разворачивает плоскость поляризации на  $45^\circ$  и беспрепятственно проходит через анализатор 3.

При распространении света в обратном направлении он также поляризуется в плоскости анализатора 3, затем, проходя через ячейку Фарадея 2, становится горизонтально поляризованным. Таким образом, оси поляризации света и поляризатора 1 составляют угол  $90^\circ$ , поэтому поляризатор 1 не пропускает обратное излучение.

Таким образом, ряд объемных и волоконно-оптических элементов обладает способностью вращения плоскости поляризации распространяемой в них световой волны. Поэтому компоненты волоконной оптики, выполненные и на

основе таких элементов, получили название оптических вращателей. Если обеспечить, как следует из ранее сказанного, угол поворота плоскости поляризации светового луча за один проход по оптическому вращателю в прямом и обратном направлениях, равным  $45^\circ$ , то при появлении в ОВ отраженного излучения его плоскость поляризации повернется на  $90^\circ$  во время обратного хода. Поэтому при установке на входе и выходе вращателя поляризатора и анализатора и обеспечения угла между их плоскостями поляризации равным  $45^\circ$ , отраженный свет на входе поляризатора будет полностью подавлен.

Находит применение и менее эффективная, но дешевая конструкция изолятора на основе поляризатора и четвертьволнового замедлителя, так

Как после прохождения этих двух элементов свет приобретает круговую поляризацию. Поэтому когда свет отражается от стеклянной поверхности, он сохраняет круговую поляризацию, но с противоположным направлением вращения. Следовательно, при прохождении света через замедлитель в обратном направлении происходит восстановление линейной поляризации, но с ориентацией, перпендикулярной исходной. В результате на входе поляризатора мощность отраженного сигнала в идеале будет равна нулю. В отличие изолятора на основе ячейки Фарадея — это изолятор является обратимым, поэтому любое изменение поляризации отраженного света может создать утечку мощности назад к источнику.

Оптические изоляторы частот интегрируются в конструкцию лазерного передающего оптического модуля. Высокая эффективность такого решения связана с тем, что выходной оптический сигнал от лазера имеет эллиптическую поляризацию. Оптический изолятор устанавливается так, чтобы плоскость поляризации поляризатора 1 совпадала с плоскостью поляризации максимальной составляющей выходного сигнала от лазерного диода.

Оптические изоляторы также являются неотъемлемой частью оптических усилителей на основе ОВ легированных редкоземельными элементами. Оптические аттенюаторы (удлинители) в оборудовании ВОСП используются с целью снижения мощности входного оптического сигнала, что часто имеет место при настройке систем передачи. Большой уровень цифрового оптического сигнала на входе приемного оптического модуля может вызвать насыщение фотодетектора, а аналоговый — нелинейные искажения и ухудшение качества принимаемых сигналов.

Аттенюаторы характеризуются теми же параметрами, что и соединители. Только у соединителей вносимое затухание должно быть минимальным, а у аттенюатора оно имеет различную величину.

По принципу действия различают:

– Переменные аттенюаторы, допускающие регулировку затухания оптического сигнала в пределах  $0 \dots 20$  дБ для одномодовых и многомодовых ОВ с точностью установки не хуже  $0,5$  дБ. Регулировка достигается путем изменения величины воздушного зазора.

– Постоянные аттенюаторы имеют фиксированное затухание, значения которого может составлять 0, 5, 10, 15 или 20 дБ.

Другие пассивные компоненты ВОСП будут рассмотрены по необходимости при изложении соответствующего материала.

### **2.3 Контрольные вопросы**

1. Что относится к пассивным оптическим устройствам
2. Для чего необходимо устройство ввода/вывода
3. Что обеспечивает оптические соединители
4. Чем вызваны оптические потери
5. Типы разъемных соединений
6. Структура неразъемных соединений
7. Что такое оптический разветвитель
8. Параметры оптических разветвителей
9. Типы оптических разветвителей
10. Оптические изоляторы аттенюаторы и их характеристики

### **3. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ КОММУТАТОРОВ.**

**3.1 Цель:** изучить конструкции, параметры и алгоритм функционирования оптических коммутаторов.

#### **3.2 Краткие сведения из теории**

##### **3.2.1 Оптические кросс-коммутаторы**

Несмотря на существенные успехи в развитии технологии оптических сетей, связанные с развитием WDM, коммутация каналов, оборудования и данных (пакетов, фреймов, кадров, ячеек) до последнего времени осуществлялась электронными устройствами – маршрутизаторами и кросс-коммутаторами. Это объяснялось рядом особенностей электронных коммутаторов, прежде всего их функциональной гибкостью и универсальностью.

Все коммутаторы характеризуются двумя важнейшими показателями: скоростью переключения и емкостью – числом коммутируемых каналов или коммутируемых стандартных модулей (например, STM-1).

В иерархии скоростей переключения в оптических сетях различают обычно четыре уровня скоростей переключения:

- низкие – время переключения порядка  $10^{-3}$  с, т.е. миллисекунды;
- средние – время переключения порядка  $10^{-6}$  с, т.е. микросекунды;
- высокие – время переключения порядка  $10^{-9}$  с, т.е. наносекунды;
- очень высокие – время переключения порядка  $10^{-12}$  с, т.е. пикосекунды.

Низкие скорости переключения достаточны для осуществления операций автоматической конфигурации-реконфигурации оборудования (например, оптическое байпасное переключение ОБП (OBS) для обхода выключенного или вышедшего из строя блока) или обновления таблиц маршрутизации. При этом для большой сети требуются значительные емкости коммутаторов.

Средние скорости достаточны для осуществления защитного переключения колец или альтернативных маршрутов в сетях, коммутирующего сетевой трафик из одного волокна в другое. Емкость коммутатора 2x2 оказывается здесь достаточной.

Высокие скорости требуются для коммутации потоков данных. Время переключения должно быть существенно меньше времени прохождения обрабатываемого пакета (которое, например, для 53 байтной ячейки АТМ составляет 42 нс при скорости потока 10 Гбит/с), т.е. наносекунды.

Очень высокие скорости требуются для внешней модуляции светового потока потоком бит данных. Время переключения должны быть, по крайней мере, на порядок меньше длительности одного битового интервала, составляющей для потока 10 Гбит/с 100 пс.



Что касается емкости, то оптический коммутатор 16x16 считается большим, хотя не идет ни в какое сравнение с электронными коммутаторами емкостью 2048x2048 каналов.

К другим показателям, характеризующим работу коммутаторов, относятся следующие:

- Коэффициент ослабления коммутируемого сигнала на выходе в режиме «выключено» (может изменяться от 40-50 дБ до 10-15 дБ в зависимости от типа коммутатора). Этот показатель должен быть как можно больше.

- Вносимые коммутатором потери – вызываемое коммутатором ослабление сигнала, которое должно быть как можно меньше.

- Переходное затухание коммутатора – отношение мощности сигнала на нужном (скоммутированном) выходе к мощности сигналов на всех остальных выходах. Этот показатель должен быть как можно больше.

- Поляризационные потери коммутатора (PDL) – ослабление коммутируемого сигнала, вызванное его поляризацией. Уровень этих потерь зависит от места коммутатора в системе связи и должен быть как можно меньше. Для их снижения на входе коммутатора может быть использовано специальное волокно, препятствующее возникновению поляризации сигнала.

Существует ряд технологий создания оптических коммутаторов. В соответствии с ними можно выделить следующие типы оптических коммутаторов:

- механические оптические коммутаторы;
- электрооптические коммутаторы;
- термооптические коммутаторы;
- оптоэлектронные коммутаторы на основе ППОУ;
- интегральные активно-волноводные коммутаторы;
- коммутаторы на фотонных кристаллах;
- коммутаторы на многослойных световодных жидкокристаллических матрицах;
- коммутаторы на ИС с набором матриц оптоэлектронных вентилях, связанных оптическим лучом.

### **3.2.2 Механические оптические коммутаторы**

Механические оптические коммутаторы – МОК (MS) используют механическое перемещение элемента, коммутирующего световой поток от входных оптических портов к выходным, к которым подключены ОВ. Таким коммутирующим элементом может быть:

– вращающийся отрезок оптического волновода, поворачиваемый на определенный фиксированный угол для соединения входного порта с  $i$ -м выходным портом (расположенных по окружности);

– вращающаяся призма или зеркало (плоское или сферическое вогнутое), поворачиваемое на определенный фиксированный угол и коммутирующее отраженный луч (посланный как падающий от входного порта) на выходной порт (см. рис. 3.1)

– направленные звездообразные/древовидные разветвители, позволяющие фокусировать световой поток на одном из выходных портов за счет изменения коэффициента связи, осуществляемого путем механического воздействия на разветвитель в зоне оптической связи (например, посредством скручивания или растяжения).

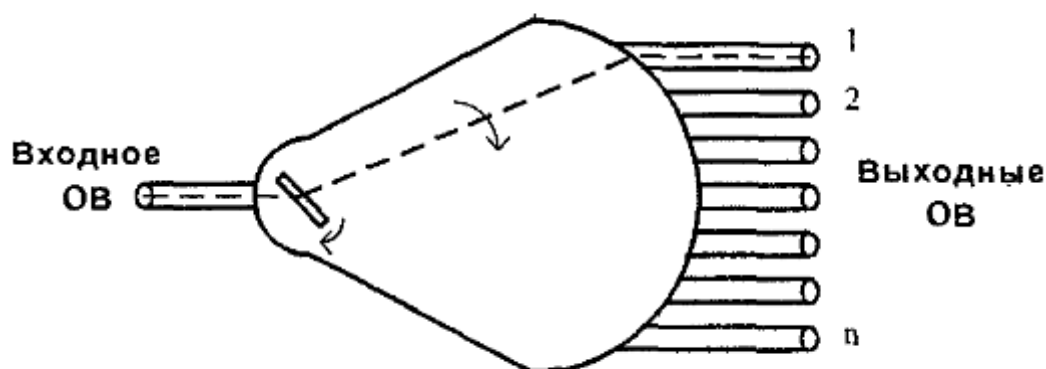


Рисунок 3.1 – Вариант механического оптического переключателя

МОК имеют один или два (дуплексные) входных и  $n$  выходных портов; время переключения – от 10 до 500 мс, и, следовательно, могут использоваться только для автоматической реконфигурации сети. Их достоинство – небольшие вносимые потери (минимально до 0,5 дБ) и большое переходное затухание (до – 80 дБ). Емкость таких коммутаторов может достигать сотен выходных портов (например, у коммутаторов FS-S, FS-M, FS-L компании Fujikura от 50 до 1600 выходных портов), однако число входных портов ограничено, как правило, одной парой, что и определяет специфику их использования. Хотя эти типы ком-

мутаторов наиболее проработаны, их использование в системах оптической коммутации большой размерности *nхп* проблематично не только с точки зрения числа входов, но и с точки зрения управления процессом коммутации.

### 3.2.3 Электрооптические коммутаторы

Электрооптические коммутаторы – ЭОК (EOS) также используют направленные разветвители для фокусировки светового потока на одном из выходных портов за счет изменения коэффициента связи. Однако оно осуществляется путем изменения коэффициента преломления материала разветвителя в зоне оптической связи. На рис. 3.2 приведена схема такого коммутатора, оптические волноводы которого изготовлены из ниобата лития ( $\text{LiNbO}_3$ ). Эффект коммутации достигается за счет изменения коэффициента преломления материала под действием напряжения, прикладываемого к двум электродам в зоне оптической связи.

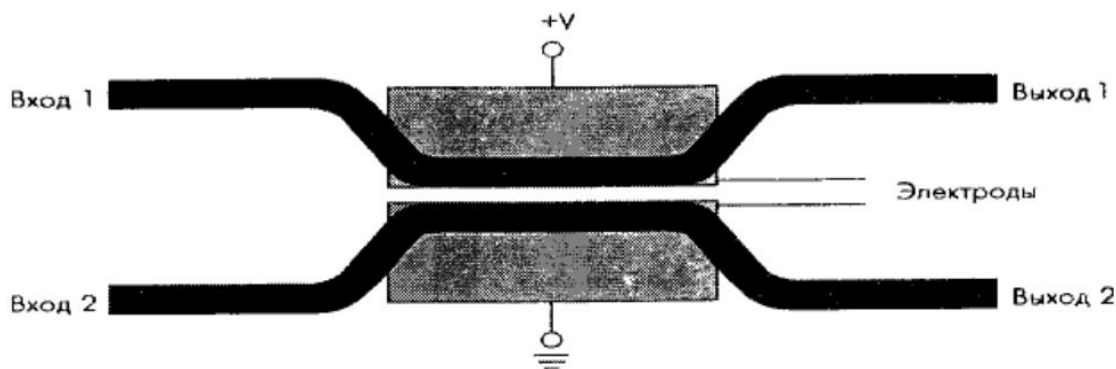


Рисунок 3.2 – Схема электрооптического коммутатора 2x2

**ЭОК** обладают исключительно высокой скоростью переключения (порядка 10-100 пс), ограничиваемой паразитной емкостью конфигурации электродов, и могут использоваться для реализации очень высоких скоростей переключения, требуемых для внешних модуляторов. Емкость этим типов коммутаторов мала (2x2), хотя и может быть увеличена путем интеграции нескольких таких коммутаторов на одной подложке. Кроме того, они имеют относительно высокие вносимые и поляризационные потери.

### 3.2.4 Термооптические коммутаторы

В этих типах коммутаторов используется явление изменения коэффициента преломления под действием температуры. В качестве коммутирующего устройства при этом используется интерферометр Маха-Цендера – ИМЦ (MZI), материал волноводов которого под действием температуры изменяет эффективный коэффициент преломления в этих типах коммутаторов используется явление изменения коэффициента преломления под действием температуры. В качестве коммутирующего устройства при этом используется *интерферометр Маха-Цендера\** - ИМЦ (MZI), материал волноводов которого под действием температуры изменяет эффективный коэффициент преломления  $n_{эф}$ , а, следовательно, и  $\beta$  - *постоянную распространения моды* (так как  $\beta = 2\pi n_{эф}/\lambda$ ). Это, в

свою очередь, ведет к изменению разности фаз между двумя плечами интерферометра (см. рис.3.3), вызывающему эффект коммутации входного сигнала с одного выхода на другой. Базовыми здесь являются коммутирующие элементы размера  $2 \times 2$ , которые при определенном каскадировании позволяют сформировать коммутаторы емкостью  $8 \times 8$ . Обозначение такого *базового элемента* (БЭ) приведено на рис. 3.3.

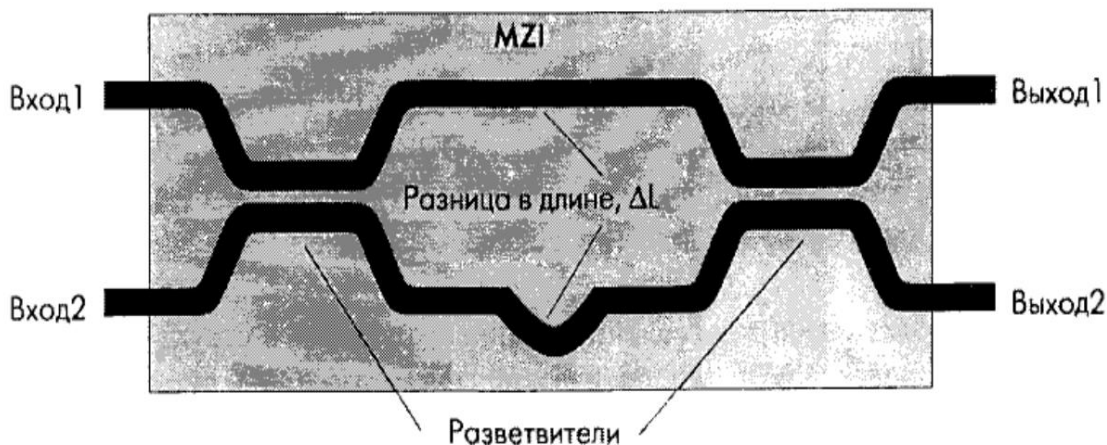


Рисунок 3.3 – Схема термооптического коммутатора  $2 \times 2$

Основой БЭ является MZI, построенный из двух последовательно включенных направленных разветвителей (3 дБ), связанных между собой двумя оптическими волноводами различной длины, для создания разности фаз  $\Delta L$  (см. рис. 3.3). Учитывая, что каждый направленный разветвитель создает на выходах разность фаз  $\pi/2$ , получаем разность фаз на выходах БЭ  $\pi + \beta\Delta L$  (выход 1) и  $\beta\Delta L$  (выход 2). Выбирая  $\Delta L$  так, что  $\beta\Delta L = k\pi$  получаем разность фаз между выходами, равную  $\pi$ , т.е. сигнал со входа 1 попадает на выход 1, если для него равенство  $\beta\Delta L = k\pi$  соответствует  $k$  нечетному, и на вход 2, если это равенство соответствует  $k$  четному. Локальный дозированный импульсный нагрев элемента, изменяющий левую часть равенства, эквивалентен изменению четности  $k$ , т.е. приводит к факту коммутации сигнала с одного выхода на другой.

Термическая природа этих устройств делает их достаточно инерционными, кроме того, они обладают большими вносимыми потерями и малым переходным затуханием. Последнее может быть улучшено, если подложки устройств коммутатора будут выполнены не из кварцевого стекла, а из специальных полимеров.

### 3.2.5 Оптоэлектронные коммутаторы на основе ППОУ

Для оптической коммутации можно использовать и полупроводниковые оптические усилители - ППОУ, если в качестве параметра, управляющего механизмом коммутации, использовать напряжение смещения. Если существенно уменьшить это напряжение, то инверсии населенности достичь не удастся и произойдет поглощение входного сигнала усилителем, моделирующее состояние "выключено". Напротив, если при увеличении напряжения восстанавливается

нормальное усиление сигнала, усилитель моделирует состояние "включено". Таким образом, сочетание нормального усиления с отсечкой сигнала, то есть моделирование ключевого режима работы устройства, делает возможным использовать ППОУ (как и его электронный аналог) в качестве оптического, точнее, оптоэлектронного коммутатора.

Он обладает достаточно высоким быстродействием (1 нс) и может (при интегрировании с пассивными оптическими компонентами - разветвителями) использоваться для построения коммутаторов большой емкости, однако высокая стоимость ППОУ (в его макрореализации как отдельного компонента) делает это решение неконкурентным по сравнению, например, с электрооптическими коммутаторами, имеющими сопоставимые по быстродействию характеристики. Однако использование интегральных технологий в направлении совместной интегральной реализации пассивных (разветвители) и активных (усилители) компонентов может привести к конкурентным по ценам решениям, как показывает ниже следующий тип коммутатора.

### **3.2.6 Интегрально активно-волноводные коммутаторы**

Разработка интегральных активно-волноводных коммутаторов/переключателей – АВК (AWS - Active-Waveguide Switch) – явилась логическим следствием развития идей создания оптоэлектронных коммутаторов на основе полупроводниковых ОУ. Результатом стало интегрирование в единую оптоэлектронную интегральную схему (ОЭИС) полупроводниковых ОУ и оптических волноводных устройств, связывающих отдельные элементы системы в единый узел коммутатора, соответствующий выбранной для него топологической схеме.

ОЭИС представляет собой многослойную монокристаллическую ИС, в структуре которой сформированы: оптический волновод, ОУ, лазер, оптический модулятор (ОМ), детектор, приемник и передатчик. Основой ОЭИС является активно-волноводная гетероструктура с выделенным "волноводным" слоем, имеющим с точки зрения оптики ступенчатый профиль показателя преломления (SISCH – Step-Index Separate-Confinement Heterostructure), а с точки зрения структуры зонных энергетических уровней - квантовые потенциальные ямы\* – КПЯ (QW – Quantum Well), которые могут служить ловушками для носителей заряда (см. рис. 3.4). Волноводный слой получен эпитаксиальным выращиванием слоя InGaAsP между двумя слоями InP (р - типа сверху и n - типа снизу, формирующими р - n переход). Меньшая ширина запрещенной зоны в таком слое вызывает приток в него дырок и электронов, "оседающих" в КПЯ. В результате создается избыток носителей, которые могут рекомбинировать под действием оптического сигнала, распространяющегося по волноводу, создавая условия для оптического усиления сигнала в полосе примерно 60 нм с центральной частотой 1550 нм. Такая структура называется активно-волноводной, позволяющей осуществить ряд функций по обработке сигнала путем изменения ее конфигурации и условий функционирования.

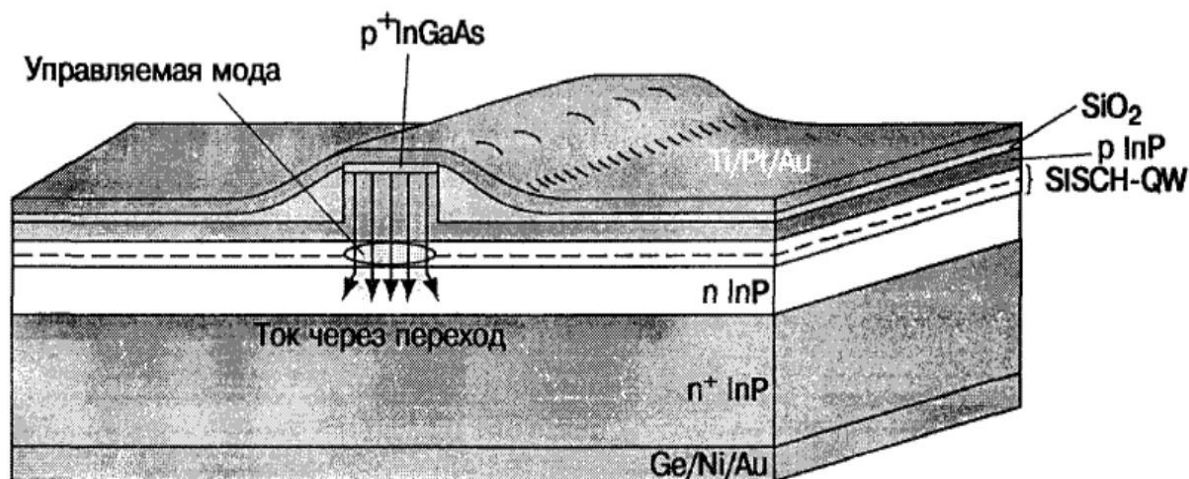


Рисунок 3.4 – Схема активно-волноводной гетероструктуры с p – n переходом

При наличии на таком p-n переходе обратного смещения тока через переход нет. КПЯ адсорбируют (поглощают) фотоны, и устройство работает как оптический аттенюатор. При умеренном токе через переход этот волновод работает как оптический проводник без потерь. При больших токах через переход волновод становится оптическим усилителем с коэффициентом усиления порядка 18 дБ/мм на длине волны 1550 нм. Используя внешнее управление током через переход (через контакт наверху "гребня" гетероструктуры), можно модулировать световой поток в волноводе сигналом управления. С другой стороны, используя тот же контакт, можно детектировать фототок, генерируемый в волноводе. И наконец, путем формирования отражающих граней на краях этого гребня, гетероструктура становится лазером, а значит, и источником сигнала.

Изменение направления оптического сигнала в волноводе на перпендикулярное, требуемое для формирования оптической схемы коммутатора, можно получить за счет использования явления полного внутреннего отражения – ПВО сигнала от граней, вытравленных в гетероструктуре в месте стыка волноводов. Угол ПВО в  $90^\circ$  можно получить, учитывая большой коэффициент преломления слоя InGaAsP ( $\sim 3,5$ ).

Одна из наиболее удачных для оптических коммутаторов схем матричного коммутатора, используемого в схеме БЭ размера  $2 \times 2$  такого АВК на основе активно-волноводной структуры приведена на рис.3.5.

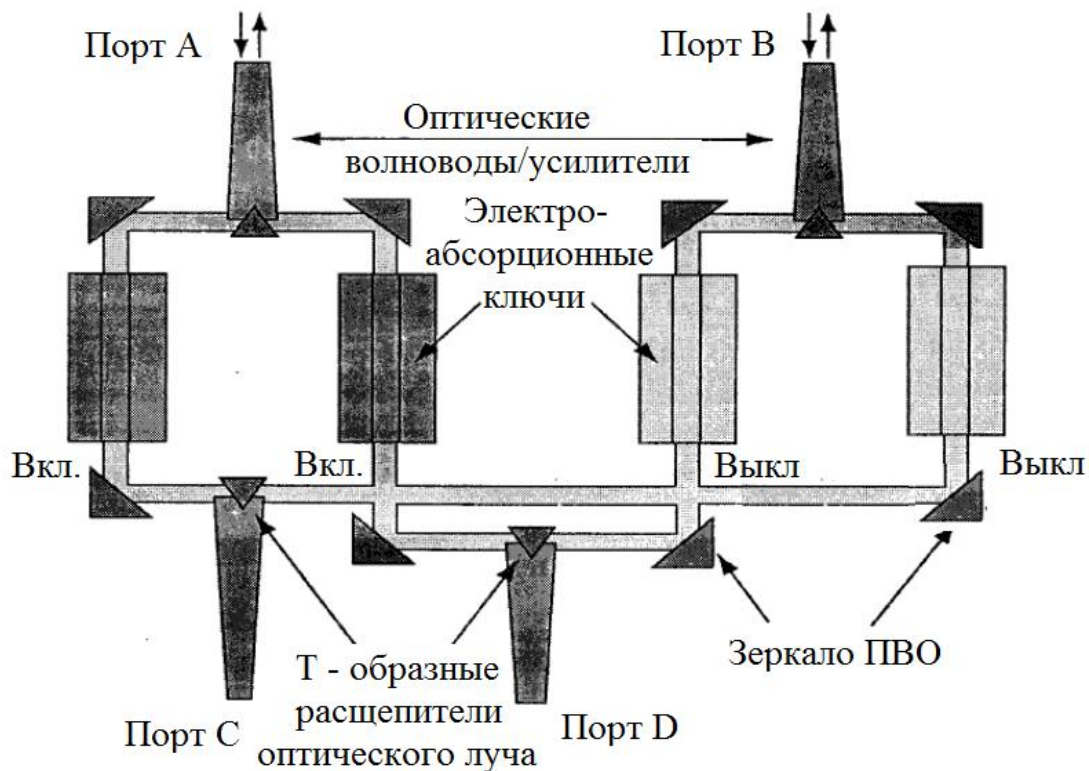


Рисунок 3.5 – Схема базового элемента 2x2 активно-волноводного коммутатора

Схема имеет четыре порта входа/выхода А, В, С, D, связанных между собой сетью оптических ортогонально состыкованных отрезков волноводов с зеркальными гранями ПВО, вытравленных в местах стыка. Входные и выходные (вертикальные на рисунке) отрезки волноводов упираются одним из своих концов в отрагательные трехгранные призмы (грани которых также вытравлены в указанной структуре), формируя вместе с двумя "плечами" (горизонтальными отрезками волноводов) Т-образные расщепители оптического луча. Функции коммутирующих элементов играют электроабсорбционные ключи, сформированные внутри гребня гетероструктуры. Схема показана в положении, когда два левых ключа включены (свет проходит со входа А на выходы С и D), а два правых ключа выключены.

Объединяя четыре таких БЭ, можно создать образцы АВК размера 4x4. Согласно, такие АВК формируются в виде ОЭИС размером 2x3 мм с 5-мк оптическими волноводами и содержат 16 коммутирующих ключей. Для обеспечения одинаковых коэффициентов усиления и отношений сигнал/шум коммутатор имеет одинаковую длину волноводов между всеми возможными портами входа/выхода. При ширине полосы устройства 10 нм его базовые блоки могут быть использованы для создания неблокирующего матричного коммутатора емкостью 1024x1024.

### 3.2.7 Коммутаторы на фотонных кристаллах

Одной из основных проблем оптических активно-волноводных коммутаторов является изменение направления распространения оптического луча на перпендикулярное (т.е. под углом  $90^\circ$ ). Для этой цели в них использованы интегральные аналоги оптических угловых призм. Для решения этой же задачи с успехом могут быть использованы фотонные кристаллы.

Фотонные кристаллы (ФК) - периодические диэлектрические структуры, имеющие запрещенную зону, которая препятствует распространению света определенного частотного диапазона. Создавая точечные или линейные дефекты (или физически резонансные полости - РП, или внутренние каналы) в таком кристалле, можно осуществить “туннельную” проводку оптической несущей через запрещенную зону (используя туннельный эффект) и коммутацию несущей из одного внутреннего канала в другой. Как показывает анализ [316], используя ФК, можно решить три важные для оптических систем проблемы:

- создать (внутри их трехмерной структуры) волноводы, позволяющие осуществить (практически без потерь мощности) передачу оптического луча с поворотом оси распространения на  $90^\circ$ ;
- осуществить пересечение двух оптических волноводов в одной плоскости с пренебрежимо малым уровнем переходных помех;
- выделить (отфильтровать) один или несколько каналов (несущих), перенаправив их по другим адресам.

Решение первой проблемы можно с успехом использовать при модернизации схемы активно-волноводного коммутатора путем использования фотонной (а не оптоэлектронной) интегральной схемы (ФИС) на ФК (вместо призм) для поворота оптической несущей. Решение второй проблемы позволяет исключить взаимодействие световых потоков при пересечении и решить проблему пересекваемости при использовании планарных волноводных решений. Наконец, решение третьей проблемы позволяет напрямую использовать ФК как элемент или базовый блок оптического коммутатора. На рис. 10-17 приведена гипотетическая схема такого блока, как логическое расширение автором схемы фильтра канала вывода – ФКВ (CDF – channel drop filter), предложенных в литературе по ФК.

Схема состоит из трех оптических волноводов - шин: общей шины (bus) в центре и шин вывода (drop) с обеих сторон, связанных между собой оптической резонаторной системой - ОРС (по 2 или 4 резонансных полости - РП с каждой стороны). Схема работает следующим образом. Оптическая волна, распространяющаяся в общей шине в прямом направлении, возбуждает в РП определенные моды колебаний, которые в результате взаимодействия переходят из РП в шины вывода, распространяясь в прямом или обратном направлении (формируя понятия: вывод в прямом направлении и вывод в обратном направлении).



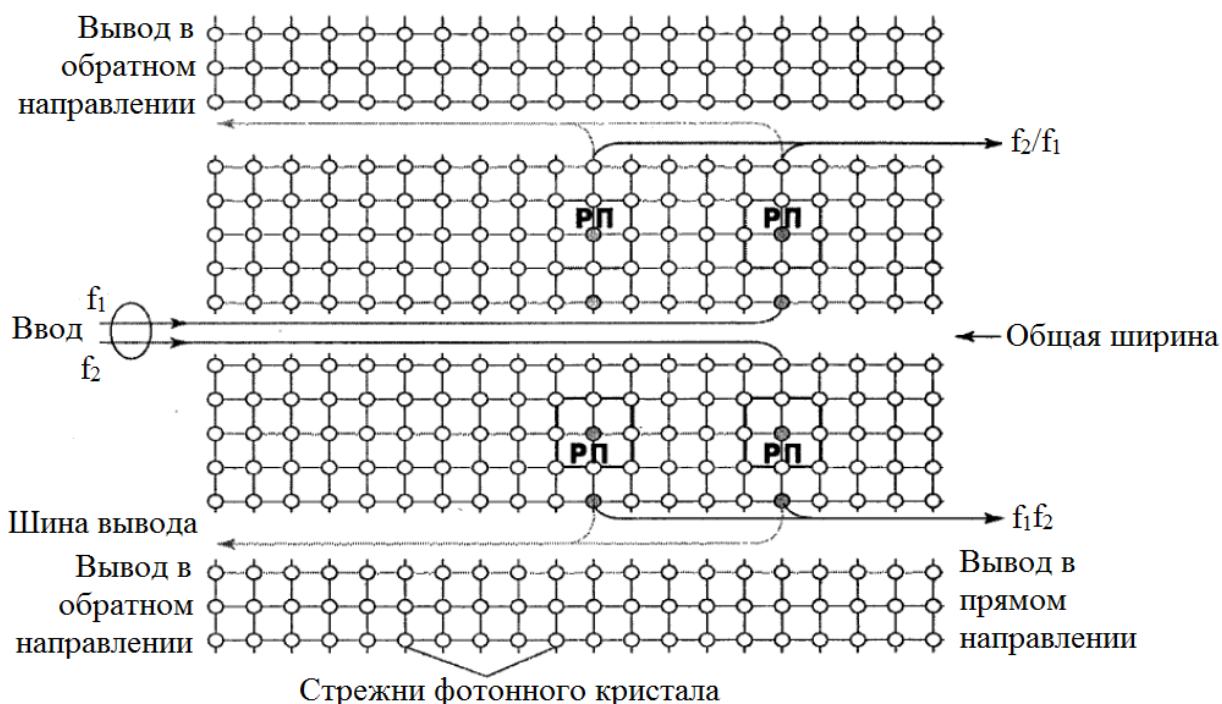


Рисунок 3.6 – Гипотетическая схема базового элемента 2x2 на фотонных кристаллах

Конструкция ОРС определяет параметры фильтров (например, число мод) и эффективность передачи энергии несущей из общей шины в шины вывода при фильтрации, зависящую от потерь фильтра. Для большей эффективности при использовании одной РП на несущую она настраивается на одномодовый режим, при двух - используются две зеркально симметричные (четные и нечетные) моды одной частоты. Настраивая РП шин вывода на разные несущие, можно выводить входные несущие на ту или иную шину выхода, то есть, осуществляя режим коммутации каналов (несущих). Если на вход схемы подаются две несущие, она реализует БЭ размера 2x2, который может каскадироваться для формирования схем размера пхп. Проблемным остается управление перестройкой РП в процессе коммутации.

### 3.2.8 Коммутаторы на многослойных световодных жидкокристаллических матрицах

Этот тип коммутаторов использует способность жидких кристаллов (ЖК) становиться прозрачными (или светопроводящими) или непрозрачными под действием приложенного управляющего напряжения, широко используемую в ЖК-матрицах плоских мониторов.

При построении оптического коммутатора реализуется следующая технология. На подложку, покрытую электропроводящим слоем (общим электродом) и поверх него светоотражающим слоем, наносится световодный ЖК-слой (СЖК-слой), на который наносится второй светоотражающий слой и поверх него – слой управляющих электродов. Подавая напряжение на управляющие электроды, в

СЖК можно формировать прозрачные и непрозрачные зоны, причем непрозрачные зоны могут быть светоотражающим (это зависит от материала СЖК). Выбирая необходимую топологию управляющих электродов, можно формировать в СЖК-слое плоско-пространственные оптические каналы передачи, составленные из линейных отрезков. При развитой системе управления электродами можно менять топологию каналов, и менять их состояние: открывать и закрывать (создавая в них прозрачные и непрозрачные зоны), имитируя, таким образом, работу обычного, например матричного, коммутатора.

Используя несколько слоев, разделенных дополнительным (непрозрачным в обычном состоянии) СЖК-слоем, в которых сформированы межслойные (вертикальные) переходы на управляемых дифракционных решетках с фокусирующими системами, можно сформировать многослойный СЖК-куб, существенно увеличивающий возможности плоского матричного коммутатора. Схема матричного коммутатора такого типа приведена на рис. 7. В отличие от предыдущих технологий многослойные световодные ЖК-матрицы сразу позволяют создавать многопортовые коммутаторы, минуя стадию базового элемента размера  $2 \times 2$ , хотя и за счет сложной системы электрического управления процессом коммутации.

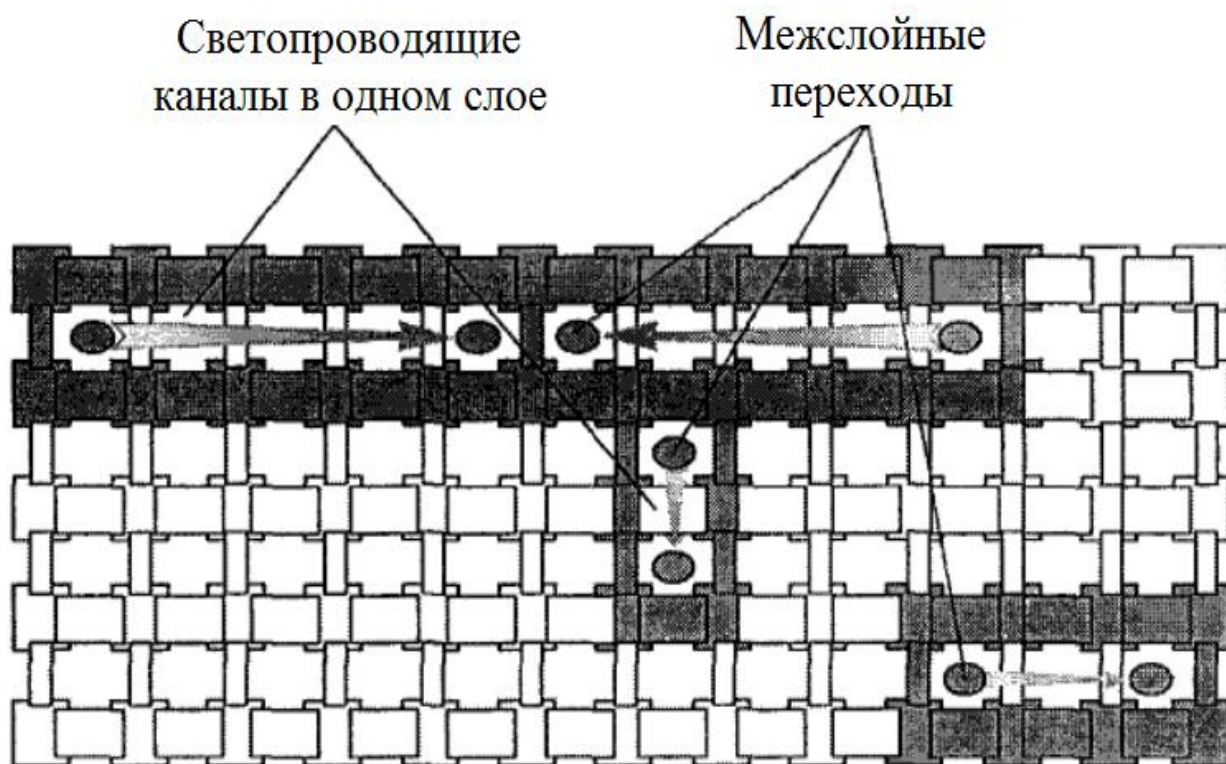


Рисунок 3.7 – Оптический полномасштабный коммутатор на световодных ЖК-матрицах

### 3.2.9 Коммутаторы на матрицах оптоэлектронных вентиляей, коммутируемых лазерным лучом

Этот тип коммутаторов использует так называемую интеллектуальную глобальную ( $N^4$ ) технологию взаимодействия с помощью оптического луча, распространяющегося в свободном пространстве. В этой технологии используются модули, состоящие из трех-пяти фиксированных пространственно разнесенных плоско-параллельных матриц (массивов), взаимодействие между элементами которых осуществляется с помощью оптического (лазерного) луча (см. рис. 3.8).

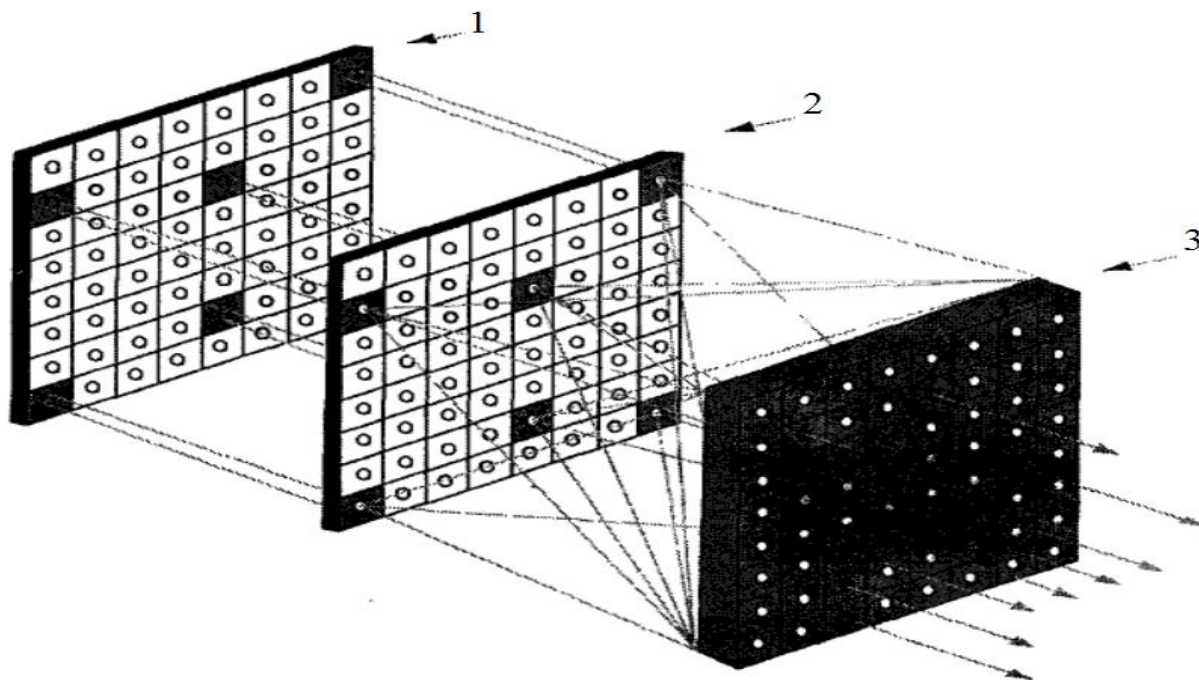


Рисунок 3.8 – Схема использования матриц оптоэлектронных вентиляей, коммутируемых лазерным лучом.

Элементами входной (слева) матрицы размера  $8 \times 8$  являются лазеры с вертикальной резонаторной полостью и поверхностной эмиссией (VCSEL - Vertical Cavity Surface Emitting Laser), излучающие лучи на элементы матрицы (в середине) размера  $8 \times 8$ , в качестве которых используются составные элементы дифракционного оптического взаимодействия (DOIE - Diffractive Optical Interconnect Element). Эти элементы (в соответствии с хранящимися в них коммутационными шаблонами), в свою очередь, направляют (маршрутизируют) лазерные лучи на один или несколько интеллектуальных элементов выходной (правой) матрицы размера  $8 \times 8$ , которые играют роль детектора, приемника и лазерного драйвера и изготавливаются по кремниевой МОП технологии.

Используя указанный набор матриц, можно коммутировать с помощью лазерного луча поток любого элемента входной матрицы либо на любой из  $n^2$  элементов выходной матрицы (моделируя соединение точка-точка), либо на несколько таких элементов (моделируя соединение точка - многоточка, или функ-

цию вещания, причем число одновременно соединяемых точек зависит от мощности лазера и порога срабатывания детектора). Интеллектуальность элементов выходной матрицы, называемых элементами DANE (Detect, Amplify, Negate, Emit), определяется тем, что они выполняют четыре функции: детектируют принимаемый сигнал (Detect), усиливают его (Amplify), инвертируют усиленные импульсы, выполняя функцию NOR (ИЛИ с отрицанием) совместно с пороговым элементом детектора (Negate), и возбуждают эмиссию лазера VCSEL (Emit), выходной сигнал которого в соответствии с теоремой DeMorgan дает на выходе сигнал, эквивалентный преобразованию “AND” (“И”) над входными битами данных. Указанные матрицы упаковываются в модули, допускающие каскадирование.

Сравнительные характеристики базовых оптических коммутаторов представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Тип коммутатора	Реализованный размер	Вносимые потери, дБ	Переходное затухание, дБ	Поляризационные потери, дБ	Время переключения
Механический	8x8	3	55	0,2	10 мс
Термооптический, кварцевый	8x8	10	15	Низкие	2 мс
Термооптический, полимерный	8x8	10	30	Низкие	2 мс
Электрооптический LiNbO <sub>3</sub>	4x4	8	35	1	10 пс
Оптоэлектронный ППОУ	4x4	0	40	Низкие	1 нс
Активно-волноводная ИС	4x4	0	30	н/Д	1 нс

### 3.3. Логика и топология многокаскадных оптических коммутаторов

Рассмотренные выше базовые оптические коммутаторы достаточно легко реализуются как переключатели  $n \times n$  только при  $n=2$ . Сложность технической реализации существенно возрастает с ростом  $n$ , что косвенно подтверждает и реализованный размер таких коммутаторов (и не выше 4, 8), приведенный в табл. 10-3. Поэтому при построении коммутаторов большого размера используют различные технологии каскадирования базовых переключателей  $2 \times 2$  или  $1 \times 2/2 \times 1$ .

В целом большие коммутаторы можно представить в виде упорядоченных наборов входных и выходных портов, связанных между собой коммутируемой

сетью связи (КСС). Если рассматриваемые коммутаторы осуществляют коммутацию цепей, а не пакетов, то КСС управляется централизованной системой управления (см. рис. 3.9). Если же осуществляется коммутация ячеек, пакетов или виртуальных контейнеров, то схема управления может быть распределенной и дополнительно могут быть использованы различные типы буферов на входе и выходе, схемы организации очередей для устранения внутренних блокировок и т.д.

Мы рассматриваем ниже более простой случай - коммутацию цепей. Основной упор при таком подходе делается на реализацию КСС. Топология сетей при этом формально может быть различна (шина, кольцо, звезда, дерево, матрица, каждый с каждым) – та, что используется для сетей в мультимикропроцессорных компьютерных системах, где роль наборов входных и выходных портов играют процессоры и блоки памяти. Однако, учитывая специфику коммутации цепей, в качестве топологий-кандидатов рассматривают только последние три, а с учетом сложности последней - две оставшиеся (дерево и матрица). Причем согласно вышесказанному основным принципом построения остается каскадирование базовых переключаемых элементов - БЭ

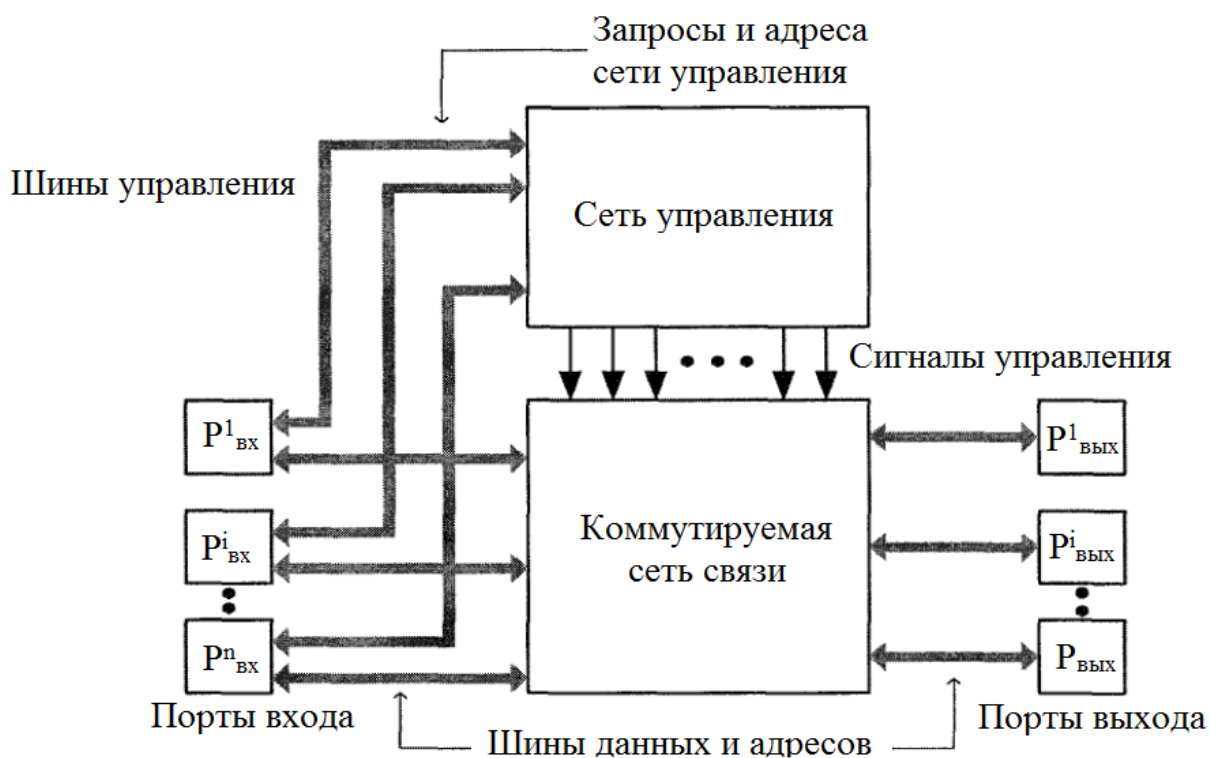


Рисунок 3.9 – блок схема коммутаторов с КСС и централизованным управлением

В рамках выбранной топологии ряд факторов может оказать существенное влияние при такой реализации, к ним относятся: длина коммутируемой цепи и связанное с ней время ожидания переключения КСС (network latency), расширяемость сети, степень связи (connection degree) узлов сети [307].



Длина коммутируемой цепи может быть разной в зависимости от топологии и может характеризоваться минимальной и максимальной длиной цепи, а значит, и минимальным и максимальным временем ожидания переключения.

Расширяемость сети предполагает легкость подключения новых узлов сети, а под степенью связи понимается порядок аппроксимирующей сеть эквивалентного гиперкуба.

Прежде чем рассматривать реализацию коммутаторов большого размера, рассмотрим более подробно логику работы БЭ размера  $2 \times 2$ , как элемента коммутации цепей при передаче сигнала и приведем связанные с этим (и важные для последующего) определения.

### **3.3.1 Логика коммутации базовых элементов размера $2 \times 2$**

Базовый элемент (как переключатель) может быть представлен в виде четырехполюсника с двумя входами  $I_1$  и  $I_2$  и двумя выходами  $O_1$  и  $O_2$  (см. рис. 2.10). Переключатель может находиться в двух основных состояниях, реализующих эквивалент топологии "точка-точка" при передаче:

– в проходном соединении, при котором порт  $I_1$  соединен с  $O_1$ , а  $I_2$  - с  $O_2$  (10); в перекрестном соединении, при котором порт  $I_1$  соединен с  $O_2$ , а  $I_2$  - с  $O_1$  (рис. 3.10),

Кроме этого переключатель может реализовать два дополнительных состояния, эквивалентных "широковещательной передаче" (или бродкастингу - broadcasting):

– широковещательную передачу с нижнего порта, при которой порт  $I_1$  не соединен ни с одним выходным портом, а порт  $I_2$  соединен с обоими выходными портами (рис. 3.10);

– широковещательную передачу с верхнего порта, при которой порт  $I_2$  не соединен ни с одним выходным портом, а порт  $I_1$  соединен с обоими выходными портами (рис. 3.10).

Кроме сложности реализации коммутаторов большого размера другой причиной использования каскадных сетей является стоимость коммутатора, пропорциональная числу используемых базовых элементов (БЭ). Так, при использовании матричного коммутатора  $n \times n$  требуется  $n^2$  БЭ, тогда как использование каскадных схем позволяет снизить это число до уровня  $n * \text{Log}(n)$  БЭ. Из множества классов каскадных схем наиболее распространен класс известный как сети типа Баньян (использующие топология дерева).

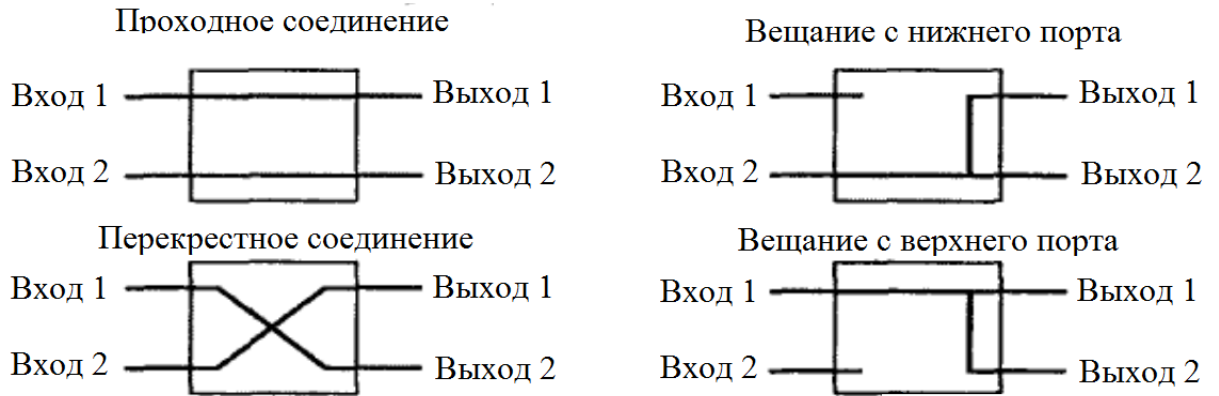


Рисунок 3.10 – Состояния базового переключателя 2x2

### 3.3.2 Древоподобные сети типа Баньян

Наиболее простым является следующее определение этой сети: сетью типа Баньян называется древоподобная сеть, имеющая точно один путь между любыми парами вход-выход. То есть это сеть, которая не имеет избыточности. Ниже рассмотрены два (из множества возможных) примера сетей типа Баньян: сеть Омега и сеть Дельта, на основе которых строятся различные типы каскадных коммутаторов.

#### Сеть Омега

Эта сеть может быть реализована с помощью хорошо формализованных топологических структур на основе понятия гиперкуба. Формальные определения, связанные с ним, приведены ниже.

#### Гиперкубы

Гиперкуб – упорядоченная структура, определяемая топологически как связная сеть, состоящая из  $n$  узлов, расположенных в угловых точках (вершинах) многомерного куба в пространстве размерностью  $N$ , где  $N = \log_2 n$ . Гиперкубы могут быть описаны итеративно в порядке возрастания размерности. 0-куб - точка (1 узел -  $n = 2^0 = 1$ ), 1-куб - линейный сегмент (2 узла -  $n = 2^1 = 2$ ), 2-куб - квадрат (4 узла -  $n = 2^2 = 4$ ), 3-куб - куб (8 узлов -  $n = 2^3 = 8$ ), и т.д.

Как сеть КСС гиперкуб характеризует число и направленность связей между БЭ. Число связей, осуществляемых из каждого узла, равно порядку гиперкуба. Учитывая, что каждая связь в гиперкубе соединяет два смежных узла, направленность связей определяется адресами вершин гиперкуба. Эти адреса формируются в виде двоичных кодов, длина которых, равна порядку гиперкуба, а  $i$  позиция (бит) характеризует гиперкубы  $(i-1)$  порядка (см. рис. 3.11)

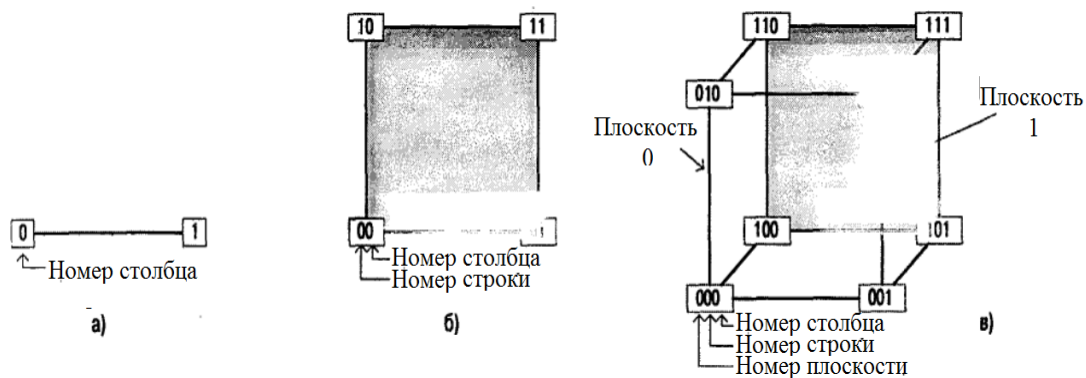


Рисунок 3.11 – Адресация узлов гиперкубов

Например, для гиперкуба 4-куб (имеющего 16 узлов и состоящего из двух гиперкубов 3-куб) адрес узла состоит из 4 бит. Рассмотрим для определенности узел с адресом 1001. По сравнению с 3-куб слева добавляется наиболее значимый бит (в нашем случае 1), который характеризует номер гиперкуба ( $n - 1$ ) порядка, т.е. 3-куб, или куба “1” (из двух возможных кубов “0” и “1”), в вершине которого 001 и расположен данный узел. Техника адресации узлов гиперкуба позволяет сформировать топологию гиперкуба, используя простое правило, соединять только те узлы, чьи двоичные адреса отличаются точно на одну битовую позицию. Применив это правило, получаем, что узел 1001 связан с 4 другими узлами: узлом 0001 (на кубе “0”) и узлами 1000, 1011 и 1101 (на кубе “1”).

Топологию гиперкуба можно отобразить на плоскость (в результате получаем непланарный граф) и использовать для формирования сети типа Баньян на основе БЭ размера  $2 \times 2$ . В результате получаем сеть Омега. Пример такой сети размера  $8 \times 8$  приведен на рис. 3.12. Эта сеть, дополнительно позволяет осуществлять операции обмена и перестановки, под которыми (для сети с  $2N$  входами:  $I_0 - I_{2N-1}$  и  $2N$  выходами:  $O_0 - O_{2N-1}$ ) понимается следующее:

- операция обмена соединяет  $I_j$  с  $O_{j+1}$ , когда  $j$  нечетно, и  $I_j$  с  $O_{j-1}$ , когда  $j$  четно;
- операция перестановки соединяет  $I_j$  с  $O_{2j \bmod N}$ , когда  $0 < j < 2N-1$ .



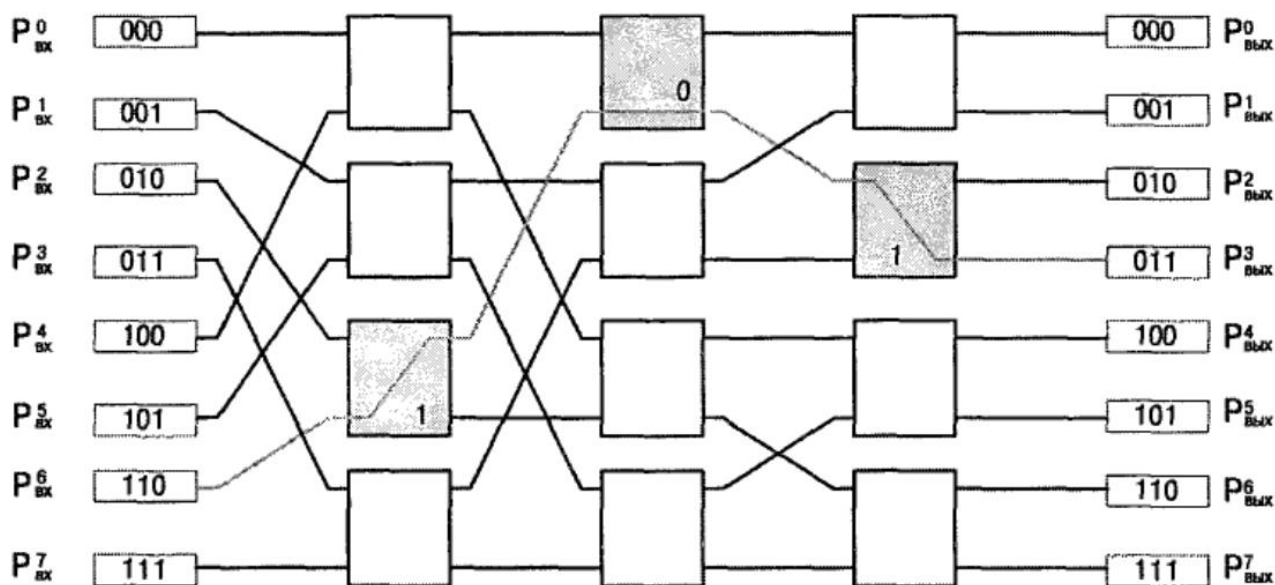


Рисунок 3.12 – Сеть Омега размера 8x8

Эту сеть легко можно настраивать и перестраивать для реализации нужного соединения, используя поразрядно операцию XOR (исключающее ИЛИ) над полями адреса входа и адреса выхода и устанавливая в соответствии с результатом операции состояние соответствующего каскада коммутирующего БЭ размера 2x2. Например, если нужно соединить вход 16 (адрес ПО) с выходом 03 (адрес 001), осуществляем указанную операцию над адресами:  $1 \text{ XOR } 0$ ,  $1 \text{ XOR } 0$ ,  $0 \text{ XOR } 1$ , получаем в результате двоичную последовательность 101 и устанавливаем (например, с помощью управляющего контроллера) соответственно перекрестное соединение (1) на первом каскад, проходное соединение (0) на втором и перекрестное соединение (1) на третьем (см. выделенный путь на рис. 3.12).

Контроллер может одновременно соединить несколько других пар вход-выход (например,  $I_0$  с  $O_4$ ,  $I_1$  с  $O_1$ ,  $I_5$  с  $O_5$  и т.д.), но не может соединить  $I_0$  с  $O_2$ , учитывая конфликтные ситуации с переключениями, возникающие при необходимости использовать те же БЭ второго и третьего каскадов (помечены точками).

#### Сеть Дельта

Другим примером сетей типа Баньян является сеть Дельта. Если это сеть имеет  $k$  каскадов, и каждый КЭ реализован в виде кросс-коммутатора  $m \times n$  (т.е. с  $m$  входами и  $n$  выходами), то она может иметь следующие характеристики (свойства):

- сеть в целом может коммутировать  $m^k$  входов на  $n^k$  выходов;
- если  $A_2$  двоичный адрес назначения, то каскадные коммутирующие БЭ могут быть установлены в позиции перекрестного соединения (1) или проходного соединения (0) в соответствии с разрядными битами  $A_2$ .

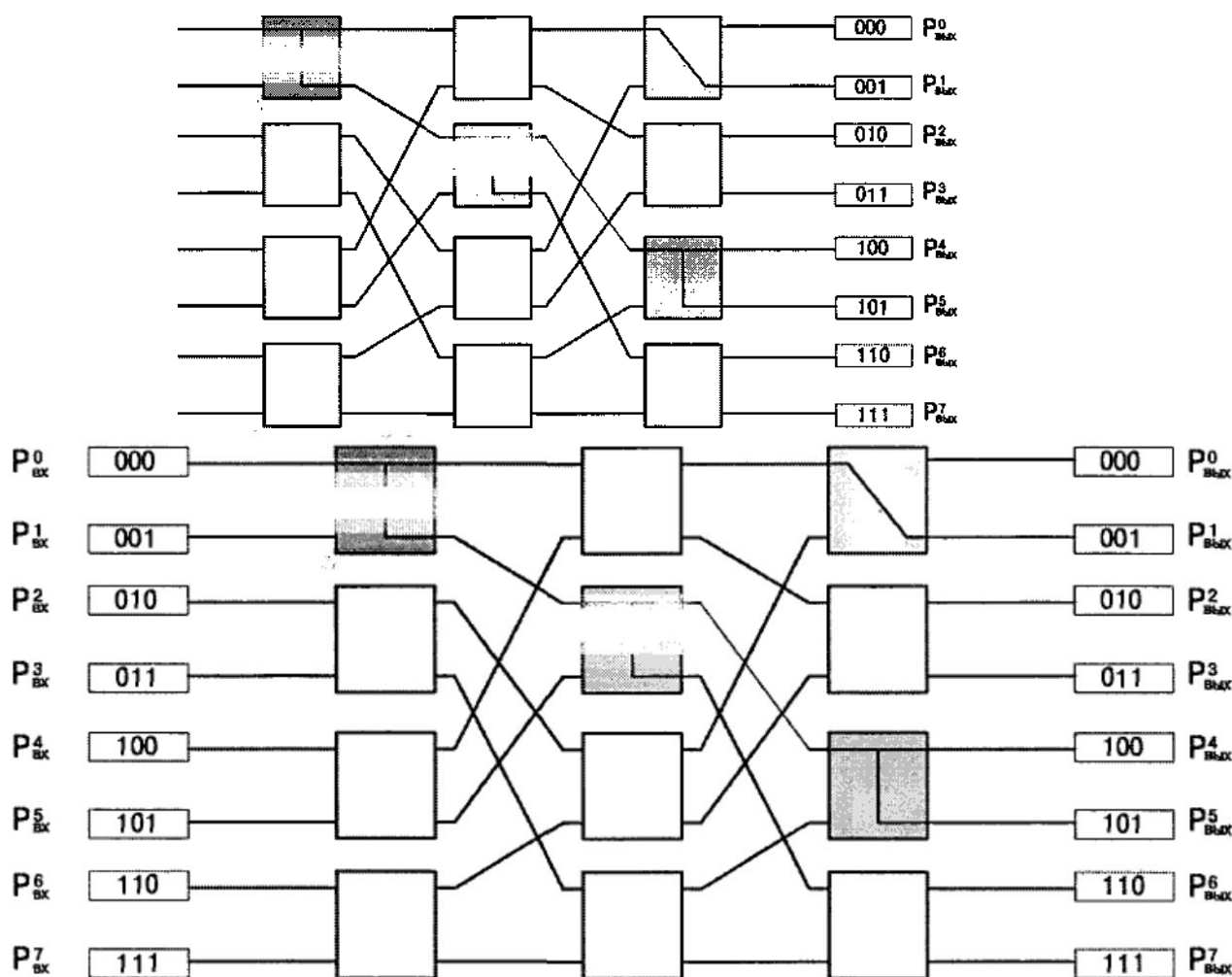


Рисунок 3.13 – Сеть Дельта размера 8x8

Эта сеть дополнительно может обладать функцией *широковещания*. Например, на рис. 2.13 выделенными линиями показано *вещание* сигнала со входа  $I_0$  на выходы  $O_1, O_4, O_5, O_6$ .

### 3.3.3. Особенности построения многокаскадных оптических коммутаторов

При построении многокаскадных оптических коммутаторов - МОК, технология построения КСС также может накладывать определенные ограничения, поэтому функциональную пригодность и эффективность МОК оценивают обычно с помощью следующих показателей:

- требуемое число базовых элементов, учитывая, что стоимость реализации коммутатора по меньшей мере пропорциональна их числу;
- однородность коммутации, т.е. такая ситуация, при которой потери при коммутации не зависят от комбинации портов входа-выхода;

– пересеканность связующих волноводов (crossover), которую желательно минимизировать или исключить вовсе, учитывая, что при наличии такого пересечения могут возникнуть потери мощности оптического излучения и переходные помехи (crosstalk) в результате взаимодействия световых потоков;

– характеристики блокировки, т.е. принадлежность МОК к одному из двух классов коммутаторов: блокирующих или неблокирующих.

Поясним три последних показателя и дадим нужные определения.

Мерой однородности коммутации могут служить максимальное и минимальное числа базовых переключателей (элементов) на оптическом пути, соединяющем различные комбинации портов входа-выхода, и соответствующие им оценки максимальных и минимальных потерь при коммутации.

Возможность пересечения волноводов обусловлена тем, что большие МОК изготавливаются, как ОИС на единой подложке и для исключения возможности пересечения топология МОК должна быть реализована в виде плоского графа\* (учитывая, что ОИС, в отличие от электронных ИС, не может быть многослойной). При использовании фотонных кристаллов\* и технологии изготовления фотонных ИС - ФИС вместо ОИС это требование (ограничение) снимается.

Коммутатор называется неблокирующим, если любой незанятый входной порт может быть соединен с любым неиспользуемым выходным портом, в противном случае (т.е. если какое-то соединение не может быть реализовано), коммутатор является блокирующим.

В свою очередь, неблокирующие коммутаторы делятся:

- на коммутаторы, неблокирующие в строгом смысле, т.е. такие неблокирующие коммутаторы, которые при использовании любой процедуры соединения не требуют перемаршрутизации какого-либо соединения;

– на коммутаторы, неблокирующие в широком смысле, т.е. такие неблокирующие коммутаторы, которые при использовании определенной процедуры соединения не требуют перемаршрутизации какого-либо соединения;

– на перестраиваемые неблокирующие коммутаторы, т.е. такие неблокирующие коммутаторы, которые в любом случае требуют перемаршрутизации какого-то из соединений.

Первый тип является наиболее желаемым, однако он требует при реализации наибольшего числа БЭ. Второй тип является некоторым компромиссом между первым и третьим типами и используется очень широко. Преимущество последнего, третьего, типа коммутаторов - относительно малое число требуемых БЭ. Его основной недостаток - временный (на время перемаршрутизации) разрыв установленного соединения. Не все приложения могут допускать такую ситуацию. Кроме того, этот тип коммутаторов требует более сложных алгоритмов управления.

Рассмотрим описанные в литературе четыре основные схемы (или архитектуры) КСС, которые могут быть использованы в каскадных оптических коммутаторах большого размера:

- схема матричного кросс-коммутатора (crossbar);
- схема КСС Бенеша;
- схема КСС Шпанке-Бенеша;
- схема КСС Шпанке.

### 3.3.4 Схема матричного кросс-коммутатора

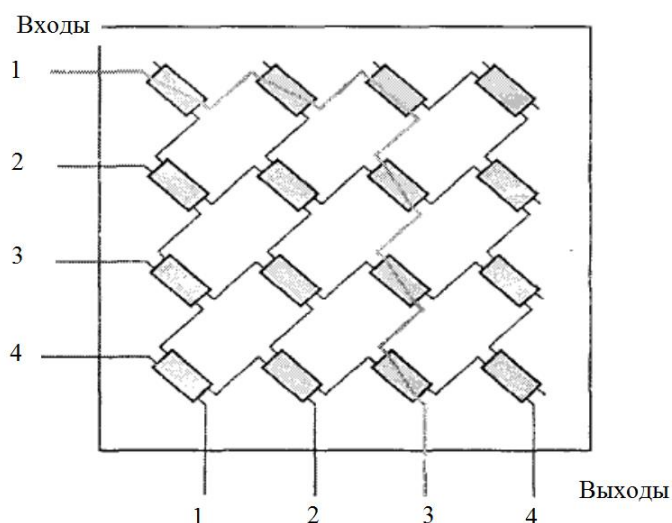


Рисунок 3.14 – Схема матричного кросс-коммутатора

Рассмотрим схему матричного кросс-коммутатора на примере коммутатора 4x4 (использующего БЭ размера 2x2), приведенного на рис. 3.14.

Из рисунка видно, что для ее реализации требуется матрица 4x4, состоящая из 16 БЭ. На рисунке выделен (как один из примеров) канонический путь коммутации (т.е. по “строке” и “столбцу” - тот путь, который нужно соблюдать) при соединении входа 1 с выходом 3, использующий БЭ, расположенные в "строке" 1 (от входа до пересечения со столбцом 3) и "столбце" 3 (от пересечения со строкой 1 до выхода) данной матрицы. Указанный путь осуществлен путем установки всех БЭ, кроме БЭ<sub>13</sub>, в состояние "перекрестного соединения" (БЭ<sub>13</sub> установлен в состояние "проходного соединения"). Кроме этого пути существует ряд других путей, рассматриваемых как неканонические (т.е. не обеспечивающие свойства неблокируемости).

Как показывают исследования, схема на рис. 3.14 является неблокирующей в широком смысле, т.е. неблокирующей, если используются канонические правила соединения входа  $i$  с выходом  $j$ , описанные выше, а значит, она не требует перемаршрутизации уже осуществленных соединений. Вместе с тем она не

является неблокирующей в строгом смысле, так как требует соблюдения указанных правил при прокладке соединения. Этот пример подтверждает тот факт, что схема матричного коммутатора требует  $n^2$  БЭ типа  $2 \times 2$ , а также то, что длина кратчайшего пути равна 1, а наиболее длинного -  $(2n - 1)$ . Граф схемы на рис. 3.14 является планарным, а значит, при изготовлении схем не возникнет необходимости в пересечении оптических волноводов

### 3.3.5. Схема КСС Бенеша

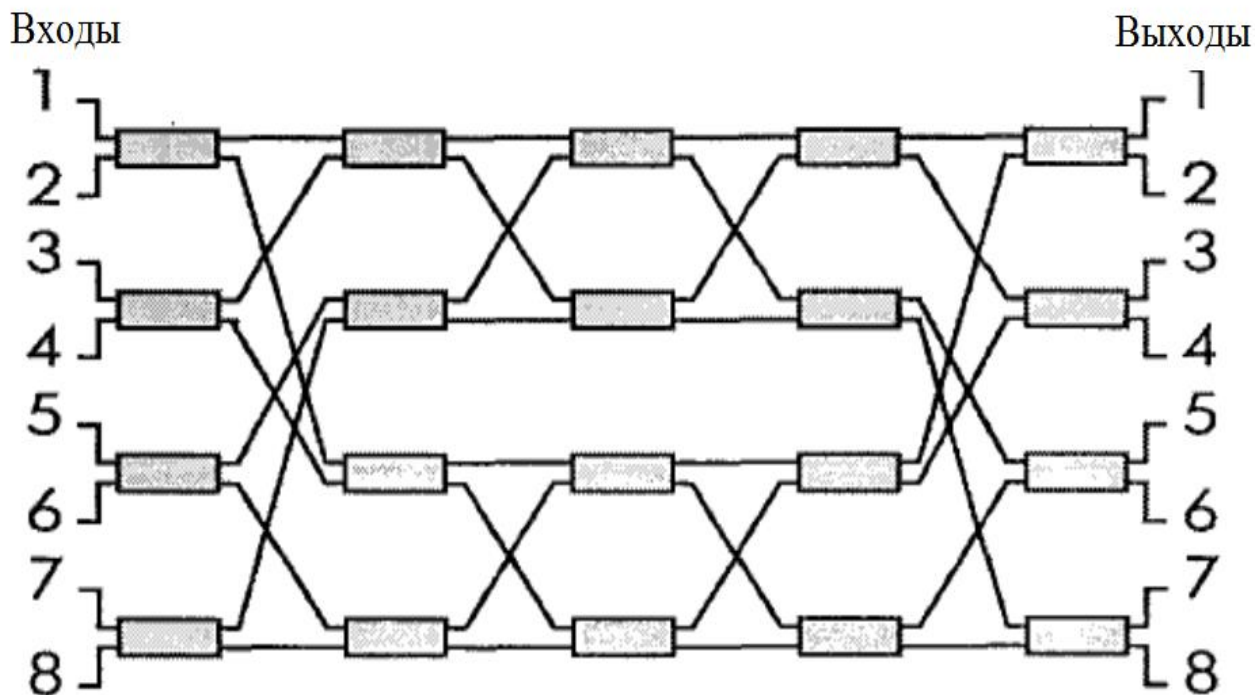


Рисунок 3.15 – Схема КСС Бенеша

Рассмотрим схему КСС, предложенную Бенешем. Пример такой схемы размера  $8 \times 8$ , использующей БЭ размера  $2 \times 2$ , приведен на рис. 2.15.

Схема Бенеша существенно отличается от предыдущей. Она является примером неблокирующих схем, требующих перемаршрутизации некоторых уже осуществленных соединений. Однако она требует значительно меньше КЭ размера  $2 \times 2$ , чем матричный коммутатор: для размера  $8 \times 8$  - 20 вместо 64. В общем случае такая схема размера  $n \times n$  требует  $n(2 \log_2 n - 1)/2$  БЭ размера  $2 \times 2$ , где  $n$  предполагается числом из ряда  $2^m$ . Другим преимуществом этой схемы является то, что длины кратчайшего и наиболее длинного путей одинаковы и равны  $(2 \log_2 n - 1)$  БЭ размера  $2 \times 2$ . Очевидным недостатком является то, что схема представляется непланарным графом и не позволяет избежать пересечения волноводов при изготовлении. Этот факт не будет служить препятствием при использовании фотонных кристаллов.

### 3.3.6 Схема КСС Шпанке-Бенеша

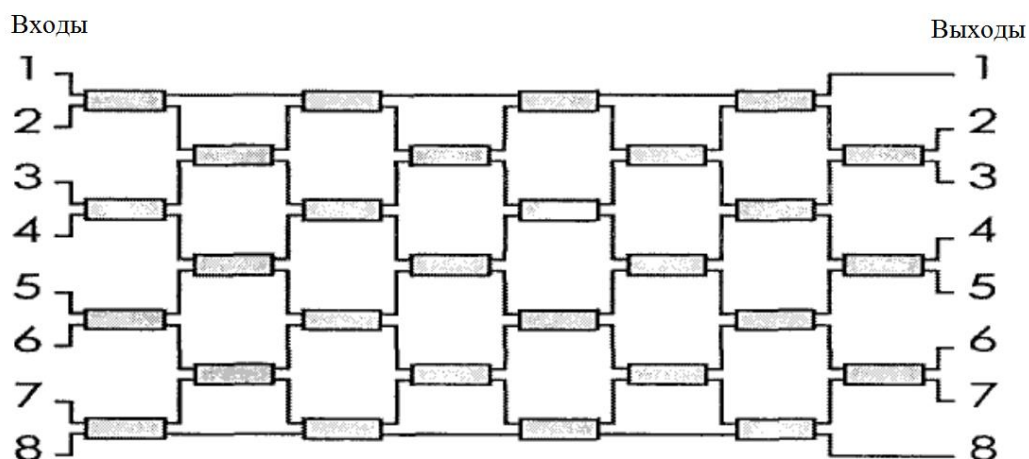


Рисунок 3.16 – Схема КСС Шпанке-Бенеша

Указанный выше недостаток “непланарности” преодолен в схеме Шпанке-Бенеша, предложенной в 1987 г. Пример такой схемы размера  $8 \times 8$ , использующей БЭ размера  $2 \times 2$ , приведен на рис. 3.16.

Эта схема, как и предыдущая, относится к классу неблокирующих схем с перемаршрутизацией, но требует большего числа БЭ размера  $2 \times 2$  - 28 вместо 20 (“плата” за планарность), хотя все еще существенно меньше, чем схема матричного коммутатора - 64. В общем случае такая схема размера  $n \times n$  требует  $n(n-1)/2$  БЭ  $2 \times 2$ , где  $n$  предполагается числом из ряда  $2^m$ . Длины кратчайшего и наиболее длинного путей в схеме неодинаковы и составляют  $n/2$  и БЭ  $2 \times 2$ , соответственно.

### 3.3.7 Схема КСС Шпанке

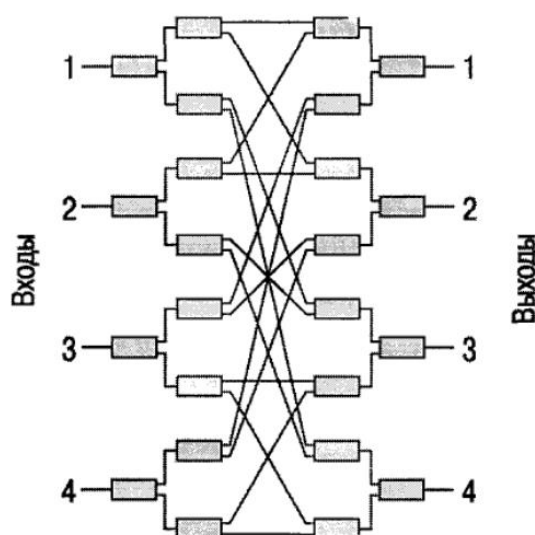


Рисунок 3.17 – Схема КСС Шпанке

Платой за неблокируемость в строгом смысле является большее, чем даже в схеме матричного коммутатора, число используемых БЭ - 24 против 16, однако

типы используемых БЭ проще -  $1 \times 2$  и  $2 \times 1$  вместо  $2 \times 2$ . В общем случае такая схема размера  $n \times n$  требует  $2n(n - 1)$

БЭ типа  $1 \times 2$  и  $2 \times 1$  (число которых одинаково в силу симметричности схемы). Длины кратчайшего и наиболее длинного путей в схеме одинаковы и составляют  $2 \log_2 n$  БЭ.

Характеристики рассмотренных выше типов схем КСС сведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2.

Характеристики	Матричный кросс-коммутатор	КСС-Бенеша	КСС Шпанке-Бенеша	КСС Шпанке
<b>Неблокируемость</b>	В широком смысле	С перестройкой	С перестройкой	В широком смысле
Число базовых элементов	$n^2$	$n(2 \log_2 n - 1)/2$	$n(n-1)/2$	$2n(n-1)$
Пересекаемость	нет	есть	нет	есть
Максимум потерь	$2n-1$	$2 \log_2 n - 1$	$n$	$2 \log_2 n$
Минимум потерь	1	$2 \log_2 n - 1$	$n/2$	$2 \log_2 n$

### 3.4 Контрольные вопросы

1. назначение оптических коммутаторов
2. Основные показатели оптических коммутаторов
3. Типы оптических коммутаторов и их особенности
4. Принцип действия механических коммутаторов;
5. Принцип действия электрооптических коммутаторов;
6. Принцип действия термооптических коммутаторов;
7. Принцип действия оптоэлектронных коммутаторов на основе ППОУ;
8. Принцип действия интегральных активно-волноводных коммутаторов;
9. Принцип действия коммутаторов на фотонных кристаллах;
10. Принцип действия коммутаторов на многослойных световодных жидкокристаллических матрицах;
11. Принцип действия коммутаторов на ИС с набором матриц оптоэлектронных вентилях, связанных оптическим лучом.

## **4. ИЗУЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ РЕФЛЕКТОМЕТРОВ.**

**4.1 Цель:** изучить устройства и принцип действия оптических рефлектометров и их классификацию.

### **4.2. Краткие сведения из теории**

#### **4.2.1 Введение в оптическую рефлектометрию во временной области (OTDR)**

Используя OTDR, можно точно установить, где произошел обрыв.

OTDR дает пользователю визуальное представление о характеристиках оптического волокна по его длине. Он представляет график на экране, где горизонтальная ось соответствует расстоянию по длине кабеля, а вертикальная ось – затуханию кабеля. При соответствующей настройке, дисплей OTDR может обеспечить пользователя такой информацией:

- местоположением аномалий (вдоль волокна);
- потерями в волокне;
- потерями на сращке и потерями в разъеме;
- оптическими возвратными потерями.

Он обеспечивает самое полное представление о целостности волокна (кабеля).

Работа OTDR напоминает работу радара. Он посылает короткие световые импульсы и измеряет время, требуемое для получения отраженного сигнала. В случае, это может быть импульс, отраженный от корабля или самолета. В нашем случае OTDR излучает световой импульс, который распространяется вдоль волокна до тех пор, пока не встретит какое-то препятствие. Возвращенный сигнал состоит из обратно рассеянного света вдоль волокна (а) и света, отраженного от дефектов волокна, таких как разрывность показателя преломления на стыках секций, разрывы волокна и концы косвенно, определены путем измерения разницы в мощности оптического сигнала, отраженного от этих двух точек.



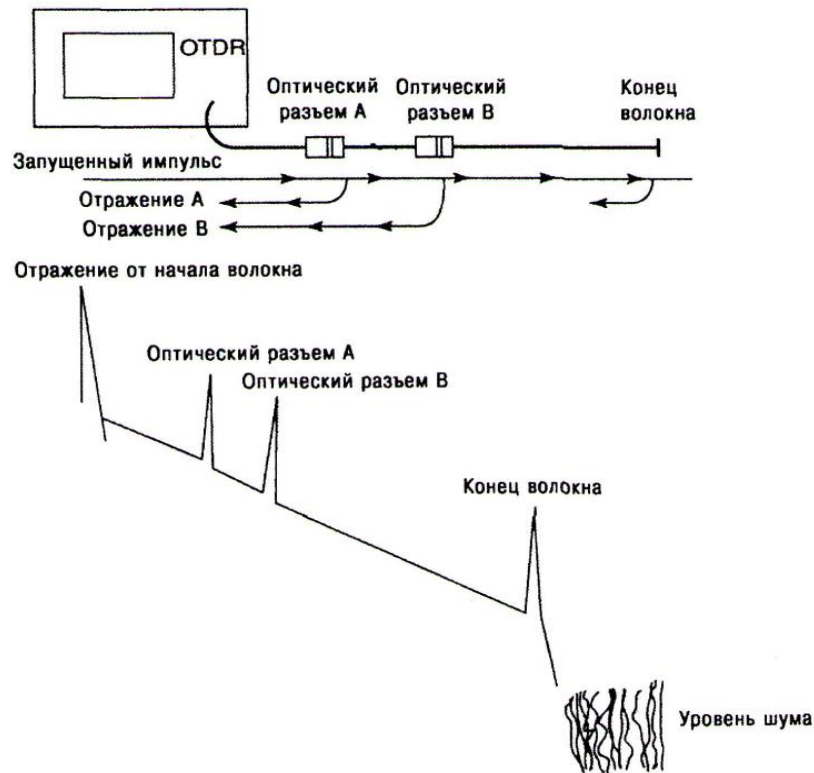


Рисунок 4.1 – Типовая схема использования OTDR для измерения на образце волокна с двумя концевыми оптическими разъемами.

Верхняя часть рисунка показывает схему подключения OTDR, а нижняя – график затухания отраженного сигнала, воспроизведенного на экране OTDR.

Основная задача OTDR – измерять расстояние до места обрыва волокна или других аномалий по длине кабеля. Зная показатель преломления сердцевины волокна ( $n$ ) и время, требуемое для возврата отражения ( $T$ ), в секундах, OTDR вычисляет расстояние  $D$  до дефекта, в метрах, используя следующие выражение:

$$D(\text{метры}) = 3 \times 10^8 \times (T)/2 \times (n) \quad (4.1)$$

Часто отраженный световой сигнал слаб и маскируется шумом приемной части OTDR. Вот почему OTDR посылает пачку импульсов. Приемник в этой ситуации принимает пачку импульсов, вычисляет для нее среднее значение, после чего отображает след на экране дисплея. График такого следа показан на рисунке 1.

OTDR представляет результаты своих измерений в форме следа (графика) затухания на дисплее. Отображенная информация представлена наклонными следами логарифма рассеянной мощности, принятой OTDR. Следует заметить, что наклон следа примерно равен затуханию волокна. Там, где есть сращения, разъемы или другие разрывы непрерывности волокна, их приблизительные потери можно оценить по величине вертикального смещения наклонных следов по

разные стороны от стыка или разрыва непрерывности. Более аккуратные значения измерений указанных потерь можно получить, используя среднее двух измерений OTDR, проведенных с разных концов измеряемой линии. Можно убедиться, что OTDR является уникальным инструментом, позволяющим проводить измерения дефектов волокна, как в плане вносимых ими изменений оптической мощности, так и с точки зрения их расстояния до OTDR. На рисунке 4.2 представлен вид графика отражений сигнала на дисплее OTDR. Идентифицируются разрывы непрерывности затухания.

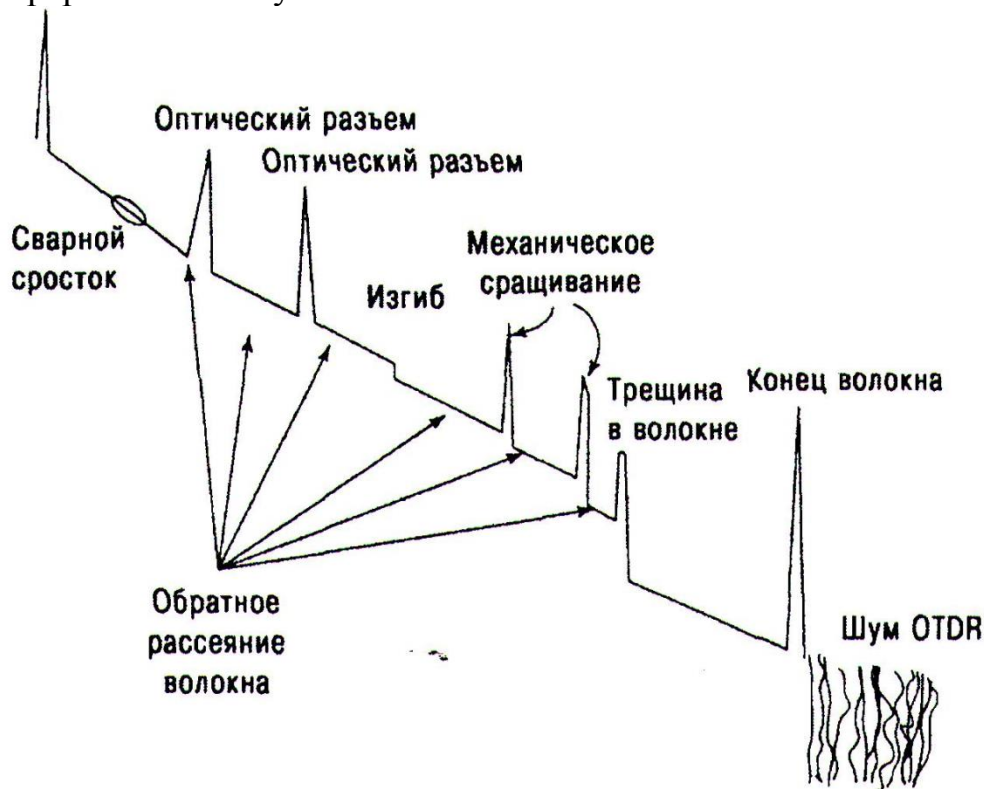


Рисунок 4.2 – Вид графика отражений сигнала на дисплее OTDR.

В целом по длине, волокно, отражающее свет, оставляет впечатление среды с откликом в виде прямой линии с постоянным наклоном. Постоянный наклон представляет аккумулированное затухание волокна при прохождении по нему импульсов. Прямая линия представляет обратное рассеяние, характеризующее рассеяние от неоднородностей волокна. Вдоль следа наблюдаются ступеньки. Ступенька – это мгновенное изменение мощности. Большинство, если не почти все, из этих ступенек, видимые вдоль следа OTDR, представляют сварные срезки. Ступенька также может быть результатом света, отраженного от микроизгиба волокна. В этой ситуации волокно может быть расплющено или строго согнуто (микроизгиб), так что какое-то количество света может быть потеряно, что приводит к потерям (затуханию).

На следе OTDR также видны пики, или острые выступы. Они представляют собой отражения, вызванные переходами через границу раздела сред: стекло-воздух, воздух-стекло. Можно ожидать появление таких пиков в местах

механических сростков или оптических разъемов. На конце волокна происходит возвращение света из шума. Этот шум в большинстве своем возникает благодаря приемнику, который имеет конечную чувствительность. Важным параметром OTDR является динамический диапазон. Он может быть определен, как разница между мощностью в начале обратного рассеяния, показанного в виде пика в начале следа, и мощностью у пика в самом конце следа (волокна), у границы шума.

Существует еще один предел на дисплее OTDR. Это так называемая мертвая зона ослабления, или просто мертвая зона. Этот предел описывает расстояние между началом пика и точкой, где он почти вернулся к уровню обратного рассеяния. Мертвая зона ограничивает разрешающую способность измерений. Оба эти параметра зависят от поведения приемника и от импульса, запущенного вдоль волокна при измерении. Они как будто гасят друг друга: чем лучше динамический диапазон, тем хуже мертвая зона, и наоборот.

Существуют четыре типа измерительного оборудования в рамках семейства OTDR:

1. Полнопрофильные OTDR;
2. Мини-OTDR;
3. Устройства поиска места обрыва волокна;
4. Блоки удаленного тестирования.

Полнопрофильные OTDR являются обычными оптическими рефлектометрами во временной области, имеющими множество реализованных функций-особенностей. Они обычно имеют большой вес и меньше приспособлены для транспортировки, чем мини-OTDR или устройства поиска мест обрыва волокна. Их используют обычно в лаборатории или для сложных процедур поиска неисправностей в полевых условиях.

Мини-OTDR и устройства поиска мест обрыва волокна являются портативными устройствами, широко используемыми для поиска неисправностей в ВОЛС. Мини-OTDR (в силу специфики) имеют уменьшенное число реализованных функций-особенностей. Они дешевле и легче и меньше по размерам, но при этом позволяют выполнять все основные функции полнопрофильных устройств. Что касается устройств поиска мест обрыва волокна, то это ни что иное, как оптоэлектронная измерительная лента, которая может мерить расстояние до катастрофических дефектов волокна.

Полнопрофильные OTDR должны иметь возможность работать со следующими длинами волн: 850 и 1300 нм (многомодовое волокно), 1310 и 1550 нм (одномодовое волокно).

Можно ожидать, что OTDR обеспечит получение следующей информации о типичной ВОЛС или ее сегменте:

- типовые характеристики волокна (коэффициент затухания, коэффициент обратного рассеяния и др.);
- вносимые потери;
- отражательную способность;

- возвратные потери;
- расстояние между дефектами;
- расстояние и потери между терминальными точками.

Следующие два типа аномалий могут быть показаны на экране дисплея OTDR:

**Ложный сигнал.** Многие наблюдали такого типа сигналы на экране ТВ. На экране дисплея может появиться ложный сигнал, которого фактически нет в наличии. Появление такого сигнала может быть вызвано как OTDR, так и волокном. Ложный сигнал может быть вызван многократными отражениями в обоих направлениях в волокне. Свет одного из таких отражений, попадая в OTDR с определенной задержкой, может вызвать появление ложного сигнала, рассматриваемого как дополнительный дефект. Интенсивность ложного сигнала можно снизить путем уменьшения отражательной способности оптических разъемов, или путем замены разъемов сварными стыками. Типичный пик от ложного сигнала показан на рисунке 3.

Можно также иметь ложные сигналы, если OTDR не настроен корректно. Если импульс 1 от OTDR еще распространяется по волокну, а импульс 2 запущен раньше того момента, когда импульс 1 покинул волокно, может появиться дополнительный (ложный) сигнал. Это происходит от того, что приемник OTDR видит эхо как от одного, так и от другого импульсов в одно и то же время и дополнительный импульс может появиться там, где его не ждут. Это можно устранить увеличением времени между запуском импульсов. Некоторые OTDR делают это автоматически.

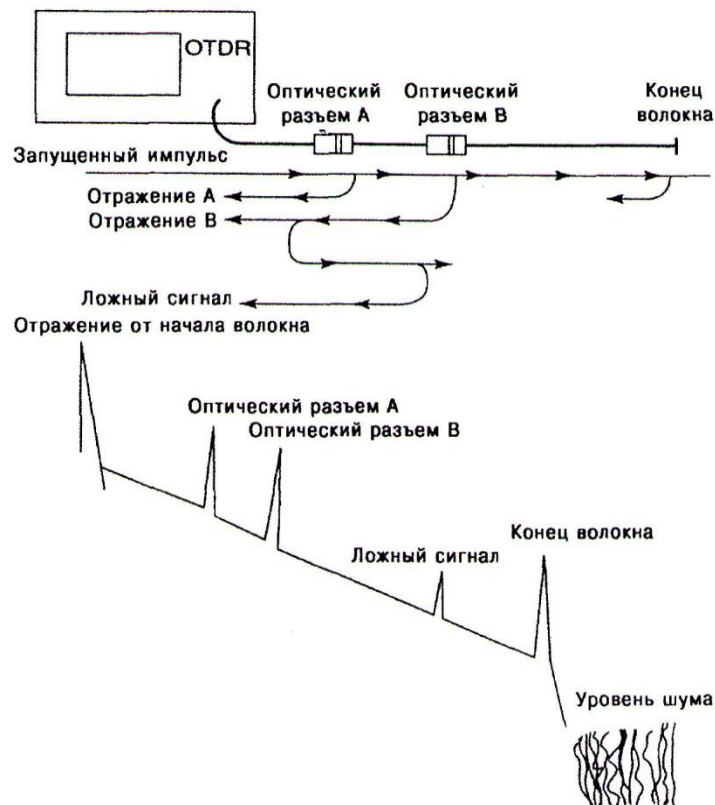


Рисунок 4.3 – Типичный пик от ложного сигнала

**Эффект усиления.** Этот эффект – еще один источник ошибок при использовании OTDR. Когда два различных типа волокна соединяются с помощью сростка или разъема, может возникнуть эффект усиления. Он появляется в точке стыка/сварки и наблюдается в виде возрастания амплитуды, а не спада, как должно быть. Этот эффект неприятен для персонала, занятого поиском неисправностей, так как им нужно мерить возникающие потери количественно. В результате, одно из волокон в стыке посылает обратно более сильное отраженное излучение, чем другое, приводя к ошибкам в измерении потерь.

Рисунок 4.4 иллюстрирует эффект усиления на OTDR.

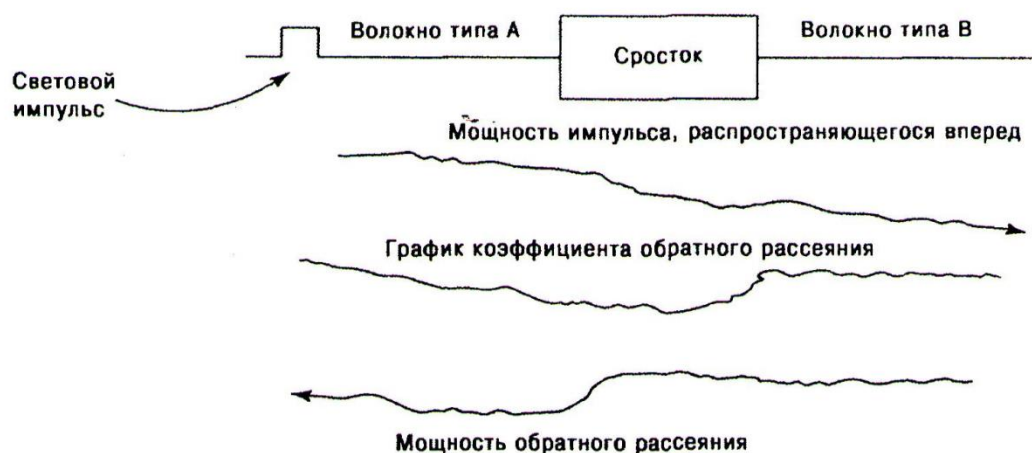


Рисунок 4.4 – Графики на дисплее OTDR, показывающие появление эффекта усиления.

Стык, как видно на графике, усиливает свет. Вот почему этот эффект называется эффектом усиления.

**Диапазон использования OTDR.** Диапазон использования OTDR имеет максимум, который определяется динамическим диапазоном инструмента. Предположим, что производитель определил, что динамический диапазон (D) OTDR составляет 30дБ на длине волны 1550 нм и что затухание волокна на этой длине волны  $[L_{(дБ/км)}] = 0,25$  дБ/км, включая все сростки и разъемы.

$$\begin{aligned} \text{Диапазон использования (км)} &= D_{(OTDR)} / L_{(дБ/км)} = \\ &= 30\text{дБ} / 0,25 \text{ дБ/км} = 120 \text{ км} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Чтобы преодолеть проблемы, связанные с мертвой зоной, рекомендуется проводить двусторонние измерения. С одного конца волокна технические специалисты будут измерять потери для идентификации дефектных точек и составление записей показаний. С противоположного конца того же волокна они будут

измерять потери для тех же дефектных точек и делать аналогичные записи измерений. Следующий шаг – суммировать эти два показания для каждой точки и вычислить среднее значение, которое более точно, чем одно из них.

Нужно быть аккуратным, когда в сооружениях используется волокно в свободной буферной трубке. В этом случае, длина волокна больше длины кабеля, что сказывается на точности измерений кабеля с помощью OTDR. Избыточная длина волокна в кабеле определяется не только за счет легкой пучковой укладки волокна внутри трубки, но и спиральной укладкой трубок вокруг центрального силового элемента. Производитель кабеля должен указать в спецификации это избыточное количество волокна в кабеле в виде процента от общей длины кабеля, измеренной по внешней оболочке. Показания OTDR должны быть отъюстированы по этому показателю.

Производитель оборудования должен также привести в спецификации показатель преломления волокна с точностью до четырех знаков. Прежде чем проводить какие-то измерения OTDR, его нужно настроить, введя это точное значение показателя преломления.

Ниже показан метод коррекции кабельной длины по избыточной длине волокна.

В выражении (4.3) приведено соотношение между длиной кабеля  $D_{cable}$  и длиной волокна  $D_{fiber}$ , полученной с помощью OTDR.

$$D_{cable} = D_{fiber} / (1 + \alpha / 100) \quad (4.3)$$

где  $\alpha$  = избыточное количество волокна в кабеле в процентах, указанное производителем кабеля.

Рассмотрим пример. Обслуживающий персонал определил показание расстояния до обрыва волокна по OTDR – 48,36 км. Производитель кабеля указал в спецификации процент избыточного волокна в кабеле – 5,4%. Для того чтобы определить истинное расстояние до точек обрыва волокна, персонал должен вычислить длину кабеля, измеренную по внешней оболочке. Применяя формулу (4.3), получаем [1, 2]:

$$D_{cable} = 48,36 / (1 + 0,054) = 45,88 \text{ км.}$$

### 4.3 Контрольные вопросы

1. Принцип работы оптических рефлектометров
2. Какую информацию предоставляет оптический рефлектометр пользователю
3. Какое соотношение позволяет измерять расстояние до места обрыва
4. Какие типы измерительного оборудования существует в рамках семейства рефлектометра
5. Когда появляются ложные сигналы при измерении
6. Что такое эффект усиления

7. Чем определяется диапазон использования оптических рефлектометров

## 5. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАЦИОНАРНОЙ РАДИОСТАНЦИИ.

### Технологические карты по техническому обслуживанию стационарной радиостанции РС-46 МЦ

(дополнение к сборнику технологических карт по техническому обслуживанию технологической радиосвязи ОАО «РЖД», утвержденного в Центральной станции связи - филиала ОАО «РЖД» 21.12.2008 г.)

#### КТИ – 8

ЦСС	КТТП	Радиостанция РС-46МЦ	
Наименование работы (операции)		Замена радиостанции для проверки в КРП	
Норма времени, чел.-ч			
Периодичность проведения работ (в соответствии с Регламентом ТО №2782 п...)		Класс ж.д.линии	
		Внеклассные -3	4-5 класс
		1 раз в год	
Состав бригады (исполнители)		Электромеханик, имеющий группу по электробезопасности не ниже III.	
Оформление работ		В порядке текущей эксплуатации, со снятием напряжения	
Инструмент, принадлежности и монтажные приспособления		Резервная радиостанция, ПУС, набор отверток, ключи.	
Проверить до начала проведения работы	Измерительные приборы	Мультиметр.	
	Средства защиты	Диэлектрический коврик.	
	Сигнальные принадлежности	Жилет сигнальный со световозвращающими накладками.	

#### Порядок выполнения работ (операций)

1. Осмотреть радиостанцию на наличие пломб и бирок.
2. Проверить конфигурационные данные заменяемой радиостанции, согласно пункту 3.1 технологической карты №9 «Установка (или проверка) конфигурации радиостанции. Регулировка чувствительности приёмника блока УПП-1, УПП-2». Сравнить их с данными, занесёнными в паспорт устройств радиосвязи (поездной или стационарной). Изъять блок ЦАУ из корпуса резервной радиостанции, предварительно отвернув четыре винта крепления, проверить положение перемычек на плате АПК2/4 на соответствие типа подключения к линии

ДНЦ (двух- или четырёхпроводная линия). При необходимости, установить перемычки в соответствии нужным типом линии. Вставить блок ЦАУ на место по направляющим до упора, затянуть винты крепления.

3. Выключить тумблеры питания «ВКЛ 220В» и «ВКЛ АКК» на \_ радиостанции. Отключить автоматы на щите (стойке) распределения питания, вынуть предохранители. Отключить разъемы, кабели, заземление. Вывесить предупредительные таблички.

4. Заменить радиостанцию. Установить резервную радиостанцию на раме. Первым подключить провод заземления, затем провода, кабели, разъемы. Включить автоматы на щите (стойке) распределения питания, вставить предохранители.

5. Включить радиостанцию, зафиксировать отсутствие сообщений об авариях на индикаторе блока ЦАУ при самотестировании радиостанции. Проверить конфигурацию устанавливаемой радиостанции на соответствие снятым конфигурационным данным, согласно пункту 3.1 технологической карты №9 «Установка (или проверка) конфигурации радиостанции. Регулировка чувствительности приёмника блока УПП-1, УПП-2».

6. Произвести регулировку чувствительности приёмника блока УПП-1 (УПП-2), согласно пункту 3.2 технологической карты №9 «Установка (или проверка) конфигурации радиостанции. Регулировка чувствительности приёмника блока УПП-1, УПП-2».

7. Провести проверку работоспособности радиостанции, согласно технологическим картам № 1 и №2 (РС-46МЦ - Руководство по эксплуатации часть третья от 09.03.2013г.) «Проверка технического состояния и работоспособности радиостанции».

8. Совместно с механиком ЛАЗа ЕДЦУ произвести проверку и, при необходимости, подстройку уровней сигнала в линейном канале ДНЦ и протестировать радиостанцию средствами удаленного мониторинга.

9. Закрыть радиостанцию, опломбировать.

## **1. Организационно-технические мероприятия до начала работ по КТТП 8**

1.1. Получить в КРГ1 резервную радиостанцию.

1.2. Получить разрешение ЦТО/ЦТУ на выполнение работ. Открыть ЕСМА «Учет ресурсов», модуль ГТГ1-2, закладка «Работы пользователя», убедиться в наличии листа регистрации (ЛР ГТП) на данную работу.

1.3. Надеть исправную спецодежду, специальную обувь, привести их в порядок: застегнуть все пуговицы, заправить свободные края одежды.

1.4. Ознакомиться с порядком производства работ и особенностями выполнения технологических операций.

1.5. Проверить наличие, исправность инструмента.



1.6. Оформить работу в рабочем журнале с указанием даты, наименования работы, времени начала производства работ.

1.7. Убедиться в отсутствии факторов, влияющих на безопасность проведения работ.

1.8. Обо всех обнаруженных неисправностях оборудования, приборов, приспособлений, инструмента и других недостатках сообщить старшему электромеханику или руководителю работ и не приступать к работе до их устранения.

1.9. Работа выполняется с перерывом связи во время предоставленного по заявке технологического окна. Перед началом работ оценить поездную обстановку, запросить у ДСП и ДНЦ разрешение на производство работ по замене радиостанции, сделать запись в журнале осмотра путей, стрелочных переводов, устройств СЦВ, связи и контактной сети (форма ДУ- 46) «По станции будет производиться замена поездной (маневровой в пределах маневрового района) УКВ (КВ) радиостанции. Для оперативной работы ДСП пользоваться соответственно УКВ (КВ) радиостанцией».

## **2. Требования безопасности при проведении работ по КТТП 8**

2.1. Во время работ необходимо выполнять санитарные нормы.

2.2. При техническом обслуживании оборудования необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

– не допускать к месту проведения работ лиц, не имеющих отношения к техническому обслуживанию;

– двери шкафов, щитов, оборудование которых находится под напряжением и на которых не проводятся работы, должны быть закрыты.

2.3. После окончания работ привести в порядок рабочее место, вымыть загрязненные участки тела теплой водой с мылом.

## **3. Организационно-технические мероприятия после окончания работ по КТТП 8**

3.1. Оформить в «Журнале учета выполненных работ по ГТП» формы «П1У-2» записи об окончании работ и выполненных объемах с указанием результата, а также сделать отметку в оперативном плане.

3.2. Сделать соответствующие записи в журнале осмотра путей, стрелочных переводов, устройств СЦВ, связи и контактной сети (форма ДУ- 46).

3.3. Обо всех неисправностях и недостатках, замеченных во время работы, и о принятых мерах к их устранению, необходимо сообщить старшему электромеханику или руководителю работ.

3.4. Убрать инструмент и приспособления в специально предназначенные для них места.

3.5. Доложить о выполнении работы ДСП (ДНЦ), старшему смены ЦТО. Сделать отметку о выполнении работы в ЛР ГТП.

3.6. Передать радиостанцию в КРП для их проверки.

### КТИ – 9

ЦСС	КТТП-9	Радиостанция РС-46МЦ	
Наименование работы (операции)		– Установка (или проверка) конфигурации радиостанции. – Регулировка чувствительности приёмника блока УПП-1, УПП-2.	
Норма времени, чел.-ч			
Периодичность проведения работ (в соответствии с Регламентом ТО №2782 п...)		Класс ж.д.линии	
		Внеклассные -3	4-5 класс
		По п.1 – 1 раз в 3 месяца По п.2 – 1 раз в 3 месяца и при замене блоков УПП-1, УПП-2, ЦАУ. При замене радиостанции для проверки в КРП. По необходимости.	
Состав бригады (исполнители)		Электромеханик, имеющий группу по электробезопасности не ниже III.	
Оформление работ		В порядке текущей эксплуатации, без снятия напряжения	
Инструмент, принадлежности и монтажные приспособления		Не требуется	
Проверить до начала проведения работы	Измерительные приборы	Не требуется	
	Средства защиты	Не требуется	
	Сигнальные принадлежности	Не требуется.	

### Порядок выполнения работ (операций)

1. Проверка конфигурации и изменение параметров конфигурации радиостанции.

В исходном состоянии на цифровом индикаторе блока ЦАУ должна высвечиваться надпись « РС-46 ».

Нажать клавишу « С » на клавиатуре блока ЦАУ. На цифровом индикаторе ЦАУ высветится « С. \_ ». Вводим с клавиатуры номер параметра, который хотим просмотреть, например, 19. На экране появится « С. 19.00. », где 00 - запрограммированное значение этого параметра. Сравниваем его с нужным значением по

таблице конфигурационных параметров в паспорте поездной (станционной) радиосвязи. Если значение просматриваемого параметра соответствует табличному, то нажимаем клавишу « \* ». На цифровом индикаторе ЦАУ высветится « С. \_ », после чего переходим к просмотру следующего параметра, аналогично описанному выше, т.е. вводим с клавиатуры номер следующего параметра. Если значение параметра не соответствует табличному значению, то изменяем его в соответствии с таблицей. Для этого нажимаем клавишу « # », на цифровом индикаторе высветится « С.19. \_ ». Вводим нужное значение из таблицы, например, 01 и нажимаем клавишу « \* ». На цифровом индикаторе высветится « С. \_ », после чего вводим следующий номер параметра для просмотра. После окончания просмотра и изменения всех конфигурируемых параметров необходимо два раза нажать клавишу « \* ». На цифровом индикаторе появится надпись « РС-46 ».

## 2. Регулировка чувствительности приёмника блока УПП-1.

Подключить микротелефонную трубку (МТТ) к соединителю «МТТ» ячейки ЦАУ. С помощью отвертки установить регулятор аттенюатора «ОСЛАБЛЕНИЕ», находящийся на лицевой панели приемопередатчика УПП-1, в положение "0 дБ" (повернуть до упора против часовой стрелки). Регулятор «ПШ», находящийся на лицевой панели приемопередатчика, вывернуть до упора против часовой стрелки. В конфигураторе радиостанции включить шумоподавитель (параметр С27 должен быть равен 00 - шумоподавитель включен).

Нажатием клавиши «R» на клавиатуре ЦАУ произвести общий сброс радиостанции. После чего последовательно нажать клавиши «Б», "0", "5". Вводимые символы должны отображаться на экране ЦАУ. После ввода на индикаторе появится сообщение «ЕНХХ.Х», где «ХХ.Х» - трехзначное число, отображающее значение уровня радиосигнала, приходящего в приемник радиостанции, переведенное в напряжение регистрации в вольтах.

Прослушиванием радиоканала с помощью МТТ дождаться момента, когда радиоканал будет свободным, после чего последовательным переключением регулятора аттенюатора «ОСЛАБЛЕНИЕ» добиться показаний индикатора ЦАУ в режиме F 05 не превышающих значения «01.0», т.е. максимально загрузить чувствительность входного каскада приемника к шумам радиоканала. Не рекомендуется устанавливать ослабление аттенюатора более - 30 дБ.

После регулировки аттенюатора установить регулятор ПШ в среднее положение. При этом добиться отсутствия шумов радиоканала в МТТ при отсутствии переговоров радиостанций и устойчивого приёма сигналов радиостанций со слабым уровнем.

При работе радиостанций в диспетчерской сети ЛДС необходимо учитывать, что для правильного срабатывания схемы выбора лучшей радиостанции не должно быть резких отличий в установке аттенюаторов соседних станций, рекомендуемое ослабление аттенюатора приёмника 20 дБ.

## 3. Регулировка чувствительности приёмника блока УПП-2.

Подключить микрофонную трубку (МТТ) к соединителю «МТТ» ячейки ЦАУ. Регулятор «ПШ», находящийся на лицевой панели приемопередатчика, вывернуть до упора против часовой стрелки. В конфигураторе радиостанции просмотреть значения параметров С27 и С25. Параметр С27 должен быть равен 00 - шумоподаватель включен. Параметр С25 должен иметь значение 00 - ослабление аттенюатора приёмника 0 дБ. При необходимости выставить требуемые значения параметров.

Нажатием клавиши «R» на клавиатуре ЦАУ произвести общий сброс радиостанции. После чего последовательно нажать клавиши «Б», "0", "5". Вводимые символы должны отображаться на экране ЦАУ. После ввода на индикаторе появится сообщение «Ц=XX.X», где «XX.X» - трехзначное число, отображающее значение уровня радиосигнала, приходящего в приемник радиостанции, переведенное в напряжение регистрации в вольтах.

Прослушиванием радиоканала с помощью МТТ дождаться момента, когда радиоканал будет свободным, после чего зафиксировать показания уровня радиосигнала на индикаторе ЦАУ. Если уровень радиосигнала превышает значения «01.0», то выйти из режима измерений, нажав клавишу «R». Войти в режим конфигурирования. Установить параметр С25 равным 01 (ослабление аттенюатора приёмника -10 дБ). Нажатием клавиши «R» на клавиатуре ЦАУ произвести общий сброс радиостанции и повторить операцию измерения значения уровня радиосигнала, приходящего в приёмник радиостанции. Если и в этом случае показания цифрового индикатора более «01.0», то установить параметр С25 равным 02 (ослабление аттенюатора приёмника -20 дБ). Таким образом, последовательно изменяя ослабление аттенюатора приёмника от 0 до -20 дБ, добиться показаний индикатора ЦАУ в режиме F 05 не превышающих значения «01.0», т.е. максимально затрубить чувствительность входного каскада приемника к шумам радиоканала. Не рекомендуется устанавливать ослабление аттенюатора более -20 дБ.

После регулировки аттенюатора установить порог срабатывания шумоподавателя. Для чего, прослушивая радиоканал с помощью МТТ, вращением регулятора «ПШ» приемопередатчика по часовой стрелке добиться устойчивого срабатывания шумоподавателя - отсутствия шумов радиоканала в МТТ при отсутствии переговоров радиостанций и включения на сигналах радиостанций со слабым уровнем..

При работе радиостанций в диспетчерской сети ЛДС необходимо учитывать, что для правильного срабатывания схемы выбора лучшей радиостанции не должно быть резких отличий в установке аттенюаторов соседних станций, рекомендуемое ослабление аттенюатора приёмника 0

дБ.

4. Провести проверку работоспособности радиостанции, согласно технологической карте № 1 «Проверка технического состояния и работоспособности радиостанции».

5. Конфигурации вновь устанавливаемой радиостанции.

5.1 Установка настроек конфигуратора р/ст для работы по радиопроводному каналу связи.

5.2 С помощью клавиатуры блока ЦАУ в режиме “С” произвести проверку правильности параметров конфигуратора. На участках ДЦ и в других случаях, когда необходима автоматическая посылка вызова машинисту локомотива на частоте 1000 Гц, при избирательном подключении р/ст к линии связи установить параметр “С 17.01”. Если к р/ст подключен РИ-1М - установить параметр “С 19.01”.

Параметр “С24.хх” устанавливать на линии таким образом, чтобы 1-ая станция имела длительность сигнала блокировки 250 мс (С24.01); 2-ая станция 500 мс (С24.02); 3-я станция 750 мс (С24.03); 4-ая станция 250 мс (С24.01) и т.д.

На станциях, которые входят в перечень станций имеющих ручное подключение р/ст к проводному каналу через дежурных по станциям, необходимо устанавливать параметр “С 18.01”, в других случаях “С 18.00”. При работе р/ст в режиме 2х-проводного окончания включить режим подачи сигнала 1000 Гц или 1343 Гц (сигнал активной паузы) для разворота линейных усилителей “С44.01”.

Установить параметры “СП.хх” и “С12.хх” в соответствии с присвоенными номерами частотных комбинаций СИП для данной станции.

6. Установка уровней сигналов на стыке РПО46 с двухпроводным или четырех проводным каналом

При работе в составе р/ст адаптера проводного канала АПК-2/4, необходимо вынуть блок ЦАУ из РПО, снять защитный экран с блока ЦАУ и соблюдая меры по защите блока от статического напряжения установить на его плате перемычки в соответствии с типом используемой линии и её входным сопротивлением. После чего закрепить защитный экран и установить ЦАУ на место.

При 4х-проводном включении установить следующие параметры конфигуратора:

- корректор АЧХ выхода “С30.11”
- регулятор уровня выхода “С31.38”
- корректор АЧХ входа 0 дБ “С32.11”
- АРУ входа “С33.78”

**Примечание:** указание пункта 6. не распространяются на радиостанции укомплектованные блоками АПК - 4.

7. Прием сигнала устройством РПО-46 с линейного двухпроводного канала связи (с субблоком АГГК-2)

**Примечание:** регулировку уровней на приём начинать с конечной станции.

8. Все радиостанции, подключенные к двухпроводной ЛДС должны находиться в режиме высокоимпедансного входа/выхода. Дальняя от распорядительной станции по подключению к физической линии радиостанция должна находиться в режиме согласованного входного и выходного сопротивления (для большинства случаев - это 600 Ом). Если на конце физической двухпроводной

линии установлен резистор 600 Ом, то оконечная радиостанция должна быть установлена в высокоимпедансный режим.

Установка значения входного / выходного сопротивления (10 или 20 кОм) определяется условиями физической реализации двухпроводной линии. При подключении к линии без усилителей до трех радиостанций предпочтительной является установка сопротивления 10 кОм, при большем количестве - рекомендуемое значение выходного сопротивления - 20 кОм. При наличии на линии усилителей ПДТУ - рекомендуемое сопротивление ЮкОм.

**Примечание:** *при наличии в линии усилителей ПДТУ необходимо убедиться в отсутствии их возбуждения после подключения радиостанции. В случае возбуждения ПДТУ должна быть выполнена их балансировка согласно действующей нормативно-технической документации МПС.*

9. Со стороны линейного ЛАЗа подать в физическую линию сигнал частотой 1071 Гц и номинальным уровнем 5 дБ. Если в двухпроводной линии установлены дуплексные усилители, то выходной уровень сигнала необходимо устанавливать с учетом требований на дуплексные усилители.

Установить корректор АЧХ входа АПК2/4 в положение 0 дБ/окт с помощью клавиатуры ЦАУ (С.32.11 согласно п. 2.2.6.2 РЭ).

Изменить значения регулятора уровня входного сигнала с помощью клавиатуры и индикатора ЦАУ (параметр 33, см. 2.2.6 РЭ), для этого ввести среднее значение параметра равное 47. Измерить значения принимаемого сигнала частотой 1071 Гц в режиме "F06" с помощью индикатора ЦАУ. Нажатием клавиш «D» и «E» на ЦАУ добиться показания уровня принимаемого сигнала равным «00.0».

Показания индикатора ЦАУ «U — свидетельствуют о перегрузке усилителя входным сигналом для данного коэффициента усиления (С.33.47). Для устранения перегрузки необходимо уменьшить коэффициент усиления вводом параметра С.33.XX с меньшим значением.

Показания индикатора ЦАУ «U—.-» свидетельствуют о малом уровне сигнала для выбранного конфигурацией (С.33.XX) значения коэффициента усиления. Для увеличения коэффициента усиления необходимо ввести параметр С.33.XX с большим значением параметра.

10. Со стороны линейного ЛАЗа подать в физическую линию сигнал частотой 2295 Гц и номинальным уровнем 5дБ.

Перейти в режим измерения, последовательно нажав на клавиатуре ЦАУ клавиши «F», «0», «6». На индикаторе ЦАУ - уровень принимаемого сигнала (2295 Гц). Оценить величину наклона частотной характеристики (показания ЦАУ являются прямыми - в дБ/окт).

Произвести коррекцию АЧХ приема изменением значения параметра 32. Величина некоторых возможных наклонов характеристики указана в таблице 2.5 по 2.2.6 РЭ (номер параметра 32). Повторить действия по п. 9. При необходимости уточнить коррекцию АЧХ.

11. Включить схему АРУ по входу (номер параметра 33, значение параметра - 96 по 2.2.6 РЭ).

**Примечание:** при наличии двухпроводной линии на высококачественном кабеле со стабильными во времени параметрами допускается эксплуатация радиостанции в режиме фиксированного коэффициента усиления по входу (без АРУ). Для этого необходимо оставить в конфигураторе значения параметров, полученные при выполнении пунктов с 9. по 10.

12. Передача сигнала с блока РПО-46 в двухпроводный канал (с субблоком АПК-2)

**Примечание:** регулировку уровней на передачу начинать с конечной станции.

– установить регулятор АЧХ выхода АПК2/4 в положение ОдБ/окт с помощью клавиатуры ЦАУ (параметр С.ЗОЛ 1 по 2.2.6 настоящего РЭ), для установки регулятора уровня выхода АПК2/4 ввести параметр 31, значение параметра - 21 из таблицы 2.5 см. 2.2.6 РЭ);

– подать в ЛДС с регулируемой РС-46МЦ сигнал частотой 1071 Гц (последовательно нажав на клавиатуре ЦАУ клавиши «F», «0», «9», «7», «1»). Механику линейного ЛАЗа произвести измерение параметров линии по уровню сигнала частотой 1071 Гц. При необходимости изменить уровень выходного сигнала АПК2/4 с помощью регулятора уровня выхода (параметр 31, значения из таблицы 2.5) до требуемого значения;

– подать в ЛДС с регулируемой РС-46МЦ сигнал частотой 2295 Гц, последовательно нажав на клавиатуре ЦАУ клавиши «F», «0», «9», «8», «3». В линейном ЛАЗе произвести измерение уровня сигнала и оценить величину отклонения от значения 1071 Гц в дБ. При необходимости произвести коррекцию выходного сигнала АПК2/4 с помощью корректора АЧХ выхода (параметр 30, значение параметра из таблицы 2.5 см. 2.2.6 РЭ).

13. Прием сигнала устройством РПО-46 с ТЧ канала (с субблоком АПК-4)

Для проверки канала приёма при четырех проводной линии, подать со стороны ЛАЗа сигнал с частотой 1071 Гц и в режиме “F06” проконтролировать сигнал в технологической трубке МТТ. Измерение уровня сигнала произвести в гнездах ПРД блока УВЗ, который должен составлять «+ 4 дБ».

Подать со стороны ЛАЗа сигнал с частотой 2295 Гц и произвести измерение уровня сигнала в гнездах ПРМ блока УВЗ. Сигналы 1071 Гц и 2295 Гц не должны отличаться по уровню.

14. Передача сигнала с блока РПО 46 в канал ТЧ (с субблоком АПК-4)

Для проверки канала передачи подать в линию сигнал частотой 1071 Гц (последовательно нажав на клавиатуре ЦАУ клавиши «F», «0», «9», «7», «1»). Уровень сигнала контролировать в гнездах ПРД блока УВЗ, который должен составлять «-13 дБ».

Подать в линию сигнал частотой 2295 Гц (последовательно нажав на клавиатуре ЦАУ клавиши «F», «0», «9», «8», «3»). Механику ЛАЗа произвести измерение уровня сигнала 1071 Гц и 2295 Гц которые не должны отличаться по уровню.

Для радиостанций, укомплектованных платой АПК-4, регулировочные работы не проводятся, так как эта модификация имеет фиксированные параметры.

## **1. Организационно-технические мероприятия до начала работ по КТПП 106110.55202.00001**

1.1. Получить разрешение ЦТО/ЦТУ на выполнение работ. Открыть ЕСМА «Учет ресурсов», модуль ГТП-2, закладка «Работы пользователя», убедиться в наличии листа регистрации (ЛР ГТП) на данную работу.

1.2. Надеть исправную спецодежду, специальную обувь, привести их в порядок: застегнуть все пуговицы, заправить свободные края одежды.

1.3. Ознакомиться с порядком производства работ и особенностями выполнения технологических операций.

1.4. Проверить наличие, исправность инструмента.

1.5. Оформить работу в рабочем журнале с указанием даты, наименования работы, времени начала производства работ.

1.6. Убедиться в отсутствии факторов, влияющих на безопасность проведения работ.

1.7. Обо всех обнаруженных неисправностях оборудования, приборов, приспособлений, инструмента и других недостатках сообщить старшему электромеханику или руководителю работ и не приступать к работе до их устранения.

1.8. Работа выполняется с перерывом связи во время предоставленного по заявке технологического окна. Перед началом работ оценить поездную обстановку, запросить у ДСП и ДНЦ разрешение на производство работ по замене радиостанции, сделать запись в журнале осмотра путей, стрелочных переводов, устройств СЦБ, связи и контактной сети (форма ДУ- 46) «По станции будет производиться замена поездной (маневровой в пределах маневрового района) УКВ (КВ) радиостанции. Для оперативной работы ДСП пользоваться соответственно УКВ (КВ) радиостанцией».

## **2. Требования безопасности при проведении работ по КТПП 106110.55202.00001**

2.1 Во время работ необходимо выполнять санитарные.

2.2 При техническом обслуживании оборудования необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

– не допускать к месту проведения работ лиц, не имеющих отношения к техническому обслуживанию;

– двери шкафов, щитов, оборудование которых находится под напряжением и на которых не проводятся работы, должны быть закрыты.

2.3 После окончания работ привести в порядок рабочее место, вымыть загрязненные участки тела теплой водой с мылом.



### **3. Организационно-технические мероприятия после окончания работ по КТПП 106110.55202.00001**

3.1. Оформить в «Журнале учета выполненных работ по ГТП» формы «ШУ-2» записи об окончании работ и выполненных объемах с указанием результата, а также сделать отметку в оперативном плане.

3.2. Сделать соответствующие записи в журнале осмотра путей, стрелочных переводов, устройств СЦБ, связи и контактной сети (форма ДУ- 46).

3.3. Результаты выполненной работы отразить в Журнале учета выполненных работ на объектах связи (форма ШУ-2).

3.4. Обо всех неисправностях и недостатках, замеченных во время работы, и о принятых мерах к их устранению, необходимо сообщить старшему электромеханику или руководителю работ.

3.5. Убрать инструмент и приспособления в специально предназначенные для них места.

3.6. Доложить о выполнении работы ДСП (ДНЦ), старшему смены ЦТО. Сделать отметку о выполнении работы в ЛР ГТП.

#### **Порядок работы с клавиатурой и индикаторами ЦАУ.**

После включения питания радиостанции на передней панели ЦАУ должна появляться следующая индикация:

– светится индикатор «РАБ» и на экране ЦАУ появляется надпись «РС-46», все остальные индикаторы на ЦАУ (при опущенных в трубкодержатель ПУС трубках и отсутствии сигнала в радиоканале) должны быть погашены. Это исходное состояние радиостанции;

– при наличии сигнала в радиоканале или при переходе радиостанции в режим "ПРИЕМ" должен засветиться индикатор «УПП ПРМ»;

– при поднятии трубки на Г1УС1 или ПУС2 радиостанция переходит в режим "ПРИЕМ", при этом должен засветиться соответствующий индикатор "ПУС1 ПРМ" или "ПУС2 ПРМ";

– при приеме сигнала избирательного подключения по ЛДС радиостанция переходит в режим "ПРИЕМ", при этом должен засветиться индикатор «ЛДС Г1РМ»;

– при переходе радиостанции в режим "ПЕРЕДАЧА" должен засветиться индикатор «УПГ1 ПРД» и индикатор того устройства, которое явилось инициатором передачи: "ПУС1 ПРД", "ПУС2 ПРД" или «ЛДС ПРД»;

– при рассогласовании или аварии в антенно-фидерном тракте - надпись «AL.AFU» на индикаторе ЦАУ;

– при аварии УПП - надпись «AL.UPP» на индикаторе ЦАУ.

Работа с клавиатурой разрешена только тогда, когда радиостанция не занята переговорами. Вход в технологические режимы работы осуществляется из

исходного состояния (на экране ЦАУ светится надпись «РС-46»). В этом состоянии доступны для работы следующие клавиши:

- «R» - общий сброс радиостанции. Нажатие этой клавиши приводит к перезапуску программного обеспечения радиостанции;
- «A» - вход в режим технологической связи (с 2.3.3 по 2.3.5 РЭ);
- «B» - просмотр номеров версий программного обеспечения;
- «C» - конфигуратор параметров радиостанции (2.2.6 РЭ);
- «F» - тестовый режим (2.3.6 РЭ);
- «#» - клавиша гашения экрана ЦАУ (экран также автоматически выключается через 6 минут после включения радиостанции, включается нажатием любой клавиши);
- остальные клавиши заблокированы.

После нажатия клавиш «A», «C» или «F» назначение клавиш распределяется следующим образом:

- от «0» до «9» - цифровые номера или значения параметров;
- «\*» - вернуться на шаг назад;
- «#» - изменить текущее значение параметра.

**Примечание:** Радиостанция автоматически выходит в исходное состояние из любого технологического режима через 5 минут после последнего нажатия клавиши.

Тестовый режим используется для проверки и настройки параметров радиостанции. Работа радиостанции в тестовом режиме «F» накладывает следующее ограничение: не обрабатываются вызывные сигналы из радиоканала, т.е. не происходит распознавание вызовов ДСП, ДНЦ, так как процессор в плате АПП переключается на режим измерения напряжений.

Для обеспечения возможности функционирования радиостанции в режиме «F» конфигуратора необходимо пульты ПУС перевести вручную в режим «открытый канал» путем нажатия кнопки ОТ.КАН или снятия трубки с держателя.

Перечень тестируемых параметров приведен в таблице 1. Для запуска тестового режима необходимо проделать следующее:

- нажать клавишу «F» на клавиатуре ЦАУ, при этом на экране ЦАУ на первом знакоместе должен засветиться символ "F";
- с помощью клавиатуры ЦАУ ввести номер тестируемого параметра в соответствии с графой 1 таблицы 2.6. При этом на втором и третьем знакоместах экрана ЦАУ будет отображаться вводимое значение:

Номер параметра	Наименование параметра	Диапазон значений параметра	Примечания
-----------------	------------------------	-----------------------------	------------

1	2	3	4
Измеритель			
01	Измерение напряжения источника +5В.	от 4,8 до 5.2В	Допустимые значения параметра
	Измерение напряжения источника -5В.	от 4.8 до 5.2В	
02	Измерение напряжения источника +12В.	от 11 до 13В	
03	Измерение напряжения аккумуляторной батареи	от 21 до 28В от 0 до 9,9В	
04	Измерение уровня напряжения регистрации несущей радиоканата.	от-9,9до+2.0дБ	
05	Измерение уровня сигнала на входе АПК2/4.	от 26 до 28В от-20.0до+5,0дБ	
	Контроль вторичного напряжения сети	ог-20.0до+5,0дБ	
06*	Измерение уровня сигнала на входе АПУ1		
07	Измерение уровня сигнала на входе АПУ2.		
	Измерение уровня сигнала на входе АПУ1.	от -20,0 до+5,0дБ	
	Измерение уровня сигнала на входе АПУ2.	от-20.0 до+-5,0дБ	
Генератор			
09	Генерация сигналов на выходы АПК 2/4, АПУ	01 - 91	0—70 – сигналы для технологических проверок 71 - 1071 Гц 72 - 1207 Гц 73- 1241 Гц 74- 1309 Гц 75 - 1343 Гц 76 - 1411 Гц 77 - 1479 Гц 78 - 1547 Гц 79 - 1581 Гц

			80 - 1649 Гц 81 - 1683 Гц 82 - 2227 Гц 83 - 2295 Гц 84 - 700 Гц 85 - 900 Гц 86 - 1000 Гц 87 - 1400 Гц 88- 2100 Гц 89 - 400 Гц 90 - 800 Гц 91 - 3200 Гц
Коммутатор			
10	<p>Технологический коммутатор, обеспечивает прямой канал между двумя устройствами внутри РГ10. Этот режим используется при технологической проверке параметров радиостанции. Предусмотрен автоматический выход из режима коммутатора через 1 минуту после его установления</p>	01 -03,08, 15, 22	01-ЛДС наУПП с включением режима "ПЕРЕДАЧА". 00-ПУС1 наУПП с включением режима "ПЕРЕДАЧА". 01-ПУС2 наУПП с включением режима "ПЕРЕДАЧА". 08- УПП на ЛДС 15- УПП на ПУС1 22- УПГ1 на ПУС2
* Параметр «06» не действителен для радиостанций с АПК4			

– после ввода номера параметра (с 01 по 07, 12, 13) радиостанция перейдет в режим измерения соответствующего напряжения. На экране появится надпись «U=NNN», где NNN - измеренное значение напряжения в вольтах;

– для параметра «09» с помощью клавиатуры ЦАУ ввести номер генерируемой частоты в соответствии со значениями из графы 4 таблицы 2.6. При этом на четвертом и пятом знаках экрана ЦАУ будет отображаться вводимое значение;

– для ввода другого значения нажать “#”;

– при необходимости перехода к тестированию следующего параметра нажать клавишу и ввести требуемый номер параметра;

– при необходимости выхода из режима конфигурирования два раза нажать клавишу или произвести общий сброс радиостанции нажатием клавиши «R».

При выходе из режима тестирования на экране ЦАУ должна высветиться надпись "РС-46".

Таблица показаний значений уровня радиосигнала по индикатору блока ЦАУ соответствующих уровню ВЧ сигнала на входе УПП КВ – диапазон

Положение перекл. чувствительности	ОдБ	ЮдБ
Уровень ВЧ сигнала на вх. УПП, мкВ	Показания	
5	0,4 - 0,5	
10	1,0 - 1,8	
50	2,7 - 3,0	
200	3,7 - 4,3	
500	4,7 - 5,3	
1000		3,7 - 4,3
2000		4,7 - 5,3

#### КТИ – 10

ЦСС	КТТП-10	Радиостанция РС-46МЦ	
Наименование работы (операции)		Измерение основных параметров радиостанции РС-46МЦ в КРП. Проверка работоспособности в проводном канале.	
Норма времени, чел.-ч			
Периодичность проведения работ (в соответствии с Регламентом ТО №2782 п...)		Класс ж.д. линии	
		Внеклассные -3	4-5 класс
		1 раз в год	
Состав бригады (исполнители)		Электромеханик, имеющий группу по электробезопасности не ниже III.	

Оформление работ		В порядке текущей эксплуатации, без снятия напряжения
Инструмент, принадлежности и монтажные приспособления		Набор электромеханика
Проверить до начала проведения работы	Измерительные приборы	Вольтметр В7-27А/1 или цифровой мультиметр DT-830В или аналогичные приборы.
	Средства защиты	Не требуется
	Сигнальные принадлежности	Не требуется.

### Порядок выполнения работ (операций)

#### 1.1 Подготовка к проверке радиостанции.

1.1.1. Произвести внешний осмотр радиостанции на комплектность и чистоту блоков, исправность кабелей для подключения, отсутствие механических повреждений. При обнаружении неисправности или неполной комплектации сообщить ст. электромеханику. Произвести вскрытие каждого блока на предмет выявления окислов и открученного крепежа деталей печатных плат, вздутия конденсаторов, сильного изменения цвета электрорадиоэлементов, исправность изоляции внутреннего монтажа.

1.1.2. Соединить шкаф радиостанции (клемма «|») с контуром защитного заземления стенда кабелем №1. Тумблеры «Вкл акк» и «Вкл 220В», а также переключатель «Питание р/ст.» на стенде перевести в положение «Выкл».

1.1.3. Вскрыть блок ЦАУ радиостанции и на плате АПК установить технологические переключки в положение, соответствующее 2-проводному подключению с вх. сопротивл. 6000м см. приложение 1). Проверить правильность установки плинтов «ПРД», «ПРМ», «ПУС1», «ПУС2» блока УВЗ. Стрелка должна быть направлена вверх согласно маркировке.

1.1.4. Собрать схему рабочего места согласно приложению 2. Клеммы “\_L” обоих пультов ПУС01 соединить с шиной заземления стенда кабелем №2. Проверить наличие заземления установки К2-82, компьютера и коммутатора.

1.1.5. Подключить сетевое питание к соединителю «220В» ячейки УВЗ кабелем серого цвета. Подключить резервный источник питания +24В технологическим кабелем от гнезда «Питание р/ст.» на стенде. Выключатель «Питание р/ст.» перевести в положение «Вкл». При этом загорается индикатор «Сеть» на блоке ЭП.

1.1.6. Включить тумблер «Вкл 220В», при этом загораются индикаторы «Вкл» и «+13В». Включить тумблер «Вкл акк», при этом на блоке ЭП должен загореться индикатор «Акк». Включить электропитание остальных приборов и устройств, дать им прогреться не менее 15 мин.

1.1.7. Перед началом измерений занести в журнал параметров основные настройки радиостанции. Нажатием клавиши «В» на блоке ЦАУ вывести на индикатор и проверить номера версий программы submodule УПИН и ЦК8.

## 2.1 Измерение основных параметров радиостанции.

2.1.1. Загрузить на ПЭВМ программное обеспечение «СТОР46МС». После окончания загрузки в окне главного меню программы выбрать «Файл», затем «Регистрация», заполнить необходимые строки согласно информации о р/ст. и исполнителе, произвести регистрацию. Для начала проверки нажать в главном меню кнопку «Тестирование», затем «Пошаговое тестирование».

2.1.2. Выполнить проверку параметров, перечисленных в графе «Название проверки» диалогового окна. Для этого поочередно выбирать параметры в этой графе и однократно нажимать клавишу «Выполнить проверку» в этом же окне. Ход выполнения проверки контролируется по появлению результатов в графе «Измерение», а окончание - по активизации клавиши «Выполнить проверку» в нижней части окна. Результаты измерений автоматически сравниваются с полем допуска параметра и заносятся в файл отчёта. Перечень измеряемых параметров приведён в прилож. 3.

2.1.3. После завершения проверки всех параметров нажать кнопку «Создать отчёт», заполнить необходимые строки, сохранить файл отчёта, затем нажать кнопку «Выход» и вернуться в главное меню программы. Выключить р/ст. и другое оборудование, разобрать схему измерения.

2.1.4. Во время измерения параметров, связанных с работой радиостанции от выносного микрофона, трубки пультов должны быть уложены на держатели; подключение пультов в этом случае производится штатным кабелем из комплекта РС-46МЦ. Для остальных измерений трубки снимаются с держателей, а соединения производятся кабелем из комплекта СТОР согласно прилож. 2.

2.1.5. Контроль чувствительности радиостанции производится допусковым методом, при котором не измеряется реальная чувствительность, а только проверяется факт соответствия допуску - для КВ диапазона не хуже 4.9мкВ. При необходимости измерения реальной чувствительности приёмного тракта проверка выполняется неавтоматизированным способом (см. лист 35 технологических карт ЦВИЯ.464514.001Д).

## 2.2 Измерение параметров источника питания ЭП.

На блоке ЭП проконтролировать свечение индикаторов СЕТЬ, ВКЛ, «+13В», АКК (при наличии подключенного резервного источника питания);

Подключить щуп «Общий» вольтметра к гнезду “JL” на передней панели ячейки ЭП.

– измерить вольтметром В7-27А/1 или цифровым мультиметром DT- 830В в контрольных точках “-27В” и “+5В” на панели ЭП напряжения, которые должны составлять  $(27 \pm 0,6)В$  и  $(5 \pm 0,2)В$ .

– измерить напряжения пульсаций прибором ВЗ-38А, которые должны составлять не более 20 мВ.

– проверить напряжения электропитания, формируемые блоком ЭП, устанавливая технологические режимы «F01», «F02», «F03», «F04» (напряжение от внешнего источника постоянного тока), с помощью конфигуратора блока ЦАУ.

Величина напряжений электропитания, полученных при измерении должна составлять:

(5,0±0,2)В при измерении с помощью режимов «F01», «F02»;

(11,7±0,5)В при измерении с помощью режима «F03»

от 21В до 28В в режиме «F04» (напряжение внешнего источника постоянного тока, поданное на вход «АКК» радиостанции)

**Примечание.** Для блоков ЭП с годом выпуска:

– до 2004 измерять напряжения на гнездах «-24В», «+5В», «-5В»;

– до 2011 измерять напряжения на гнездах «-27В», «+5В»; после апреля 2011 г проверять напряжения с помощью технологических режимов «F01-F04».

Результаты измерений занести в таблицу.

2.3 Проверки наличия и уровня НЧ сигнала на выходе для регистратора переговоров (магнитофона) при имитации срабатывания У КС ПС.

2.3.1 Соединить технологическим кабелем разъём «ТУ-ТС/ Маг» РС-46МЦ с измерительной приставкой. Выход НЧ установки К2-82 подключить к разъёму «Ген» приставки, а вход НЧ К2-82 - к гнездам «МФ» приставки.

2.3.2 Нажатием кнопки «Уст» на панели К2-82 добиться зажигания соответствующего индикатора (режим установки параметров). В поле кнопок «НЧ» нажать клавишу «Напр» и вращением рукоятки установить на выходе напряжение 200мВ. Затем ещё раз нажать «Уст» (вход в режим измерения параметров) и вновь «НЧ Напр». На измерительной приставке нажать и удерживать кнопку «ПРД ТУ-ТС»; считать на индикаторе К2-82 и занести в журнал измеренное значение.

2.4 Измерение параметров СКП, С Б, вызовов

2.4.1 Подключить проверяемую радиостанцию с помощью линейного кабеля (красный) через разъём «ЛДС» к технологической р/ст. РС-46МЦ(стенд), а также через приставку (линейный трансформатор) - ко входу звуковой карты компьютера.

2.4.2 Установить на технологической р/ст. параметр конфигурации С К), соответствующий значению С11(СИП) проверяемой радиостанции. Включить микротелефонную трубку в гнездо «МТТ» на блоке ЦАУ.

2.4.3 Запустить программу Cool Edit Pro 2.0. Открыть окно частотного анализа сигналов (в верхней строке программы выбрать «Analyze», затем «Show frequency analysis»). Включить запись сигнала на компьютере (красная кнопка). Параметры записи: Sample Rate 44100, Resolution 32-bit в окне «New Waveform».



2.4.4 На технологической р/ст. нажать клавиши «А», «4» (подключение по проводному каналу). Проверяемая р/ст. в ответ должна подключиться к линейному каналу (загорается индикатор ПРД ЛДС) и выдать в него сигнал контроля подключения (СКП), а затем вызов 1000Гц.

2.4.5 Нажимая и отпуская тангенту на трубке технологической р/ст., убедиться в прохождении команд «Передача» и «Приём» по включению и выключению индикатора «ПРД УПП» на проверяемой РС-46МЦ. Проверить прохождение речевого сигнала в эфир при нажатии тангенты.

2.4.6 После завершения проверки нажать кнопку «\*» на технологической р/ст. Проверяемая РС-46МЦ должна отключиться от линии (погасание обоих индикаторов ЛДС). Остановить запись на компьютере, проанализировать записанные сигналы, измерить параметры СКГ1. Для этого поочерёдно выделить курсором каждую часть сигнала и считать для неё значения длительности и частоты. Полученные результаты занести в журнал параметров.

2.4.7 Включить запись в программе Cool Edit Pro. От радиостанции РС-46МЦ (стенд) послать вызов 700 Гц. Проверяемая радиостанция подключится от этого вызова, посылая СБ, СКГ1 в линию. Измерить временные параметры этих сигналов. После окончания записи отключить линейный кабель.

2.4.8 От радиостанции РС-46МЦ (стенд) послать вызов 1400Гц. Проверить подключение измеряемой р/ст. (включение индикаторов ПРМ ПУС1 и ПРМ ПУС2 на блоке ЦАУ. открывание канала самого пульта, прохождение звукового сигнала из эфира на пульт и наоборот).

2.4.9 Включить технологический кабель в гнездо «ТУ-ТС» радиостанции. Разъём этого кабеля, находящийся на красном проводе, соединить с линейным шнуром для записи. Предварительно включив режим записи в Cool Edit. Подать с пульта радиостанции РС-46МЦ (проверяемой) вызовы последовательно «ДНЦ» (700 Гц), «ЛОК» (1000 Гц), «ДСП» (1400 Гц). Выключить запись (кнопка «□»). Измерить временные параметры вызовов.

2.4.10 Уровень сигналов СКП и СБ определить на нагрузке ЛДС 600 Ом следующим образом:

а) установить параметр С31 равным 42. Соединить технологическим кабелем измерительную приставку с разъёмом «ЛДС» радиостанции, а затем подключить вольтметр ВЗ-38 к гнезду «Вол» приставки. Нажать красную кнопку приставки.

б) набрать «F09.75». Определить по вольтметру напряжение сигнала блокировки (СБ).

в) набрать «F09.71...81» - требуемую первую частоту СКП (F1) и измерить.

г) набрать «F09.71...81» - требуемую вторую частоту СКП (F2) и измерить.

При положительных результатах проверки занести результаты в журнал параметров радиостанции с отметкой в формуляре радиостанции.

2.5. Проверка функционирования схемы контроля КСВ передатчика.

2.5.1 Соединить вход измерителя КСВ с антенным гнездом УПП1, а выход - с калиброванной нагрузкой 500 Ом; переключатель на нагрузке установить в положение «1». Подключить вольтметр постоянного тока к гнездам измерителя, а пульт - к разъёму «ПУС1» радиостанции. Измерив относительные значения прямой и отражённой волн в режиме передачи, вычислить значение КСВ (допустимое значение - не более 1.5).

2.5.2 Проконтролировать отсутствие сообщения «AL.AFU» на индикаторе при нажатии тангенты МТТ. Аналогично проверить радиостанцию при положениях переключателя «2» и «3». Напротив, в позиции «4» на индикаторе должна появиться надпись «AL.AFU», т.к. это положение соответствует разомкнутому состоянию нагрузки (имитация обрыва антенного кабеля).

2.5.3 При положительных результатах проверки сделать отметку в журнале параметров.

2.6. Проверка функционирования и измерение параметров пультов ПУС01.

2.6.1 Подсоединить технологическим кабелем №2 пульт ПУС01 к разъёму «ПУС1» блока УВЗ проверяемой РС-46МЦ. Подключить измерительный прибор Ц4352 или аналогичный к гнездам, соединённым с разъёмом «ПУС» этого кабеля (предел измерения 1,5 В или 6 В переменного напряжения).

2.6.2 Подать на антенный вход р/ст. с установки К2-82 сигнал 2130 кГц, модулированный НЧ напряжением частотой 1000 Гц, с девиацией 1.5 кГц. Измерить на клеммах напряжение, поступающее на динамическую головку; оно должно быть равно  $(1,4 \pm 0,15)$  В. Отключить источник ВЧ сигнала.

2.6.3 На клавиатуре блока ЦАУ набрать «F; 12» (режим измерения сигнала по линии от ПУС). Снять с держателя трубку пульта; затем поочерёдно нажать и удерживать кнопки «КОНТ», «ЛИН» и клавишу МТТ. Отпустить кнопки поочерёдно в обратном порядке, после чего пульт перейдёт в режим генерации тестового сигнала 300 Гц. На индикаторе ЦАУ считать значение уровня сигнала; его значение должно быть  $(10 \pm 1,5)$  дБ. Нажимая поочерёдно кнопки «ЛЮК», «ДСП», «ОТ. КАН», подать на р/ст. частоты, соответственно, 1000, 2000 и 3400 Гц. Во всех случаях значение НЧ сигнала должно соответствовать указанному. При выходе его за эти пределы произвести коррекцию, поворачивая отвёрткой регулятор подстроечного резистора, находящийся напротив отверстия в нижней части пульта. По окончании измерения нажать клавишу «КОНТ» пульта.

2.6.4 Снять с держателя трубку пульта; затем поочерёдно нажать и удерживать кнопки «КОНТ», «ДСП» и клавишу МТТ. Отпустить кнопки поочерёдно в обратном порядке, при этом пульт переходит в режим самотестирования. В этом режиме проверяется срабатывание каждой клавиши по включению и погасанию соответствующего индикатора. Дополнительно контролируется исправность цепи тангенты МТТ (при её нажатии включается индикатор ПРД) и цепи микрофона (разговор в трубку должен воспроизводиться в динамике пульта).

2.6.5 Проверить генерацию вызывных сигналов при нажатии кнопок «ДНЦ», «ЛОК», «ДСП».

2.6.6 Повторить все измерения для второго пульта. При положительном результате всех проверок сделать отметки в журнале параметров р/ст.

## 2.7. Измерение параметров выносного источника питания БИС 12В.

Подключить к выходному разъёму блока питания специальный кабель с нагрузкой 50Ом, а также входные шнуры вольтметров В7-27А/1 и В3-38А. Включив источник в сеть 220В, измерить этими приборами, соответственно, постоянное напряжение и уровень пульсаций на выходе блока. Результаты измерений занести в таблицу.

## 2.8. Проверка радиостанции на потребляемую мощность.

Измерения проводятся в режимах приёма и передачи.

*Внимание! При проведении проверки соблюдать осторожность, обращать внимание на правильность соединений! Все соединения проводить при отключении электропитания!*

2.8.1. Переключатель «Питание р/ст.» на стенде установить в положение «Выкл.». Подключить радиостанцию к сети 220В через технологическую розетку на боковой стенке стенда, а к резервному источнику - специальным кабелем через гнездо «Питание р/ст.».

2.8.2. Подать питание на радиостанцию (положение переключателя «Вкл.») и включить тумблер «Вкл 220В» на лицевой панели. Измерить в каждом из режимов ток и напряжение по приборам стенда; определить мощность, потребляемую радиостанцией:  $P=I*U$ . Для измерения тока переключатель следует временно устанавливать в положение «Ток р/ст.».

2.8.3. Включить тумблер «Вкл акк», а затем выключить тумблер «Вкл 220В» на панели радиостанции (переход на резервное питание). В этом режиме аналогично измерить ток и напряжение (отсчёт по приборам постоянного тока), а затем вычислить мощность в режимах приёма и передачи. Полученные результаты занести в журнал параметров радиостанции, сравнив их с предельно допустимыми.

## 2.9. Проверка конфигурации радиостанции.

Проверить соответствие значений параметров конфигурации согласно таблице в журнале параметров, при необходимости скорректировать.

По завершении измерений установить прежние настройки радиостанции (СИП, СКП, уровни сигналов в линию), далее выключить радиостанцию, измерительные приборы, разобрать схему измерения. Установить перемычку в submodule АПК в положение, требуемое для данной станции.

**По окончании работ - приклеить новую бирку на каждый блок радиостанции и сделать отметку в формулярах о проверке на КРП. Результаты проверки занести в журнал ШУ-2.**

## **1. Организационно-технические мероприятия до начала работ по КТТП 106110.55202.00001**

1.1. Получить разрешение ЦТО/ЦТУ на выполнение работ. Открыть ЕСМА «Учет ресурсов», модуль ГТП-2, закладка «Работы пользователя», убедиться в наличии листа регистрации (ЛР ГТП) на данную работу.

1.2. Надеть исправную спецодежду, специальную обувь, привести их в порядок: застегнуть все пуговицы, заправить свободные края одежды.

1.3. Ознакомиться с порядком производства работ и особенностями выполнения технологических операций.

1.4. Проверить наличие, исправность инструмента.

1.5. Оформить работу в рабочем журнале с указанием даты, наименования работы, времени начала производства работ.

1.6. Убедиться в отсутствии факторов, влияющих на безопасность проведения работ.

1.7. Обо всех обнаруженных неисправностях оборудования, приборов, приспособлений, инструмента и других недостатках сообщить старшему электромеханику или руководителю работ и не приступать к работе до их устранения.

## **2. Требования безопасности при проведении работ по КТТП 106110.55202.00001**

2.1. Во время работ необходимо выполнять санитарные.

2.2. При техническом обслуживании оборудования необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

– не допускать к месту проведения работ лиц, не имеющих отношения к техническому обслуживанию;

– двери стенов, шкафов, щитов, оборудование которых находится под напряжением и на которых не проводятся работы, должны быть закрыты.

2.3. После окончания работ привести в порядок рабочее место, вымыть загрязненные участки тела теплой водой с мылом.

## **3. Организационно-технические мероприятия после окончания работ по КТТП 106110.55202.00001**

3.1. Оформить в «Журнале учета выполненных работ по ГТП» формы «ШУ-2» записи об окончании работ и выполненных объемах с указанием результата, а также сделать отметку в оперативном плане.

3.2. Результаты выполненной работы отразить в Журнале учета выполненных работ на объектах связи (форма ШУ-2).

3.3. Обо всех неисправностях и недостатках, замеченных во время работы, и о принятых мерах к их устранению, необходимо сообщить старшему электромеханику или руководителю работ.

3.4. Убрать инструмент и приспособления в специально предназначенные для них места.

3.5. Доложить о выполнении работы ДСП (ДНЦ), старшему смены ЦТО. Сделать отметку о выполнении работы в ЛР ГТП.

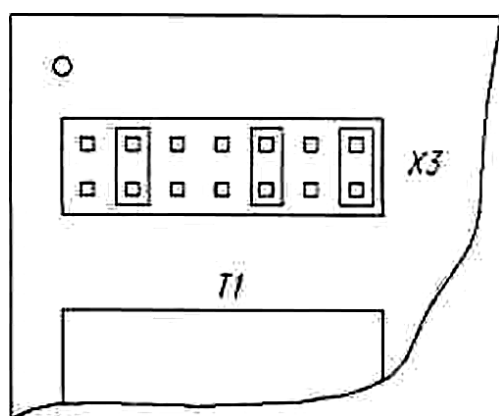


Рисунок Г.5.1 – Режимы «АПК2»

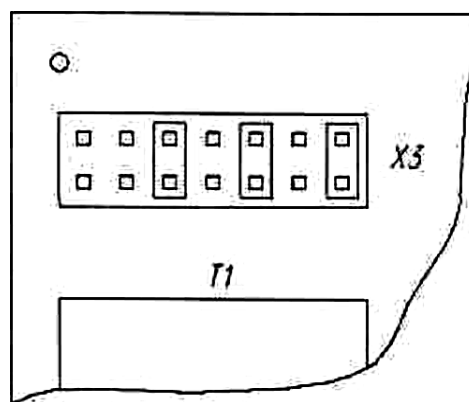


Рисунок Г.5.2 – Режимы «АГ1К2»

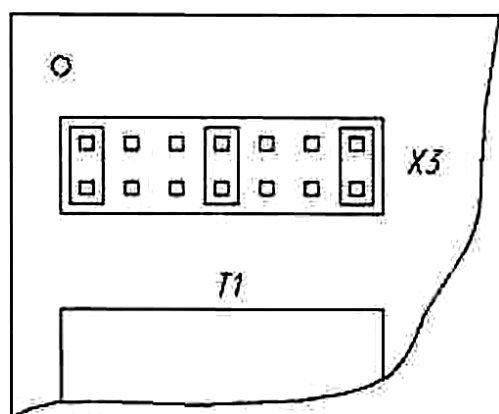


Рисунок Г.5.3 – Режимы «АПК2»1400

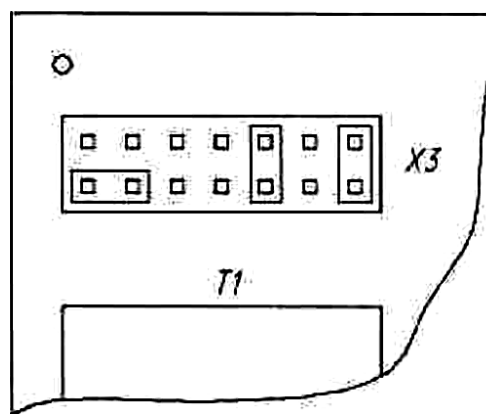
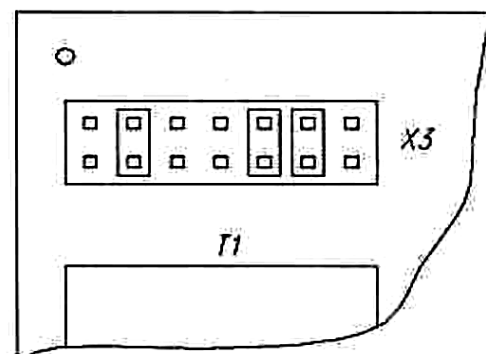


Рисунок Г.5.4 – Режимы «АПК2»10К



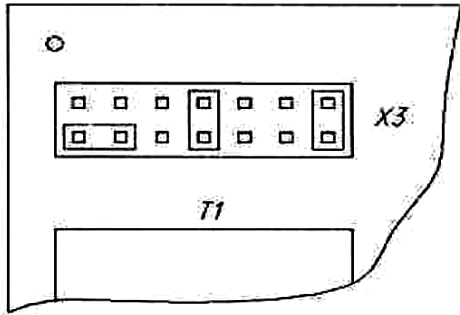


Рисунок Г.5.5 – Режимы «АПК2» 20К

Рисунок Г.5.6 – Режимы «АПК4»600

Приложение А (обязательное)  
Схема рабочего места

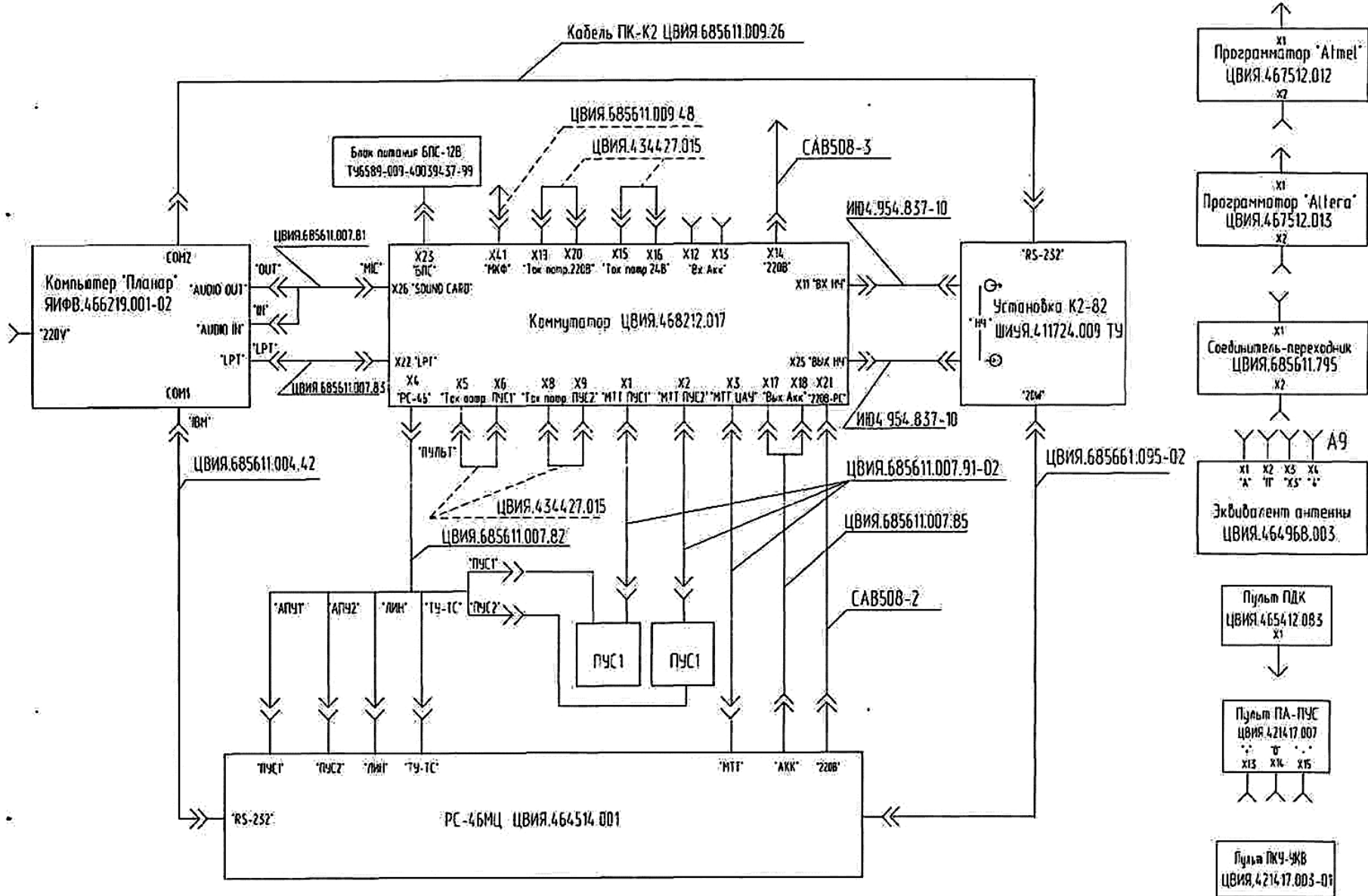


Таблица 1 – Перечень проверяемых параметров

№ п/п	Наименование параметра	Норма параметра	Примечание
1	Мощность несущей частоты передатчика на нагрузке 50 Ом, Вт	12 (-2,+2)	ГМ В диапазон
		9 (-1, +1)	УКВ диапазон
2	Мощность несущей частоты передатчика на нагрузке 50 Ом в режиме "пониженная мощность", Вт	1 (-0,3 +0,3) 3 (-0,5 +0,5) 5 (-0,8 +0,8) 7 (-1, +1)	УКВ диапазон
3	Отклонение несущих частот от номинального значения на 1 канале, Гц	106	2130 кГц
4	Отклонение несущих частот от номинального значения на 2 канале, Гц	106	2150 кГц
5	Отклонение несущих частот от номинального значения на 1 канале, Гц	1517	151,725 МГц
6	Отклонение несущих частот от номинального значения на 82 канале, Гц	1517	153,750 МГц
7	Отклонение несущих частот от номинального значения на 172 канале, Г и	1517	156.000 МГц
8	КИИ тракта передачи по входу выносного микрофона ПУС1, %	5	
9	Величина девиации при номинальном уровне сигнала на входе выносного микрофона ПУС1, кГц	1,7 (-0,15; +0,15)	ГМВ
		3 (+0,5; -0,5)	УКВ
10	КИИ тракта передачи по входу МТТ ПУСК %	5	
11	Величина девиации при номинальном уровне сигнала на входе МТТ Г1УС1, кГц	1,7 (-0,15; +0,15)	ГМВ
		3 (+0,5; -0,5)	УКВ
12	КНИ тракта приема по выходу подключения МТТ ПУС1, %	5	
13	Уровень сигнала на выходе МТТ ПУС1, мВ	160 (-50,+50)	
14	КНИ тракта передачи по входу МТТ ПУС2, %	5	
15	Величина девиации при номинальном уровне сигнала на входе МТТ ПУС2	1,7 (-0,15; +0,15)	ГМВ
		3 (+0,5; -0,5)	УКВ
16	КНИ тракта передачи по входу подключения технологической МТТ, %	5	
17	Величина девиации при номинальном уровне сигнала по входу подключения технологической МТТ, кГц	1,7 (-0,15; +0,15)	ГМВ
		3 (+0,5; -0,5)	УКВ
18	КНИ тракта приема по выходу для подключения технологической трубки МТТ, %	5	
19	Уровень сигнала на выходе для подключения технологической трубки МТТ, мВ	360 (-40, +40)	
20	КНИ тракта передачи по линейному входу в режиме 2-х проводного подключения, %	5	
№ п/п	Наименование параметра	Норма параметра	Примечание
21	Величина девиации при номинальном уровне сигнала на линейном входе в режиме 2-х проводного подключения, кГц	1,7 (-0,15; +0,15)	ГМВ
		3 (+0,5; -0,5)	УКВ
22	КНИ тракта приема по линейному выходу в режиме 2-х проводного подключения, %	5	



23	Уровень сигнала на линейном выходе в режиме 2-х проводного подключения, В	1,4 (-0,13; +0,13)	
24	КНИ тракта передачи по линейному входу в режиме 4-х проводного подключения, %	5	
25	Величина девиации при номинальном уровне сигнала на линейном входе в режиме 4-х проводного подключения, кГц	1,7 (-0,15; +0,15)	ГМ В
		3 (+0,5; -0,5)	УКВ
26	КНИ тракта приема по линейному выходу в режиме 4-х проводного подключения, %	5	
27	Уровень сигнала на линейном выходе в режиме 4-х проводного подключения. В	1,2 (-0,1; +0,1)	
28	КНИ тракта передачи по входу для подключения аппаратуры ТУ-ТС, %	5	
29	Величина девиации при номинальном уровне сигнала на входе для подключения аппаратуры ТУ-ТС, кГц	1,7 (-0,15; +0,15)	ГМВ
		3 (+0,5; -0,5)	УКВ
30	КНИ тракта приема по выходу для подключения аппаратуры ТУ-ТС. %	5	
31	Уровень сигнала на выходе для подключения аппаратуры ТУ-ТС. мВ	780 (-100; + 100)	
32	КНИ тракта приема по выходу для подключения магнитофона, %	5	
33	Уровень сигнала на выходе для подключения магнитофона, мВ	600 (-40; +40)	
34	Максимальная девиация в полосе частот, кГц	2,5	ГМВ
		5	УКВ
35	Величина девиации при модуляции вызывными сигналами, кГц	2 (-0,5; +0,5)	ГМВ
		3 (-0,5; +0,5)	УКВ
36	Чувствительность тракта приема на 1-м канале. мкВ	5	2130 кГц
37	Чувствительность тракта приема на 2-м канале, мкВ	5	2150 кГц
38	Чувствительность тракта приема на 1-м канале, мкВ	0,5	151,725 МГц
39	Чувствительность тракта приема на 82-м канале. мкВ	0,5	153,750 МГц
40	Чувствительность тракта приема на 172-м канале, мкВ	0,5	156.000 МГц
41	Проверка функционирования ПШ на 1 канале		2130 кГц
42	Проверка функционирования ПП1 на 2 канале		2150 кГц
43	Проверка аттенюатора и напряжения регистрации УПП- 1, В (U <sub>bx</sub> = 500 мкВ)	0 дБ 10 дБ 20 дБ 30 дБ 40 дБ	2130 кГц
44	Проверка аттенюатора и напряжения регистрации УПП- 2. В (U <sub>bx</sub> = 50 мкВ)	0 дБ 10 дБ 20 дБ 30 дБ 40 дБ	153,750 МГц
45	Проверка агенюатора и напряжения регистрации УГ1Г1- 2		

46	Проверка диапазона АРУ проводного канала для 2-х проводного подключения, В	0,15-2	
47	Проверка функционирования радиостанции при подключении к проводному каналу ЛДС		TestSR

Для начала проверки нажать кнопку Тестирование в главном меню программы СТОР РС-46МЦ, выбрать Пошаговое тестирование в появившемся меню.

## 6. ИССЛЕДОВАНИЕ И ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОБИЛЬНОЙ РАДИОСТАНЦИИ

Проверка радиостанции на локомотиве

ЦСС - филиал ОАО «РЖД». ОАО «Электросигнал»	ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА № 1		
	Блок (изделие, узел)		
	Радиостанция 55P22В-1.2 МК «ТранспортРВ-1.2МК»		
наименование работы	периодичность	Профессия исполнителей	Выполняемые
Проверка работоспособности радиостанции на локомотиве	При проведении ТО-2; ТО-3	Слесарь по ремонту ЭПС	1,1-1,7

**Измерительные приборы, инструмент, материалы:** контрольная радиостанция с комплектом измерительных приборов, измерительный блок с набором инструмента, резервные блоки, микрофонная трубка, СТОР-ИМ, индикатор мощности, ветошь, флейцы, пломбирочные тиски, бескислотная смазка, эмалевая краска.

### Порядок выполнения работ

#### 1. Проверка установки на локомотиве

- 1.1. Перед проверкой установки блоков РС выключите её тумблером ВКЛ на блоке радиооборудования локомотивном (БРО-Л) или возимом (БРО-В) и затем отключите питание тумблером РАДИО в кабине локомотива.
- 1.2. Проверьте размещение составных частей РС в локомотиве на соответствие руководства по эксплуатации ЯУИШ.464424.002 РЭ (РЭ) и типовому проекту размещения РС на локомотиве.
- 1.3. Проверьте закрепление блоков и соединительных кабелей. При необходимости подтяните крепежные винты и гайки, замените крепежные детали с сорванной резьбой.

При проверке кабелей устраните сдавливание их съемными конструктивными элементами локомотива, (крышками, дверцами и т.д.). Проверьте наличие и исправность деталей закрепления кабелей. Выявленные места небольших повре-

ждений внешней изоляции кабелей обмотайте изоляцией. При больших повреждениях сдайте кабель в ремонт.

1.4.С особой тщательностью осмотрите электрические соединения высокочастотных (ВЧ) кабелей, антенного ввода и заземления антенносогласующего устройства АнСУ-В и, при необходимости, подтяните резьбовые соединения. Расправьте витые шнуры манипуляторов (МП). Путем изъятия и установки проверьте прочность закрепления МП в их держателях.

1.5.При отсутствии внешних устройств (регистратора, аппаратуры телеуправления и телесигнализации ТУ-ТС) на неиспользуемые разъемы блока БРО установите заглушки.

1.6.1 Проверьте наличие пломб на блоках РС. 1 Проверьте наличие пломб и соответствие оттиска на пломбах установленному образцу оттиска на блоке АпСУ-В и блоке БРО. При отсутствии или нарушении пломб восстановите их при условии успешного завершения проверок в режимах «ТЕСТ1» и «ТЕСТ3».

Примечания. 1. Разъединение электрических разъемов допускается только в технически обоснованных случаях.

2. Оберегайте от попадания пыли, грязи и масла электрические контакты рассоединенных разъемов и поверхности блоков.

### **2. Проверка работоспособности в режиме «ТЕСТ1»**

2.1. Проверку работоспособности РС в режиме «ТНСТ1» проводите в соответствии с указаниями РЭ.

2.2. При необходимости подстройте АнСУ-В (при его наличии). По завершении подстройки АнС'У-13 опломбируйте его.

2.3. После завершения проверки в режиме «ТЕСТ1» проведите проверку на связь с локомотивной или стационарной РС.

### **3. Проверка работоспособности в режиме «ТЕСТ3»**

Проверку работоспособности по «ТЕСТ3» проводите в соответствии с указаниями по эксплуатации радиостанции (РЭ).

При передаче на запись в СТОР-1М речевого сообщения проверьте работу тангенты: она должна работать плавно, без стопорения после отпускания, при нажатии должно ощущаться усилие пружины.

При прослушивании ответного речевого сообщения от СТОР-1М проверьте работу регулятора громкости громкоговорителя, устанавливая минимальный, средний и максимальный уровень громкости.

Примечания. 1. Проверку выполнить при наличии аппаратуры СТОР-1М. В

противном случае заменить ее проверкой на связь с другой локомотивной или стационарной РС.

2. В связи с тем, что при проверке в режиме «ТЕСТ3» на СТОР-1М передается кодограмма технического состояния РС, выявленного при последнем проведении проверки в режиме «ТЕСТ1», рекомендуется сначала провести проверку в режиме «ТЕСТ1», а затем - в режиме «ТЕСТ3».

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА № 2. Проверка работоспособности и измерение параметров радиостанции.**

ЦСС - филиал ОАО «РЖД», ОАО «Олек трос и гнал»	ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА № 2		
	Блок (изделие, узел)		
	Радиостанция 55P22EM.2МК «Транспорт РВ-1.2МК»		
Наименование работы	Периодичность	Профессия исполнителя	Выполняемые
Проверка работоспособности и измерение параметров радиостанции	При вводе в эксплуатацию, один раз в 2 года. При необходимости после ремонта.	Электромеханик КРП	I..4

### Порядок выполнения работ

#### 1. Подготовка рабочего места и радиостанции

1.1. Перечень приборов и оборудования, необходимых при проверке радиостанции, приведен в таблице 1.

Примечания. 1. При измерениях могут быть применены другие стандартные отечественные и зарубежные средства измерения и контроля, обеспечивающие необходимую погрешность измерений.

2. Допускается использование нестандартного источника питания или соединенных последовательно стандартных источников питания для получения требуемого значения напряжения питания и тока потребления РС.

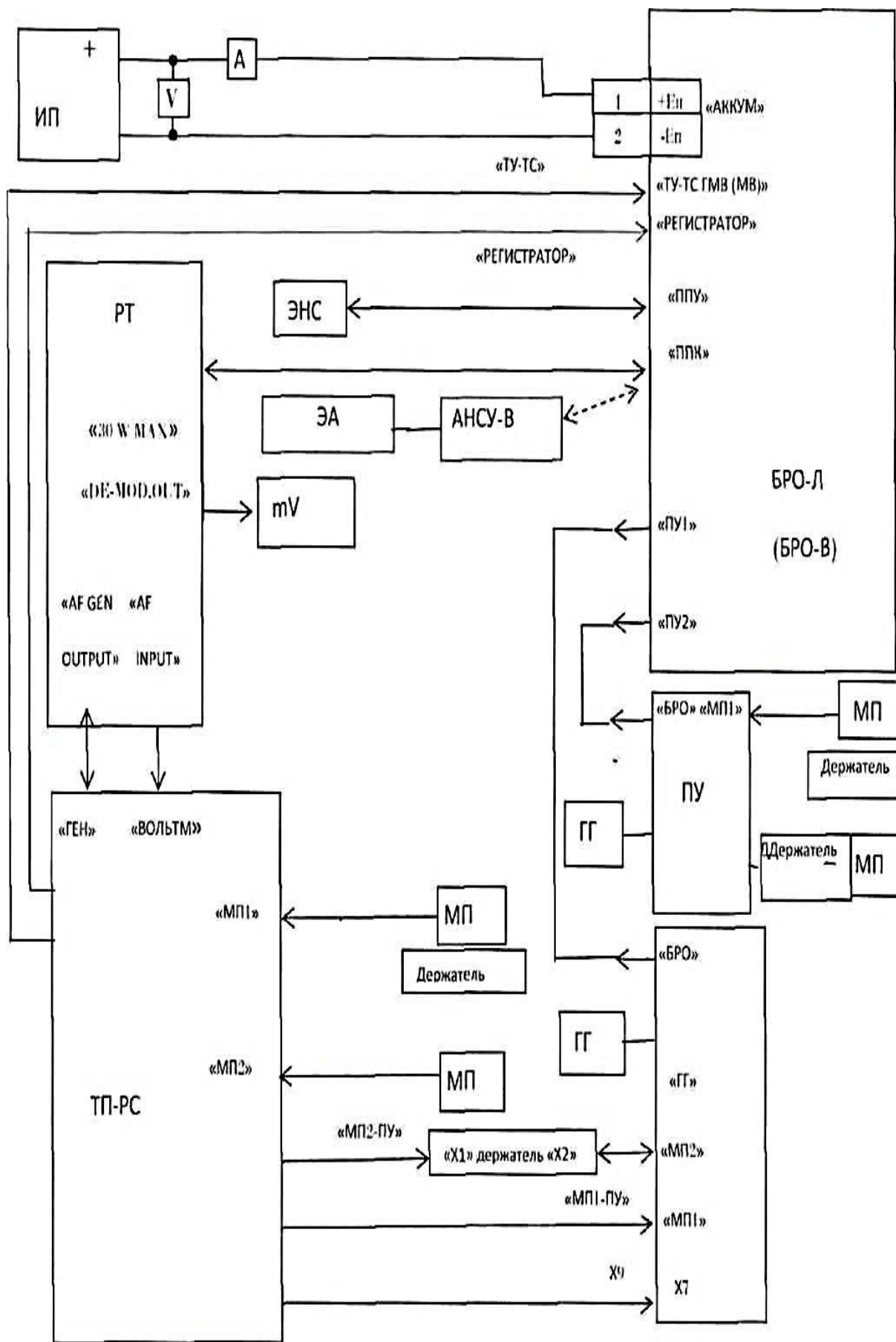
3. Схема технологического приспособления ТИ1-РС приведена в приложении.

Соедините с помощью технологических кабелей блоки РС друг с другом, из-

Таблица 1

Наименование	Тип прибора	Количество шт.	Класс точности или допустимая погрешность
Технологическое приспособление ТП-РС		1	
Радиотестер	IFR	1	
Милливольтметр	ВЗ-	1	(1.0-4,0) %
Осциллограф двухлучевой	С1-	1	±10% но напря-
Источник питания (МП)	При	Прим	10-100 В. 20А
Вольтметр постоянного тока,	М90	1	кл. 1.0
Амперметр постоянного тока,	М90	1	кл.1.0
Эквивалентное нагрузочное сопротивление(ЭНС)		1	50 Ом. КСВ не более 1.2, диапазон частот 2...210 МГц

мерительными приборами и технологическим приспособлением ТП-РС (ТП) в соответствии с рис.1.



**Рисунок 1 – Схема подключения ТГГ и приборов к проверяемой радиостанции**

1.2 Включите приборы, подготовьте их к работе согласно инструкций по эксплуатации на эти приборы. Включите источник питания и установите на его выходе напряжение  $(45\text{В} \pm 5)$  В для РС с блоками БРО-Л или  $(24 \pm 2)$  В для РС с блоками БРО-В.

Установите ключ защиты ЯУИШ.468244.002 из комплекта РС в разъем «ТЕСТ» на БРО, включите тумблер ВКЛ на БРО. Нажатием кнопки «а-» активируйте ПУ, подключенный к ТП. Произведите, при необходимости, согласно РЭ установки сеток частот и опций, необходимых при эксплуатации, введите заводские номера блоков.

## **2. Проверка параметров передатчиков**

Подключите ВЧ вход радиотестера ко входу «ППК» (диапазон ГМВ), а ЭНС - ко входу «ППУ» (диапазон МВ).

Установите оба МП I в держатели в положение ДР.

### **2.1 Измерение параметров передатчика диапазона ГМВ.**

2.1.1 Установите тумблер ПРД на ТГ1 в положение ВЫКЛ. Установите тумблер «ГЕН/МКФ» в положение ГЕН. Установите переключатель РЕЖИМ в положение «МП1». Наберите на радиотестере частоту 2130 кГц в режиме измерения параметров передатчика («ГХ»). На выходе низкочастотного (НЧ) генератора установите частоту 1000 Гц с амплитудой 400 мВ. Снимите манипулятор МП 1 с держателя, нажмите на МП кнопку ГМВ и затем переведите РС в режим ПРД нажатием тангейты. Измерьте девиацию частоты передатчика. Изменяя уровень выходного сигнала генератора НЧ, добейтесь девиации, равной 1,5 кГц. Выходное напряжение генератора НЧ при этом является чувствительностью модуляционного входа передатчика ГМВ. Она должна быть  $(400 \pm 50)$  мВ. При необходимости установите чувствительность модуляционного входа ГМВ с помощью резистора RI47 на плате ППК. Установите тумблер «ГЕН/МКФ» в положение МКФ и убедитесь в наличии девиации частоты передатчика при продувании микрофона МП.

Отпустите тангенту, установите Mill в держатель. Переключите переключатель РЕЖИМ в положение «МП2». Установите тумблер «ГЕН/МКФ» в положение ГЕН. Снимите МП2 с держателя, нажмите на нем кнопку ГМВ и затем тангенту. Измерьте чувствительность модуляционного входа передатчика ГМВ со входа МП2. Она должна быть  $(400 \pm 50)$  мВ. Установите тумблер «ГЕН/МКФ» в положение МКФ и убедитесь в наличии девиации частоты передатчика при продувании микрофона МП. Установите тумблер «ГЕН/МКФ» в положение ГЕН.



2.1.2 Проверьте уровень 114 сигнала на входе регистрирующего магнитофона, для чего, не снимая РС с режима «Передача», переведите переключатель РГЖИМ на ТП-РС в положение МАГ. Измерьте вольтметром уровень сигнала. Он должен быть  $(4(\text{Ю}\pm 40))$  мВ. Переведите переключатель РЕЖИМ на Т1 I-РС в положение МП2.

2.1.3 Снимите на радиотестере показания выходной мощности передатчика, которая должна быть  $(12 +2. -2)$ Вт, и коэффициента нелинейных искажений, который должен быть не более  $5\%$ . При необходимости установите величину выходной мощности с помощью резистора R79 на плате ПИК.

Измерьте отклонение частоты передатчика от номинального значения, которое должно быть не более  $\pm 100$ Гц.

Измерьте уровень паразитной частотной модуляции (ПЧМ) передатчика, для чего установите РС в режим «Передача» от МП2. Установите частоту выходного сигнала НЧ генератора равной 1000 Гн с уровнем 400 мВ. Измерьте в децибелах уровень девиации. Отключите выход генератора НЧ и вновь измерьте уровень девиации. Разница значений девиации должна быть не менее 40 дБ (т.е. уровень ПЧМ должен быть не более минус 40 дБ).

Измерьте девиацию частоты передатчика от сигналов вызова и частоту сигналов вызова, для чего снимите с держателя любой из манипуляторов, выберите па нем диапазон ГМВ, затем нажмите и удерживайте кнопку ДЩ. Снимите на радиотестере показания девиации и частоты модуляции, она должна быть  $(700\pm 0,5)$  Гц. Повторите те же действия с кнопками ЛОК  $(1000\pm 1)$  Гц, ДСП  $(1400\pm 1,5)$  Гн на МП. Значение девиации должно быть от 1,5 до 2,5 кГц во всех случаях.

2.1.4 Измерьте уровень максимальной девиации частоты Г1РД, для чего увеличьте выходной уровень генератора МЧ до 1,2 В. Снимите МГ12, переведите РС в режим ГМВ и нажмите тангенту. Измерьте величину максимальной девиации на частоте 1000 Гц, затем на частотах 300 и 3000 Гц. Она должна быть не более 2,5 кГц. При необходимости измените величину максимальной девиации с помощью резистора R180 на плате ПИК. после чего перепроверьте величину чувствительности модуляционного входа и, при необходимости, отрегулируйте ее с помощью резистора R147.

## 2.2 Измерение параметров передатчика диапазона МВ.

2.2.1 Подключите ВЧ вход радиотестера к антенному входу «ППУ» РС. Наберите на радиотестере частоту дежурного канала РС. Измерьте чувствительность модуляционного входа передатчика МВ в соответствии с методикой, описанной в пункте 2.1 настоящей карты для номинальной девиации 3 кГц. Она должна быть  $(400\pm 50)$  мВ. При необходимости установите чувствительность модуляционного входа передатчика МВ с помощью резистора R11 на плате ППУ.

2.2.2 В соответствии с методикой, описанной в п. 2.1.2 настоящей карты, измерьте уровень НЧ сигнала на входе регистрирующего магнитофона,

который должен быть  $(400 \pm 40)$  мВ.

2.2.3 В соответствии с методикой, описанной в пункте 2.1.3, измерьте уровень полной выходной мощности - она должна быть  $(9 \pm 1, -1)$  Вт, коэффициента нелинейных искажений (КНИ) - он должен быть не более 5%, величину отклонения частоты передатчика от номинальной - оно должно быть не более  $\pm 1300$  Гц, девиацию частоты передатчика от сигналов вызова - она должна быть от 3 до 5 кГц. и частоту сигналов вызова

Повторите измерения уровня выходной мощности, КПП и отклонения частоты передатчика на канале I ( $151725$  кГц) и канале 172 ( $156000$  кГц). При необходимости установите уровень полной мощности с помощью резистора R142 на плате ПНУ.

2.2.4. Измерьте уровень ПЧМ передатчика в соответствии с методикой, описанной в пункте 2.1.3. Уровень ПЧМ должен быть не более минус 42 дБ.

2.2.5. Измерьте величину максимальной девиации частоты передатчика МВ в соответствии с методикой, описанной в пункте 2.1.4 настоящей карты для частот 300, 1000 и 3400 Гц. Она должна быть не более 5 кГц. При необходимости измените величину максимальной девиации с помощью резистора R64 на плате ППУ, после чего перепроверьте величину чувствительности модуляционного входа и, при необходимости, отрегулируйте ее с помощью резистора R11.

2.2.6. Измерьте чувствительность модуляционного входа передатчика с входа ГУ-ТС. Подключите разъем «ГУ-ГС» ТП-РС к разъему «ГУ-ТС МВ» на БРО. Установите переключатель РЕЖИМ на ТП-РС в положение ТУ-ТС. На выходе НЧ генератора радиотестера установите уровень сигнала равный  $2(X)$  мВ с частотой 1000 Гц. Включите тумблер ПРД на ТП-РС. Измерьте выходную мощность передатчика МВ. Она должна быть  $(9 \pm 1)$  Вт.

Измерьте девиацию частоты передатчика. Изменяя величину выходного напряжения НЧ генератора, добейтесь величины девиации, равной 3 кГц. Величина выходного уровня генератора будет при этом являться чувствительностью модуляционного входа передатчика МВ с входа ТУ-ТС. Она должна быть  $(200 \pm 50)$  мВ. Выключите тумблер ПРД на ТП.

2.3 Проверка управления РС от цепей ТУ-ТС.

2.3.1. Проверка работы ПРД МВ от ТУ-ТС. ТУ-ТС.

Выключите на ТП-РС тумблер ВЫБОР КАНАЛА. Установите любой рабочий канал от 1 до 8 любой группы частот в любом из режимов (ПРС или СРС) согласно указаниям РЭ. Включите тумблер ПРД. Проконтролируйте появление индикации «\*ТУТС» в средней части индикатора ПУ. При этом частота ПРД должна соответствовать частоте абсолютного канала, записанного в установленном условном канале установленной группы частот. Выключите тумблер ПРД.

Снимите амплитудно-частотную модуляционную характеристику передатчика МВ с входа ТУ-ГС.

Переведите переключатель РЕЖИМ па ТП-РС в положение «ТУ-ТС». Переведите РС в режим «Передача» включением тумблера ПРД на ТП-РС. Установите частоту выходную сигнала генератора 114 равной 1000 Гц с уровнем, при котором девиация частоты передатчика будет составлять 1000 Гц. Измерьте девиацию частоты передатчика на частотах 300 Гц и 3400 Гц. Отклонение уровня девиации должно быть  $(0 \pm 3,0)$  дБ на обеих частотах. Выключите тумблер ПРД на ТП-РС.

Включите на ТП-РС тумблер ВЫБОР КАНАЛА. Включите тумблер ПРД. Проконтролируйте появление индикации «\*ТУТС» и частоту ПРД, которая должна соответствовать частоте абсолютного канала, записанного в девятом условном канале (предназначенном для работы в режиме ТУ-ТС при активном сигнале («ВЫБОР КАНАЛА ТУ-ТС»)) установленной группы частоте режиме ПРС или СРС. Выключите сначала тумблер ПРД, затем ВЫБОР КАНАЛА.

Установите оба МП в держатели в положение ДР. Снимите любой МП с держателя и нажмите на МП кнопку МВ. Индикатор ЗК на ТП не должен светиться. Нажмите тангенту МП. Индикатор ЗК должен светиться. Отпустите тангенту. Индикатор ЗК ну должен светиться. Установите МП в держатель. Индикатор ЗК не должен светиться.

### 2.3.2. Проверка работы ПРД ГМВ от ТУ-ТС.

Подключите разъем «ТУ-ТС» ТП-РС к разъему «ТУ-ТС ГМВ» на БРО.

Измерьте ЧМВ передатчика ГМВ по цепи «ТУ-ТС». Установите переключатель РЕЖИМ на ТП в положение «ТУ-ТС». На выходе НЧ генератора РТ установите сигнал с частотой 1000 Гц и уровнем 200 мВ. Включите тумблер ПРД на ТП-РС. Проконтролируйте появление индикации «\*ТУТС» в левой части индикатора ПУ. Измерьте девиацию ПРД. Изменяя выходной уровень генератора НЧ радиотестера, добейтесь величины девиации равной 1,5 кГц. Величина выходного напряжения генератора при этом является ЧМВ передатчика ГМВ по цепи «ТУ-ТС». Она должна быть  $(200+50)$  мВ.

Снимите АЧМХ для модуляционного входа ТУ-ТС ГМВ. Установите на выходе НЧ генератора РТ сигнал с частотой 1000 Гц и с уровнем, при котором величина девиация будет составлять 1000 Гц. Измерьте милливольтметром, подключенным к выходу «DE-MOD.OUT» РТ уровень смодулированного сигнала в децибелах. Измерьте в децибелах уровни демодулированного сигнала при частотах модуляции 300 и 3000 Гц. Отклонение ЛЧМХ должно быть  $(0 \pm 3)$  дБ. Выключите тумблер ПРД на ТП-РС.

Проконтролируйте управление РС' от ТУ-ТС в диапазоне ГМВ. Выключите на ТП-РС тумблер ВЫБОР КАНАЛА. Установите рабочий канал I в ГМВ. Включите тумблер Г1РД. Проконтролируйте появление индикации «\*ТУТС» в левой части индикатора. Частота ПРД должна быть 2130 кГц. Выключите тумблер 1 ПРД, индикация «\*ТУТС» должна исчезнуть. Включите на ТП-РС тумблер ВЫ-

БОР КАНАЛА. Включите тумблер ПРД. Проконтролируйте появление индикации «\*ТУТС» и частоту ПРД, которая должна быть 2150 кГц. Выключите на ТП-РС сначала тумблер ПРД, затем тумблер ВЫБОР КАНАЛА. Индикатор ЗК не должен светиться. Нажмите тангенту на снятом с держателя МП. Индикатор ЗК должен светиться. Отпустите тангенту. Индикатор ЗК не должен светиться. Установите МГ1 в держатель. Индикатор ЗК не должен светиться.

2.4Измерение амплитудно-частотных модуляционных характеристик (АЧМХ) передатчиков ГМВ и МВ.

2.4.1.Подключите выход ВЧ радиотестера к антенному входу «ПИК» РС. Установите тумблер «ГЕН МКФ» на ТП-РС в положение ГЕН. а переключатель РЕЖИМ - в положение «М111».

Снимите АЧМХ передатчика ГМВ. Снимите манипулятор МП1 с держателя, выберите на нем диапазон ГМВ и нажмите тангенту. Установите частоту выходного сигнала НЧ генератора РТ равной 1000 Гц с уровнем, при котором девиация частоты передатчика будет составлять 500 Гц. Измерьте милливольтметром, подключенным к выходу «DE-MOD.OUT» РТ уровень демодулированного сигнала в децибелах. Этот уровень принимается за 0 дБ.

Поддерживая величину выходного напряжения генератора НЧ постоянным, измерьте в дБ уровни напряжения на выходе «DE-MOD.OUT» РТ при частотах НЧ генератора 300 Гц и 3000 Гц, которые должны быть соответственно (минус 5,2 +1,5;-2,0)дБ и (5+1.5;-2,0)дБ.

2.4.2.Подключите вход ВЧ радиотестера к антенному входу «ППУ» РС. Снимите ЛЧМХ передатчика МВ для частот 300 Гц и 3400 Гц относительно уровня напряжения на выходе «DE-MOD.OUT» РТ при частоте модуляции 1000 Гц, принятого за 0 дБ..

Уровни напряжения на выходе «DE-MOD.OUT» РТ при частотах модуляции 300 Гц и 3400 Гц должны быть соответственно (минус 10,4 + 1,5;- 2,0)дБ и (10,6 +1,5;-2,0)дБ.

### **3.Проверка параметров приемников**

Установите на радиотестере режим тестирования приемника (режим «RX»). Установите переключатель РЕЖИМ на Г! Г РС в положение ГГ. Установите пороги подавителей шума обоих приемников равными 000 согласно указаниям РЭ.

3.1.Измерение параметров приемника ГМВ диапазона.

3.1.1.Подключите ВЧ выход радиотестера к антенному входу «ПИК» РС. Установите на выходе генератора РТ сигнал с частотой 2130 кГц, модулированный сигналом с частотой 1000 Гц с девиацией 1,5 кГц и уровнем 20 мкВ. Установите МП1 на держатель в положение, противоположное ДР и переведите РС в режим «Прием» в диапазоне ГМВ. Уменьшайте выходной уровень генератора до получения КИИ, равного 25 %.

Измеренный выходной уровень генератора ВЧ является чувствительностью

приемника и должен быть не более 5 мкВ.

Проверьте чувствительность приемника группового вызова, для чего, не изменяя выходного уровня генератора ВЧ, отключите его выход. Установите Mill на держатель в положение ДР. РС должна перейти в дежурный режим. Включите выход генератора. РС из дежурного режима должна перейти в режим «Прием». Снимите МГП с держателя и оставьте РС в режиме «Прием». Повторите измерения чувствительности приемника для частоты 2150 кГц.

3.1.2. Измерьте нижний порог срабатывания ГГШ. Войдите в режим установки порога ПШ приемника диапазона ГМВ согласно указаниям РЭ. Запомните установленное значение порога. Установите минимально возможный уровень ВЧ сигнала. Манипуляцией кнопками со стрелками установите трехзначное число - порог срабатывания ПШ равным 000, при этом в ГГ должны прослушиваться шумы. Затем увеличивайте порог с шагом 1 до пропадания шумов в ГГ. После этого, плавно увеличивая уровень ВЧ сигнала, добейтесь появления 114 сигнала в ГГ. Уровень КИИ НЧ сигнала, зафиксированный после открывания ПШ соответствует нижнему порогу ПШ и должен быть не менее 40 %.

Измерьте верхний порог срабатывания ПШ. Установите порог ПШ ГМВ равным 255, НЧ сигнал при этом должен отсутствовать. Увеличивайте уровень ВЧ сигнала до открывания ПШ (появления НЧ сигнала).

Уровень КИИ НЧ сигнала, зафиксированный после открывания ПШ соответствует верхнему порогу ПШ и должен быть не более 10%.

3.1.3. Проверьте работу электронного аттенюатора приемника ГМВ. Отключите режим АРА. Установите порог ПШ равным 000.

В соответствии с указаниями РЭ войдите в режим просмотра затухания аттенюатора и запомните установленное значение затухания. Установите затухание аттенюатора равное 00 дБ. Измерьте чувствительность приемника в децибелах.

Последовательно увеличивая затухание аттенюатора с шагом 6 дБ (до 42 дБ), измеряйте каждый раз чувствительность приемника. После каждого шага увеличения затухания чувствительность приемника должна ухудшаться на (4-8) дБ относительно предыдущего значения

Установите затухание аттенюатора, порог ПШ и опцию АРА равными тем значениям, которые были установлены до проверки.

3.1.4. Измерьте на телефонной линии МП выходное напряжения, КПД приемника, уровень фона приемника и эффективность работы ПШ.

Установите на выходе ВЧ генератора сигнал с уровнем 0,5 мВ, частотой модуляции 1 кГц и уровнем девиации 3 кГц. Установите переключатель «Режим» на ТП в положение «МП1». Снимите манипулятор с держателя и выберите на нем диапазон ГМВ.

Измерьте на телефонной линии МГЦ уровень и КНИ сигнала, они должны быть  $(400 \pm 40)$  мВ и не более 5 % соответственно. При необходимости установите

уровень сигнала с помощью резистора R156 на плате ППК. Убедитесь на слух в наличии сигнала в телефоне М1 I.

Установите переключатель РЕЖИМ на ТП-РС в положение МАГ. Измерьте уровень сигнала на входе регистрирующего магнитофона. Он должен быть  $(400 \pm 40)$  мВ. Запомните показания уровня N1, выраженные в дБ. Верните переключатель РЕЖИМ в положение «МП1».

Отключите выходной сигнал генератора ВЧ. Зафиксируйте показания N 2 в дБ. Определите эффективность работы ПШ, равную  $N 2 - N 1$ . Она должна быть не более минус 46 дБ.

Включите выходной сигнал генератора ВЧ и запомните показания в дБ уровня U1 выходного НЧ сигнала приемника. Отключите модуляцию генератора. Измерьте в дБ уровень U2 выходного сигнала приемника. Определите уровень фона приемника, равный разности  $U2 - U1$ . Он должен быть не более минус 40 дБ. Включите модуляцию генератора.

3.1.5. Измерьте уровень выходного напряжения на громкоговорителе (ГГ).

Переведите переключатель РЕЖИМ на ТП в положение ГГ. Кнопкой « $\uparrow$ » на ПУ увеличьте уровень громкости ГГ до максимального значения (цифра «9» на индикаторе). Измерьте максимальное напряжение на ГГ. Оно должно быть не менее 3,5 В.

Кнопкой « $\downarrow$ » на ПУ уменьшите уровень громкости ГГ до минимального значения (цифра «1» на индикаторе). Измерьте минимальное напряжение на ГГ. Оно должно быть от 0,63 до 1,1 В.

Увеличьте уровень напряжения на ГГ до 3 В. Измерьте КИИ сигнала на ГГ. Он должен быть не более 5 %.

3.1.6. Снимите АЧХ приемника диапазона ГМВ. Установите частоту модуляции генератора ВЧ равной 1000 Гц и величину девиации 500 Гц. Переведите РС в режим «Прием» в диапазоне ГМВ от МИГ Установите переключатель РЕЖИМ на ТП-РС в положение «МП1». Измерьте вольтметром выходное напряжение в дБ на телефонной линии МП1.

Измерьте в децибелах уровни выходного напряжения при модулирующих частотах 300 Гц и 3400 Гц. Разница этих уровней относительно уровня при частоте модуляции 1000 Гц должна быть  $(5.2 + 1,5; -2.0)$  дБ для 300 Гц и  $(минус 5.0 + 1,5; -2,0)$  дБ для 3400 Гц.

Подключите разъем «ГУ-ТС» I П-РС к разъему «ГУ-ГС ГМВ» на БРО.

Установите переключатель РЕЖИМ в положение «ТУ-ТС». Измерьте милливольтметром величину выходного напряжения приемника ГМВ по цепям ТУ-ТС. Она должна быть  $(775 \pm 80)$  мВ.

3.2. Измерение параметров приемника диапазона МВ.

Подключите ВЧ выход радиотестера к антенному входу МВ РС

3.2.1. Измерьте чувствительность приемника диапазона МВ и чувствительность приемника тонального вызова в соответствии с методикой, описанной в пункте 3.1.1. на нижней, средней и верхней частотах диапазона МВ (каналы 1, 92 и 172) при частоте модуляции ВЧ генератора 1 кГц и девиации 3 кГц.

Уровни чувствительности приемника и приемника тонального вызова должны быть не более 0,5 мкВ.

3.2.2. Измерьте нижний и верхний пороги срабатывания ПШ приемника диапазона МВ аналогично методике, описанной в пункте 3.1.2 настоящей карты для диапазона ГМВ. Нижний порог должен соответствовать величине КИИ не менее 25%, верхний – не более 10 %.

3.2.3. Установите порог срабатывания ПШ, который был установлен до проверок.

3.2.4. Измерьте выходное напряжение па телефонной линии МП, КИИ приемника, уровень фона приемника и эффективность работы ПШ для диапазона МВ в соответствии с методикой, описанной в пункте 3.1.4 настоящей карты. Параметры должны быть в тех же пределах, что и для ГМВ диапазона, за исключением фона приемника, который должен быть не более минус 42 дБ. При необходимости установите уровень выходного напряжения с помощью резистора К122 на плате Г111У.

3.2.5. Подключите разъем «ТУ-ТС» ТП-РС к разъему «ТУ-ТС МВ» на БРО.

Установите переключатель РЕЖИМ в положение «ТУ-ТС». Измерьте милливольтметром уровень выходного сигнала приемника МВ по пениям ТУ- ТС. Он должен быть  $(775 \pm 80)$  мВ.

3.2.6. Снимите АЧХ приемника диапазона МВ. Установите частоту выходного сигнала генератора ВЧ соответствующую рабочему каналу приемника с уровнем 0.5 мВ, частотой модуляции 1 кГц и девиацией 1 кГц. Переведите РС в режим «Прием» от МП1. Установите переключатель РЕЖИМ на ТП-РС в положение «МП1». Измерьте милливольтметром выходное напряжение в дБ на телефонной линии МП.

Измерьте в дБ уровень выходного напряжения при модулирующих частотах 300 Гц и 3400 Гц. Разница этих уровней относительно уровня при частоте модуляции 1000 Гц должна быть  $(10,4 + 1,5; -2,0)$  дБ для 300 Гц и  $(\text{минус } 10,6 + 1,5; -2,0)$  дБ для 3400 Гц.

3.2.7. Переведите переключатель РЕЖИМ на ТП в положение «ТУ-ТС». Измерьте в дБ уровни выходного напряжения приемника на частоте 1000 Гц, затем на частотах 300 Гц и 3400 Гц.

Отклонение уровней выходного напряжения приемника на частотах 300 Гц и 3400 Гц должно быть в пределах  $(0 \pm 3)$  дБ.





4.1.4. Произведите короткое замыкание на антенном вводе ЛНС'У-В (или входе «ПИК») и снова проведите проверку в режиме «ТЕСТ1». По завершении теста на табло ПУ появится надпись «Р/С-БРАК» с указанием неисправности АФУ ГМВ.

4.1.5. Повторите проверки РС в режиме «ТЕСТ1» в режиме отсутствия нагрузки и в режиме короткого замыкания нагрузки непосредственно на антенном вводе приемопередатчика диапазона МВ. Каждый раз по завершении тестирования должна появляться надпись «Р/С-БРАК» с указанием неисправности АФУ диапазона МВ.

4.1.6. Произведите короткое замыкание на антенном входе «Г1ПК№ («ППУ»), Включите РС в режим «Передача» в соответствующем диапазоне на 1 минуту. Устраните короткое замыкание. Подключите поочередно антенные выходы «ППК» и «ППУ» ко входу радиотестера и проверьте мощность несущей передатчика, она должна быть в допустимых пределах.

4.1.7. Отключите от нагрузки антенный вход «ПИК» («ППУ»), Включите РС в режим «Передача» в соответствующем диапазоне на 1 минуту. Подключите поочередно антенные выходы «ППК» и «ППУ» ЕМВ и МВ ко входу радиотестера и проверьте мощность несущей передатчика, она должна быть в допустимых пределах.

4.2. Проверка работоспособности РС при отключении одного из источников питания.

4.2.1. Подключите радиотестер к антенному выходу «ППК». Подключите ЭНС к антенному «ППУ». Выключите РС тумблером ВКЛ на БРО. Снимите на БРО один из предохранителей.

Включите РС. Проведите проверку РС в режиме «ТЕСТ1». По завершении тестирования должна появиться надпись «Р/С-БРАК» с указанием неисправности устройства питания. Проверьте выходную мощность передатчиков поочередно в обоих диапазонах, она должна быть в установленных пределах.

4.2.2. Снимите на блоке БРО второй предохранитель и установите его на место ранее снятого. Повторите действия по п.4.2.

4.2.3. Установите на место оба предохранителя и проведите проверку РС в режиме «ТЕСТ1», по окончании теста должна появиться надпись «Р/С-НОРМА».

## **5. Дополнительные измерения для двухкабинных РС**

5.1. Измерение параметров РС с ПУ2.

Выключите питание РС. Переключите ТП от ПУ1 и его МП к ПУ2 и его МП. Включите РС и активируйте ПУ2.

Измерьте ЧМВ и КИИ ПРД для диапазонов ГМВ и МВ для МГП(2) и МП2(2) (цифры в скобках означают принадлежность к соответствующему ПУ).

Измерьте уровни напряжения на телефонной линии для МП1 (2) и МП2(2). уровни напряжения на ГГ(2) и КНИ ПРМ для диапазонов МВ и ГМВ.

5.2. Проверка работы РС в режиме «СЛУЖЕБНАЯ СВЯЗЬ».

Установите на ТП тумблер «МКФ/ГЕН» в положение МКФ. Войдите в режим «СС», для чего на М1 11(1) нажмите кнопку СС, на всех МП должны засветиться индикаторы СС, на индикаторах обоих ПУ – надпись «СЛУЖЕБНАЯ СВЯЗЬ». Нажмите на МП1(1) тангенту (при этом индикатор С'С на этом МП должен часто мигать) и произнесите какую-либо фразу в микрофон (МКФ) МП, при этом произносимое должно быть слышно в ГГ(2). Отпусти те тангенту.

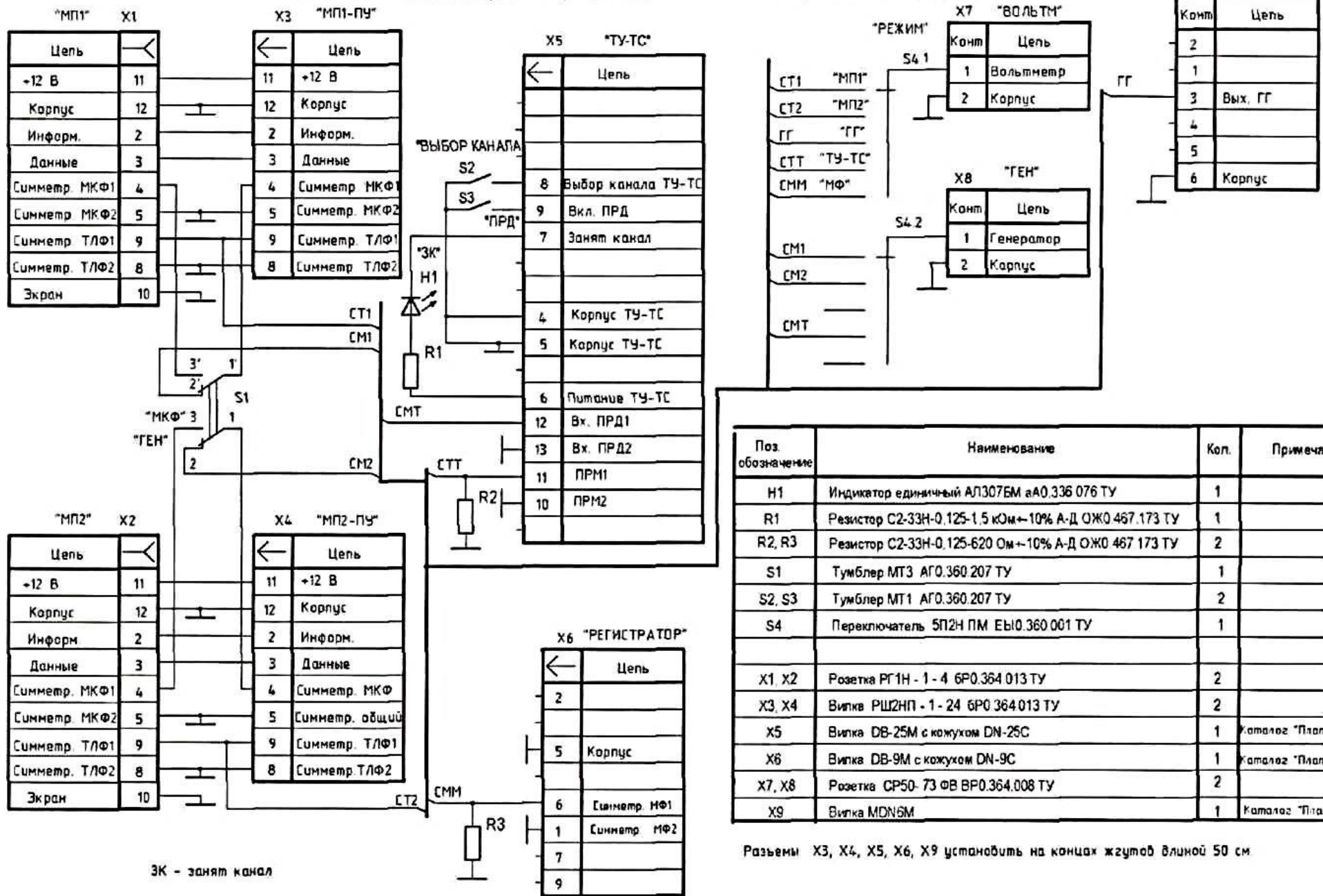
Выйдите из режима «СС», для чего нажмите на любом МП кнопку сброса, при этом надпись «СЛУЖЕБНАЯ СВЯЗЬ» на индикаторах обоих ПУ должна смениться той, которая была до вхождения в режим «СС». Проверьте работу в режиме «СС» е МП2(1), но не выходите из режима «СС». Поочередно на МП 1(2) и МП2(2) нажмите тангенту, произнесите какую-либо фразу в МКФ соответствующего МП при этом произносимое должно быть слышно в 1 ТО), и отпустите тангенту. Выйдите из режима «СС». Войдите в режим «СС» и выйдите из него поочередно е МП 1(2) и МП2(2).

5.3. Проверьте блокировку ПУ.

Деактивируйте ПУ2, затем активируйте ПУК Убедитесь в наличии на ПУ1 индикации дежурного режима, на ПУ2 должна быть надпись «НЕАКТИВЕН». Нажмите несколько раз кнопку «ключ» на ПУ2, при этом индикация на обоих ПУ не должна изменяться. Нажмите кнопку «ключ» на ПУ1, при этом на ПУ1 должна появиться надпись «НЕАКТИВЕН». Нажмите кнопку «ключ» на ПУ2, при этом на ПУ2 должна появиться индикация дежурного режима. Нажмите несколько раз кнопку «ключ» на ПУК при этом индикация на обоих ПУ не должна изменяться. Нажмите кнопку «ключ» на ПУ2. при этом на Г1У2 должна появиться надпись «НЕАКТИВЕН». Нажмите кнопку «ключ» на ПУК при этом на ПУ 1 должна появиться индикация дежурного режима.

Извлеките ключ защиты ЯУИШ.468244.002 из разъема «ТЕСТ» на БРО. выключите тумблер ВКЛ на БРО.

Приложение. Схема электрическая принципиальная технологического приспособления ТП-РС



Разъемы X3, X4, X5, X6, X9 установить на концах жгутов длиной 50 см

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА № 3. 11 проверка технического состояния антенн на крыше локомотива

ЦСС – филиал ОАО «РЖД», ОАО «Электросигнал»	ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА № 3		
	Блок (изделие, узел)		
	Антенны радиостанции 55P22В-1.2МК «Транспорт РВ-1.2МК»		
Наименование работы	Периодичность	Профессия исполнителя	Выполняемые
Проверка технического состояния антенн на крыше локомотива	При ТОЗ, текущем ремонте, при необходимости	Слесарь по ремонту крышевого оборудования ЭПС	1..4

**Измерительные приборы, инструмент, материалы:** измерительный прибор (СТОП-ИМ), отвертка (шлицевая, крестовая), торцевые ключи, пассатижи, ветошь, бескислотная смазка, спирт-ректификат, шлифовальная бумага.

**Порядок выполнения работ**

**1. Подготовка к работе**

**Внимание! Работы по обслуживанию антенн на крыше локомотива разрешается проводить только в цехе депо при выключенном питании радиостанции с соответствии с инструкцией по ТБ при осмотре крышевого оборудования.**

Согласуйте работу по техническому обслуживанию антенн с ответственным руководителем ремонтных работ ЭПС. Просмотрите записи машинистов о работе радиосвязи в Журнале технического состояния локомотива ф. ТУ-152.

Выключите питание РС тумблером «РАДИО» в кабине локомотива.

**2. Проверка технического состояния антенны ГМВ**

Разберите узел соединения провода антенны с проходным изолятором. Очистите контактные поверхности от ржавчины и грязи. Протрите контактные

поверхности мягкой тканью, смоченной спирто-бензиновой смесью. Соберите узел соединения провода антенны с проходным изолятором.

Если антенный провод имеет разрушения отдельных проволок и при этом

суммарное количество порванных проволок составляет более 0,1 от всего количества в антенном проводе, то необходимо этот провод заменить.

Запрещается электрическое соединение антенного провода с проходным изолятором и с крышей локомотива выполнять без наконечников. Копен антенного провода должен быть припаян к наконечнику, а резьбовые соединения, обеспечивающие электрические контакты, должны иметь пружинные шайбы.

После соединения наконечников с проходным изолятором и крышей локомотива смажьте места соединений бескислотной смазкой.

При замене антенного провода обеспечьте необходимое натяжение горизонтальной части антенны и свободный подход к точкам электрического подключения. Запрещается эксплуатация антенны, провод которой имеет избыточную длину.

### **3. Проверка технического состояния антенны МВ**

Демонтируйте антенну с крыши локомотива. Отсоединить разъем ВЧ-кабеля от антенны.

Удалите следы коррозии и разрушенного лакокрасочного покрытия. При необходимости покройте участки пораженной поверхности или всю антенну краской, защитив при этом от покрытия электрический разъем. После покрытия высушите антенну.

Проверьте чистоту контактирующих поверхностей ВЧ разъема антенны. При необходимости протрите поверхности контактов мягкой тканью, смоченной спиртом-ректификатом.

Подсоедините к антенне разъем антенного кабеля, надежно завинтив гайку разъема. Установите антенну на крыше локомотива.

### **4. Проверка работоспособности антенн**

Включите РС и проведите проверку РС в режиме «ТЕСТ1».

При обнаружении неисправной работы РС, связанной с неисправностями антенны ГМВ, проверьте правильность монтажа антенны на крыше локомотива, настройте АнСУ (при его наличии) согласно указаний РЭ или антенну АМК-2В (при ее наличии) в соответствии с указаниями паспорта ИР2.080.013 ПС.

При обнаружении неисправной работы РС, связанной с неисправностями антенны МВ, проверьте монтаж антенны на крыше локомотива, обратив особое внимание на надежность соединения разъема антенного кабеля с разъемом антенны.

По окончании работ по устранению обнаруженных неполадок снова проведите проверку РС в режиме «ТЕСТ1».

При наличии аппаратуры СТОР-1М проведите проверку работоспособности РС по проверкам «ТЕСТ2» и «ТЕСТ3».

При отсутствии аппаратуры СТОР-1М оцените работоспособность РС проверкой на связь с другой РС. Проверку на связь произведите в диапазонах ГМВ и МВ.

### Рекомендуемая литература

1. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей/ Е.Б.Алексеев, В.Н.Гордиенко, В.В. Крухмалев и др.; – Под ред. В.Н. Гордиенко и М.С. Тверецкого. – М.: Учебное пособие для вузов , 2008. – 392с.
2. Цифровые системы передачи/ В.В.Крухмалев, А.Д. Моченов – М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте» : 2010 – 280 с.
3. Волоконно-оптические системы передачи / В.В. Крухмалев – ростов-н/Д РГУПС Учебное пособие для вузов: 2012 – 455с.
4. Технологические карты по техническому обслуживанию стационарной радиостанции РС-46 МЦ.
5. Технологические карты по техническому обслуживанию радиостанции РВ-1.2МК.

*Учебное издание*

**Кульбикаян Хачерес Шагенович**  
**Кульбикаян Баграт Хачересович**  
**Шандыбин Алексей Викторович**

**ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ДВИЖЕНИЯ Поездов**

Часть I

Печатается в авторской редакции  
Технический редактор Т.М. Чеснокова

Подписано в печать 09.10.17. Формат 60×84/16.  
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. 8,36.  
Тираж экз. Изд. № 9039. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

---

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка  
Народного Ополчения, д. 2.