

## Стабильность защищённости цепей

Защищённость цепей в кабелях с течением времени претерпевает изменения. Это вызывается колебаниями температуры, механическими воздействиями (смещение грунта, сотрясения) и старением материалов, из которых изготовлен кабель. Изменения защищённости цепей на усилительных

Таблица 8.5  
ОЖИДАЕМЫЕ СНИЖЕНИЯ  
ВЕЛИЧИН ЗАЩИЩЕННОСТИ  
ЦЕПЕЙ, *nep*

Защищённость цепей на усилительном участке по окончании монтажа, <i>nep</i>	Снижение в кабеле со стироро-флексной изоляцией	Снижение в кабеле с бумажной изоляцией
8,0	0,1	0,2
8,5	0,2	0,3
9,0	0,35	0,5
9,5	0,5	0,8
10,0	0,7	1,0

участках могут быть также вызваны нестабильностью параметров элементов концентрированного симметрирования. Однако исследования применяемых для концентрированного симметрирования керамических конденсаторов типа КТИ и сопротивлений типа МЛТ показали, что изменения их величин настолько незначительны, что с ними практически можно не считаться.

В отношении стабильности величин защищённости цепей в проложенных кабелях известно, что за двухлетний период с момента прокладки изменение связей в кабелях с кордельно-стирофлексной изоляцией со-

ставило в среднем 1,5 *nf*, а в кабелях с кордельно-бумажной изоляцией — 2,5 *nf*. Исходя из этого, можно ожидать изменений величин защищённости цепей на усилительных участках, приведённых в табл. 8.5.

Чтобы в процессе длительной эксплуатации защищённость цепей не снижалась ниже установленной нормы (8,5 *nep* — для 100% комбинаций цепей; 9,0 *nep* — для 80%), необходимо в процессе монтажа кабеля проводить симметрирование таким образом, чтобы защищённость несколько превышала норму (8,8 ÷ 9,3 *nep*).

### 8.8. СИММЕТРИРОВАНИЕ ДЕЙСТВУЮЩИХ КАБЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕУСТРОЙСТВЕ И ВСТАВКАХ

При повреждениях кабелей и переустройствах кабельных сооружений приходится перекладывать отдельные участки действующих кабельных линий. Выполняемые при этом переключения не должны вызывать перерывов в действии связей, что обеспечивается соблюдением определённой последовательности работ по симметрированию цепей.

Скелетная схема реконструируемого усилительного участка линии показана на рис. 8.10, причём двойной линией обозначена существующая кабельная магистраль, одинарной — новый участок кабеля длиной  $l_2'$ , включаемый вместо упрядняемого кабеля на участке  $l_2$ . До переключения в муфтах 1 и 2 новые участки кабеля должны быть полностью отсимметрированы.

Если длина кабельной вставки равна нескольким шагам пупинизации (предполагается, что реконструируемая магистраль содержит как пупинизированные, так и непупинизированные цепи), то участки между крайними пупиновскими муфтами  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  и соответствующими муфтами 1 и 2 должны быть отсимметрированы так же, как целые шаги пупинизации. Симметрированию не подвергаются лишь вставки, которые меньше одной строительной длины. У таких вставок проверяется изоляция и сопротивление шлейфа. Все последующие операции производятся, как указано ниже, независимо от длины вставки.

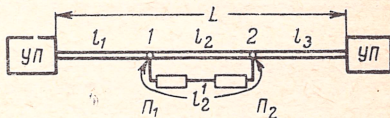


Рис. 8.10. Симметрирование при переустройствах и вставках

По окончании симметрирования нового кабельного участка приступают к симметрированию всего кабеля в муфтах 1 и 2. Симметрирование выполняется на основании измерений переходного затухания. Чтобы не нарушать связи, одна четвёрка освобождается от действующих по ней связей и переключается одновременно в муфтах 1 и 2 на новый кабель. Схемы соединения цепей в муфтах 1 и 2 подбирают на основании результатов измерений переходного затухания на ближнем и дальнем концах усилительного участка.

Если при скрещивании цепей в муфтах 1 и 2 переходное затухание равно норме, то жилы данной четвёрки монтируются окончательно. Если при всех суммах скрещивания для одной из четырёх комбинаций норма переходного затухания не получена ( $A_0$ ,  $A_0'$ ,  $A_1$ ,  $A_1'$ ), то выбирают ту схему, которая даёт наилучший результат. Дальнейшее симметрирование выполняется в одной из муфт (1 или 2) или при необходимости в обеих муфтах одновременно при помощи контуров противосвязи.

По окончании симметрирования одной четвёрки переходят к симметрированию второй, предварительно переключив действующие на ней связи на уже отсимметрированную четвёрку и т. д., пока на новый участок не будут переключены все четвёрки и пары.



## СОДЕРЖАНИЕ КАБЕЛЕЙ ПОД ПОСТОЯННЫМ ИЗБЫТОЧНЫМ ГАЗОВЫМ ДАВЛЕНИЕМ

---

### 9.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Содержание кабелей под постоянным избыточным газовым давлением предохраняет кабель от проникновения влаги, сохраняет его работоспособность при повреждении металлической оболочки и, кроме того, позволяет отыскивать места повреждения оболочки.

Если повреждение в течение некоторого времени не может быть устранено (разлив реки, участок дороги с интенсивным движением и т. п.), то проникновение влаги в повреждённый кабель можно предотвратить на длительное время за счёт подкачки газа с одного или обоих концов повреждённого участка. Содержание кабеля под постоянным газовым давлением позволяет устранить «пики» количества повреждений, возникающие особенно часто в весенние и

Применяются две системы содержания кабеля под давлением.

Применяются две системы содержания кабеля под давлением:

В системе с автоматическим пополнением газа в кабель применяются автоматические контрольно-осушительные установки (АКОУ) на каждом усилительном и оконечном пунктах, которые обеспечивают постоянную подачу газа в кабель как при допустимых, так и при аварийных утечках газа из кабеля. Установки в любом случае поддерживают постоянное (0,5 ат) давление в кабеле на концах усилительного участка. При аварийных утечках газа обеспечивается отсчёт объёма газа, подаваемого в кабель, и по расходу газа определяется район повреждения.

Если магистраль оборудована устройствами телесигнализации из НУП на ОУП, то в системе с автоматическим пополнением имеется возможность передавать сигнал о необходимости замены баллона, когда давление газа в последнем снизится до установленной величины, например до 25—35 ат.

Система с периодическим пополнением газа в кабель обеспечивает наполнение кабеля газом до давления 0,5—0,6 ат, после чего подача газа прекращается. Источники подачи газа в кабель включаются и выключаются обслуживающим персоналом.

В усилительных и оконечных пунктах устанавливают манометры для контроля за величиной давления в кабеле и оборудование (баллоны высокого давления с редукторами и камеры для осушения нагнетаемого газа) для подачи газа в кабель. Для контроля за величиной давления по всей длине кабеля между смежными ОУП в муфтах через 1,3—1,7 км устанавливают сигнализаторы, при по-



мощи которых можно быстро получить извещение о появлении аварийной утечки в кабеле и определить район повреждения кабеля непосредственно с ОУП.

## 9.2. ГАЗОВЫЕ СЕКЦИИ

Кабельные линии разделяются на герметичные участки — газовые секции.

Длина газовой секции определяется, исходя из минимального времени, необходимого для нагнетания газа в кабель, определения места повреждения, а также ремонта оболочки кабеля без нарушения действия связей.

Время, необходимое для нагнетания газа в кабель, возрастает пропорционально квадрату длины кабеля, поэтому длина газовой секции должна быть возможно меньшей. Для облегчения определения места повреждения кабельной оболочки и ликвидации его без перерыва действия связью необходимо иметь газонепроницаемые участки возможно большей длины. Естественной длиной газонепроницаемого участка является длина усилительного участка. При уплотнении коаксиального кабеля аппаратурой типа К-1920 средняя длина усилительного участка составляет 6 км, при уплотнении симметричного кабеля аппаратурой типа К-60 средняя длина составляет 18—20 км, а при уплотнении аппаратурой К-24 — около 35—38 км.

Продолжительность наполнения газовых секций коаксиального кабеля длиной 6 км при нагнетании воздуха с двух концов участков под давлением 0,8—1,0 ат составляет 10—12 ч, симметричного кабеля МКС-4×4×1,2 длиной до 20 км при накачке с обеих сторон участков — примерно 40—48 ч, а симметричного кабеля МКС-4×4×1,2 длиной 35—38 км — 6—7 суток.

Для сокращения времени наполнения воздух может нагнетаться одновременно из трёх мест, для чего в середине участка оборудуется воздуховывод. При этом время заполнения секции длиной 35—38 км сокращается примерно вдвое.

Усилительные участки коаксиального кабеля, а также смонтированные шаги любого типа кабеля рекомендуется накачивать с концов; при длине усилительного участка до 20 км оборудовать один дополнительный воздуховывод посередине, а при длине участка до 35—38 км — делать два дополнительных воздуховывода.

В необслуживаемых усилительных пунктах кабеля соединяют между собой воздухопроводами, снабжёнными кранами. Это даёт возможность в случае повреждения оболочки кабеля подкачивать воздух в повреждённую секцию из исправной.

Герметичность концов участков комбинированного кабеля, содержащего коаксиальные пары, обеспечивается газонепроницаемыми муфтами, устанавливаемыми на распределительных симметричных кабелях, и оконечными газонепроницаемыми муфтами, устанавливаемыми на коаксиальных парах.

Герметичность концов участков симметричных кабелей обеспечивается при помощи одной газонепроницаемой муфты, устанавливаемой перед перчаткой на линейном кабеле, или при помощи газонепроницаемых муфт, устанавливаемых на распределительных кабелях.



### 9.3. ГАЗЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ КАБЕЛЕЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Газ, применяемый для наполнения кабеля и создания избыточного внутреннего давления, должен быть:

— инертным, т. е. не влиять на материалы, применяемые в кабеле: медь, свинец, алюминий, бумагу, стирофлекс, полиэтилен и др.;

— сухим, дешёвым;

— негорючим, взрывобезопасным и безвредным;

— не должен снижать электрической прочности изоляции кабеля.

Последнее обстоятельство особенно важно ввиду применения повышенных напряжений дистанционного питания как в коаксиальных, так и симметричных кабелях.

Наибольшее распространение нашли азот и воздух как наиболее полно удовлетворяющие указанным выше требованиям. Однако от применения азота в ряде случаев приходится отказываться ввиду трудности получения его в местах прохождения кабельной магистрали. С другой стороны, эксплуатационные расходы при использовании воздуха меньше, чем при использовании азота, поэтому для содержания кабеля под избыточным давлением выгоднее применять осушенный воздух, нагнетаемый в кабель при помощи компрессорных установок или из баллонов, в которых воздух находится в сжатом состоянии (до 150 ат).

### 9.4. ДОПУСТИМОЕ ГАЗОВОЕ ДАВЛЕНИЕ В МЕЖДУГОРОДНЫХ КАБЕЛЯХ

Свинец, применяемый в большинстве случаев для кабельных оболочек, имеет небольшую прочность на разрыв ( $1,8 \text{ кг/мм}^2$ ). Кроме того, свинец и его сплавы обладают особым механическим свойством — ползучестью при малых нагрузках. После продолжительного действия растягивающей нагрузки разрушение материала происходит при значительно меньших усилиях, чем те, которые требуются для разрыва во время кратковременных испытаний. Скорость ползучести зависит от величины нагрузки, длительности и постоянства её действия, температуры, химического состава оболочки, способа обработки свинца.

При увеличении нагрузки скорость ползучести резко возрастает, причём быстрее увеличения нагрузки. В эксплуатационных условиях во время ремонта кабеля нагрузка снимается на некоторое время, после чего скорость ползучести несколько повышается. При малых удельных нагрузках в кабелях связи (до  $0,1 \text{ кг/мм}^2$ ) изменение температуры незначительно влияет на скорость ползучести.

Исходя из срока службы кабеля — 40 лет — и допустимого удлинения по окружности оболочки на 4%, скорость ползучести не должна превышать

$$v = \frac{0,04}{40 \cdot 365 \cdot 24} = 0,114 \cdot 10^{-4} \% \text{ в час.}$$

Указанная скорость ползучести свинца соответствует нагрузке  $0,1 \text{ кг/мм}^2$ . Однако скорость ползучести свинца  $0,1 \cdot 10^{-4} \%$  в час может быть и при меньших нагрузках, это может являться следствием царапин на свинцовой оболочке, образовавшихся в процессе изготовления, прокладки и монтажа кабеля, и различного химического состава свинцового сплава. Вследствие указанных причин допустимое постоянно действующее напряжение принимается равным  $0,05 \text{ кг/мм}^2$ .

Напряжение от внутреннего давления в толстых стенках свинцовой оболочки определяется по формуле

$$\sigma_{\text{макс}} = \frac{p (r_{\text{н}}^2 + r_{\text{в}}^2)}{r_{\text{н}}^2 - r_{\text{в}}^2}, \quad (9.1)$$

где  $p$  — давление,  $\text{кг/мм}^2$ ;

$r_{\text{н}}$  — радиус наружной поверхности оболочки,  $\text{мм}$ ;

$r_{\text{в}}$  — радиус внутренней поверхности,  $\text{мм}$ .

Из ф-лы (9.1) допустимое давление может быть найдено:

$$p = \frac{\sigma_{\text{макс}} (r_{\text{н}}^2 - r_{\text{в}}^2)}{r_{\text{н}}^2 + r_{\text{в}}^2}. \quad (9.2)$$

При минимальной толщине свинцовых оболочек для кабеля типов МКСБ-4×4×1,2; 7×4×1,2 и для комбинированного кабеля с коаксиальными парами типов КМКБ-2 и КМБ-4 допустимое давление равно  $0,5—0,6 \text{ ат}$ .

## 9.5. НАГНЕТАНИЕ ВОЗДУХА В КАБЕЛЬ В ПРОЦЕССЕ МОНТАЖА

В процессе прокладки и монтажа кабель и муфты проверяются на герметичность путём нагнетания воздуха.

Проверке в отношении герметичности подвергаются:

- 1) кабели на барабанах в складочных пунктах, строительные длины в траншее до и после прокладки перед монтажом прямых муфт, шаги перед монтажом стыковых муфт, смонтированные кабели на усилительном участке;
- 2) свинцовые муфты всех типов после их монтажа;
- 3) пупиновские ящики, находящиеся в складочных пунктах и на трассе, до и после монтажа;
- 4) оконечные вводные устройства;
- 5) участки от ОУП до РПП (на коаксиальных магистралях);
- 6) смонтированные усилительные участки с оконечными устройствами.

Если кабель в складочный пункт доставляется под давлением (кабели с завода должны поставляться с избыточным давлением  $0,5—1,0 \text{ ати}$  в коаксиальных и  $0,3—0,8 \text{ ати}$  в симметричных, величина которого указывается в паспорте), то для проверки герметичности манометр присоединяют к вентилю. Если кабель поступает с завода без вентиля, то последний вплавляется на складочном пункте.



Кабели считаются герметичными, если измеренное при проверке давление отличается от указанной в паспорте величины не более чем на  $0,02 \text{ ат}$  с учётом поправки на разность температур. Температурная поправка вводится из расчёта  $0,004p$ ,  $\text{ат}$  на  $1^\circ$ , причём указанную величину следует вычитать из показаний манометра, если температура при измерении выше, и прибавлять, если она ниже температуры при первом измерении ( $p$  — давление при предыдущем измерении). Если кабель поступил на складочные пункты не под давлением, то перед установкой кабеля под давление проверяется сопротивление изоляции, чтобы предотвратить распространение внутри кабеля уже проникшей влаги.

Герметичность оболочки проверяется путём нагнетания в неё газа под давлением  $3 \text{ ат}$ , которое не должно падать в течение  $3 \text{ час.}$  после выравнивания по всей длине. Затем давление снижают до  $0,5\text{--}0,7 \text{ ат}$  и контролируют по истечении двух суток с учётом влияния температуры. Кабель считается герметичным, если разница в показаниях манометра вначале и по истечении контрольного срока не превышает  $0,02 \text{ ат}$ . При разнице в показаниях в пределах до  $0,04 \text{ ат}$  кабель оставляется на повторное испытание и считается герметичным, если дальнейшего изменения давления не произошло. Если в процессе измерения обнаружено и исправлено повреждение свинцовой оболочки, то производится повторная проверка.

Кабель на герметичность испытывается не менее чем за двое суток до вывоза его на трассу, за это время давление в кабеле не должно изменяться (допускаются колебания давления воздуха в  $0,7\%$  за счёт изменения температуры на  $1^\circ\text{C}$ ). Если прокладка кабеля и сдача его для монтажа производятся с некоторым разрывом во времени, то перед монтажом муфт ещё раз проверяется герметичность кабеля. Перед монтажом прямых муфт проверяется наличие сжатого газа в обеих смежных строительных длинах способом, указанным выше.

Герметичность оболочки в смонтированных шагах испытывается давлением  $0,8\text{--}1 \text{ ат}$ . Шаги считаются герметичными, если давление в течение двух суток изменяется не более чем на  $0,02 \text{ ат}$  с учётом температурных поправок.

После устранения повреждения оболочки герметичность вторично проверяется при тех же условиях. После окончания монтажа усилительного участка проверяется герметичность свинцовой оболочки на всём участке:

а) при запаянных концах кабеля, если в процессе эксплуатации не предполагается кабель содержать под давлением;

б) при наличии газонепроницаемых муфт, если проектом предусмотрено содержание кабеля под постоянным газовым давлением.

Давление в кабеле контролируется сигнализаторами, монтируемыми в муфтах, и манометрами, устанавливаемыми на концах усилительных участков.

Газ подаётся в кабель до тех пор, пока давление в середине участка не достигнет  $0,2\text{--}0,3 \text{ ат}$ . Затем кабель оставляется для выравнивания давления по его длине. Ориентировочный срок выравнивания давления при нагнетании воздуха в конце участка для коаксиального кабеля длиной  $6 \text{ км}$  составляет  $24 \text{ час.}$ , для симметричного длиной  $20 \text{ км}$  —  $84 \text{ час.}$ , для симметричного длиной  $35 \text{ км}$  —



144 час. Если используются добавочные воздуховыводы, то время выравнивания на участке симметричного кабеля сокращается до 48 час. Выравнивание закончено, если давление на концах участка кабеля отличается не более чем на  $0,02 \text{ ат}$ .

Герметичность оболочек смонтированных усилительных участков кабеля испытывается при установившемся давлении  $0,45\text{--}0,6 \text{ ат}$ . Кабель считается герметичным, если в течение 10 суток после окончания выравнивания давление в нём с учётом температурных поправок не меняется более чем на  $0,05 \text{ ат}$ . Для измерения давления до  $1 \text{ ат}$  применяются манометры со шкалой на  $1,6 \text{ ат}$  и ценой деления  $0,02 \text{ ат}$ , а для измерения давления до  $3 \text{ ат}$  — манометры типа К10Р со шкалой на  $4 \text{ ат}$  и ценой деления  $0,05 \text{ ат}$ .

Герметичность каждой смонтированной свинцовой муфты проверяется путём создания в ней местного избыточного давления в  $1 \text{ ат}$  за 10—20 мин. через предварительно сделанный в муфте косой прокол, на который накладывается специальный герметичный манжет с вентилем для подключения шланга от нагнетательной установки. Муфту и место запайки смачивают мыльной водой и наблюдают, не появятся ли пузырьки газа. Отсутствие пузырьков указывает на исправность муфты и герметичность запайки. После проверки отверстие муфты слегка зачеканивают и запаивают.

Герметичность вводных кабелей с газонепроницаемыми муфтами перед монтажом проверяется по наличию избыточного давления, а герметичность контрольных щитков — по показаниям манометров. Если контрольные щитки, необходимые для монтажа, не имеют избыточного давления, то их проверяют на герметичность давлением  $1,0 \text{ ат}$ . Щиток считается герметичным и подлежит монтажу, если после закрытия кранов в течение одного часа давление, отсчитываемое по установленным на нём манометрам, не снижается более чем на  $0,1 \text{ ат}$  по отношению к первоначальному.

Оконечные устройства коаксиальных и симметричных кабелей, на которых имеются разветвительные перчатки, проверяются вместе с распределительными кабелями и пальцами перчатки давлением  $1 \pm 0,1 \text{ ат}$ . Вводный кабель с оконечными устройствами считается герметичным, если показания манометров на контрольном щитке после закрытия кранов (или вентилях) и выравнивания давления не уменьшится более чем на  $0,05 \text{ ат}$  в течение 2 суток.

Оконечные устройства для кабелей, на которых нет разветвительных перчаток, проверяются на герметичность вместе с прилегающей строительной длиной магистрального кабеля давлением  $1 \pm 0,1 \text{ ат}$ . Устройства и кабель считаются герметичными, если в течение двух суток давление не изменится.

Герметичность вводных устройств вместе с отрезками кабелей, предназначенными для включения в магистраль, проверяется постановкой кабелей под избыточное давление  $1,0 \pm 0,1 \text{ ат}$ . Вводный кабель с оконечными устройствами считается герметичным, если показание манометров на контрольном щитке после закрытия кранов (или вентилях) и выравнивания давления в течение двух суток не уменьшится более чем на  $0,05 \text{ ат}$ .

Пупиновские ящики с напаянным вентилем на складочные пункты поставляются под давлением. Исправность пупиновских ящиков проверяют, присоединяя к вентилю манометр. Методика проверки такая же, как для строительных длин кабеля. Испытание продол-



жается двое суток, после чего пупиновский ящик может использоваться для монтажа. Пупиновские ящики на трассе проверяются до и после их монтажа аналогично проверке свинцовых муфт.

На подводных кабельных переходах испытание свинцовой оболочки на герметичность должно выполняться с повышенными требованиями, а именно:

а) кабель до прокладки должен находиться под давлением  $3 \text{ ат}$ , которое не должно снижаться в течение 6 час.;

б) непосредственно у места прокладки подводный кабель испытывают давлением  $1-1,2 \text{ ат}$  в течение двух суток;

в) для осуществления контроля герметичности свинцовой оболочки в процессе прокладки манометр устанавливается на том конце кабеля, который находится на берегу или на барже (лодке);

г) после испытания герметичности места подключения манометра и трубки для подачи сжатого газа должны быть особенно тщательно запаены;

д) после запайки свинцовая муфта испытывается на герметичность газовым давлением  $0,7-1,0 \text{ ат}$  и проверяется при помощи мыльного раствора.

## 9.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЙОНА ПОВРЕЖДЕНИЯ ОБОЛОЧКИ КАБЕЛЯ

При повреждении свинцовой оболочки кабеля, находящегося под избыточным газовым давлением, газ начинает выходить и давление в кабеле у места повреждения снижается. По мере выхода газа снижение давления распространяется в обе стороны от места повреждения. В системе с периодическим пополнением газа установленные через определённое расстояние вдоль кабеля сигнализаторы позволяют определить примерное место повреждения, так как первым срабатывает близлежащий сигнализатор, а по мере снижения давления — остальные.

Если два смежных сигнализатора срабатывают с интервалом в несколько минут, то место повреждения находится примерно в середине участка между сработавшими сигнализаторами. Если второй сигнализатор срабатывает значительно позже первого, а вслед за вторым вскоре срабатывает третий, находящийся по другую сторону от первого, то место негерметичности следует искать вблизи от первого сработавшего сигнализатора.

При появлении в оболочке кабеля отверстия площадью не менее  $1,0 \text{ мм}^2$  срабатывание ближайших к месту повреждения сигнализаторов произойдёт через  $0,5-2,5$  час. Следовательно, такое же время потребуется и для определения района повреждения кабеля. Если в оболочке кабеля появится отверстие площадью менее  $0,1 \text{ мм}^2$ , то в месте выхода газа сохраняется давление порядка  $0,2-0,35 \text{ ат}$ , и сигнализаторы могут не сработать.

Определение района повреждения оболочки сигнализаторами при отверстиях площадью меньше  $0,2 \text{ мм}^2$  весьма затруднительно. В таких случаях прибегают к определению района утечки по методу учёта расхода газа и ведут его в течение  $1-2$  недель.

Сигнализатор типа ТК-29 000 (рис. 9.1) — это стеклянная трубка-капилляр, в которую на расстоянии около  $25 \text{ мм}$  впаяны два кон-



такта. В капилляре находятся два столбика ртути, один из которых предназначен для замыкания контактов при падении газового давления, а другой является защитной пробкой, предохраняющей рабочий столбик от окисления. Пространство между столбиками ртути и между запаянным концом и рабочим столбиком ртути

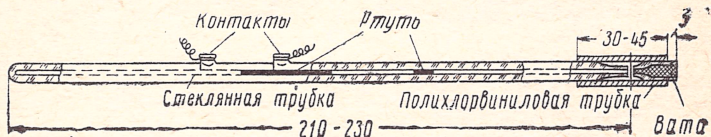


Рис. 9.1. Сигнализатор понижения давления

заполнено углекислым газом. На открытый конец трубки надевается воздушный фильтр. Для защиты от механических повреждений сигнализатор помещают в жестяной чехол.

При избыточном воздушном или газовом давлении в кабеле 0,5 ат рабочий столбик ртути находится ближе к запаянному концу, и контакты разомкнуты. При понижении давления столбик ртути движется к открытому концу трубки, и, когда давление достигает 0,25—0,35 ат, ртуть замыкает контакты сигнализатора. При дальнейшем снижении давления столбик ртути передвигается ближе к открытому концу трубки, и контакты вновь размыкаются. Контакты сигнализаторов включают в сигнальные жилы кабеля. Номер сработавшего сигнализатора определяется либо мостом по сопротивлению образовавшегося шлейфа, либо специальным автоматическим устройством.

В системах связи К-1920 и К-60 обслуживаемые усилительные пункты размещаются в среднем через 120—200 км. Поэтому автоматическое устройство контролирует состояние кабеля длиной около 60—100 км в каждую сторону от обслуживаемого усилительного пункта. Для устойчивой работы автоматического устройства последовательно с сигнализаторами включаются сопротивления определенной величины. Величина сопротивлений выбирается, исходя из следующих соображений:

- автоматическое устройство должно правильно фиксировать сработавшие сигнализаторы независимо от изменения сопротивления сигнальных жил при колебаниях температуры;
- величина тока, проходящего через сигнализатор в момент замыкания его контактов, не должна превышать 100 ма;
- должно надёжно работать измерительное реле, включённое в двигатель моста автоматического устройства.

Величины сопротивлений, включаемых последовательно с сигнализаторами, а также диаметр проволоки марки ПЭШОК, из которой они изготовлены, приведены в табл. 9.1. Наряду с сопротивлениями из константановой проволоки применяют сопротивления типа МЛТ или УЛИ на мощность не менее 1 вт.

В кабелях с пупинизированными цепями сигнализаторы с сопротивлениями устанавливаются совместно с пупиновскими катушками, в кабелях без пупинизированных служебных цепей — примерно через каждый 1,7 км согласно рис. 9.2.



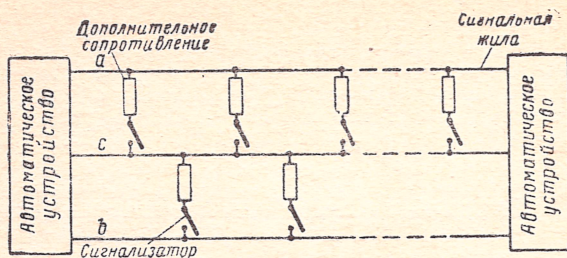


Рис. 9.2. Схема включения сигнализаторов в кабеле

Таблица 9.1

ДАННЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ, ВКЛЮЧАЕМЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО С СИГНАЛИЗАТОРОМ

Номер сигнализатора	Сопротивление ом	Диаметр проволоки мм	Номер сигнализатора	Сопротивление ом	Диаметр проволоки мм
1	800	0,2	21	3500	0,1
2	700	0,2	22	3400	0,1
3	900	0,2	23	4400	0,09
4	800	0,2	24	4300	0,09
5	1000	0,2	25	5500	0,09
6	900	0,2	26	5400	0,09
7	1100	0,2	27	7000	0,08
8	1000	0,2	28	6900	0,08
9	1290	0,15	29	9000	0,07
10	1100	0,2	30	8900	0,07
11	1400	0,15	31	11 700	0,06
12	1300	0,15	32	11 600	0,06
13	1600	0,15	33	15 700	0,06
14	1500	0,15	34	15 600	0,06
15	1900	0,15	35	21 700	0,05
16	1800	0,15	36	21 600	0,05
17	2300	0,12	37	33 700	0,05
18	2200	0,12	38	33 600	0,05
19	2800	0,12	39	58 700	0,05
20	2700	0,12	40	58 600	0,05

Примечание. Допускается отклонение величины сопротивлений на  $\pm 1\%$ .

В зависимости от расположения муфт на кабеле допускаются отклонения расстояний от ОУП до места установки сигнализаторов (табл. 9.2). При отсутствии в кабеле сигнальных жил сигнализато-



Таблица 9.2

## ДОПУСТИМЫЕ РАССТОЯНИЯ ОТ ОУП ДО МЕСТА УСТАНОВКИ СИГНАЛИЗАТОРОВ

Номер сигнала-лизатора	Расстояние от ОУП до места установки сигнализатора, км			Номер сигнала-лизатора	Расстояние от ОУП до места установки сигнализатора, км		
	номиналь-ное	минималь-ное	максималь-ное		номиналь-ное	минималь-ное	максималь-ное
1	1,7	1,6	1,8	21	35,7	35,6	35,8
2	3,4	3,3	3,5	22	37,4	37,3	37,5
3	5,1	5,0	5,2	23	39,1	39,0	39,2
4	6,8	6,7	6,9	24	40,8	40,7	40,9
5	8,5	8,4	8,6	25	42,5	42,4	42,6
6	10,2	10,1	10,3	26	44,2	44,1	44,3
7	11,9	11,8	12,0	27	45,9	45,8	46,0
8	13,6	13,5	13,7	28	47,6	47,5	47,7
9	15,3	15,2	15,4	29	49,3	49,2	49,4
10	17,0	16,9	17,1	30	51,0	50,9	51,1
11	18,7	18,6	18,8	31	52,7	52,6	52,8
12	20,4	20,3	20,5	32	54,4	54,3	54,5
13	22,1	22,0	22,2	33	56,1	56,0	56,2
14	23,8	23,7	23,9	34	57,8	57,7	57,0
15	25,5	25,4	25,6	35	59,5	59,4	59,6
16	27,2	27,1	27,3	36	61,2	61,1	61,3
17	28,9	28,8	30,0	37	62,9	62,8	63,0
18	30,6	30,5	30,7	38	64,6	64,5	64,7
19	32,3	32,2	32,4	39	66,3	66,2	66,4
0	34,0	22,9	34,1	40	68,0	67,0	68,1

ры включают в рабочие жилы одной из четвѐрок. Чтобы сработавшие сигнализаторы не ухудшали параметров передачи цепей, последовательно с сигнализаторами, дополнительное сопротивление которых меньше 5000 ом, включают дроссели индуктивностью 20 мгн.

Допустимые расстояния от ОУП до места установки сигнализаторов на магистралях коаксиального кабеля КМБ-4 с пупинизацией служебных цепей приведены в табл. 9.3. Если между ОУП расстояние — до 200 км, необходимо включить до 60 сигнализаторов (табл. 9.4).

При расстановке сигнализаторов с дополнительными сопротивлениями согласно табл. 9.4 район повреждения определяется по номерам сработавших сигнализаторов в соответствии с табл. 9.5.

Автоматическое устройство для определения сработавшего сигнализатора является одним из элементов аппаратуры типа К-1920 и размещается на стандартных платах, устанавливаемых на стойках



Таблица 9.3

ДОПУСТИМЫЕ РАССТОЯНИЯ ОТ ОУП ДО МЕСТА УСТАНОВКИ СИГНАЛИЗАТОРОВ НА МАГИСТРАЛЯХ КООКСИАЛЬНОГО КАБЕЛЯ КМБ-4 (РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ОУП 120 км)

Номер сигнализатора	Номинальное расстояние от ОУП до места установки сигнализатора, км	Номер сигнализатора	Номинальное расстояние от ОУП до места установки сигнализатора, км
1	0,85	21	34,85
2	2,55	22	36,55
3	4,25	23	38,25
4	5,95	24	39,95
5	7,65	25	41,65
6	9,35	26	43,35
7	11,05	27	45,05
8	12,75	28	46,75
9	14,45	29	48,45
10	16,15	30	50,15
11	17,85	31	51,85
12	19,55	32	53,55
13	21,25	33	55,25
14	22,95	34	56,95
15	24,65	35	58,65
16	26,35	36	60,35
17	28,05	37	62,05
18	29,75	38	63,75
19	31,45	39	65,45
20	33,15	40	67,15

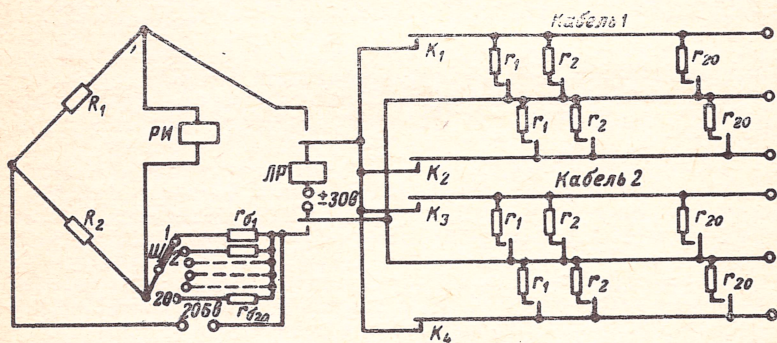


Рис. 9.3. Скелетная схема устройства, фиксирующего срабатывание сигнализаторов



ЛАЦ оконечных и обслуживаемых усилительных пунктов. Устройство позволяет одновременно контролировать работу сигнализаторов, включённых в сигнальные цепи четырёх кабелей. Скелетная схема устройства показана на рис. 9.3.

Таблица 9.4

ДОПУСТИМЫЕ РАССТОЯНИЯ ОТ ОУП ДО МЕСТА УСТАНОВКИ  
СИГНАЛИЗАТОРОВ НА МАГИСТРАЛЯХ КООКСИАЛЬНОГО КАБЕЛЯ КМБ-4  
(РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ОУП 200 км)

Номер сигнализа- тора	Номинальное расстояние от ОУП до сигнализатора км	Дополни- тельное сопротив- ление, ом	Номер сигнализа- тора	Номинальное расстояние от ОУП до сигнализатора км	Дополни- тельное сопротив- ление, ом
1	0,85	800	31	51,85	11 750
2	2,55	11 140	32	53,55	11 700
3	4,25	900	33	55,25	15 750
4	5,95	14 150	34	56,95	8 650
5	7,65	1 000	35	58,65	21 950
6	9,35	11 100	36	60,35	11 350
7	11,05	1 100	37	62,05	33 850
8	12,75	13 800	38	63,75	8 300
9	14,45	1 200	39	65,45	60 100
10	16,15	10 750	40	67,15	15 200
11	17,65	1 400	41	68,85	8 050
12	19,55	13 400	42	70,55	21 400
13	21,25	1 600	43	72,25	10 750
14	22,95	10 400	44	73,95	14 840
15	24,65	1 900	45	75,65	14 750
16	26,35	13 100	46	77,35	21 040
17	28,05	2 300	47	79,05	20 950
18	29,75	10 050	48	80,75	14 500
19	31,45	2 800	49	82,45	32 850
20	33,15	12 750	50	84,15	20 700
21	34,85	3 500	51	85,85	59 100
22	36,55	9 700	52	87,55	32 600
23	38,25	4 400	53	89,25	9 900
24	39,95	12 400	54	90,95	58 850
25	41,65	5 500	55	92,65	13 900
26	43,35	9 350	56	94,35	32 250
27	45,05	7 000	57	96,05	20 100
28	46,75	12 050	58	97,75	58 500
29	48,45	9 050	59	99,45	32 000
30	50,15	9 000	60	101,15	31 860



Таблица 9.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЙОНА ПОВРЕЖДЕНИЯ КАБЕЛЯ  
ПРИ УСТАНОВКЕ 60 СИГНАЛИЗАТОРОВ НА КОНТРОЛИРУЕМОМ УЧАСТКЕ

Номера сигнализаторов (считая от ОУП), между которыми находится повреждение	Номера сработавших сигнализаторов в цепи		Номера сигнализаторов (считая от ОУП), между которыми находится повреждение	Номера сработавших сигнализаторов в цепи	
	I (жилы a—c)	II (жилы b—c)		I (жилы a—c)	II (жилы b—c)
1—2	1	15	31—32	16	16
2—3	2	15	32—33	17	16
3—4	2	16	33—34	17	15
4—5	3	16	34—35	18	15
5—6	3	15	35—36	18	16
6—7	4	15	36—37	19	16
7—8	4	16	37—38	19	15
8—9	5	16	38—39	20	15
9—10	5	15	39—40	20	17
10—11	6	15	40—41	15	17
11—12	6	16	41—42	15	18
12—13	7	16	42—43	16	18
13—14	7	15	43—44	16	17
14—15	8	15	44—45	17	17
15—16	8	16	45—46	17	18
16—17	9	16	46—47	18	18
17—18	9	15	47—48	18	17
18—19	10	15	48—49	19	17
19—20	10	16	49—50	19	18
20—21	11	16	50—51	20	18
21—22	11	15	51—52	20	19
22—23	12	15	52—53	16	19
23—24	12	16	53—54	16	20
24—25	13	16	54—55	17	20
25—26	13	15	55—56	17	19
26—27	14	15	56—57	18	19
27—28	14	16	57—58	18	20
28—29	15	16	58—59	19	20
29—30	15	15	59—60	19	19
30—31	16	15			



В схеме устройства использован принцип моста постоянного тока. Два плеча моста  $R_1$  и  $R_2$  имеют постоянные сопротивления соответственно 14 и 7 ком. Третьим плечом моста является набор балансных сопротивлений, равных по числу и величине сопротивлений шлейфов до каждого из сигнализаторов, установленных на линии. Четвёртым плечом служит шлейф до сработавшего сигнализатора.

В линию постоянно подаётся дежурное напряжение 30 в. При срабатывании СПД в любом из шлейфов замыкается цепь линейного реле ЛР, контакты которого подключают мостовую схему к линии. Мостовая схема питается от напряжения 206 в. Срабатывает реле РИ, включённое в диагональ моста, и приводятся в движение щётки реле-искателя. Балансные сопротивления  $r_6$  поочередно подключаются до тех пор, пока мост окажется уравновешенным. Ток в диагонали моста при этом отсутствует, реле-искатель останавливается. На диске щёткодержателя РИ указывается номер ламели, в которую включено балансное сопротивление, соответствующее сопротивлению шлейфа до сработавшего сигнализатора.

Далее поочередным отключением тумблеров  $k$  определяют кабель и шлейф, в котором сработал сигнализатор. Этот шлейф отключают, а три остальных шлейфа опять подключают для контроля за работой сигнализаторов в них. После срабатывания следующего сигнализатора, смежного с первым сработавшим, определяется непосредственно участок кабеля, на котором имеется утечка воздуха.

Платы фиксирующих устройств для магистралей коаксиального кабеля располагаются на стойках телеобслуживания ОУП и входят в состав оборудования этих стоек. На магистралах симметричного кабеля платы СПД располагают вблизи аппаратуры телеобслуживания. В состав аппаратуры дальней связи ОУП симметричного кабеля платы СПД не входят.

В системе с автоматическим пополнением газа наличие установок АКОУ позволяет применять метод определения района повреждения оболочки кабеля по расходу газа, подаваемого с обоих концов повреждённого участка кабеля, основанный на том, что объёмы газа, подаваемого с обоих концов участка кабеля для компенсации утечки, обратно пропорциональны расстоянию до места утечки.

При установившемся режиме объём газа, выходящего в единицу времени через место утечки, равен сумме объёмов газа, поступающего в этот кабель с обоих концов усилительного участка. Наступление установившегося режима характеризуется тем, что объём газа, подаваемый с каждого конца кабеля в любой отрезок времени, остаётся постоянным.

В установке АКОУ для учёта объёма газа, подаваемого в кабель, имеется дозирующее устройство и счётчик доз. Объём одной дозы составляет примерно 6 л. Подсчитав количество доз газа, поданного с обеих сторон усилительного участка в кабель после наступления установившегося режима, можно определить расстояние до места выхода газа из оболочки по формуле

$$l_{xA} = \frac{n_B}{n_A + n_B} l, \text{ км, или } l_{xB} = \frac{n_A}{n_A + n_B} l, \text{ км,}$$



где  $l_{xA}$  — расстояние от пункта  $A$ , км;  
 $l_{xB}$  — то же, от пункта  $B$ , км;  
 $l$  — длина участка кабеля между пунктами  $A$  и  $B$ , км;  
 $n_A, n_B$  — количество доз газа, поданного в кабель соответственно с пунктов  $A$  и  $B$ .

Точность определения места повреждения оболочки обеспечивается в пределах  $\pm 0,5$  км при количестве доз за отсчитываемый период с обеих сторон участка не менее 100.

Когда величина отверстия в оболочке не превышает  $0,1 \text{ мм}^2$ , для уверенного определения района повреждения может потребоваться не менее одной-двух недель.

При отсутствии установок АКОУ и сигнализаторов понижения давления район повреждения может быть определён ориентировочно одним из следующих способов:

- 1) по расходу газа, нагнетаемого в кабель с обоих концов усилительного участка;
- 2) по времени снижения давления на манометрах, установленных по концам кабеля;
- 3) манометрическим методом.

1. На обоих концах кабеля подключают баллоны и устанавливают одинаковую величину давления (в пределах  $0,5\text{--}0,6 \text{ ат}$ ), обеспечив постоянную подачу газа в кабель на всё время работы по определению района повреждения. Контроль за расходом подаваемого газа ведут по манометрам высокого давления. После наступления установившегося режима давления в кабеле отмечают показания манометров и через каждые  $8\text{--}12$  час. повторяют отсчёты величин давления в баллонах. Наблюдения ведут до тех пор, пока в одном из баллонов не снизится давление на  $30\text{--}50 \text{ ат}$ .

Если используются баллоны одинаковой ёмкости, то расстояния до места утечки рассчитываются по вышеуказанным формулам, но вместо количества доз  $n_A$  и  $n_B$  подставляется величина снижения давления  $\Delta p_A$  и  $\Delta p_B$ , отсчитываемая по манометрам за весь период определения района повреждения.

В случае применения баллонов разной ёмкости расстояние до места утечки определяется по формуле

$$l_{xA} = \frac{\Delta p_B V_B}{\Delta p_A V_A + \Delta p_B V_B} l, \text{ км},$$

где  $V_A$  и  $V_B$  — ёмкости баллонов соответственно в пунктах  $A$  и  $B$ .

2. Нагнетают газ в кабель с обоих концов участка до наступления установившегося режима при давлении  $0,5\text{--}0,6 \text{ ат}$ . После прекращения подачи газа в кабель по показаниям манометров на концах участка следят за снижением давления и отсчитывают время, за которое давление снижается на  $0,2 \text{ ат}$ . Место утечки определяют по формуле

$$l_{xA} = \frac{t_B}{t_A + t_B} l, \text{ км},$$



где  $t_A$  и  $t_B$  — время, в течение которого давление снижается на 0,2 ат, соответственно на концах А и В.

3. По длине исследуемого кабеля через равные промежутки в соединительные муфты впаивают вентили, которые в дальнейшем служат измерительными точками.

В повреждённый участок кабеля после установки вентиля в течение 1—2 суток (при длине кабеля порядка 20 км) нагнетают газ под давлением 0,5—0,6 ат и замеряют давление в контрольных точках. Замеры повторяют через сутки, обеспечивая в это время подачу газа в кабель с обоих концов.

По результатам измерения строят кривую распределения давления газа по длине кабеля. При постоянной подаче газа в кабель с обоих концов участка кривая распределения давления в случае одного повреждения будет иметь вид, подобный указанному на рис. 9.4. Пересечение наклонных прямых указывает на расположение места утечки газа.

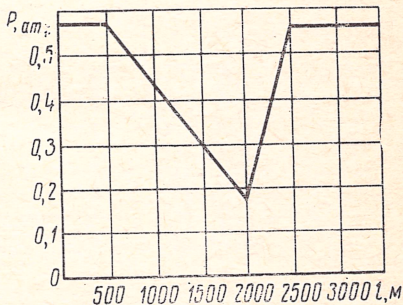


Рис. 9.4. К определению района повреждения свинцовой оболочки кабеля

Манометрический метод может быть рекомендован в том случае, если нельзя применить какой-либо другой метод. Манометрический метод может оказаться единственно приемлемым, если на усилительном участке кабеля имеется несколько мест утечки одновременно.

После определения района повреждения место повреждения уточняется при помощи индикаторных газов.

## 9.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ ФРЕОНА

После определения района повреждения место нарушения герметичности оболочки кабеля уточняется при помощи индикаторных газов. Метод основан на способности газов перемещаться в другом газе, в почве или в воде в результате теплового движения молекул в сторону меньших концентраций газа.

Выходя из кабеля через место повреждения, газ в течение некоторого времени достигает поверхности земли, где может быть обнаружен индикатором.

В качестве индикатора газа используются фреон-12 и фреон-22. Фреон является инертным газом, негорючим и взрывобезопасным. Однако при температуре выше +300°С фреон разлагается, образуя фосген — сильно действующее отравляющее вещество. Поэтому в помещении, где находится фреон, нельзя работать с паяльной лампой. Поглощая из воздуха влагу, фосген образует соляную кислоту.



Перед началом работ по отысканию места повреждения трассу кабеля в районе повреждения обозначают на местности. Район повреждения обследуют течеискателем, выявляющим наличие на поверхности почвы газов, на которые реагирует индикатор, во избежание ложных показаний о выходе фреона на поверхность.

После окончания подготовительных работ к одному из концов повреждённого района кабеля присоединяют газовую установку (рис. 9.5), состоящую из баллона со сжатым воздухом 1, редук-

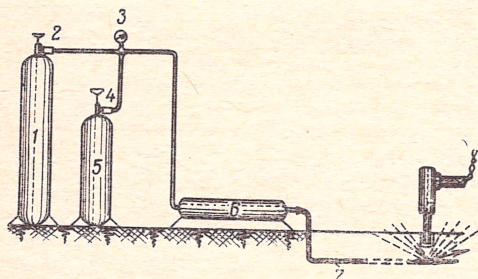


Рис. 9.5. Схема введения фреона в кабель

тора 2, манометра 3, баллона с фреоном 5, осушающего устройства 6. Обычно фреон транспортируют в стальных баллонах по 50 или 100 кг. Для удобства работы по трассе его предварительно переливают в меньший баллон типа ОУ-2 (огнетушитель углекислотный). Из этого баллона через редуктор 4 фреон вводят в кабель 7 в течение 5—10 мин. За это время при давлении 0,6 ат в кабель поступает 200—300 г фреона. По окончании подачи фреона в кабель подают сжатый воздух из баллона 1, который проталкивает «пробку» из фреона к месту повреждения оболочки. В зависимости от типа кабеля и расстояния до места повреждения время от момента впуска газа в кабель до достижения поверхности земли составляет от 2 до 20 час. Поэтому к отысканию места повреждения на трассе приступают только через 10—15 час. после введения газа в кабель.

Для обнаружения фреона на поверхности используют галоидный течеискатель типа ГТИ-3 или БГТИ-5.

Так как незначительные количества выходящего фреона легко смываются воздушными потоками, то оператор, идущий по трассе кабеля, делает через каждые 1,5—2 м шурфы диаметром 10—15 мм и глубиной 30 см, в которых может накапливаться фреон (его удельный вес больше, чем воздуха). Чтобы исключить ложные показания, шуп течеискателя вставляется в каждый шурф три раза с интервалами 2—3 мин. Над местом повреждения на почве образуется «пятно» фреона, имеющее вид эллипса. Место повреждения кабеля находится под точкой наибольшей концентрации фреона.

Наряду с фреоном для обнаружения мест негерметичности свинцовой оболочки может быть использован углекислый газ. Индикатором в этом случае может служить весьма портативный при-



бор — интерферометр типа ОВ-2301, для чего из него удаляется химволотитель углекислого газа.

Определение мест негерметичности оболочки при помощи нерадиоактивных газов затрудняется в промерзлых грунтах и при наличии асфальтовых или бетонных покрытий.

## 9.8. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ КАБЕЛЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

В окончных обслуживаемых и необслуживаемых усилительных пунктах, являющихся концами газовых секций, устанавливается специальное оборудование для подачи газа в кабель и контроля за величиной внутреннего давления в кабеле:

- 1) компрессорные установки или баллоны со сжатым воздухом;
- 2) щитки с манометрами и кранами;
- 3) осушительные устройства с индикаторами влажности;
- 4) газопроводы, соединяющие кабель с оборудованием для накачки газа и контроля давления;
- 5) автоматические дозирующие устройства (в системе с автоматическим пополнением).

Принципиальная схема оборудования УП в системе с периодическим пополнением для симметричного кабеля приведена на рис. 9.6, а для коаксиального — на рис. 9.7.

Для определения величины давления при подаче газа в кабель, а также для контроля давления в кабеле в процессе эксплуатации в обслуживаемых и необслуживаемых усилительных пунктах устанавливаются электроконтактные манометры типа ЭКМ-1 со шкалой на 1,6 ат. Контакты манометров регулируются на минимальное давление 0,35 ат и максимальное 1 ат. При снижении давления до 0,35 ат на обслуживаемую станцию даётся сигнал о необходимости подкачки газа в кабель в соответствующем необслуживаемом пункте. Сигналы от электроконтактных манометров передаются по системе телесигнализации.

Газ, подаваемый в кабель, должен быть сухим, так как влага, попадающая в кабель вместе с газом, ухудшает электрические характеристики цепей кабеля: резко уменьшает электрическую прочность изоляции, снижает сопротивление изоляции, увеличивает ёмкость цепей и диэлектрические потери в изоляции. При длительном содержании кабелей под избыточным давлением один кубометр газа не должен содержать более 0,3 г влаги (относительная влажность 8—9%).

В качестве основного осушающего вещества применяется силикагель. Можно применять и хлористый кальций, однако он медленнее поглощает влагу и степень осушки воздуха значительно меньше. Силикагель ( $\text{SiONH}_2\text{O}$ ) марок МСМ и КСМ — твёрдое стекловидное вещество высокой капиллярности, химически и механически стойкое, выпускается по ГОСТ 3956—54. Хлористый кальций ( $\text{CaCl}_2$ ) — сероватое пористое гигроскопическое вещество, кристаллической структуры, выпускается по ТУ МХП-1120—44. Характеристики силикагеля и хлористого кальция приведены в табл. 9.6.



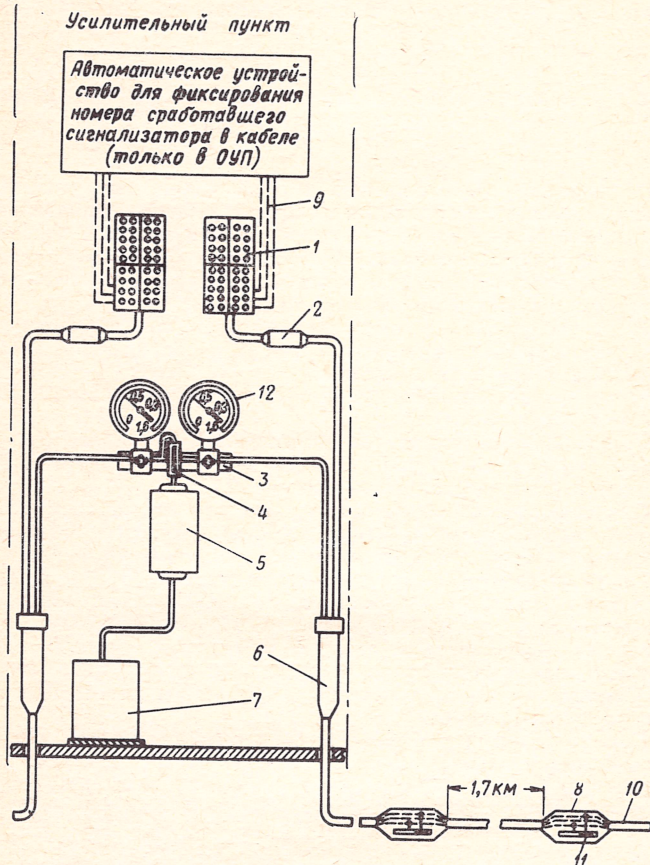


Рис. 9.6. Принципиальная схема оборудования для содержания симметричного кабеля под давлением в системе с периодическим пополнением:

1 — бокс, 2 — газонепроницаемая муфта ГМС, 3 — контрольный щиток, 4 — индикатор влажности, 5 — осушитель, 6 — перчатки, 7 — компрессор (в ОУП) или баллон, 8 — кабельная соединительная муфта, 9 — сигнальные жилы, 10 — магистральный кабель, 11 — сигнализатор понижения давления, 12 — электроконтактный манометр



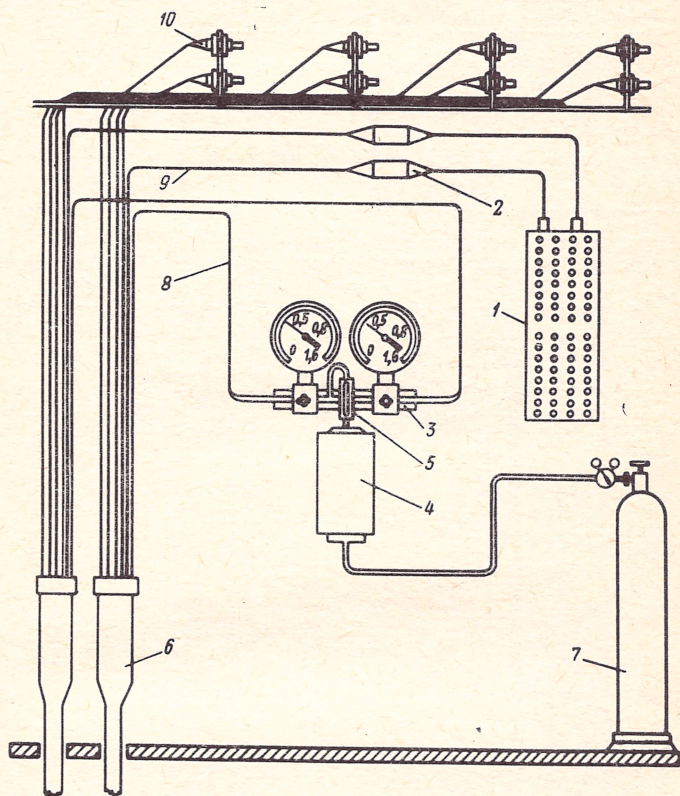


Рис. 9.7. Принципиальная схема оборудования для содержания коаксиального кабеля под давлением в системе с периодическим пополнением:

- 1 — бокс, 2 — газонепроницаемая муфта ГМС, 3 — контрольный щиток, 4 — осушитель, 5 — индикатор влажности, 6 — перчатка, 7 — баллон, 8 — воздухопровод, 9 — распределительный кабель симметричных четвѐрок, 10 — газонепроницаемая муфта ОГКМ



Таблица 9.6

## ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛИКАГЕЛЯ И ХЛОРИСТОГО КАЛЬЦИЯ

Характеристика	Единица измерения	Силикагель	Хлористый кальций
Осушающая способность (количество влаги, остающейся в осушенном воздухе)	г/м <sup>3</sup>	0,3	1,5
Относительная влажность осушенного воздуха	%	до 5	8,8
Рекомендуемый материал осушительной камеры	—	Не лимитируется	Стекло

Осушительное устройство с силикагелем (рис. 9.8) состоит из осушительной камеры 1, которая при помощи трубки 3 соединена с индикатором влажности 2 и смонтирована с ним на общем основании 4. Осушительной камерой может служить металлический

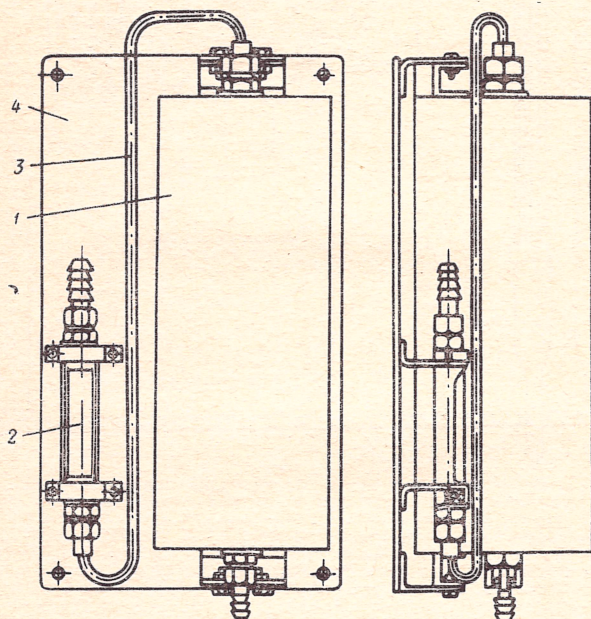


Рис. 9.8. Осушительное устройство с силикагелем

или стеклянный цилиндр, заполненный силикагелем. В торцовых частях камеры ввёрнуты два ниппеля с фильтрами, предотвращающими попадание в кабель частичек силикагеля, которые увлекаются потоком воздуха из камеры. В нижний ниппель вмонтирован штуцер



для подключения шланга от баллона или компрессора. Верхний ниппель камеры соединяется медной трубкой с индикатором влажности. На выходе индикатора влажности установлен штуцер для шланга, при помощи которого осушительное устройство соединяется с контрольным щитком.

Осушительное устройство с использованием хлористого кальция (рис. 9.9) состоит из рамы 1 с установленными на ней четырьмя парами латунных фланцев 2, которые крепят стеклянные цилиндры 3.

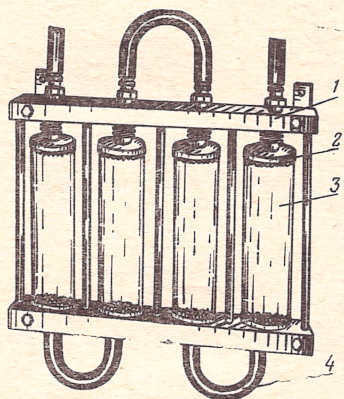


Рис. 9.9. Осушительное устройство с хлористым кальцием

ры 3. Герметизацию мест соединения фланца с цилиндром обеспечивают резиновые прокладки в форме колец. Каждый цилиндр можно снимать в отдельности.

Цилиндры соединены между собой последовательно резино-тканевыми шлангами 4. При помощи таких же шлангов осушительное устройство подключается к источнику газа и к щитку. Первые три стеклянных цилиндра, считая от компрессора или баллона, заполняются хлористым кальцием, четвертый цилиндр заполняется наполовину хлористым кальцием и наполовину гигроскопической ватой, предохраняющей кабель от попадания в него частичек хлористого кальция. Четыре баллона в осушительном устройстве необходимы для увеличения пути потока воздуха через осушитель. Камеры с силикагелем или хлористым кальцием при работе должны находиться в вертикальном положении.

Осушающая способность устройств проверяется каждый раз перед нагнетанием воздуха. Для этого у осушительных устройств производится внешний осмотр поверхности хлористого кальция. При заметном увлажнении поверхности хлористый кальций должен заменяться новым. При отсутствии увлажнения степень осушки нагнетаемого в кабель воздуха должна проверяться по индикатору влажности. Для проверки воздухопровод отсоединяют от штуцера на щитке и продувают в течение 3—5 мин воздухом. Если при



этом силикагель в индикаторе сохраняет ярко-голубой цвет, то это указывает на достаточную степень осушки воздуха. Если на входе индикатора светлеет, то газ имеет большую влажность и осушающее вещество следует заменить новым.

Осушающая способность устройств с использованием силикагеля проверяется так же, как и устройств с использованием хлористого кальция.

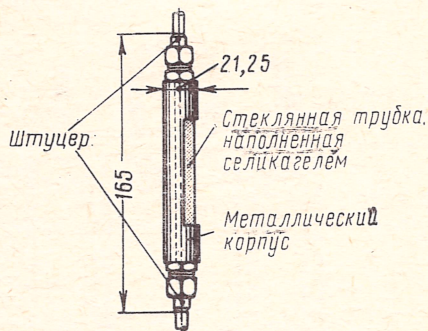


Рис. 9.10. Индикатор влажности

При хранении и транспортировании осушительные устройства и другие сосуды с подготовленным для использования силикагелем и хлористым кальцием следует герметически закрывать. Для восстановления осушающей способности силикагеля рекомендуется применять регенерационную установку.

Степень осушки воздуха перед нагнетанием в кабель проверяется при помощи индикатора влажности, постоянно включённого в схему осушительной установки. Индикатор (рис. 9.10) — это стеклянная трубка, наполненная силикагелем, обработанным хлористым кобальтом. Влажность воздуха, подаваемого в кабель, определяется по окраске хлористого кобальта, для чего индикатор достаточно на 3—5 мин. включить в воздушную систему. Изменения окраски

Таблица 9.7

ОКРАСКА ИНДИКАТОРА  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЛАЖНОСТИ  
ВОЗДУХА

Относительная влажность, %	Цвет индикатора
0÷8	Ярко-голубой
20	Серый
40	Бежевый
60	Светло-жёлтый

индикатора в зависимости от влажности воздуха приведены в табл. 9.7. Индикаторы снабжаются соответствующими таблицами, выполненными в красках.

Восстановление первоначальной окраски индикатора достигается включением его в струю сухого воздуха на 5—10 мин. при нормальной температуре.

Контрольные щитки, устанавливаемые в каждом НУП и ОУП, контролируют



величину давления воздуха в кабеле во время постановки и содержания кабеля под давлением в процессе эксплуатации при системе периодического наполнения.

Щиток (рис. 9.11) состоит из двух отдельных секций, укрепленных на общем основании 1, в каждой секции имеется тройник 2,

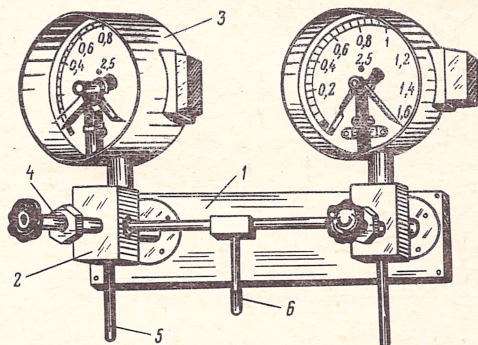


Рис. 9.11. Контрольный щиток с манометрами и кранами

манометр 3 и запорный кран 4. Для подключения кабеля к щитку служит воздуховодная металлическая трубка, один конец которой припаивается к патрубку 5, а другой впаивается в палец распределительной перчатки или в патрубок с линейной стороны газонепроницаемой муфты. Воздух в кабель подаётся через штуцер 6 при открытых запорных кранах. В щитках установлены электроконтактные манометры типа ЭКМ-1. Один щиток предназначен для двух кабелей. При двухкабельной системе в каждом УП устанавливаются два щитка — один для кабелей А и А<sub>1</sub>, а другой — для кабелей Б и Б<sub>1</sub>. В контрольно-осушительных устройствах типов КОУ-1 (для однокабельной системы) и КОУ-2 (для двухкабельной системы) щиток конструктивно объединён с осушителем и индикатором влажности.

В системах с непрерывным пополнением на всех станциях (УП) устанавливаются автоматические контрольно-осушительные установки типа АКОУ. Установка состоит из двух основных узлов:

1) контрольно-распределительного осушительного устройства (КРОУ), поддерживающего постоянное давление в кабеле и контролирующего величину давления газа, подаваемого в кабель;

2) автоматического дозирующего устройства (АДУ) для определения участка повреждения кабеля.

Блок-схема АКОУ представлена на рис. 9.12. Воздух из баллона 1 (компрессорной установки) под давлением до 150 ат через обратный клапан 2 и осушительную камеру с силикагелем 4 поступает в редуктор 5. В первой (I) ступени этого редуктора давление снижается до 3—3,5 ат, а во второй (II) — до 1,2 ат. При допустимой в условиях эксплуатации утечке воздуха из четырёх подключённых к АКОУ кабелей до двух литров в час воздух проходит через калиброванное отверстие (шунт) 6 во второй двухступенчатый ре-



дуктор 9, снижающий давление до  $0,5 \div 0,7 \pm 0,01$  ат, и из него в распределительное устройство с четырьмя воздуховыводами 10 и выпускным краном 12. Манометр высокого давления контролирует давление в баллоне, манометр 8 — давление в АДУ, манометр 11 — давление газа, подаваемого в кабель.

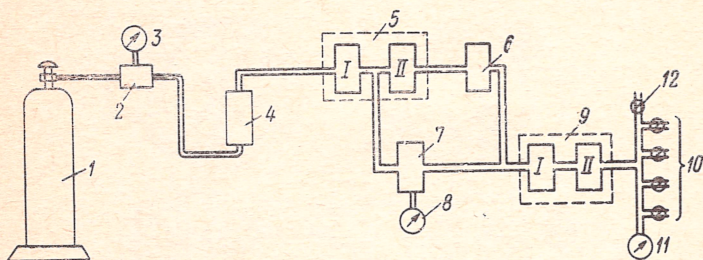


Рис. 9.12. Принципиальная схема оборудования для содержания кабеля под давлением в системе непрерывного наполнения

Если в результате нарушения герметичности кабеля утечка воздуха в системе превысит 2 л·ч, пропускная способность шунта 6 оказывается недостаточной и срабатывает АДУ 7, включённое после ступени I редуктора 5. Одновременно шунт перекрывается, и подача воздуха в кабель происходит через дозирующее устройство.

Камера АДУ наполняется воздухом до давления 2,5 ат, после чего впускной клапан закрывается и открывается выпускной клапан, через который воздух попадает в редуктор 9 и в кабель. При уменьшении давления воздуха в камере АДУ до 1 ат перекрывается выходной клапан и вновь открывается входной клапан. Камера АДУ наполняется новой порцией воздуха до давления 2,5 ат, и процесс повторяется всё время, пока имеет место аварийная утечка газа из кабеля. Каждое срабатывание дозирующего устройства фиксируется механическим счётчиком и сопровождается замыканием контакта, через который передаётся сигнал по системе телемеханики с НУП на ОУП. Срабатывание двух АДУ, расположенных по концам участка, позволяет судить о нарушении герметичности последнего, а по количеству доз воздуха, отсчитанным счётчиками АДУ, можно с погрешностью  $\pm 1$  км установить место утечки воздуха.

В качестве стационарных компрессорных установок для содержания кабеля под постоянным газовым давлением применяются компрессоры типа 0-22 и 0-16, КЗМО и др., состоящие из компрессора с масловодоотделителем и электродвигателями трёхфазного тока, и баллона для сжатого воздуха (ресивера).

При монтажных, аварийно-восстановительных и испытательных работах применяют полевые нагнетательно-осушительные установки, состоящие из:

- двигателя внутреннего сгорания (например, велосипедного),
- компрессора (например, мембранного типа),
- осушительной камеры с силикагелем и индикатором влажности,
- манометра для контроля давления.



Все эти узлы крепятся на лёгкой раме из труб. Технические характеристики компрессоров приведены в табл. 9.8.

Таблица 9.8

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПРЕССОРОВ,  
ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПОДАЧИ ГАЗА В КАБЕЛЬ  
ПРИ ИСПЫТАНИИ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СВИНЦОВЫХ ОБОЛОЧЕК

Марка нагнетательной Установки	Рабочее давление ат	Производительность, м <sup>3</sup> /мин	Двигатель	Мощность двигателя, кВт	Тип	Рекомендуемая область применения
КЗМО	2	0,022	Электро-двигатель	0,25	Переносный	Для нагнетания воздуха в кабели (при наличии дополнительных осушительных камер)
0-16	4	0,5	»	2,8	Передвижной	
0-22	4	0,25	»	1,7	»	
С-511	3	0,04	»	0,15	»	
УК	3	0,026	»	0,15	»	
ПНОУ	2,5	0,026	Двигатель внутреннего сгорания	1,0 л.с.	Переносный	Для нагнетания воздуха в короткие длины кабеля в полевых условиях
8ГЗ3	230—350	1,5	»	60 л.с.	На автомашине ЗИЛ-157	Для наполнения баллонов высокого давления (150 ат)

Баллон представляет собой цилиндрический сосуд с горловиной в верхней части. На горловине баллонов большой ёмкости (свыше 12,5 л) укреплено штампованное или литое кольцо с резьбой, на которое навёрнут предохранительный колпак. На нижней части баллона для хранения его в вертикальном положении и для удобства кантовки насажен квадратный башмак.

Для накачки кабеля наиболее целесообразно использовать баллоны типа А ёмкостью 30—40 л, позволяющие содержать газ под давлением в 150 ат.

При применении баллонов большой ёмкости и высокого давления затраты на транспортировку минимальны, кроме того, можно при помощи одного баллона накачать до 0,05 ат коаксиальный кабель длиной 25—30 км и симметричный кабель 4×4×1,2 длиной 70 км, а 7×4×1,2 длиной 50 км.

Конструктивные характеристики баллонов приведены в табл. 9.9. Номинальное давление в заряженном баллоне типа А при температуре +20°С равно 150 ат. При изменении температуры окружающего воздуха давление в баллоне меняется. Изменение давле-



ния в заряженном баллоне в зависимости от температуры приведено в табл. 9.10.

Вентили — это запорные приспособления, препятствующие выходу газа из баллона во время его хранения и транспортировки. При наполнении баллона и отборе газа вентиль обеспечивает герметичное соединение баллона с редукторами.

Таблица 9.9

## ДЛИНА КОРПУСА И ВЕС БАЛЛОНА

Емкость баллона <i>л</i>	Длина корпуса <i>мм</i>	Вес баллона <i>кг</i>
30	1080	54
33	1173	58
36	1236	62
40	1390	67

Обычно баллоны снабжаются сальниковыми вентилями, однако они не обеспечивают достаточную герметичность. При использовании баллонов со сжатым газом для накачки кабелей следует применять мембранные вентили. Газ из баллона подается через редуктор, который снижает давление до величины, безопасной для кабельной оболочки.

Для наполнения кабеля газом может быть использован редуктор типа РК-53Б, снабженный двумя манометрами: высокого давления на 250 ат и низкого давления до 2,5 ат.

Таблица 9.10

## ДАВЛЕНИЕ В БАЛЛОНЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

Температура окружающего воздуха, °С	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40	+50
Давление в баллоне, ат	125	130	135	140	145	150	155	160	165

Для определения мест негерметичности оболочки кабеля при помощи фреона используются переносные галоидные теческатели типа ГТИ-3 и БГТИ-5, которые состоят из выносного щупа и измерительного блока. В основу действия теческателя положено явление резкого возрастания эмиссии ионов с нагретой поверхности платины в галоидной среде. Вентилятор непрерывно протягивает воздух через междуэлектродное пространство щупа, а измерительный блок регистрирует изменение ионного тока при попадании галоидов в междуэлектродное пространство.

Питание прибора ГТИ-3 осуществляется от источника переменного тока напряжением 220 в, потребляемая мощность — 250 ватт. В качестве такого источника в полевых условиях применяется переносная электростанция типа АБ-1-0/230.

Питание прибора БГТИ-5 осуществляется от батарей из восьми аккумуляторов типа СЦ-25 с общим напряжением 12 в, потребляемая мощность — 25 ватт. Аккумуляторы обеспечивают непрерывную 10-часовую работу. Для заряда аккумуляторной батареи от сети переменного тока напряжением 127/220 в к прибору прилагается специальное зарядное устройство.



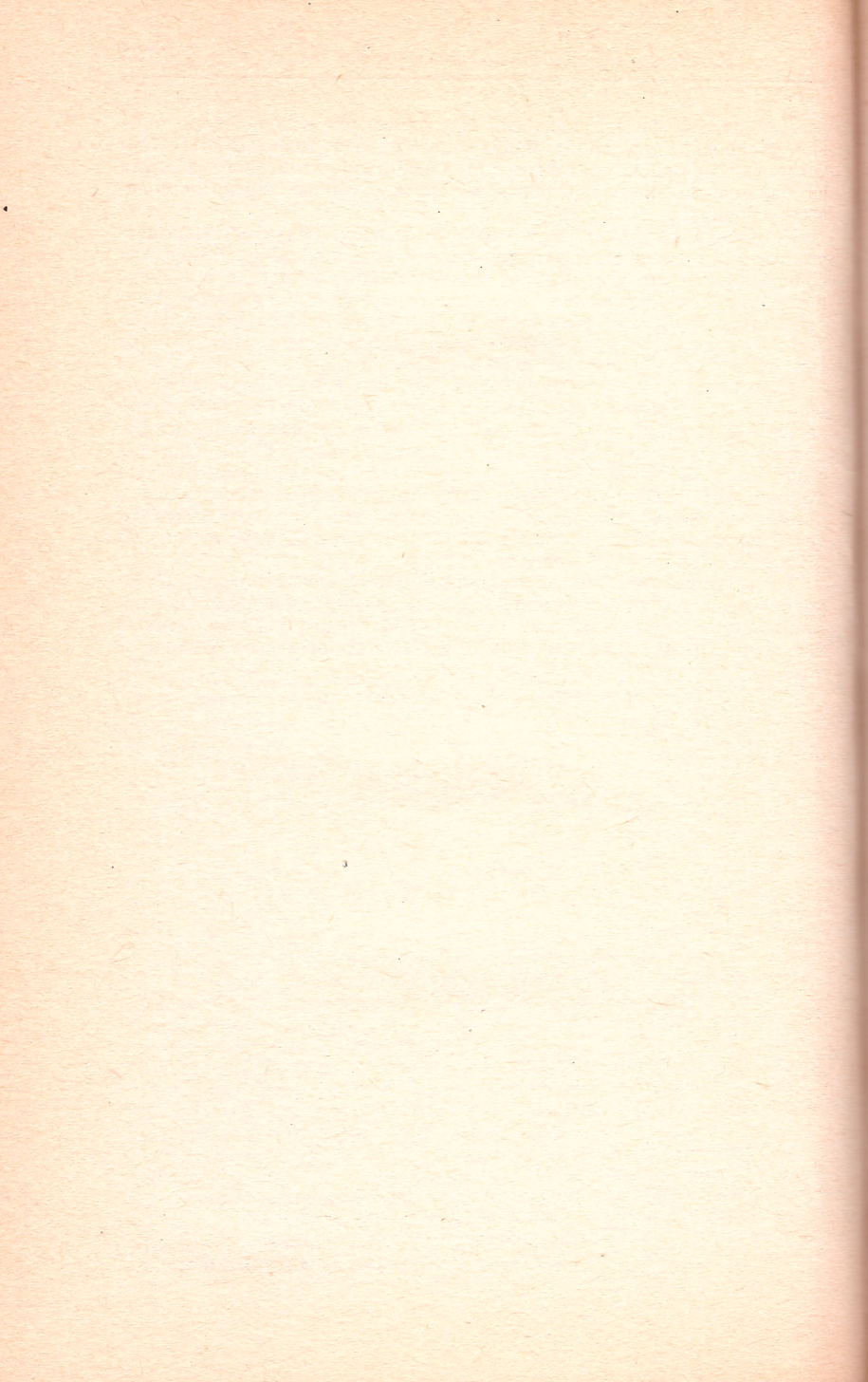
Для подачи фреона в кабель под давлением используется полевая установка для ввода индикаторного газа типа ПУВИГ. Эта установка применяется также для нагнетания осушенного воздуха из баллона высокого давления в короткие длины кабеля в полевых условиях.

Установка содержит осушительную камеру, редуктор, манометры высокого и низкого давлений, индикатор влажности, штуцер для присоединения шланга, предназначенного для ввода газа в кабель, и тройник для подключения баллонов с фреоном и воздухом. Конструктивно установка выполнена в виде ящика с откидными крышками. К установке прилагаются баллоны для фреона или воздуха ёмкостью 5 л на давление до 150 ат.

Для переливания жидких газов (фреон или углекислота) из больших транспортных баллонов в малолитражные баллоны и для зарядки последних воздухом под давлением до 150 ат применяют полевую зарядную углекислотную станцию типа ПЗУС. Она состоит из собственно станции, весов и стойки для баллонов. На станции установлен компрессор высокого давления, приводимый в движение электродвигателем. Питание станции осуществляется от трёхфазной сети переменного тока напряжением 220/380 в, потребляемая мощность — 2,8 квт.

Весы служат для контроля заряжаемых баллонов по весу. Стойка обеспечивает удобство работы с баллонами. Производительность станции при зарядке жидким газом — 10 пятилитровых баллонов в час, при зарядке сжатым воздухом — 3 пятилитровых баллона в час.



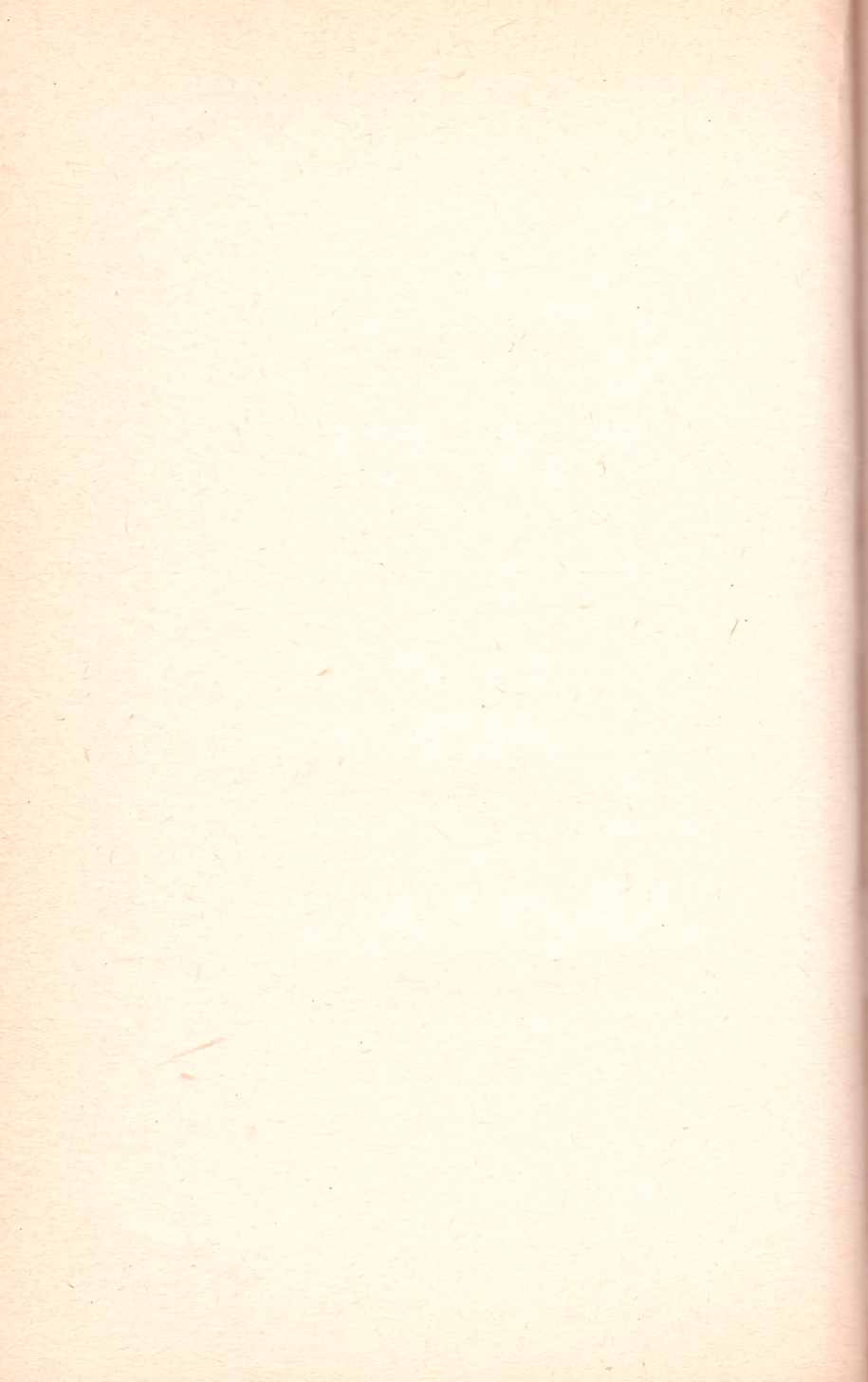




ЧАСТЬ III

ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ СВЯЗИ





## ПАРАМЕТРЫ ЦЕПЕЙ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

### 10.1. ПЕРВИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЦЕПЕЙ

Электрические свойства воздушных линий связи характеризуются первичными и вторичными параметрами. К первичным параметрам относятся: активное сопротивление  $R$  и индуктивность  $L$ , ёмкость  $C$  и проводимость изоляции цепи  $G$ .

Активное сопротивление постоянному току двухпроводных цепей длиной 1 км равно

$$R_0 = \rho \frac{2550}{d^2}, \quad \frac{\text{ом}}{\text{км}}, \quad (10.1)$$

где  $\rho$  — удельное сопротивление металла в  $\text{ом}\cdot\text{мм}^2/\text{м}$  при  $t=20^\circ\text{C}$  (для меди  $\rho=0,01785$ , для обыкновенной стали  $\rho=0,139$ , для медистой стали  $\rho=0,146$ , для алюминия  $\rho=0,03$ ).

Сопротивление при температуре, отличной от температуры  $+20^\circ\text{C}$ , определяется по формуле

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha_\alpha (t - 20)], \quad \frac{\text{ом}}{\text{км}}, \quad (10.2)$$

где  $\alpha_\alpha$  — температурный коэффициент (для меди — 0,0039, для стали — 0,0046, для биметалла — 0,0041 и для алюминия — 0,0037).

В табл. 10.1 приведены величины сопротивления проводов цепей постоянному току. Активное сопротивление двухпроводных цепей переменному току определяется по формуле

$$R_\sim = R_t [1 + F(x)], \quad \frac{\text{ом}}{\text{км}}. \quad (10.3)$$

Зависимость  $F(x)$  приведена в табл. 2.11. Величина  $x$  определяется из выражения

$$x = 7,09 \sqrt{\frac{\mu f}{R_t 10^4}}, \quad (10.4)$$

где  $\mu$  — магнитная проницаемость (для меди и алюминия  $\mu=1$ , а для стали  $\mu=130$ ).

В зависимости от метеорологических условий сопротивление цепи переменному току рассчитывается при температурах:  $+20^\circ\text{C}$  — сухо и сыро;  $-20^\circ\text{C}$  — сухо;  $2^\circ\text{C}$  — гололёд;  $-10^\circ\text{C}$  — изморозь.



Таблица 10.1

НАИБОЛЬШЕЕ ДОПУСКАЕМОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ  
1 км ПРОВОДА ПОСТОЯННОМУ ТОКУ ПРИ  $t = +20^{\circ} \text{C}$

Материал провода	Диаметр провода мм	$R_t$ ом	Материал провода	Диаметр провода мм	$R_t$ ом	
	Сечение провода мм <sup>2</sup>			Сечение провода мм <sup>2</sup>		
Медь (ГОСТ 6011—51)	4,0/12,56	1,49	Сталь медистая (ГОСТ 1668—46)	6,0/28,26	5,16	
	3,0/7,08	2,52		5,0/19,60	7,43	
Биметалл (сталь — медь) марки БСМ-1 (ГОСТ 3822—61)	6,0/28,26	2,0		4,0/12,56	11,61	
	4,0/12,56	4,0		3,0/7,08	20,65	
	3,0/7,08	7,1		2,5/4,91	29,74	
	2,5/4,91	10,4		2,0/3,14	46,47	
	2,0/3,14	14,4		1,5/1,76	82,63	
	1,6/2,01	26,0		Сталь обыкновенная	6,0/28,26	4,88
1,2/1,13	47,3	5,0/19,60			7,03	
Биметалл (сталь — медь) марки БСМ-2 (ГОСТ 3822—61)	4,0/12,56	5,0			4,0/12,56	10,98
	3,0/7,08	9,0			3,0/7,08	19,52
	2,5/4,91	13,0			2,5/4,91	28,11
	2,0/3,14	20,0	2,0/3,14		43,92	
	1,6/2,01	32,0	1,5/1,76	78,10		
	1,2/1,13	58,0	Сталеалюминий марок АС (много- проволочный)	5,4/16,0	2,9	
Биметалл (сталеалюминий)	4,8/18,09	4,0		4,4/10,0	3,12	
	3,6/10,17	7,5				
	3,0/7,08	10,4				

Сопротивление неоднородного проводника, состоящего из нескольких различных материалов (сталеалюминиевого или сталеалюминиевого), определяется как параллельное соединение сопротивлений проводников из различных материалов:

$$R_{012} = \frac{R_{01}R_{02}}{R_{01} + R_{02}}, \quad \frac{\text{ом}}{\text{км}}. \quad (10.5)$$

Активное сопротивление биметаллического провода при любых частотах определяются по формуле

$$R'_0 = R'_0 q^2 \kappa', \quad \frac{\text{ом}}{\text{км}}, \quad (10.6)$$

где  $R'_0$  — сопротивление постоянному току сплошного медного или алюминиевого провода диаметром, равным диаметру биметаллического провода, ом/км;  $q = \frac{d_2}{d}$ ;  $d_2$  — внешний диаметр биметалли-



Таблица 10.2

ЗНАЧЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ  $\kappa'$  И  $\kappa''$  БИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ПРОВОДА А

Значение $\nu$	Значение $\kappa'$ и $\kappa''$ при различных $q$													
	1,05		1,08		1,10		1,20		1,25		1,30		1,80	
	$\kappa'$	$\kappa''$	$\kappa'$	$\kappa''$	$\kappa'$	$\kappa''$	$\kappa'$	$\kappa''$	$\kappa'$	$\kappa''$	$\kappa'$	$\kappa''$	$\kappa'$	$\kappa''$
0,0	4,36	66,92	3,41	52,6	2,97	45,95	1,76	27,77	1,45	23,21	1,22	19,64	0,42	7,5
0,5	4,77	32,98	3,74	19,91	3,07	13,25	1,84	4,87	1,48	2,45	1,24	1,32	0,46	0,92
1,0	6,89	13,75	4,44	6,29	3,68	4,34	2,05	1,41	1,59	0,84	1,25	0,54	0,48	0,83
1,5	7,26	5,39	4,81	2,36	3,85	1,55	2,18	0,59	1,65	0,52	1,31	0,47	0,51	0,76
2,0	7,76	2,73	5,02	1,21	3,93	0,77	2,20	0,39	1,70	0,39	1,37	0,39	0,54	0,54
2,5	8,10	1,58	5,14	0,72	3,98	0,46	2,22	0,29	1,72	0,34	1,43	0,36	0,60	0,51
3,0	8,33	1,03	5,41	0,52	4,01	0,33	2,23	0,27	1,73	0,30	1,49	0,35	0,67	0,48
3,5	8,51	0,71	5,46	0,37	4,04	0,25	2,26	0,26	1,74	0,29	1,51	0,32	0,76	0,43
4,0	8,72	0,53	5,49	0,28	4,14	0,21	2,32	0,25	1,75	0,29	1,56	0,32	0,86	0,39
4,5	8,75	0,41	5,52	0,22	4,22	0,19	2,38	0,24	1,78	0,28	1,58	0,31	0,94	0,35
5,0	8,83	0,33	5,54	0,19	4,27	0,17	2,42	0,24	1,84	0,28	1,62	0,29	1,05	0,31
6,0	8,96	0,23	5,62	0,15	4,38	0,15	2,50	0,23	1,96	0,27	1,75	0,29	1,25	0,26
7,0	9,06	0,17	5,95	0,13	4,51	0,13	2,57	0,23	2,14	0,26	1,96	0,28	1,45	0,22
8,0	9,12	0,14	5,99	0,12	4,55	0,12	2,68	0,22	2,34	0,25	2,20	0,27	1,64	0,22
9,0	9,18	0,12	6,04	0,11	4,80	0,12	2,77	0,22	2,57	0,23	2,45	0,24	1,83	0,17
10,0	9,22	0,10	6,20	0,097	5,02	0,12	2,97	0,20	2,82	0,21	2,74	0,22	2,01	0,15
12,0	9,30	0,008	6,44	0,096	5,28	0,12	3,71	0,16	3,37	0,18	3,33	0,18	2,40	0,13
14,0	9,38	0,071	6,65	0,093	5,45	0,11	4,32	0,15	3,94	0,15	3,86	0,15	2,78	0,11
16,0	9,60	0,064	6,83	0,090	5,55	0,11	4,90	0,14	4,53	0,14	4,38	0,13	3,17	0,097
18,0	9,93	0,063	7,07	0,089	5,82	0,11	5,48	0,12	5,13	0,12	4,91	0,12	3,56	0,086
20,0	10,14	0,061	7,38	0,085	6,60	0,11	5,12	0,11	—	—	5,47	0,11	3,96	0,078
22,0	10,27	0,060	7,41	0,081	7,30	0,11	6,70	0,11	—	—	6,02	0,098	4,35	0,070
24,0	10,44	0,060	8,05	0,080	7,96	0,10	7,31	0,095	—	—	6,56	0,093	4,75	0,065
26,0	10,56	0,059	8,45	0,079	8,35	0,095	7,91	0,088	—	—	7,10	0,084	5,13	0,061
28,0	10,62	0,058	9,17	0,077	9,02	0,090	8,48	0,082	—	—	7,63	0,079	5,51	0,056
30,0	10,80	0,057	9,82	0,074	9,61	0,083	9,06	0,077	—	—	8,15	0,073	5,88	0,053



ческого провода, мм;  $d_1$  — диаметр стального сердечника, мм;  $\kappa'$  — коэффициент, учитывающий поверхностный эффект, зависящий от  $q$  и вспомогательной величины  $y$ , определяется по табл. 10.2;

$$y = 2,124 \frac{d_1}{2} \sqrt{\frac{f}{10^4}}, \quad (10.7)$$

где  $f$  — частота тока, гц.

При расчёте сталеалюминиевого провода вместо коэффициента 2,124 следует подставлять в формулу значение 1,672.

Индуктивность двухпроводной цепи равна

$$L = \left[ 4 \ln \frac{a}{r} + \mu Q(x) \right] 10^{-4}, \quad \frac{\text{гн}}{\text{км}}, \quad (10.8)$$

где  $a$  — расстояние между проводами цепи, см;  $r$  — радиус провода, см;  $Q(x)$  — коэффициент, определяемый по табл. 2.11.

Индуктивность биметаллических проводов равна

$$L = \left[ 4 \ln \frac{a}{r} + \kappa'' \right] 10^{-4}, \quad \frac{\text{гн}}{\text{км}}, \quad (10.9)$$

где  $a$  — расстояние между проводами, см;  $r$  — радиус биметаллического провода, см;  $\kappa''$  — коэффициент, учитывающий влияние поверхностного эффекта, определяется из табл. 10.2 в зависимости от величин  $q$  и  $y$ .

Индуктивность различных цепей не зависит от наличия на проводах изморози и гололёда.

Ёмкость двухпроводной цепи

$$C = \frac{1,05}{36 \ln \frac{a}{r}} 10^{-6}, \quad \frac{\text{сим}}{\text{км}}. \quad (10.10)$$

Проводимость изоляции цепей воздушных линий зависит от частоты тока, от погоды и состояния изоляторов на линии и определяется по формуле

$$G = G_0 + n f, \quad \frac{\text{сим}}{\text{км}}, \quad (10.11)$$

где  $G_0$  — проводимость изоляции при постоянном токе;  $n$  — коэффициент, учитывающий потери в диэлектрике при переменном токе;  $f$  — частота тока, гц.

При сухой погоде принимают  $G_0 = 0,01 \cdot 10^{-6}$  сим/км и  $n = 0,05$ , а для сырой погоды летом берут  $G_0 = 0,5 \cdot 10^{-6}$  сим/км и  $n = 0,25$ .

## 10.2. ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЦЕПЕЙ

Ко вторичным параметрам воздушных линий связи относятся волновое сопротивление  $Z_B$  и коэффициент распространения волны  $\gamma = \alpha + i\beta$ , где  $\alpha$  — коэффициент затухания, а  $\beta$  — коэффициент фазы.

Волновое сопротивление для всех передаваемых частот определяется по формуле

$$Z_B = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}}, \text{ ом.} \quad (10.12)$$

Для цепей из цветного металла при частотах выше 10 кГц волновое сопротивление равно

$$Z_B = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (10.13)$$

Коэффициент распространения волны для всех передаваемых частот определяется по формуле

$$\gamma = \alpha + i\beta = \sqrt{(R + i\omega L)(G + i\omega C)}, \quad (10.14)$$

где  $\alpha$  — коэффициент затухания, *неп/км*,  $\beta$  — коэффициент сдвига фазы, *рад/км*.

Коэффициент затухания цепи при гололёдообразованиях определяется по приближённой формуле

$$\alpha_T = \alpha + \Delta\alpha_T, \frac{\text{неп}}{\text{км}}, \quad (10.15)$$

где  $\alpha$  — коэффициент затухания цепи при отсутствии гололёда, *неп/км*;  $\Delta\alpha_T$  — приращение коэффициента затухания цепи, вызванное потерями электромагнитной энергии при гололёде, *неп/км*.

Величина  $\Delta\alpha_T$  определяется по приближённой формуле

$$\Delta\alpha_T = \frac{1}{2} \beta \frac{\varepsilon''}{(\varepsilon')^2 + (\varepsilon'')^2} \frac{\ln \frac{r_T}{r}}{\ln \frac{a}{r}}, \quad (10.16)$$

где  $\beta$  — коэффициент фазы при отсутствии гололёда;  $\frac{\varepsilon''}{(\varepsilon')^2 + (\varepsilon'')^2}$  — коэффициент диэлектрической проницаемости льда (табл. 10.3);  $r_T$  — эквивалентный радиус гололёдообразования, *см*;  $r$  — радиус проводов, *см*;  $a$  — расстояние между проводами цепи, *см*.

Коэффициент фазы и волновое сопротивление цепи при гололёдообразованиях можно определить по приближённым формулам:



$$\beta_{\Gamma} = \beta \left[ 1 + \frac{1}{2} \frac{\ln \frac{r_{\Gamma}}{r}}{\ln \frac{a}{r}} \right], \quad (10.17)$$

$$Z_{\Gamma} = Z_{\text{В}} \left[ 1 - \frac{1}{2} \frac{\ln \frac{r_{\Gamma}}{r}}{\ln \frac{a}{r}} \right]. \quad (10.18)$$

Таблица 10.3

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА  $\frac{\epsilon''}{(\epsilon')^2 + (\epsilon'')^2}$

$f$ , кгц	$\frac{\epsilon''}{(\epsilon')^2 + (\epsilon'')^2}$	$f$ , кгц	$\frac{\epsilon''}{(\epsilon')^2 + (\epsilon'')^2}$
0,2	$0,52 \cdot 10^{-3}$	35	0,084
0,3	$0,77 \cdot 10^{-3}$	40	0,096
0,5	$1,30 \cdot 10^{-3}$	45	0,108
0,8	$2,10 \cdot 10^{-3}$	50	0,117
1,2	$3,00 \cdot 10^{-3}$	60	0,137
2,0	$5,10 \cdot 10^{-3}$	70	0,154
3,0	$7,60 \cdot 10^{-3}$	80	0,168
5,0	$13 \cdot 10^{-3}$	90	0,180
7,0	$18 \cdot 10^{-3}$	100	0,190
10,0	$25 \cdot 10^{-3}$	110	0,199
15	0,038	120	0,205
20	0,050	130	0,211
25	0,062	140	0,216
30	0,073	150	0,218

Эквивалентный радиус гололёдообразования определяется по весу отложения льда или изморози  $P_{\Gamma}$ , т. е. весу воды в граммах с 1 пог. м провода,

$$r_{\Gamma} = \sqrt{\frac{P_{\Gamma}}{314 \cdot 0,9} + r^2}, \text{ см.} \quad (10.19)$$

Величины толщины слоя гололёдообразования в зависимости от веса воды с 1 пог. м провода приведены в табл. 10.4. В табл. 10.5—10.30 приведены вторичные параметры для стальных цепей и цепей из цветного металла.

Таблица 10.4

ТОЛЩИНА СЛОЯ ГОЛОЛЕДООБРАЗОВАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ ВЕСА ВОДЫ С 1 пог. м. ПРОВОДА

Гололёдообразование	Гололёд					Изморозь			
Вес воды $P_{Г}$ с 1 пог. м провода, г	50	100	300	500	1300	50	150	500	800
Толщина слоя гололёдообразования, мм	3	5	8	12	20	5	10	20	25

Таблица 10.5

ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МЕДНЫХ ЦЕПЕЙ

$d = 4$  мм,  $a = 20$  см

$f$ кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фазы $\beta$ мрад/км	Волновое сопротивление $Z_{В} e^{-i\varphi z}$ (лето — сыро, сухо, зима — сухо)		
	сухо $+20^{\circ}$ С	сыро $+20^{\circ}$ С	сухо $-20^{\circ}$ С	средней толщине слоя, мм				изморозь 25	$ Z_{В} $	$-\varphi z$
				гололёда						
				5	10					
0,2	2,3	2,5	2,0	2,2	2,2	2,2	5	686	22°41'	
0,8	2,6	2,8	2,2	2,4	2,4	2,4	18	563	7°35'	
3	3,0	3,3	2,6	2,9	2,9	2,9	66	552	2°14'	
5	3,5	3,9	3,1	3,4	3,6	3,6	110	550	1°31'	
10	4,7	5,4	4,2	5,2	5,6	5,7	221	550	0°58'	
15	5,7	6,6	5,1	7,1	7,9	8,3	330	548	0°47'	
20	6,4	7,7	5,9	8,7	10,6	11,4	441	547	0°36'	
30	7,8	9,6	7,2	14,1	16,4	18,8	661	544	0°27'	
40	9,0	11,3	8,3	20,1	25,7	28,4	881	543	0°23'	
50	9,9	12,8	9,2	27,0	34,8	39,5	1100	543	—	
60	11,0	14,4	10,0	34,9	45,6	52,6	1321	543	—	
80	12,7	17,3	11,7	49,6	69,4	80,9	1760	543	—	
100	14,3	20,0	13,1	66,1	94,4	111,2	2200	543	—	
120	15,8	22,5	14,4	82,7	119,8	140,7	2635	542	—	



Продолжение

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фазы $\beta$ град/км	Волновое сопротивление $Z_B e^{-i\varphi_z}$ (лето — сыро, сухо, зима — сухо)	
	сухо +20° С	сыро +20° С	сухо -20° С	средней толщине слоя, мм					
				гололёда		измо- рози 25			
				5	10				
150	17,9	26,2	16,2	106,5	156,2	183,8	3290	542	—
200	20,7	31,6	19,2	139,8	163,5	227,7	4300	541	—
250	23,6	37,0	21,8	157,5	206,5	271,2	5370	540	—
300	26,5	42,7	24,2	169,6	232,3	305,1	6460	540	—

Примечание. В табл. 10.5—10.30  $d$  — диаметр проводов,  $a$  — расстоя-  
ние между проводами.

Таблица 10.6

## ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МЕДНЫХ ЦЕПЕЙ

 $d = 4$  мм,  $a = 30$  см

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фазы $\beta$ град/км	Волновое сопротивление $Z_B e^{-i\varphi_z}$ (лето — сыро, сухо, зима — сухо)	
	сухо +20° С	сыро +20° С	сухо -20° С	средней толщине слоя, мм					
				гололёда		измо- рози 25			
				5	10				
0,8	2,4	2,6	2,0	2,2	2,2	2,2	17	609	6°40'
3	2,8	3,1	2,4	2,6	2,6	2,6	56	597	2°01'
5	3,2	3,6	2,8	3,1	3,3	3,4	110	596	—
10	4,4	5,1	3,9	4,8	5,1	5,3	221	594	—
15	5,3	6,3	4,7	6,6	7,2	7,7	330	594	—
20	6,0	7,3	5,4	8,6	10,1	10,4	441	593	—
30	7,3	9,2	6,6	13,4	16,0	17,3	661	592	—
40	8,4	10,9	7,6	19,3	24,0	26,2	881	592	—
50	9,3	12,5	8,6	26,0	32,0	36,5	1080	591	—
60	10,3	14,0	9,4	32,0	42,4	48,5	1321	590	—
80	12,7	16,8	10,9	40,2	63,5	74,5	1760	589	—
100	13,4	19,4	12,2	64,6	87,0	102,3	2210	589	—
120	14,8	22,0	13,5	80,6	110,6	127,5	2590	588	—
150	16,7	25,8	15,3	104,4	143,7	169,1	3240	587	—
200	19,5	31,3	18,2	124,5	153,6	179,4	4300	587	—
250	22,3	37,1	20,5	142,3	185,5	206,2	5370	586	—
300	25,0	42,7	22,9	160,2	212,2	233,2	6460	586	—

ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МЕДНЫХ ЦЕПЕЙ

Таблица 10.7

$d = 4 \text{ мм}, a = 60 \text{ см}$

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фазы $\beta$ , град/км	Волновое сопротивление $Z_B e^{-l\varphi_Z}$ (лето — сыро, сухо, зима — сухо)	
	сухо +20° С	сыро +20° С	сухо -20° С	средней толщине слоя, мм					
				гололёда		изморози 25			
				5	10				
0,2	1,9	2,1	1,6	1,8	1,8	1,8	5	800	19°34'
0,8	2,2	2,3	1,8	2,0	2,0	2,0	17	690	6°01'
3	2,4	2,8	2,1	2,3	2,3	2,4	66	679	1°37'
5	2,8	3,3	2,5	2,8	2,9	3,0	110	677	—
10	3,9	4,7	3,5	4,3	4,5	4,7	221	674	—
15	4,7	5,9	4,2	5,8	6,4	6,8	330	673	—
20	5,3	6,8	6,8	7,6	8,6	9,3	441	672	—
30	6,5	8,7	6,0	11,5	13,8	13,4	661	670	—
40	7,5	10,4	6,9	16,0	20,5	23,2	881	669	—
50	8,4	11,9	7,8	22,1	28,3	32,2	1080	668	—
60	9,3	13,5	8,6	28,6	37,1	42,8	1321	668	—
80	10,8	16,3	10,0	55,0	56,1	65,8	1760	667	—
100	12,1	19,0	11,1	66,5	77,0	90,3	2210	667	—
120	13,5	21,7	12,4	83,7	97,3	114,1	2590	667	—
150	15,4	25,6	14,0	108,6	126,5	149,2	3240	667	—
200	17,9	31,4	16,6	—	—	—	4300	667	—
250	20,5	37,3	19,1	—	—	—	5370	667	—
300	23,1	43,2	21,3	—	—	—	6460	667	—

Таблица 10.8

ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (СТАЛЕМЕДНЫХ)

ЦЕПЕЙ МАРКИ БСМ-1

$d = 4 \text{ мм}; a = 20 \text{ см}$

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фазы $\beta$ , град/км	Волновое сопротивление $Z_B e^{-l\varphi_Z}$ (лето — сыро, сухо, зима — сухо)	
	сухо +20° С	сыро +20° С	сухо -20° С	средней толщине слоя, мм					
				гололёда		изморози 25			
				5	10				
0,2	4,9	5,1	4,4	4,7	4,7	4,7	7	1038	34°
0,8	7,3	7,4	6,3	6,8	6,8	6,8	19	640	20°
3	8,5	8,8	7,2	7,8	7,9	7,9	65	554	10°



Продолжение

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фазы $\beta$ , мрад/км	Волновое сопротивление $Z_B e^{-l\varphi_z}$ (лето — сыро, сухо, зима — сухо)	
	средней толщине слоя мм								
	сухо + 20° С	сыро + 20° С	сухо — 20° С	гололёда		изморози 25		Z <sub>B</sub>  , ом	— $\varphi_z$
				5	10				
5	8,8	9,1	7,4	8,2	8,3	8,3	109	546	4°
10	9,0	9,4	7,6	8,9	9,4	9,5	216	543	2°
15	9,2	10,3	7,7	9,9	11,0	11,3	324	543	1°
20	9,5	10,7	8,0	11,4	13,2	13,8	432	543	1°
30	10,4	12,1	8,7	15,4	19,4	20,6	647	543	1°
40	11,3	13,5	9,5	20,7	27,6	29,7	863	543	—
50	12,2	15,0	10,3	26,8	37,3	40,5	1079	543	—
60	13,1	16,4	11,1	34,0	48,7	53,1	1295	543	—
80	14,8	19,2	12,7	49,6	73,6	82,0	1725	542	—
100	16,6	22,1	14,2	66,1	100,0	110,4	2156	542	—
120	18,4	25,0	15,6	82,7	126,6	139,8	2586	542	—
150	21,0	29,1	17,6	106,5	164,7	182,5	3230	542	—

Таблица 10.9

## ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (СТАЛЕМЕДНЫХ)

ЦЕПЕЙ МАРКИ ВСМ-1

d = 4 мм; a = 30 см

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фазы $\beta$ , мрад/км	Волновое сопротивление $Z_B e^{-l\varphi_z}$ (лето — сыро, сухо, зима — сухо)	
	средней толщине слоя мм								
	сухо + 20° С	сыро + 20° С	сухо — 20° С	гололёда		изморози 25		Z <sub>B</sub>  , ом	— $\varphi_z$
				5	12				
0,2	4,6	4,9	4,1	4,4	4,4	4,4	6	1087	32°
0,8	6,8	7,0	5,7	6,3	6,3	6,3	19	684	19°
3	7,8	8,2	6,6	7,3	7,3	7,3	66	602	6°
5	8,1	8,5	6,8	7,5	7,6	7,7	109	594	4°
10	8,3	9,0	7,0	8,2	8,6	8,7	216	591	2°
15	8,5	9,6	7,1	9,2	10,1	10,4	324	591	1°
20	8,9	10,2	7,4	10,5	12,2	12,7	432	591	1°
30	9,8	11,6	8,1	14,2	17,8	18,9	647	591	—
40	10,6	13,0	8,9	19,1	25,3	27,3	863	591	—
50	11,3	14,5	9,6	24,9	34,5	37,0	1079	591	—
60	12,3	15,9	10,4	31,5	45,0	49,2	1294	590	—
80	13,9	18,8	11,7	45,8	68,0	74,6	1725	590	—
100	15,6	21,6	13,2	61,2	92,4	102,0	2155	590	—
120	17,1	24,5	14,8	76,4	116,0	129,0	2586	589	—
150	19,6	28,6	16,8	98,2	152,0	168,0	3230	589	—

Таблица 10.10  
 ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (СТАЛЕМЕДНЫХ)  
 ЦЕПЕЙ МАРКИ БСМ-1

$d = 4 \text{ мм}; a = 60 \text{ см}$

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фазы $\beta$ , град/км	Волновое сопротивление $Z_{в} e^{-\beta z}$ (лето — сухо, сыро, зима — сухо)	
	20° С			средней толщине слоя мм					
	+	+	—	гололёда		изморози 25		Z <sub>в</sub>  , ом	— $\varphi_z$
				сухо	сыро				
0,2	4,3	4,3	3,7	4,0	4,0	4,0	6	1167	32°
0,8	6,1	6,1	5,2	5,6	5,6	5,6	17	760	17°
3	6,9	7,3	5,9	6,5	6,5	6,5	65	682	6°
5	7,1	7,6	6,0	6,6	6,8	6,8	108	674	3°
10	7,2	8,2	6,2	7,3	7,6	8,7	216	672	2°
15	7,5	8,7	6,3	8,1	8,9	9,1	324	672	1°
20	7,8	9,3	6,5	9,4	10,8	11,2	431	672	1°
30	8,6	10,7	7,2	12,7	15,9	16,9	647	672	—
40	9,4	12,2	7,9	16,9	22,5	24,2	863	672	—
50	10,1	13,6	8,6	22,0	30,4	33,0	1077	671	—
60	11,0	15,3	9,2	27,9	39,7	43,3	1293	671	—
80	12,6	18,1	10,6	40,8	60,0	66,6	1723	671	—
100	14,0	20,8	12,0	54,2	81,4	89,8	2159	671	—
120	15,6	28,8	13,3	67,5	102,9	113,7	2584	671	—
150	17,6	28,0	15,2	86,9	133,7	148,1	3230	671	—

Таблица 10.11  
 ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (СТАЛЕМЕДНЫХ)  
 ЦЕПЕЙ МАРКИ БСМ-1

$d = 3 \text{ мм}; a = 20 \text{ см}$

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фазы $\beta$ , град/км	Волновое сопротивление $Z_{в} e^{-\beta z}$ (лето — сухо, сыро, зима — сухо)	
	20° С			средней толщине слоя мм					
	+	+	—	гололёда		изморози 25		Z <sub>в</sub>  , ом	— $\varphi_z$
				сухо	сыро				
0,2	6,3	6,6	5,4	6,0	6,0	6,0	9	1454	36°
0,8	11,7	11,9	10,1	10,6	10,6	10,7	23	851	27°
3	15,8	15,9	13,2	14,5	14,5	14,5	68	619	13°
5	16,6	17,0	13,9	15,4	15,5	15,6	111	696	8°
10	17,2	18,0	14,5	16,6	17,0	17,1	217	580	4°
15	17,5	18,6	14,7	17,8	18,8	19,	325	578	3°
20	17,8	19,4	15,1	19,7	21,4	21,9	334	576	2°
30	18,9	20,6	15,8	24,1	27,8	29,0	647	576	2°
40	19,5	21,8	16,3	29,9	36,5	38,5	862	576	1°
50	20,0	22,9	16,8	36,4	46,2	49,4	1077	576	—
60	20,5	23,9	17,1	44,3	58,3	62,5	1292	575	—
80	21,6	26,2	18,0	61,3	84,2	91,1	1722	575	—
100	22,6	28,2	19,0	79,3	112,2	121,9	2154	575	—
120	23,7	30,6	19,9	98,2	140,1	152,7	2584	575	—
150	25,4	34,2	21,4	124,7	180,4	197,0	3228	575	—



Таблица 10.12

ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (СТАЛЕМЕДНЫХ)  
ЦЕПЕЙ МАРКИ БСМ-1  
 $d = 3 \text{ мм}; a = 30 \text{ см}$

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фа- зы $\beta$ , мрад/км	Волновое сопро- тивление $Z_B e^{-1\varphi_Z}$ (лето — сухо, сы- ро, зима — сухо)	
	20° С			средней толщине слоя мм					
	сухо +	сыро +	сухо -	гололёда		измо- рози 25		$ Z_B $ , ом	$-\varphi_Z$
				5	12				
0,2	6,1	6,3	5,4	5,7	5,7	5,7	8	1515	35°
0,8	11,1	11,6	9,4	10,3	10,3	10,3	23	895	26°
3	14,6	15,0	12,4	13,3	13,3	13,3	67	664	12°
5	15,4	15,9	12,9	14,0	14,1	14,1	110	642	8°
10	15,9	16,7	13,5	15,3	15,7	15,8	214	628	4°
15	16,2	17,2	13,6	16,4	17,3	17,6	324	624	3°
20	16,8	18,1	14,1	18,3	19,9	20,4	431	623	2°
30	17,5	19,4	14,7	22,3	25,8	26,9	647	623	1°
40	18,1	20,6	15,2	27,6	33,7	35,5	862	623	1°
50	18,4	21,6	15,6	33,8	43,0	45,8	1077	623	1°
60	19,1	22,8	15,9	41,0	54,0	57,8	1292	623	—
80	19,9	25,0	16,8	56,8	78,0	84,3	1723	623	—
100	20,8	27,2	17,7	73,9	103,9	112,9	2154	633	—
120	22,0	29,8	18,8	91,0	129,7	141,3	2585	622	—
150	23,5	33,1	20,2	115,6	167,1	182,5	3230	622	—

Таблица 10.13

ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (СТАЛЕМЕДНЫХ)  
ЦЕПЕЙ МАРКИ БСМ-1  
 $d = 2,5 \text{ мм}; a = 20 \text{ см}$

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фа- зы $\beta$ , мрад/км	Волновое сопро- тивление $Z_B e^{-1\varphi_Z}$ (лето — сухо, сы- ро, зима — сухо)	
	20° С			средней толщине слоя мм					
	сухо +	сыро +	сухо -	гололёда		измо- рози 25		$ Z_B $ , ом	$-\varphi_Z$
				5	12				
0,2	7,9	8,3	7,0	7,4	7,4	7,4	10	1761	36°
0,8	14,1	14,3	12,3	13,1	13,1	13,1	24	959	29°
3	21,6	21,9	18,3	19,9	19,9	19,9	69	671	16°
5	23,1	23,5	19,4	21,4	21,5	21,6	111	628	11°
10	24,2	24,9	20,4	22,9	23,3	23,4	217	606	6°
15	24,4	25,4	20,6	24,3	25,3	25,6	329	606	4°
20	25,0	26,2	20,8	26,4	28,1	28,6	432	599	3°
30	25,9	27,6	21,6	31,1	34,8	35,9	647	597	2°
40	26,6	28,8	22,0	37,4	43,9	45,8	862	597	1°
50	27,0	30,0	22,6	44,5	54,2	57,1	1077	597	1°
60	27,8	31,0	23,0	53,0	66,8	70,8	1293	597	—
80	28,6	33,4	24,0	71,3	93,8	100,4	1723	597	—
100	29,4	35,4	24,8	90,8	122,5	132,0	2154	597	—
120	30,3	37,5	25,6	110,4	151,5	163,8	2585	597	—
150	31,6	41,4	27,2	138,8	193,4	209,7	3230	597	—



Таблица 10.14

ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (СТАЛЕМЕДНЫХ)  
ЦЕПЕЙ МАРКИ БСМ-1  
 $d = 2,5 \text{ мм}; a = 30 \text{ см}$

f кгц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мnep/км, при						Коэффициент фа- зы $\beta$ , град/км	Волновое сопро- тивление $Z_B e^{-l\varphi_Z}$ (лето — сухо, сы- ро, зима — сухо)	
	20° С			средней толщине слоя мм					
	сухо +	сыро +	сухо -	гололѣда		измо- рози 25		$ Z_B $ , ом	$-\varphi_Z$
				5	12				
0,2	7,2	7,4	6,7	7,1	7,1	7,1	9	1835	35°
0,8	13,4	13,6	11,6	12,4	12,4	12,4	23	1005	28°
2	18,5	18,9	15,9	17,2	17,3	17,3	48	778	20°
3	20,0	20,6	17,0	18,9	18,9	18,9	69	715	15°
5	21,5	22,0	17,5	19,8	19,9	19,9	111	675	10°
10	22,2	23,4	18,3	21,2	21,5	21,7	217	653	5°
15	22,8	24,0	19,1	22,6	23,5	23,8	325	649	3°
20	23,1	24,8	19,3	4,3	25,8	26,3	433	647	2°
30	24,0	26,2	20,1	28,6	32,0	33,0	647	645	1°
40	24,7	27,6	20,6	34,4	40,4	42,2	861	645	1°
50	25,2	28,6	21,2	40,4	51,5	52,9	1076	645	1°
60	25,7	29,8	21,6	51,5	61,7	65,5	1291	645	—
80	26,6	32,0	22,6	66,2	86,9	93,3	1722	644	—
100	27,5	34,3	23,2	84,2	113,5	122,2	2153	644	—
120	28,4	36,4	24,0	102,5	140,4	152,2	2583	644	—
140	29,2	38,6	24,8	121,0	167,7	181,6	3013	644	—
150	29,6	40,0	25,2	129,2	179,6	194,6	3228	644	—

Таблица 10.15

ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (СТАЛЕМЕДНЫХ)  
ЦЕПЕЙ МАРКИ БСМ-2  
 $d = 4 \text{ мм}; a = 20 \text{ см}$

f кгц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мnep/км, при						Коэффициент фа- зы $\beta$ , град/км	Волновое сопро- тивление $Z_B e^{-l\varphi_Z}$ (лето — сухо, сы- ро, зима — сухо)	
	20° С			средней толщине слоя мм					
	сухо +	сыро +	сухо -	гололѣда		измо- рози 25		$ Z_B $ , ом	$-\varphi_Z$
				5	12				
0,2	5,9	6,1	5,3	5,6	5,6	5,6	7	1182	37°
0,8	9,8	9,9	8,5	9,0	9,0	9,0	20	700	25°
3	11,5	11,8	9,8	10,6	10,6	10,6	66	565	9°
5	12,2	12,6	10,2	11,3	11,4	11,4	109	553	6°
10	12,7	13,0	10,6	12,3	12,7	12,7	217	547	3°
15	13,2	13,8	11,1	13,8	14,8	15,1	325	544	2°
20	13,6	14,7	11,5	15,1	16,9	17,5	433	544	2°
30	14,2	15,9	11,9	18,9	22,9	24,1	648	544	1°
40	15,0	17,1	12,8	24,0	30,9	33,0	861	542	—
50	15,8	18,4	13,4	30,1	40,5	43,6	1078	542	—
60	16,6	19,8	14,0	37,2	51,8	56,3	1293	542	—
80	18,2	22,4	15,4	52,6	76,5	83,8	1724	542	—
100	19,7	25,2	16,7	68,8	102,6	113,0	2155	542	—
120	21,5	28,0	18,2	85,6	129,4	142,7	2586	542	—
150	23,6	32,0	20,0	109,8	167,5	185,3	3233	542	—



Таблица 10.16

## ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (СТАЛЕМЕДНЫХ)

ЦЕПЕЙ МАРКИ БСМ-2

 $d = 4 \text{ мм}; a = 30 \text{ см}$ 

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фазы $\beta$ , мрад/км	Волновое сопротивление $Z_{в} e^{-l\varphi_z}$ (лето — сухо, сыро, зима — сухо)	
	средней толщине слоя мм			изморози 25					
	сухо + 20° С	сыро + 20° С	сухо — 20° С	гололёда		изморози 25		Z <sub>в</sub>  , ом	— $\varphi_z$
				5	12				
0,2	5,6	5,8	5,0	5,3	5,3	5,3	7	1232	36°
0,8	9,1	8,7	7,9	8,4	8,4	8,4	18	742	24°
3	10,7	11,0	8,9	9,8	9,8	9,9	66	610	9°
5	11,2	11,6	9,4	10,5	10,6	10,6	109	602	6°
10	11,6	12,3	9,8	11,2	11,6	11,6	217	594	2°
15	12,2	13,3	10,3	12,4	13,4	13,7	325	592	2°
20	12,6	13,9	10,5	14,6	15,7	16,2	432	591	1°
30	13,2	15,0	11,0	17,4	21,0	22,2	647	590	1°
40	14,0	16,4	11,6	22,3	28,6	30,6	862	590	—
50	14,6	17,8	12,4	27,8	37,4	40,0	1077	590	—
60	15,4	19,0	13,0	34,4	47,9	52,0	1393	590	—
80	16,8	21,6	14,3	48,4	71,4	77,2	1723	589	—
100	18,4	24,4	15,6	63,5	94,5	104,0	2153	589	—
120	19,8	27,4	17,0	78,7	118,7	131,3	2583	589	—
150	22,2	31,0	18,9	100,7	154,1	170,5	3226	589	—

Таблица 10.17

## ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (СТАЛЕМЕДНЫХ)

ЦЕПЕЙ МАРКИ БСМ-2

 $d = 2,5 \text{ мм}; a = 20 \text{ см}$ 

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фазы $\beta$ , мрад/км	Волновое сопротивление $Z_{в} e^{-l\varphi_z}$ (лето — сухо, сыро, зима — сухо)	
	средней толщине слоя мм			изморози 25					
	сухо + 20° С	сыро + 20° С	сухо — 20° С	гололёда		изморози 25		Z <sub>в</sub>  , ом	— $\varphi_z$
				5	12				
0,2	8,7	9,0	7,9	6,2	6,2	6,2	11	2024	36°
0,8	16,6	16,9	14,3	15,4	15,4	15,5	28	1142	30°
3	27,7	27,8	21,8	25,4	25,4	25,4	73	733	20°
5	30,0	30,2	25,4	27,6	27,7	27,7	116	679	14°
10	33,4	34,2	28,0	31,4	31,8	31,9	219	626	8°
15	35,2	36,6	29,8	33,8	34,7	35,0	326	619	5°
20	36,0	37,6	30,3	36,4	38,2	38,7	435	613	4°
30	36,6	38,7	30,9	40,8	44,5	45,6	648	609	3°
40	37,0	39,8	31,2	46,9	53,3	55,2	861	607	2°
50	37,4	40,9	31,8	54,1	63,9	66,8	1076	607	1°
60	38,4	41,9	32,2	62,5	71,2	80,3	1291	607	1°
80	39,5	44,4	33,2	81,1	100,3	110,18	1722	607	1°
100	40,6	46,6	34,0	100,8	132,4	141,8	2153	607	—
120	41,8	48,8	34,8	120,5	161,6	173,7	2583	607	—
150	43,6	52,2	36,2	149,2	203,8	220,0	3228	607	—

Таблица 10.18

ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (СТАЛЕМЕДНЫХ) ЦЕПЕЙ МАРКИ БСМ-2  
 $d = 2,5 \text{ мм}; a = 30 \text{ см}$

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фазы $\beta$ , мрад/км	Волновое сопротивление $Z_B e^{-1\varphi_Z}$ (лето — сухо, сыро, зима — сухо)	
	средней толщине слоя мм			средней толщине слоя мм					
	20° С + сухо	20° С + сыро	20° С — сухо	гололёда		изморозь 25		Z <sub>B</sub>  , ом	-φ <sub>Z</sub>
				5	12				
0,2	8,4	8,8	7,5	7,9	7,9	7,9	11,1	2107	35°
0,8	15,8	16,1	13,7	14,4	14,4	14,4	26,9	1192	29°
3	25,8	26,1	22,0	23,7	23,7	23,7	72,0	777	19°
5	28,0	28,4	23,7	25,8	25,9	25,9	116	725	13°
10	30,9	31,7	26,4	29,0	29,4	29,5	219	675	7°
15	32,3	34,0	27,6	31,6	32,5	32,8	324	662	5°
20	33,5	35,0	28,2	33,8	35,4	35,8	434	659	4°
30	34,2	36,2	28,6	40,6	45,2	46,6	650	658	2°
40	34,6	37,3	29,0	43,6	49,6	51,4	861	654	2°
50	35,2	38,5	29,4	50,0	59,2	61,9	1075	653	1°
60	35,6	39,6	29,8	58,0	70,6	74,4	1290	653	1°
80	36,5	42,0	30,8	76,0	96,0	102,1	1720	653	—
100	37,5	44,2	31,6	94,0	123,0	131,6	2152	653	—
120	38,4	46,6	32,5	111,8	149,7	161	2582	653	—
150	39,8	50,0	32,8	139,2	190,0	205	3226	653	—

Таблица 10.19

ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДВУХПРОВОДНЫХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ (СТАЛЕАЛЮМИНИЕВЫХ) ЦЕПЕЙ С ОБЩИМ ДИАМЕТРОМ  $d = 5,4 \text{ мм}$  (АС-16) И ДИАМЕТРОМ КАЖДОЙ ПРОВОЛОКИ  $d' = 1,8 \text{ мм}$ ,  $a = 20 \text{ см}$

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при					Коэффициент фазы $\beta$ , мрад/км	Волновое сопротивление $Z_B e^{-1\varphi_Z}$ (лето — сухо, сыро, зима — сухо)	
	сыро + 20° С	средней толщине слоя мм						
		гололёда			изморозь 25		Z <sub>B</sub>  , ом	-φ <sub>Z</sub>
		5	12	25				
0,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	6,1	760	16°
0,8	2,8	2,4	2,4	2,4	2,4	18,5	549	8°
3	3,5	2,9	2,9	2,9	2,9	65,9	515	2°
5	4,2	3,4	3,6	3,6	3,6	110	512	2°
10	5,5	5,2	5,6	5,7	5,7	218	510	1°
15	7,3	7,1	7,9	8,3	8,3	326	508	1°
20	8,6	8,5	10,8	11,4	11,4	435	507	1°
30	10,8	14,1	17,6	18,8	18,8	620	507	—
40	12,8	20,1	26,3	28,4	28,4	860	507	—
50	14,8	27,0	36,3	39,5	39,5	1050	506	—
60	16,4	34,9	48,1	52,6	52,6	1300	506	—
80	19,3	49,6	73,5	80,9	80,9	1720	506	—
100	22,0	70,2	100,7	111,2	111,2	2160	506	—
120	24,8	87,9	127,2	140,7	140,7	2600	505	—
150	29,2	106,5	165,9	183,8	183,8	3240	505	—



Таблица 10.20

ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДВУХПРОВОДНЫХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
(СТАЛЕАЛЮМИНИЕВЫХ) ЦЕПЕЙ С ОБЩИМ ДИАМЕТРОМ  $d = 5,4$  мм (АС-16)  
И ДИАМЕТРОМ КАЖДОЙ ПРОВОЛОКИ  $d' = 1,8$  мм,  $a = 60$  см

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при					Коэффициент фа- зы $\beta$ , град/км	Волновое сопро- тивление $Z_B e^{-\varphi_Z}$ (лето — сухо, сы- ро, зима — сухо)		
	средней толщине слоя мм								
	сыро +20° С	гололёда		измо- рози 25				Z <sub>B</sub>  , ом	- $\varphi_Z$
		5	12						
0,2	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	5,8	89,	14°	
0,8	2,4	2,0	2,0	2,0	2,0	18,2	675	6°	
3	2,9	2,3	2,3	2,4	2,4	65,5	643	2°	
5	3,5	2,8	2,9	3,0	3,0	109	641	1°	
10	4,7	4,3	4,6	4,7	4,7	218	638	1°	
15	6,3	5,8	6,6	6,8	6,8	325	637	1°	
20	7,5	7,6	8,8	9,3	9,3	433	636	1°	
30	9,6	11,5	14,4	15,4	15,4	620	636	—	
40	11,6	16,0	21,4	23,2	23,2	860	636	—	
50	13,5	22,1	29,6	32,2	32,2	1050	639	—	
60	15,0	28,6	39,1	42,8	42,8	1300	635	—	
80	18,0	42,5	59,8	65,8	65,8	1720	634	—	
100	20,7	57,2	81,7	90,3	90,3	2160	634	—	
120	23,6	71,7	103,2	114,3	114,3	2600	634	—	
150	28,2	92,7	134,5	149,2	149,2	3240	634	—	

Таблица 10.21

ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ  
(СТАЛЕАЛЮМИНИЕВЫХ) ЦЕПЕЙ  
 $d = 4,8$  мм;  $a = 30$  см

f кГц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнп/км, при						Коэффициент фа- зы $\beta$ , град/км	Волновое сопро- тивление $Z_B e^{-\varphi_Z}$ (лето — сухо, сы- ро, зима — сухо)		
	средней толщине слоя мм									
	сухо + 20° С	сыро + 20° С	сухо - 20° С	гололёда		измо- рози 25			Z <sub>B</sub>  , ом	- $\varphi_Z$
				5	12					
0,2	4,7	4,9	4,3	4,3	4,3	4,3	7	1082	32°55'	
0,8	7,2	7,4	6,6	6,6	6,6	6,6	19	679	19°50'	
3	8,7	9,0	7,7	7,8	7,8	7,8	65	581	7°11'	
5	8,8	9,2	8,1	8,2	8,3	8,3	109	575	4°19'	
10	9,1	9,8	8,2	8,8	9,2	9,3	216	569	2°09'	
15	9,6	10,6	8,6	9,8	10,8	11,1	324	569	1°26'	
20	9,7	11,1	8,9	11,1	12,8	13,3	432	569	1°03'	
30	10,3	12,1	9,4	14,3	18,0	19,1	647	568	0°40'	
40	10,7	13,2	9,8	18,3	24,8	26,6	863	568	0°28'	
50	11,2	14,3	10,2	23,0	32,9	35,8	1078	568	0°21'	
60	11,6	15,2	10,5	28,5	42,4	46,4	1294	568	0°16'	
80	12,8	17,4	11,4	40,9	63,5	69,9	1724	568	—	
100	14,1	19,9	12,8	54,4	86,4	96,0	2155	568	—	
120	15,8	22,8	14,5	68,4	109,8	122,0	2585	568	—	
150	18,1	26,8	16,6	88,2	143,0	159,6	3230	568	—	

Таблица 10.22

ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СТАЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ  
 $d=3 \text{ мм}; a=20 \text{ см}$

f кгц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнел/км, при						Коэффициент фа- зы $\beta$ , град/км	Волновое сопро- тивление $Z_B e^{-i\varphi_Z}$ (лето — сухо, сы- ро, зима — сухо)	
	сухо +20°C	сыро +20°C	сухо -20°C	средней толщине слоя мм					
				гололѣда		измо- рози 25			
				5	12				
0,3	11,9	12,4	10,5	11,2	11,2	11,2	20	2100	28°22'
0,8	19,3	19,7	17,9	18,6	18,6	18,6	45	1640	22°21'
3	45,4	46,1	42,5	44,1	44,2	44,2	130	1220	19°02'
5	63,6	64,0	58,5	61,4	61,6	61,7	193	1096	17°42'
10	98,0	99,1	91,5	96,0	96,6	96,9	357	864	15°32'
15	126,0	128,0	118,0	125,0	126,1	126,5	486	897	14°17'
20	152,0	154,0	140,5	152,1	154,7	155,5	628	857	13°30'
30	195,0	197,5	189,5	201,2	206,5	208,1	887	808	12°07'
40	231,0	235,0	210,0	240,3	249,4	252,1	1150	780	11°07'
50	260,0	263,5	241,0	273,2	286,8	290,8	1420	765	10°10'

Таблица 10.23

ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СТАЛЬНЫХ ЦЕПЕЙ  
 $d=3 \text{ мм}; a=30 \text{ см}$

f кгц	Коэффициент затухания $\alpha$ , мнел/км, при						Коэффициент фа- зы $\beta$ , град/км	Волновое сопро- тивление $Z_B e^{-i\varphi_Z}$ (лето — сухо, сы- ро, зима — сухо)	
	сухо +20°C	сыро +20°C	сухо -20°C	средней толщине слоя мм					
				гололѣда		измо- рози 25			
				5	12				
0,3	11,5	12,9	10,1	10,8	10,8	10,8	19,2	2185	28°13'
0,8	18,7	19,1	17,2	18,0	18,0	18,0	42,4	1705	22°13'
3	43,1	44,3	40,8	42,3	42,4	42,4	121,5	1279	18°13'
5	60,8	61,0	56,0	58,7	58,9	59,0	186,0	1143	17°21'
10	93,0	94,6	88,0	91,6	92,2	92,4	334,0	1004	15°13'
15	120,5	122,0	112,6	118,9	120,3	120,7	465,0	939	13°54'
20	145,5	146,5	133,8	143,5	145,9	146,6	596,0	898	13°08'
30	185,4	187,8	172,0	191,8	196,7	198,1	860,0	850	11°41'
40	219,6	224,0	201,4	229,9	238,1	240,6	1105,0	820	10°44'
50	247,5	252,8	230,0	259,4	271,8	275,4	1398,0	808	9°48'