7.2. ВЗАИМНЫЕ ВЛИЯНИЯ МЕЖДУ ЦЕПЯМИ НИЗКОЧАСТОТНЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ГТС

На кабельных линиях ГТС в настоящее время применяются многопарные кабели типа Т в свинцовой и ТПП в полиэтиленовой оболочках. На соединительных линиях, как правило, прокладываются кабели ТГ с медными жилами диаметром 0,5 и 0,7 мм, а на абонентских — ТПП с медными жилами диаметром 0,32; 0,4 и 0,5 мм. Кабели ГТС различаются по типу скрутки жил и имеют парную и звездную скрутки.

Цепи кабельных линий используются как для телефонной связи, так и для передачи программ звукового вещания, сигналов телеграфирования, данных и сигналов телемеханики. Передача сигналов дискретной и аналоговой информации предъявляет особые требования к параметрам влияния между цепями различного назначения.

Основной характеристикой, определяющей возможность использования цепей для передачи того или иного вида информации, является переходное затухание между цепями на ближнем конце A_0 на частоте 0,8 кГц. В соответствии с нормами [3] для телефонной связи могут быть использованы цепи, переходное затухание между которыми составляет величину не менее 69,5 дБ. Для передачи сигналов дискретной информации в ряде случаев требуются цепи, переходное затухание A_0 между которыми имеет повышенное значение: 78,2; 86,9 и 95,5 дБ.

В настоящем параграфе приводятся результаты статистических исследований переходного затухания между цепями многопарных кабельных линий ГТС. Для измерений применялось устройство автоматической проверки переходного затухания (УППЗ), позволяющее в течение 3—4 часов испытать кабель емкостью 600×2 (179 700 проверок) и зафиксировать пары с переходным затуханием менее 86,9 дБ [5].

В соответствии с методикой испытаний всех кабельных линий с помощью УППЗ осуществлялись испытания переходного затухания по принципу «каждая с каждой», т. е. осуществлялся 100%-ный перебор всех комбинаций цепей. Селективным указателем уровня измерялись величины A_0, имеющие значение менее 86,9 дБ. В табл. 7.3 приведены среднестатические данные по результатам испытаний A_0 на 48 СЛ и 25 АЛ.

Таблица 7.3

Тип линии	Тип скрутки жил	Количество пар, %, имеющих следующие значения переходного затухания, дБ			
		более 86,9	78,2—86,9	69,5—78,1	менее 69,5
Абонентская	Парная	75,0	19,1	5,2	0,7
	Четверочная	30,2	45,3	23,0	1,5
Соединительная	Парная	58,2	39,8	1,8	0,2
	Четверочная	17,7	50,0	30,5	1,8

Анализ результатов статистических измерений переходного затухания между цепями в кабельных линиях ГТС показывает, что A_0 на частоте 0,8 кГц зависит от типа скрутки, качества изготовления кабелей. Так, в абонентских линиях из кабелей парной скрутки 75% цепей имеют A_0 более 86,9 дБ, в то время как в кабелях четверочной скрутки только 30,2%. На соединительных линиях лучшими параметрами влияния обладают также линии из кабелей парной скрутки. На этих линиях 58% пар имеют переходное затухание между цепями более 86,9 дБ.

Наряду с распределением пар по интервалам A_0, характеризующим кабельные линии в целом, изучено распределение пар в сотенных группах. Исследования показали, что как для АЛ, так и для СЛ из кабелей четверочной и парной скрутки распределение A_0 носит равномерный характер и не зависит от места расположения сотенных групп. Исследования переходного затухания между цепями линий с различных концов показали, что для однородных линий независимо от длины и типа скрутки A_0 практически одинаково. В неоднородных линиях величины A_0 определяются типом кабелей, проложенных по концам линий.

При оценке влияния между цепями в многопарных кабельных линиях ГТС одним из параметров, определяющих суммарную помеху в одной цепи от воздействия ансамбля соседних цепей, является количество одновременно влияющих цепей. По степени влияния принято считать, что при обычной низкочастотной телефонной связи, при переходном затухании между цепями на ближнем конце на частоте 0,8 кГц, равном 86,9 дБ, величина переходных помех мала и в расчетах не учитывается.

С целью определения количества цепей, имеющих $A_0 \leqslant 86{,}9$ дБ и оказывающих влияние одновременно на одну цепь, были проведены статистические измерения на СЛ и АЛ кабелей различной конструкции и емкости. В табл. 7.4 приведены средние значения

Таблица 7.4

Тип линии	Тип скрутки жил	Вероятность появления одновременно влияющих цепей					
		0	1	2	3	4	5
Абонентская	Парная	0,74	0,18	0,08	—	—	—
	Четверочная	0,302	0,523	0,138	0,032	0,004	0,001
Соединительная	Парная	0,581	0,293	0,086	0,023	0,016	0,001
	Четверочная	0,176	0,536	0,177	0,057	0,031	0,023

вероятности появления нескольких цепей, одновременно влияющих на одну цепь, подверженную влиянию. Как следует из приведенных данных, количество одновременно влияющих цепей на одну, как правило, не превышает две-три. В редких случаях могут оказывать влияние на одну цепь четыре-пять цепей. При этом следует отметить, что в кабелях парной скрутки вероятность появле-

ния одновременного влияния нескольких цепей меньше, чем у кабелей четверочной скрутки.

Таким образом, как показали статистические измерения кабельных линий ГТС, переходное затухание между цепями на ближнем конце на частоте 0,8 кГц имеет достаточно высокие значения, причем в кабелях парной скрутки A_0 в основном более 87 дБ, а в кабелях четверочной скрутки превалируют цепи, переходное затухание между которыми находится в пределах 78—87 дБ.

7.3. ПОМЕХИ В ЦЕПЯХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ГТС

Качество информации, передаваемой по кабельным линиям, в значительной мере определяется наличием помех в цепях. Под помехой согласно принятой терминологии понимается случайное воздействие на сигнал в канале связи, препятствующее правильному приему сигналов. Помехи подразделяются на аддитивные, носящие случайный характер и накладывающиеся на передаваемые сигналы, и мультипликативные, выражающиеся в случайных изменениях характеристик каналов.

Аддитивные помехи содержат три составляющие: сосредоточенную по частоте (гармоническую), сосредоточенную во времени (импульсную) и флуктуационную. Гармоническая помеха, сосредоточенная по частоте, имеет спектр, значительно уже полосы пропускания канала. Импульсная помеха представляет собой последовательность кратковременных импульсов, разделенных интервалами, превышающими время переходных процессов в канале. Флуктуационная помеха может быть представлена как последовательность непрерывно следующих один за другим импульсов, имеющих широкий спектр, выходящий за пределы полосы пропускания канала. Импульсную помеху можно рассматривать как крайний случай флуктуационной помехи, когда ее энергия сосредоточена в отдельных точках временной оси, а гармоническую помеху — как другой крайний случай, когда вся энергия сосредоточена в отдельных точках частотной оси.

Характеристиками аддитивных помех в каналах ТЧ являются псофометрическая мощность шума и уровень невзвешенного шума. Оценка этих помех осуществляется по псофометрическому напряжению помех, измеренному прибором (псофометром), имеющим квадратическую характеристику детектирования и специальный контур (фильтр), учитывающий чувствительность человеческого уха, микрофона и телефона к различным частотам. Невзвешенный шум определяется напряжением, которое измеряется прибором с квадратической характеристикой детектора, имеющим время интеграции 200 мс и фильтр полосы канала 0,3—3,4 кГц. Источником помех, возникающих в цепях кабельных линий ГТС, являются внешние электромагнитные воздействия (влияние ЛЭП, электрифицированных железных дорог) и внутренние электромагнитные влияния цепей, расположенных в одном кабеле. Вопросы влияния

внешних электромагнитных полей подробно рассматриваются в гл. 10 и 11 и поэтому в данном параграфе не приводятся. В настоящей главе рассматриваются лишь аддитивные помехи, возникающие в кабельных линиях ГТС от внутренних источников.

Источником гармонических помех в кабельных линиях могут быть цепи, по которым передаются одночастотные сигналы, например стандарты частоты, сигналы телемеханических систем. Источником импульсных помех, как правило, является коммутационное оборудование АТС. Поскольку нами рассматриваются только кабельные линии, то вопрос помех, создающихся на АТС, нами не будет рассмотрен.

Подробно остановимся на аддитивных флуктуационных помехах, возникающих в кабельных линиях ГТС. Источником флуктуационных помех в цепях кабельных линий ГТС являются соседние телефонные цепи, по которым передаются телефонная информация и служебные сигналы АТС, и цепи дискретной информации: телеграфирования, передачи данных, телемеханики.

Суммарное псофометрическое напряжение помех, возникающее в цепях кабелей ГТС от этих двух видов влияния, определится выражением

$$U_{\text{пом}} = \sqrt{U^2_{\text{тел}} + U^2_{\text{д.и}}},$$

где $U_{\text{тел}}$ — напряжение помех от влияния телефонных цепей; $U_{\text{д.и}}$ — напряжение помех от влияния цепей дискретной информации.

МОДЕЛЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОМЕХ НА АБОНЕНТСКОМ УЧАСТКЕ ГТС ПРИ ВЛИЯНИИ ТЕЛЕФОННЫХ ЦЕПЕЙ

Рассмотрим процесс возникновения помех в цепях кабельных линий ГТС от внутренних источников — соседних телефонных цепей.

Передаче телефонного разговора по сети АТС сопутствует передача таких служебных сигналов, как ответ станции, набор номера, контроль посылки вызова, отбой. Каждый вид сигнала передается по цепям кабелей в определенное время и в определенной последовательности. В табл. 7.5 приведены параметры сигналов, передаваемых по цепям кабельных линий ГТС на абонентском участке и соединительных линий. Среднее число вызовов от одного абонента в час наибольшей нагрузки не превышает трех.

Таблица 7.5

Вид сигнала	Параметры сигнала	Продолжительность, с
Набор номера	$U=60$ В; $\tau_{\text{сигн}}=40$ мс; $\tau_{\text{пауз}}=60$ мс	16
Контроль посылки вызова	$U=200$ мВ; $F=450$ Гц; $\tau_{\text{сигн}}=1$ с; $\tau_{\text{пауз}}=4$ с	10
Разговорный	$U=0{,}5$ В	110
Отбой	$U=200$ мВ; $F=450$ Гц; $\tau_{\text{сигн}}=300$ мс; $\tau_{\text{пауз}}=300$ мс	

По соединительным линиям между АТС координатного типа сигналы набора номера передаются кодом «2 из 6». Длительность набора 16 с; напряжение сигнала $U = 0{,}775 \div 0{,}3$ В.

Целью моделирования является определение псофометрического напряжения помех в телефонных цепях при реальной загрузке кабеля только телефонной информацией. Величина этого псофометрического напряжения помех в телефонной цепи может изменяться в зависимости от вида сигнала, передаваемого по соседним парам кабеля, величины переходного затухания между цепями, загрузки кабеля информацией.

Пусть в кабеле N (100) телефонных цепей. Цепь *100*, исследуемая, подверженная влиянию цепь; N—1 (99) цепей являются влияющими цепями. Предположим, что по $n_д$ действующим цепям в данный момент передается телефонная информация (рис. 7.3*а*): набор номера (НН) — цепи *2, 6*; ответ станции (ОС) — цепь *7*; контроль посылки вызова (КВ) — цепи *5, 7, 8*; телефонный разговор

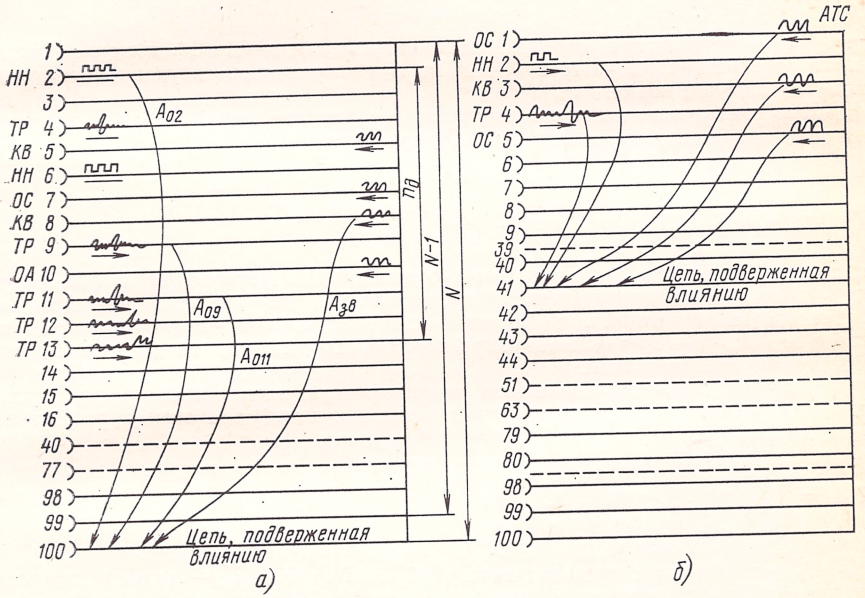


Рис. 7.3. Модель возникновения помех в телефонных цепях на абонентском участке:
а) загрузка кабеля в момент времени T_1; *б*) загрузка кабеля в момент времени T_2

(ТР) — цепи *4, 9, 11, 12, 13*; отбой абонента (ОА) — цепи *10*. При этом цепи, по которым передаются сигналы набора номера и телефонный разговор, оказывают влияние на цепь *100* по закону ближнего конца, а цепи, по которым передаются сигналы контроля и отбоя частотой 0,45 кГц, — по закону дальнего конца.

Однако не все цепи, по которым передается информация, оказывают влияние на цепь, подверженную влиянию. Если переходное затухание между цепями более 78,2 дБ, то они не оказывают существенного мешающего воздействия при передаче речи и сигналов контроля. Для сигналов набора номера «невлияющими» следует считать цепи, переходное затухание между которыми не менее 86,9 дБ. Активными цепями назовем только влияющие цепи.

Пусть в данной ситуации активные цепи *2, 8, 9, 11* оказывают влияние на цепь *100*. Причем переходное затухание между цепями имеет какое-то определенное значение.

Суммарное напряжение помех в цепи, подверженной влиянию, определяется выражением:

$$U_{\text{тел}} = \sqrt{U^2_{\text{нн}} + U^2_{\text{ос}} + U^2_{\text{кв}} + U^2_{\text{тр}} + U^2_{\text{оа}}},$$

где $U_{\text{нн}}$, $U_{\text{ос}}$, $U_{\text{кв}}$, $U_{\text{тр}}$, $U_{\text{оа}}$ — псофометрические напряжения помех, создаваемых цепями, по которым передаются соответственно сигналы набора номера, ответа станции, контроля посылки вызова, телефонного разговора, отбоя абонента.

В любой другой момент времени ситуация загрузки кабеля изменится как по количеству цепей, так и по передаваемой информации (рис. 7.3*б*), следовательно, и влияющие цепи будут иными. Величина напряжения помех в цепи, подверженной влиянию, будет изменяться в любой момент времени. Псофометрическое напряжение помех в телефонной цепи от влияния цепей, по которым передаются сигналы ответа станции, определяется выражением

$$U_{\text{ос}} = U'_{\text{ос}} p_{\text{ос}} e^{-A_{\text{з}}},$$

где $U'_{\text{ос}}$ — напряжение сигнала ответа станции; $p_{\text{ос}}$ — коэффициент акустического воздействия на частоте 0,45 кГц; $A_{\text{з}}$ — переходное затухание между цепями на дальнем конце.

Псофометрическое напряжение помех от влияния цепей, по которым передаются сигналы набора номера, рассчитывается по формуле

$$U_{\text{нн}} = \sqrt{\sum_{i=m}^{k} (U_i e^{-A_{0i}} p_i)^2},$$

где U_i — напряжение гармонической составляющей разложения в ряд Фурье периодической последовательности прямоугольных импульсов; A_{0i} — переходное затухание между цепями на ближнем конце на частоте i-й гармонической составляющей; p_i — коэффициент акустического воздействия на частоте i-й гармонической составляющей.

Напряжение помех от влияния на телефонную цепь цепей передачи сигналов контроля посылки вызова, ответа станции и отбоя абонента рассчитывается по формуле

$$U_{\text{кв}} = \sqrt{(U_{\text{н}} p_{\text{н}} e^{-A_{\text{он}}})^2 + \sum_{m=1}^{(\pi \cdot 10^4 - \omega_{\text{н}})} (U_m p_m e^{-A_{0m}})^2 + \sum_{k=1}^{(\omega_{\text{н}} - 100\pi)} (U_k p_k e^{-A_{0k}})^2},$$

где $U_{\text{н}}$ — напряжение сигнала частотой 0,45 кГц; U_m, U_k — напряжения гармонических составляющих верхней и нижней боковых частот разложения спектра импульса переменного тока; $\omega_{\text{н}}$ — круговая частота, соответствующая 0,45 кГц; $p_{\text{н}}$, p_m, p_k — коэффициенты акустического воздействия на частоте 0,45 кГц и верхней и нижней боковых частотах гармонических составляющих спектра разложения импульса; $A_{0\text{н}}$, A_{0m}, A_{0k} — переходные затухания между цепями на ближнем конце соответственно на частоте 0,45 кГц и верхней и нижней боковых частотах гармонических составляющих спектра разложения импульса.

МОДЕЛЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПОМЕХ НА АБОНЕНТСКОМ УЧАСТКЕ ГТС ПРИ ВЛИЯНИИ ЦЕПЕЙ ДИСКРЕТНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Рассмотрим процесс влияния цепей передачи дискретной информации на телефонные цепи в ансамбле из N абонентских цепей многопарного кабеля.

Некоммутируемый участок сети. В ансамбле из N абонентских цепей (рис. 7.4) одну определенную телефонную пару окружают N—1 цепей, из которых $n_{\text{д.и}}$ — цепи передачи дискретной информации и (N—$n_{\text{д.и}}$—1) — телефонные пары. Из числа цепей передачи дискретной информации в рабочем состоянии находится лишь $n_{\text{д.и.акт}}$ пар и только часть этих активных цепей $n_{\text{д.и.вл}}$ оказывают влияние на телефонную цепь. Остальные активные цепи ($n_{\text{д.и.акт}}$—

$n_{д.и.вл}$) не оказывают мешающего воздействия на телефонную пару, поскольку переходное затухание между ними на ближнем конце на частоте 0,8 кГц имеет величину более 95,5 дБ. Следовательно, на одну телефонную абонентскую пару оказывает влияние ограниченное число цепей передачи дискретной информации, определяемое их активностью, трафиком, реальным значением переходного затухания на ближнем конце, частотой сигнала и его амплитудой.

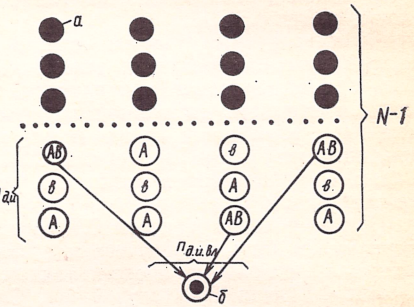


Рис. 7.4. Схема влияния ансамбля N цепей на одну телефонную цепь: *а* — телефонные цепи; *б* — телефонная цепь, подверженная влиянию; *в* — цепь дискретной информации; A — активная цепь дискретной информации; AB — активная влияющая цепь дискретной информации

Исходя из изложенного, модель процесса влияния цепей передачи дискретной информации на телефонные цепи в ансамбле из N цепей на абонентском участке кабельных линий ГТС может быть представлена следующим образом.

Пусть на одну телефонную цепь оказывают влияние $n_{д.и.вл}$ активных цепей передачи дискретной информации, причем по этим цепям работает k разнотипных систем ПДИ, имеющих различные параметры передачи. При этом часть систем ПДИ работает в циклическом режиме, а часть — в спорадическом.

При работе в циклическом режиме псофометрическое напряжение помех, наводимых в телефонной цепи одной цепью ПДИ при фиксированном числе пар, определяется как суммарное воздействие отдельных гармонических составляющих с учетом величин переходного затухания и весовых коэффициентов:

$$U_{пом\ 1} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m_1} (U_i\, p_i\, e^{-A_{0i}})^2}.$$

При влиянии n цепей, по которым работают однотипные системы ПДИ в циклическом режиме, псофометрическое напряжение помех определяется выражением

$$U_{пом\ n} = \sqrt{n \sum_{i=1}^{m} (U_i\, p_i\, e^{-A_{0i}})^2}.$$

В случае работы по цепям кабеля в циклическом режиме разнотипных систем ПДИ суммарное псофометрическое напряжение помех в телефонной цепи рассчитывается по формуле

$$U_{пом\Sigma} = \sqrt{n \sum_{i=1}^{m_1} (U_i\, p_i\, e^{-A_{0i}})^2 + l \sum_{j=1}^{m_2} (U_j\, p_j\, e^{-A_{0j}})^2 + \ldots}$$

$$\ldots + r \sum_{q=1}^{m} (U_q\, p_q\, e^{-A_{0q}})^2}.$$

В приведенных формулах $U_{пом1}$ — псофометрическое напряжение помех в телефонных цепях при влиянии одной цепи ПДИ, мВ; $U_{пом\ n}$ — то же,

при влиянии n однотипных циклических систем ПДИ, мВ; $Ui(j, q)$ — напряжение $i(j, q)$-й гармонической составляющей спектра разложения сигнала; $p_{i(j,q)}$ — весовой коэффициент $i(j, q)$-й гармонической составляющей (коэффициент акустического воздействия псофометрической кривой контура МККТТ); $A_{0i(j,q)}$ — переходное затухание между цепями на ближнем конце на частоте $i(j, q)$-й гармонической составляющей; n, l, r — количество активных влияющих цепей, по которым работают циклические системы ПДИ.

Коммутируемый участок сети. В отличие от абонентского участка, на соединительных линиях цепи телефонной связи коммутируются приборами АТС. Сеть прямых проводов, как правило, постоянна. Таким образом, на этом участке цепи передачи дискретной информации оказывают влияние на коммутируемые цепи телефонной связи. В результате этого влияния телефонные сообщения, коммутируемые приборами АТС, могут попасть в разные пары кабеля СЛ, т. е. находиться в различных условиях, определяющих взаимные влияния между цепями.

В ансамбле из N цепей СЛ определенная абонентская цепь при наборе номера может быть подключена к любой цепи соединительной линии. На рис. 7.5 показано, что 400-я абонентская цепь подключена к 10-й цепи СЛ (случай I) или 4-й цепи СЛ (случай II). Следовательно, на 400-ю абонентскую цепь соседние цепи будут оказывать различное влияние.

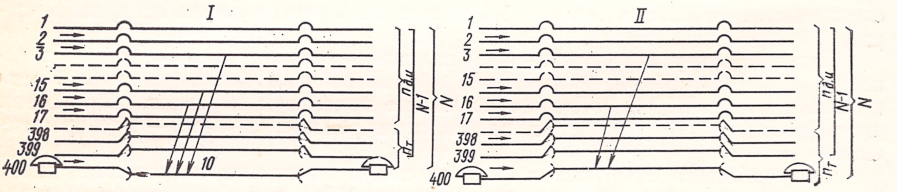


Рис. 7.5. Схема влияния ансамбля цепей ПДИ на телефонную цепь на коммутируемом участке

Пусть в обоих случаях в кабельную линию межстанционной связи включено $n_{д.и}$ цепей передачи дискретной информации. Из них лишь по $n_{д.и.акт}$ цепям работают системы ПД, ТГ, телемеханики. Но только часть активных цепей $n_{д.и.вл}$ оказывает влияние на определенную телефонную цепь, так как переходное затухание между каждой цепью ПДИ и телефонной цепью ниже 95,5 дБ. В случае I на 400-ю телефонную цепь влияют цепи *3*, *15*, *16*, а в случае II — *3* и *16*. Эти цепи имеют различное переходное затухание на ближнем конце: например, 71,2; 79,0; 84,3 дБ для случая I и 76,4; 81,6 дБ для случая II. Следовательно, величина псофометрического напряжения помех в телефонной цепи в различные моменты соединения будет различной. Она зависит от закона распределения величин переходного затухания между цепями, количества влияющих цепей ПДИ, параметров сигналов дискретной информации. Эти особенности необходимо учитывать при составлении модели влияния цепей передачи дискретной информации на телефонные цепи.

Модель влияния цепи ПДИ на телефонную цепь может быть представлена следующим образом. Пусть в ансамбле из N цепей на коммутируемом участке включено $n_{д.и}$ цепей передачи дискретной информации, работающих по определенным парам. Из них $n_{д.и.ц}$ предназначены для работы систем в циклическом режиме, а $n_{д.и.сп}$ — в спорадическом режиме. Влияние цепей ПДИ при работе систем в спорадическом режиме приводится к влиянию в циклическом режиме.

Для расчета ожидаемой величины помех в телефонных цепях необходимо определить напряжение псофометрических помех от одной цепи при переходных затуханиях $65{,}1 < A_0 < 95{,}5$ дБ с интервалом через 0,17 дБ. Используя экспериментальный статистический закон распределения количества влияющих цепей и учитывая закон распределения A_0, определим влияние N цепей. При влиянии N цепей передачи дискретной информации в спорадическом режиме работы систем величина псофометрического напряжения помех находится с учетом времени активной работы цепи. Вероятность превышения величины псофометрического напряжения помех выше заданной при известных значениях параметров сигнала и активность цепи определяется из выражения

$$p(U_{\text{пом}}) = \sum_{n=0}^{N} R_n (U_{\text{пом}})^2 \sum_{m=n}^{N} S_m C^n{}_m h (1-h)^{m-n},$$

где S_m — вероятность влияния цепей передачи дискретной информации на телефонную цепь; h — вероятность появления передачи дискретной информации; m — количество влияющих цепей передачи дискретной информации; n — общее количество цепей передачи дискретной информации.

Схема модели влияния цепей передачи дискретной информации на телефонные цепи на коммутируемом участке сети приведена на рис. 7.6. Модель влияния телефонных цепей, по которым передается информация, на коммутируемом участке СЛ аналогична приведенной выше. Рассмотренные модели позволяют теоретически оценить и определить ожидаемую величину помех в цепях кабельных линий ГТС в зависимости от конструкции кабеля и его электрических характеристик.

Моделирование процесса возникновения помех в абонентских кабельных линиях ГТС показало, что в зависимости от емкости кабеля среднее значение псофометрического напряжения помех в симметричных цепях составило 0,10—0,18 мВ.

Моделирование процесса влияния цепей передачи дискретной информации на телефонные цепи показало, что величина помех в телефонных цепях кабельных линий ГТС в значительной степени зависит от параметров сигналов дискретной информации, загрузки кабеля этими сигналами, активности цепей и распределения переходного затухания между ними. Для примера на рис. 7.7 приведены результаты моделирования влияния цепей передачи дискретной информации на цепи телефонной связи в 100-парном кабеле. По этому кабелю на коммутируемом участке ГТС организована передача 20 систем ПДИ ЧМ частотномодулированных сигналов со средней частотой 1750 Гц и скоростью передачи 200 Бод. Прокомментируем подробно рис. 7.7.

Оси ординат — вероятность появления определенной величины напряжения помех. Ось абсцисс — величина помех, возникающая в телефонных цепях при влиянии цепей ПДИ, по которым передаются сигналы с определенной амплитудой. Цифры у каждого графика означают число цепей ПДИ в кабеле, одновременно влияющих на одну телефонную цепь. Как следует из рис. 7.7, при влиянии 20 активных цепей ПДИ с напряжением сигнала $U_c = 0{,}775$ В величина псофометрического напряжения помех, наводимых в телефонных цепях, составляет с вероятностью 0,997 при влиянии трех цепей 0,260 мВ; пяти 0,275 мВ; десяти 0,285 и т. д.

Результаты моделирования достаточно близко сходятся с экспериментальными данными. Моделирование процессов влияния цепей телефонной связи, по которым передается служебная информация, и цепей передачи данных, теле-

графирования, телемеханики на телефонные цепи проводного вещания и цепи ПДИ, расположенные в одном кабеле, может применяться при определении условий их электромагнитной совместимости.

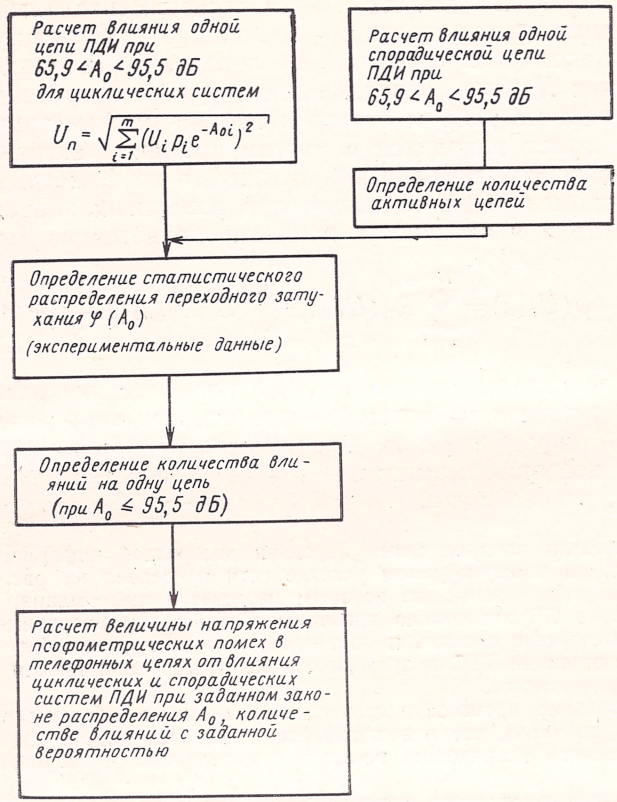


Рис. 7.6. Модель влияния цепей дискретной информации на телефонные цепи на коммутируемом участке сети

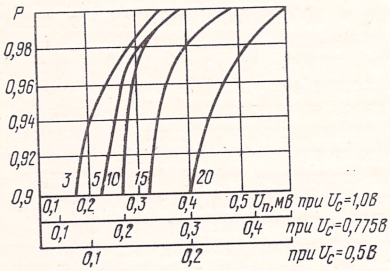


Рис. 7.7. Результаты моделирования влияния цепей ПДИ на телефонные цепи в стопарном кабеле при передаче ЧМ сигналов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ФЛУКТУАЦИОННЫХ ПОМЕХ

С целью определения реальных флуктуационных помех в цепях кабелей ГТС проведены статистические исследования напряжения

помех в телефонных цепях, цепях проводного вещания и передачи данных.

Статистическими исследованиями помех, проведенными на абонентских и соединительных линиях городских телефонных сетей, определены математическое ожидание $m^*(U)$, статистическая дисперсия $D^*(U)$ и статистическое среднеквадратическое отклонение $\sigma^*(U) = \sqrt{D^*(U)}$. При этом с целью определения помех от ансамбля телефонных цепей для исследований выбирались линии, в которых отсутствовала передача какого-либо вида дискретной информации. Исследования проводились методом трех псофометров, подключаемых к одной и той же цепи кабеля. В течение суток одновременно измерялись напряжения помех псофометром с контурами МККТТ и МККР и невзвешенные шумы в полосе частот 0,3—3,4 кГц. Результаты статистических исследований помех на абонентских и соединительных линиях ГТС, проведенных в различных городах страны в час наибольшей нагрузки (ЧНН), приведены в табл. 7.6 и 7.7.

Таблица 7.6

Вид линии	Контур псофометра	$m^*(U)$, мВ	$D^*(U)$	$\sigma^*(U)$, мВ
Абонентская № 1	МККТТ	0,073	0,0004	0,020
	МККР	0,21	0,0327	0,180
	с фильтром 0,3—3,4 кГц	0,10	0,0011	0,033
Абонентская № 2	МККТТ	0,154	0,0004	0,020
	МККР	0,37	0,0133	0,115
	с фильтром 0,3—3,4 кГц	0,22	0,0330	0,183
Абонентская № 3	МККТТ	0,142	0,0370	0,17
	МККР	0,350	0,0372	0,1929
	с фильтром 0,3—3,4 кГц	0,185	0,0055	0,0744
Абонентская № 4	МККТТ	0,093	0,0011	0,0333
	МККР	0,222	0;00009	0,0020
	с фильтром 0,3—3,4 кГц	0,140	0,0019	0,0440
Абонентская № 5	МККТТ	0,144	0,0005	0,0230
	МККР	0,351	0,03720	0,1929
	с фильтром 0,3—3,4 кГц	0,190	0,0030	0,05521
Абонентская № 6	МККТТ	0,056	0,0001	0,0112
	МККР	0,174	0,0055	0,0744
	с фильтром 0,3—3,4 кГц	0,082	0,0003	0,0198

В ряде случаев напряжение помехи превышало среднее значение и достигало значительных величин. На рис. 7.8—7.10 в качестве примеров приведены зависимости от времени суток максимальных, средних и минимальных значений псофометрических напряжений помех, измеренных соответственно псофометрами с контурами МККТТ, МККР и с фильтром с полосой частот 0,3—3,4 кГц.

Таблица 7.7

Вид линии	Контур псофометра	$m^*(U)$, мВ	$D^*(U)$	$\sigma^*(U)$, мВ
Соединительная № 1	МККТТ	0,43	0,0063	0,0799
	МККР	0,90	0,1769	0,4206
	с фильтром 0,3—3,4 кГц	0,55	0,0248	0,1576
Соединительная № 2	МККТТ	0,466	0,0125	0,1122
	МККР	1,0	0,2998	0,5475
	с фильтром 0,3—3,4 кГц	0,600	0,0261	0,1677
Соединительная № 3	МККТТ	0,457	0,0013	0,0365
	МККР	0,97	0,6741	0,5235
	с фильтром 0,3—3,4 кГц	0,589	0,0306	0,1750
Соединительная № 4	МККТТ	0,14	0,0001	0,0103
	МККР	0,50	0,0527	0,2297
	с фильтром 0,3—3,4 кГц	0,23	0,0077	0,0790
Соединительная № 5	МККТТ	0,463	0,0234	0,1532
	МККР	1,358	0,2185	0,4671
	с фильтром 0,3—3,4 кГц	0,549	0,0163	0,1278
Соединительная № 6	МККТТ	0,4568	0,0539	0,2323
	МККР	0,99	0,6741	0,5235
	с фильтром 0,3—3,4 кГц	0,59	0,0260	0,1615

В результате статистических исследований помех в цепях кабельных линий ГТС установлено следующее:

1. На соединительных линиях величина помех изменяется в достаточно широких пределах. В среднем напряжение помех в

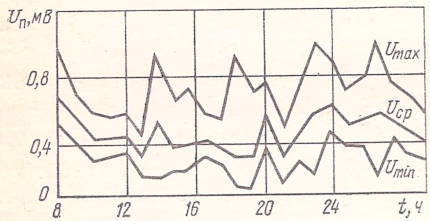


Рис. 7.8. Результаты суточных статистических измерений напряжения псофометрических помех в симметричных цепях кабелей ГТС, измеренные псофометром с фильтром МККТТ

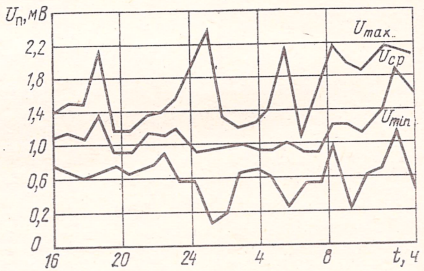


Рис. 7.9. Результаты суточных статистических измерений напряжения псофометрических помех в симметричных цепях кабелей ГТС, измеренные псофометром с фильтром МККР

ЧНН может быть принято в телефонных цепях 0,46 мВ, в цепях звукового вещания 1,2 мВ, напряжение невзвешенных шумов в полосе 0,3—3,4 мВ — 0,59 мВ.

2. На абонентских линиях средняя величина напряжения помех составляет: в телефонных цепях 0,14 мВ; в цепях звукового вещания 0,35 мВ; невзвешенных шумов 0,18 мВ.

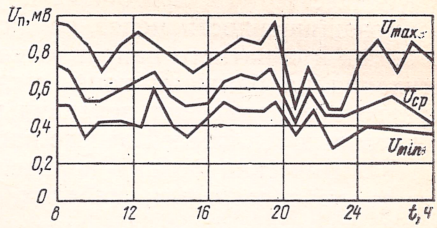


Рис. 7.10. Результаты суточных статистических измерений напряжения невзвешенных шумов в симметричных цепях кабелей ГТС, измеренные прибором с фильтром в полосе частот 0,3—3,4 кГц

ГЛАВА 8

ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ УПЛОТНЕНИЕ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ГОРОДСКОЙ ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ

◆

8.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Интенсивное развитие городских телефонных сетей, расширение территории городских районов, строительство городов-спутников, вынос промышленных объектов за пределы городов увеличили объем телефонизации, что непосредственно связано с возрастанием капиталовложений и расхода таких дефицитных металлов, как медь и свинец. Одновременно с этим возникла проблема организации больших пучков связей между АТС, так как расстояния между ними увеличились. Применение высокочастотных систем передачи позволяет решить эту проблему в большинстве случаев без дополнительных расходов меди и свинца за счет использования существующих на ГТС линий из многопарных низкочастотных кабелей.

Высокочастотным системам передачи посвящено много как отечественных, так и зарубежных публикаций. Ниже рассмотрены вопросы, не получившие до настоящего времени широкого отражения в литературе и представляющие интерес для специалистов. Это — вопросы выбора пар, пригодных для уплотнения аналоговыми и цифровыми системами передачи, определение длин усилительных (регенеративных) участков, методы определения электрических характеристик кабелей ГТС на переменном токе и мероприятия по технической эксплуатации линейных трактов, организованных на базе системы передачи ИКМ-30.

8.2. ВЫБОР ЦЕПЕЙ В КАБЕЛЯХ ГТС ПРИ ИХ УПЛОТНЕНИИ СИСТЕМАМИ ПЕРЕДАЧИ С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Выпускаемая отечественной промышленностью аппаратура КАМА [1] позволяет организовать пучки соединительных линий на ГТС с использованием как существующих, так и вновь прокладываемых линий из кабелей Т и ТП.

Уплотнение в этом случае осуществляется по однополосной двухкабельной системе с использованием основного спектра уплотнения 12—248 кГц.

Количество пар, пригодных к уплотнению, зависит от величин взаимозащищенности цепей на дальнем конце как в кабеле прямого, так и обратного направления передачи, а также переходного затухания на ближнем конце между цепями кабелей прямого и обратного направлений передачи и между входом—выходом промежуточных усилителей одного направления передачи.

Аналитическая оценка количества пар, пригодных к уплотнению в низкочастотных кабелях, производится следующим образом.

При общем количестве пар в кабеле n число двухпарных комбинаций

$$C^2_n = N = \frac{1}{2} n(n-1). \tag{8.1}$$

Если принять, что число пар, удовлетворяющих заданной норме защищенности, равно k, то соответственно число возможных двухпарных комбинаций из уплотняемых пар в соответствии с (8.1) будет

$$K = \frac{1}{2} k(k-1). \tag{8.2}$$

Общее число двухпарных комбинаций в n-парном кабеле, удовлетворяющих норме защищенности, M (чистые клетки, см. рис. 8.1) будет удовлетворять соотношению

$$k/n < M/N, \tag{8.3}$$

что указывает на маловероятность наличия количества пригодных пар, равного количеству пригодных комбинаций. Эти M комбинации могут располагаться на диаграммах, аналогичных приведенной на рис. 8.1, разными способами. Число этих комбинаций будет

$$C = \left(\frac{N}{M} \right) = \frac{N!}{M!\,(N-M)!}, \tag{8.4}$$

где M может иметь любые значения от 0 до N.

Полагая, что появление любого расположения благоприятных комбинаций равновероятно, можно вероятность появления каждой из таких картин, которые в дальнейшем назовем созвездиями, определить как

$$W(C) = \frac{1}{C} = \frac{M!\,(N-M)!}{N!}. \tag{8.5}$$

Пусть C_i — отдельное созвездие, $a_{k\,C_i}$ — число комбинаций из k пар в данном созвездии, A_k — среднее число комбинаций из k уплотняемых пар:

$$A_k = \sum_{C_i=1}^{C=(N/M)} a_{k\,C_i} W(C) = \frac{M!\,(N-M)!}{N!} \sum_{C_i=1}^{(N/M)} a_{k\,C_i}. \tag{8.6}$$

Сумма членов (8.6), т. е. сумма всех пригодных комбинаций из k пар по всем возможным созвездиям, определяется следующим образом. Отдельная группа из k пар пригодна, если все ее двухпарные K комбинации находятся среди M, удовлетворяющих норме защищенности независимо от распределения остальных $(M—K)$

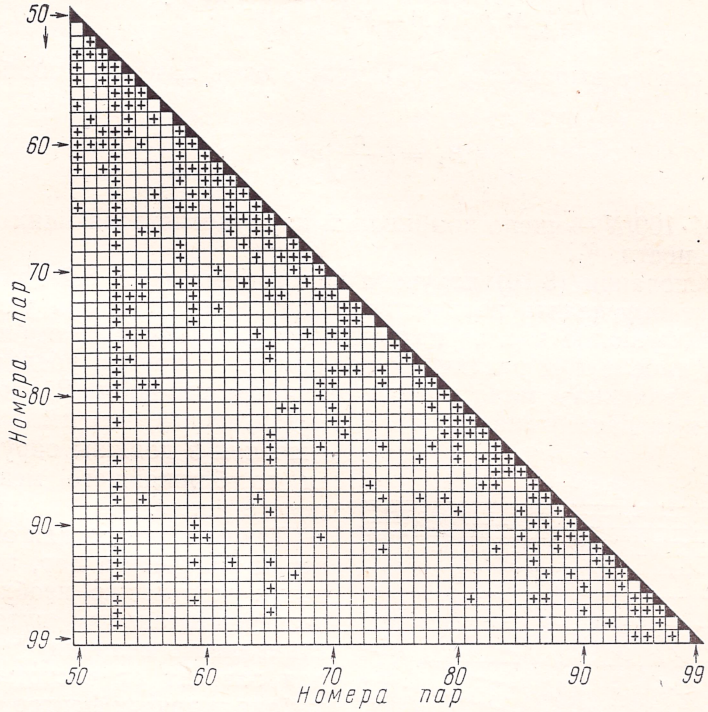


Рис. 8.1. Диаграмма распределения комбинаций пар, пригодных для уплотнения

удовлетворяющих норме комбинаций. Эти оставшиеся удовлетворительные $(M—K)$ комбинации могут расположиться на диаграмме различными способами (созвездиями), число которых

$$C_{M-K}^{N-K} = \frac{(N-K)!}{(M-K)!\,[(N-K)!-(M-K)!]}. \qquad (8.7)$$

Количество слагаемых в сумме уравнения (8.6) будет соответствовать числу групп из k пар, встречающихся в C_{M-K}^{N-K} созвездиях.

В предположении равновероятности появления всех созвездий равновероятно также и наличие всех комбинаций из k пар. Всего таких комбинаций будет

$$C_k^n = \frac{n!}{k!\,(n-k)!}. \qquad (8.8)$$

Таким образом, окончательно

$$A_k = \left(\frac{N}{M}\right)^{-1} \binom{n}{k} \binom{N-K}{M-K}. \qquad (8.9)$$

Если M и $N \gg K$ (случай высоких частот), то

$$\binom{N}{M}^{-1} \binom{N-K}{M-K} \to \frac{M^k}{N^k} = p^k.$$

В этом случае выражение (8.9) может быть заменено приближением

$$B_k = \left(\frac{n}{k}\right) p^k, \qquad (8.10)$$

где $p = M \cdot 100/N$ — число комбинаций пар, удовлетворяющих норме защищенности, %.

На основании (8.10) получена номограмма (рис. 8.2), которая позволяет определить количество k пар, пригодных для уплотнения, как функцию числа пригодных к уплотнению комбинаций пар p в кабеле для различных величин n. Нетрудно убедиться в том, что величина k мало зависит от выбора величины B_k, поэтому номограмма рассчитана для $B_k = 1$. Полученные по номограмме значения k должны округляться до ближайшего меньшего целого числа.

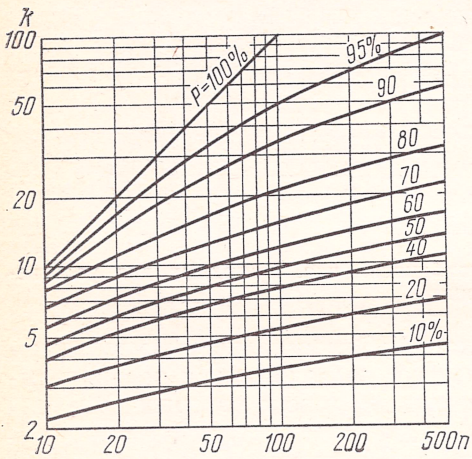


Рис. 8.2. Номограмма для определения количества пар, пригодных к уплотнению

Таким образом, для определения количества пар, пригодных к уплотнению, необходимо экспериментальным путем устанавливать величину p, которая зависит от частоты типа кабеля и других факторов.

Сравнение экспериментальных и расчетных данных показало, что ошибка при аналитическом определении количества пар практически невелика и только для кабелей с малым количеством пар (20—30) она может быть значительной (до 50%). Аналитический метод определения пар, пригодных для уплотнения, может быть использован при составлении прогнозов и подготовке проектных заданий. При этом следует иметь в виду, что аналитический метод не исключает необходимости измерений, потому что даже если для какого-нибудь конкретного кабеля известно p и можно рассчитать k, то для определения конкретных пар все-таки необходимо проводить измерения.

Число физических цепей, необходимых для уплотнения, определяется выражением

$$N_{ц} = N_{сл}/30, \qquad (8.11)$$

где $N_{ц}$ — количество цепей в одном кабеле, которые требуется уплотнить; $N_{с\,л}$ — необходимое количество соединительных линий; 30 — число каналов аппаратуры уплотнения.

Найденное по (8.11) количество цепей следует сравнить со среднеожидаемым числом уплотняемых цепей.

В табл. 8.1 приведены полученные экспериментальным путем данные по среднеожидаемому количеству пригодных для уплотнения пар в кабелях Т и ТП в зависимости от числа усилительных участков и минимально допустимой величины защищенности на дальнем конце в диапазоне частот 12—248 кГц.

Таблица 8.1

Количество усилительных участков	Защищенность на дальнем конце усилительного участка, дБ, не менее	Количество пар, пригодных для уплотнения, %	Количество усилительных участков	Защищенность на дальнем конце усилительного участка, дБ, не менее	Количество пар, пригодных для уплотнения, %
1	65,1	32	5	79,0	5
2	71,2	17	6	80,8	3
3	74,7	11	7	82,5	2
4	77,3	8			

Требование к защищенности цепей и максимально допустимое количество усилительных участков установлены полуэмпирическим путем исходя из специфических особенностей аппаратуры КАМА и низкочастотных многопарных кабелей ГТС при их уплотнении, с точки зрения влияния внешних полей и максимальных величин шумов, создаваемых коммутационным оборудованием АТС.

Для вновь прокладываемых и существующих кабелей, когда известны длины усилительных участков l_k, диаметр жил и тип изоляции, величина коэффициента затухания $\alpha_к$ определяется по табл. 8.10 и 8.11. При частичном или полном отсутствии данных о диаметре жил кабеля и типе изоляции следует измерять рабочее затухание линии $a_{раб}$. При этом с достаточной степенью точности можно принять

$$\alpha_{к.ср} = a_{раб}/l_к, \qquad (8.12)$$

где l_k — длина кабеля.

Если определяется $a_{раб}$ для линии, состоящей из разнородных кабелей, то можно в первом приближении считать, что

$$a_{раб} = \sum_{k=1}^{n} \alpha_к l_к = \alpha_{к_1} l_{к_1} + \alpha_{к_2} l_{к_2} + \ldots + \alpha_{к_n} l_{кn}, \qquad (8.13)$$

где $\alpha_{к_1}$, $\alpha_{к_2}$ и т. д. — коэффициенты затухания кабелей на отдель-

ных усилительных участках; $l_{к_1}$, $l_{к_2}$ и т. д. — длины отдельных усилительных участков. Длины усилительных участков для кабелей Т и ТП на высшей частоте спектра уплотнения 248 кГц приведены в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Тип кабеля	Длина усилительного участка, км, при диаметре жилы, мм		
	0,5	0,6	0,7
Т с изоляцией:			
трубчато-бумажной	2,45	3,1	3,8
пористо-бумажной	2,3	—	—
ТП со скруткой:			
парной	2,5	—	4,2
четверочной	2,9	—	4,9

Отбор конкретных пар, подлежащих уплотнению, производится на основе измерений взаимозащищенности всех комбинаций цепей. По результатам измерений составляется диаграмма распределения комбинаций пар, пригодных к уплотнению (см. рис. 8.1).

Общее количество цепей, взаимозащищенность которых необходимо измерить,

$$n = (N_{ц} \cdot 100)/П, \qquad (8.14)$$

где $N_{ц}$ — количество физических цепей, необходимых для уплотнения; $П$ — количество пар, пригодных для уплотнения (см. табл. 8.1). Если среднеожидаемое число уплотняемых цепей, определенное по табл. 8.1, значительно превосходит потребности, следует измерить взаимозащищенность M цепей. Последние желательно выбрать по возможности на максимальном удалении друг от друга в поперечном сечении кабеля. В том случае, когда необходимое для уплотнения количество цепей приближается к среднеожидаемому, измеряется взаимозащищенность всех цепей кабеля.

Для случая, изображенного на рис. 8.1, где комбинации пар, не удовлетворяющие требованиям взаимозащищенности, отмечены знаком «+», руководствуясь изложенной в [8] методикой, можно определить, что в конкретном кабеле пригодными для уплотнения являются 12 пар, т. е. 24% общего их количества, и эти пары будут иметь номера 57, 60, 66, 68, 73, 76, 79, 85, 90, 92, 96, 99 или 51, 56, 57, 66, 68, 73, 76, 82, 84, 89, 95, 98.

Кроме того, следует отметить, что на практике, особенно тогда, когда приходится иметь дело с линиями из кабелей Т, которые проложены более 20 лет назад и могут содержать вставки из кабелей с жилами другого диаметра и типа изоляции, за счет большого количества конструктивных неоднородностей по длине будет иметь большое значение так называемый эффект перестановки. В этом случае величина защищенности на дальнем конце должна быть измерена для всех комбинаций пар как в прямом,

так и обратном направлении (т. е. первая влияющая — вторая подверженная влиянию, вторая влияющая — первая подверженная влиянию, первая влияющая — третья подверженная влиянию, третья влияющая — первая подверженная влиянию и т. д.). Количество точек измерения, которое проводится на высшей частоте спектра уплотнения, в данном случае удвоится и составит $n(n-1)$.

Таким образом, несмотря на имеющиеся возможности применения аппаратуры КАМА для уплотнения многопарных кабелей ГТС, ее использование связано с известными затруднениями. Эти затруднения заключаются в том, что при существующей в этих кабелях взаимосвязи между количеством пригодных к уплотнению пар, требованиями по их взаимозащищенности и длиной линии (см. табл. 8.1) не всегда обеспечивается возможность уплотнения пар, а в тех случаях, когда это реально — сопряжено с большим объемом измерительных работ по выбору пар.

Применение аппаратуры КАМА целесообразно, если необходимо организовать небольшой пучок связей (одна-две системы КАМА), а также если расстояние между АТС составляет 4—6 км и связь можно организовать без промежуточных усилителей.

8.3. ВЫБОР ЦЕПЕЙ В КАБЕЛЯХ ГТС ПРИ ИХ УПЛОТНЕНИИ СИСТЕМАМИ ПЕРЕДАЧИ С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Аппаратура уплотнения с импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ) предъявляет по сравнению с аппаратурой КАМА более низкие требования к взаимозащищенности цепей в кабеле, позволяет передавать цифровые потоки информации с большими скоростями, допускает вторичное уплотнение, имеет малое остаточное затухание (2 дБ). Кроме того, выбор пар, пригодных для уплотнения, проще, чем для систем передачи с частотным разделением каналов. Все эти достоинства аппаратуры ИКМ выдвинули ее в последние годы в число наиболее перспективных, с точки зрения использования на городских телефонных сетях.

В настоящее время применение на ГТС находит аппаратура ИКМ-30 [3]. Для уплотнения соединительных линий между АТС могут быть использованы как существующие, так и вновь прокладываемые линии из кабелей Т и ТП.

Уплотнение кабелей ГТС системами ИКМ может осуществляться как по двухкабельной, так и однокабельной системе связи. При этом линия может иметь участки, организованные и по однокабельной и по двухкабельной системам.

При выборе системы связи (однокабельной или двухкабельной) учитываются преимущества и недостатки каждой из этих систем. Преимущество двухкабельной системы связи состоит в том, что не требуется отбор пар при установке до 100 одновременно работающих систем. К недостаткам этой системы следует отнести необходимость использования двух кабелей, что не всегда возможно. Недостатками однокабельной системы связи являются относи-

тельно невысокий процент пар, пригодных для уплотнения, и необходимость отбора этих пар.

Номинальная величина затухания участка регенерации при организации связи по любому из вариантов принята для всех типов кабелей 32 дБ на частоте $0{,}5f_т = 1024$ кГц. Это допустимо, если предполагаемое к использованию количество систем ИКМ-30 не превышает указанных в табл. 8.3 — для кабелей Т повивной скрутки и в табл. 8.4 — для кабелей ТПП пучковой скрутки. Таблицы 8.3 и 8.4 получены на основании статистического обобщения обширных исследований кабелей отечественного производства.

Таблица 8.3

Емкость кабеля, пар	Число систем ИКМ-30	Количество получаемых каналов	Количество пар, пригодных к уплотнению, %	Количество экранирующих повивов	Номера повивов кабеля (начало отсчета с наружного) для выделения пар в направлении	
					А→Б	*Б→А*
100	9	270	18,0	2	1	4, 5, 6
150	20	600	26,6	3	1	5, 6, 7
200	23	690	23,0	3	1	5, 6, 7, 8
300	38	1140	23,5	4	1	6, 7, 8, 9, 10
400	57	1710	28,5	4	1, 2	7, 8, 9, 10, 11, 12
500	72	2160	28,8	5	1, 2	8, 9, 10, 11, 12, 13
600	103	3090	34,4	5	1, 2	9, 10, 11, 12, 13, 14
700	109	3270	31,2	6	1, 2	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
800	121	3630	30,2	6	1, 2	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16
900	144	4390	32,0	6	1, 2	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17
1000	170	5100	34,0	6	1, 2	9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18
1200	206	6180	34,3	7	1, 2, 3	11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20

Таблица 8.4

Емкость кабеля, пар	Система скрутки кабельного сердечника	Число систем ИКМ-30	Количество получаемых каналов	Количество пар, пригодных к уплотнению, %	Местоположение пар различных направлений передачи в кабельном сердечнике
100	(3+7)×(10×2)	15	360	24,0	Через один элементарный пучок
300	3×(100×2)	30	750	17,0	Внутренние элементарные пучки смежных главных пучков
400	4×(100×2)	100	2490	41,5	Через один главный пучок
500	5×(100×2)	100	2490	32,2	Через один главный пучок
600	(1+5)×(100×2)	100	2490	27,7	Через один главный пучок

Для двухкабельного варианта связи число одновременно работающих систем при этой норме затухания не должно превышать 100. В случае однокабельного варианта связи соотношение между

числом систем, взаимозащищенностью цепей и затуханием участка регенерации определяется неравенством

$$10 \log X \leqslant \bar{A}_0 - \sigma - \alpha l - 24{,}7, \qquad (8.15)$$

где X — число проектируемых систем ИКМ-30; $\bar{A}_0$ — среднее значение переходного затухания на ближнем конце для выбранной комбинации взаимовлияющих пар, дБ; σ — стандарт отклонения величины $\bar{A}_0$, дБ; α — коэффициент затухания кабеля на частоте $0{,}5f_т$, дБ/км; l — длина участка регенерации, км; 24,7 дБ — величина, учитывающая необходимое соотношение сигнал/шум и запас на неустойчивость системы.

Средние значения переходного затухания A_0 комбинаций пар, имеющих одинаковое расположение в поперечном сечении кабелей основных типов, применяемых на ГТС, приведены в табл. 8.7.

Для комбинаций пар с одинаковым расположением в сечении нормальным законом практически подтверждается возможность описания статистического ряда величин A_0

$$W(A_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{A_i}}} e^{-\frac{(A_i - \bar{A}_i)}{2\sigma^2}} \quad (A_i \vee A_0). \qquad (8.16)$$

Соответствие распределения A_0 нормальному закону может быть оценено по критерию Пирсона [6] с помощью выражения

$$\Psi^2 = \sum_{i=1}^{k} (m_i - np_i)^2 \frac{1}{np_i}, \qquad (8.17)$$

где $p \leqslant 0{,}4 \div 0{,}8$ для всех случаев комбинаций A_0; n — количество измеренных данных в зависимости от расположения взаимовлияющих пар, из которых составляются статистические ряды (Σm_i); k — количество разрядов в пределах от 8 до 15.

Исходя из предположения, что закон распределения A_0 нормальный, можно определить аналитическим путем вероятность p_i попадания случайной величины A_i в каждый из k разрядов.

Рассчитав величину ψ^2 и зная $r = k - 3$, можно определить по таблицам величину p.

Анализ частотных зависимостей величины A_0 для комбинаций пар с одинаковым расположением в поперечном сечении кабелей разных типов показал, что среднее значение A_0 изменяется в функции от частоты по закону

$$\bar{A}_0(\omega) = \varkappa\omega^{3/2}, \qquad (8.18)$$

где угловая частота $\omega = 2\pi f$; $\varkappa$ — эмпирический коэффициент, зависящий от взаимного расположения взаимовлияющих пар в кабеле.

Из (8.18) следует, что A_0 изменяется на 15 дБ на октаву. Эта зависимость для A_0 справедлива в диапазоне частот 0,1—10 МГц.

Величина σ не зависит от частоты, но несколько изменяется в зависимости от расположения взаимовлияющих пар и имеет тен-

денцию к уменьшению по мере удаления этих пар друг от друга. Наибольшее значение σ имеют комбинации пар с низкими значениями A_0 (смежные пары, пары смежных повивов и т. д.).

При необходимости установки числа систем, превышающего предусмотренное табл. 8.3 и 8.4 (когда номинальное затухание участка регенерации 32 дБ), величина затухания участка регенерации может быть уменьшена до такой величины, которая будет удовлетворять равенству (8.15). Для кабелей типа Т эту величину можно определить по номограмме, приведенной на рис. 8.3, следующим образом.

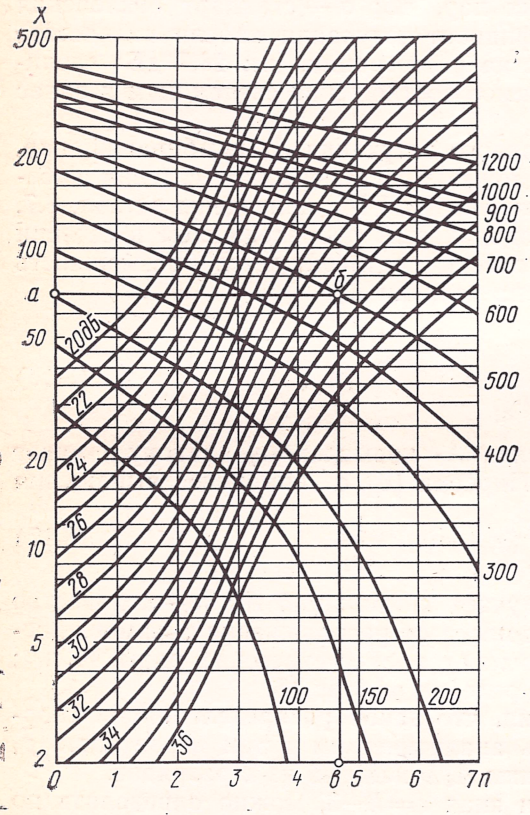


Рис. 8.3. Номограмма для расчета затухания участка регенерации при использовании аппаратуры ИКМ-30 и числа повивов, разделяющих цепи прямого и обратного направлений передачи

На оси X отмечается точка a, соответствующая проектируемому числу систем. Из этой точки проводится прямая, параллельная оси n, до пересечения с падающей кривой, имеющей цифровое обозначение, соответствующее числу пар уплотняемого кабеля (точка $б$). Восходящая кривая, проведенная через эту точку, дает значение затухания участка регенерации.

Для определения местоположения пар из точки $б$ проводим прямую, параллельную оси X, до пересечения с осью n (точка $в$), на которой нанесены значения количества повивов, которыми должны быть отделены пары, выбираемые для прямого и обратного направлений передачи. При этом цифру числа повивов нужно выбирать ту, к которой ближе расположена точка $в$.

Для кабелей с известными электрическими характеристиками на частоте $0{,}5f_т$ затухание участка регенерации определяется путем сложения затухания отдельных строительных длин. Для кабелей с неизвестными электрическими характеристиками затухание участка следует определять экспериментальным путем, при этом определяется рабочее затухание [см. (8.12)].

Длина участка регенерации как при однокабельной, так и двухкабельной системах связи определяется затуханием этого участка, типом кабеля и диаметром его жил. В табл. 8.5 приведены длины участков регенерации для всех типов кабелей при номинальной (32 дБ), максимальной (36 дБ) и минимальной

Таблица 8.5

Тип кабеля	Диаметр жил, мм	Тип изоляции и скрутки	ГОСТ	Длина участка регенерации, км, при затухании, дБ		
				32	36	8
Т	0,5	Пористо-бумажная	20802—75	1,52	1,72	0,38
		Трубчато-бумажная		1,59	1,78	0,4
	0,7	»		1,99	2,23	0,5
ТП	0,5	Парная	22498—77	1,84	2,05	0,46
		Четверочная		1,99	2,23	0,5
	0,7	Парная		2,35	2,63	0,58
		Четверочная		2,54	2,86	0,63
Т	0,5	Пористо-бумажная	Кабели, проложенные до 1975 г.	1,41	1,59	0,35
		Трубчато-бумажная		1,63	1,83	0,41
	0,6	»		2,04	2,29	0,51
	0,7	»		2,37	2,67	0,59

(8 дБ) величинах затухания участка регенерации. Параметры передачи кабелей ГТС на частоте 1000 кГц при $t=20°$ С приведены в табл. 8.6.

Таблица 8.6

Тип кабеля, диаметр жилы, изоляция и вид скрутки	$\|Z\|$, Ом	$-\varphi$	α, дБ/км	β, рад/км	ГОСТ
Т-0,5, пористо-бумажная изоляция	108,5	4°51′	21,0	30,6	20802 — 75
Т-0,5, трубчато-бумажная изоляция	115,0	4°23′	20,2	32,6	20802 — 75
Т-07, трубчато-бумажная изоляция	103,1	2°54′	16,1	28,2	20802 — 75
ТП-0,5, парная скрутка	109,9	3°30′	17,4	31,0	22498 — 77
ТП-0,5, четверочная скрутка	129,7	3°15′	16,2	32,5	22498 — 77
ТП-0,7, парная скрутка	107,2	2°43′	12,5	30,3	22498 — 77
Т-0,5, пористо-бумажная изоляция	105,5	4°41′	22,6	33,4	Кабели, проложенные до 1975 г.
Т-0,5, трубчато-бумажная изоляция	121,0	4°00′	19,6	31,2	
Т-06, трубчато-бумажная изоляция	119,5	2°24′	15,7	29,0	
Т-07, трубчато-бумажная изоляция	128,4	1°27′	13,5	32,2	

Примечание. Разброс значений α для кабелей Т — 10% и ТП — 5%; $|Z|$ для кабелей Т — 6% и ТП — 5%.

Участки регенерации, примыкающие к оконечным и промежуточным АТС, где осуществляется регенерация линейного сигнала либо устанавливаются необслуживаемые регенерационные пункты (НРП), или стойка окончания линейных трактов (СОЛТ), по длине должны быть укороченными в 2 раза по сравнению с основными участками как при однокабельной, так и двухкабельной системах связи, за исключением пристанционных участков на передающем конце двухкабельной системы связи.

В случае, когда при двухкабельной системе связи в кабеле имеются только уплотненные пары и отсутствуют пары, по которым осуществляется передача сигналов взаимодействия между АТС, длина участка регенерации не сокращается.

При двухкабельной системе связи и числе одновременно работающих систем не более 100, пары, пригодные для уплотнения, выбираются произвольно, т. е. любые исправные пары, соответствующие требованиям НТП322—68. В случае необходимости установки более 100 систем, пары необходимо выбирать в обоих кабелях по результатам измерения защищенности на дальнем конце.

Для однокабельной системы связи, при номинальной величине затухания участка регенерации, расположения пар для уплотнения в однородных линиях из кабелей типов Т и ТП для цепей прямого и обратного направлений передачи могут быть определены в соответствии с табл. 8.3 и 8.4. При этом число пар, выбираемых для уплотнения, необходимо брать в 1,5 раза больше. Это объясняется тем, что на линиях, особенно давно находящихся в эксплуатации, по целому ряду причин не всегда соблюдено условие соединения отдельных участков кабелей по принципу «пара в пару», «повив в повив» и «пучок в пучок», в результате чего имеется часть пар (иногда очень значительная), которые перемещаются по длине из повива в повив, т. е. меняют свое местоположение. Такие пары не используются для уплотнения и отбраковываются путем контрольных измерений.

В случае, когда линия неоднородна (не выполнено условие соединения отдельных участков кабелей) и перемещение пар по длине настолько велико, что не представляет возможным выделить необходимое количество пар для прямого и обратного направлений передачи, затухание участка регенерации следует сократить в 1,5 раза по сравнению с номинальным при установке до 100 систем и в 2 раза при установке более 100 систем.

При уплотнении линии из однородного кабеля известной конструкции по однокабельной системе минимально допустимую величину переходного затухания на ближнем конце при частоте 1000 кГц можно определить по табл. 8.7 в зависимости от выбранной комбинации расположения взаимовлияющих пар, пользуясь неравенством

$$A_{0\,min} \geqslant A_0 - 3\sigma. \qquad (8.19)$$

При уплотнении линии, состоящей из неоднородных или неизвестных по конструкции строительных длин кабелей, средняя ве-

Таблица 8.7

Расположение взаимовлияющих пар в кабеле	$\overline{A}_0$, дБ	σ	Расположение взаимовлияющих пар в кабеле	$\overline{A}_0$, дБ	σ
Кабель типа Т повивной скрутки			*Кабель типа ТП пучковой скрутки*		
Смежные в повиве	53,9	5,4	Внутри главного пучка:		
Через одну в повиве	64,8	8,3	Внутри элементарного пучка	64,6	8,1
Через две в повиве	71,4	6,5	В смежных элементарных пучках	68,7	7,2
В смежных повивах	71,6	9,8	Через один элементарный пучок	84,3	6,5
Через один повив	73,4	8,9	Через два элементарных пучка	88,2	4,8
Через два повива	75,2	9,0	В элементарных пучках смежных повивов	74,7	7,7
Через три повива	78,6	8,3	Общее в главном пучке	76,6	14,4
Через четыре повива	81,2	6,9	В смежных главных пучках:		
Через пять повивов	83,1	6,0	Внутренний элементарный пучок на внутренний элементарный пучок	95,6	5,5
Кабель типа Т пучковой скрутки			Внешний элементарный пучок на внутренний элементарный пучок	92,4	5,1
Внутри главного пучка:			Внешний элементарный пучок на внешний элементарный пучок	79,1	6,6
Внутри элементарного пучка	60,75	6,5	Общее в смежных главных пучках	89,2	9,2
В смежных элементарных пучках	71,7	7,2			
Через один элементарный пучок	86,3	6,5			
В элементарных пучках смежных повивов	84,25	9,0			
Общее в главном пучке	75,2	12,9			
В смежных главных пучках:					
Внутренний элементарный пучок на внутренний элементарный пучок	99,7	7,6			
Внешний элементарный пучок на внутренний элементарный пучок	98,7	6,1			
Внешний элементарный пучок на внешний элементарный пучок	93,3	6,2			
Общее в смежных главных пучках	92,25	7,1			

личина переходного затухания A_0 и стандарт отклонения σ должны определяться путем статистической обработки результатов измерений, которые в данном случае необходимо провести. При этом используются соотношения

$$\overline{A}_0 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} A_{0i}; \quad \sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(A_{0i} - A_0)^2}, \qquad (8.20); (8.21)$$

где A_{0i} — измеренное значение переходного затухания на ближнем конце, дБ; n — число измеренных значений.

Из общего количества пар, пригодных для уплотнения и определенных с помощью табл. 8.3 и 8.4 или номограммы (см. рис. 8.3), конкретные пары определяются экспериментальным путем и тогда, когда количество предполагаемых к установке систем передачи превышает 15—20 и объем измерений величин переходного затухания становится большим. В этом случае представляется целесообразным использовать упрощенную методику измерений при отборе пар.

Так как величина A_0 в значительной мере зависит от удаленности взаимовлияющих пар друг от друга, то, как уже указывалось, при правильном соединении пар (пара в пару и т. д.) выделение двух групп пар, имеющих необходимую взаимозащищенность, не представляло бы труда. Однако в действительности в смонтированных линиях, находящихся в эксплуатации, это не всегда соблюдается. Поэтому ниже предлагается следующая упрощенная методика выбора пар, пригодных для уплотнения.

Первоначально в линии определяется опорная пара, которая располагается в центре сердечника кабеля или близко от центра. Для этого в кроссах АТС, между которыми производится выбор пар в линии, все пары отключаются от оконечных устройств. Жилы произвольно выбранной пары соединяют вместе и измеряют емкость между этими жилами (C_{10}) и оболочкой (экраном). Затем поочередно закорачиваются и аналогичным образом измеряются емкости у остальных пар. Пара, имеющая минимальное значение C_{10}, следовательно, будет наиболее удаленной от оболочки и в первом приближении может считаться расположенной в центре линии на всем участке, где проводятся измерения. Эта пара будет опорной.

После этого последовательно проводятся измерения частичных емкостей C_{12} между закороченными парами и опорной парой. По мере удаления измеренных пар от опорной величина C_{12} будет уменьшаться, что позволит определить, в каком из повивов кабеля находится измеряемая пара. Пары из наружных повивов, имеющие минимальные значения C_{12}, выбираются для прямого направления передачи, а пары с максимальным значением C_{12}, т. е. расположенные в центральных повивах, — для обратного направления передачи. Пары промежуточных повивов служат экраном для разделения пар прямого и обратного направлений передачи и могут использоваться для обычной низкочастотной связи.

Рассмотренный метод упрощенного выбора пар, пригодных для уплотнения, в основе своей содержит измерение частичных емкостей C_{10} и C_{12}. Ниже делается попытка определить эти параметры расчетным путем.

Расчет частичных емкостей в многопарных кабелях представляет очень сложную задачу, так как если расчет производить с помощью потенциальных коэффициентов [5], то необходимо найти элементы матрицы, число которых должно быть равно количеству жил в кабеле.

Принципиально эта задача может быть решена при использовании ЭВМ. Однако для инженерных расчетов можно предложить

менее трудоемкое решение, смысл которого сводится к следующему.

Предположим, что под оболочкой (экраном) находятся только те проводники (пары), между которыми определяется частичная емкость (рис. 8.4), а остальные проводники (пары) отсутствуют. Тогда

$$C_{10}=\frac{\varepsilon_r k \ln \dfrac{a}{r_к}\cdot\dfrac{R^2-(R_п-x)^2}{R^2}}{18\left[\ln\dfrac{R^2-(R_п-x)^2}{r_к R}\ln\dfrac{R^2(R_0-x)^2}{r_к R}-\left(\ln\dfrac{R}{a}\right)^2\right]}, \qquad (8.22)$$

$$C_{12}=\frac{\varepsilon_r k \ln \dfrac{R}{a}}{18\left[\ln\dfrac{R^2-(R_п-x)^2}{r_к R}\ln\dfrac{R^2-(R_0-x)^2}{r_к R}-\left(\ln\dfrac{R}{a}\right)^2\right]}, \qquad (8.23)$$

где $2R$ — диаметр кабеля под оболочкой (экраном), мм; ε_r — относительная диэлектрическая проницаемость изоляции жил; k — коэффициент скрутки; $R_п$ — радиус повива, в котором находится измеренная пара, мм; R_0 — радиус центрального повива, мм; $r_к$ — радиус жилы кабеля, мм; a — расстояние между центрами измеренных пар, мм; $x=(R_{п+1}-R_п)/2$.

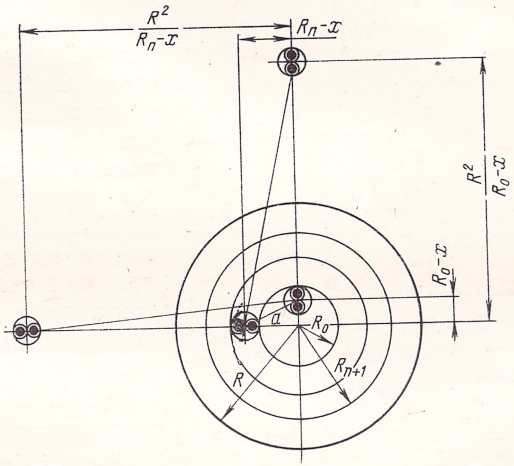


Рис. 8.4. К расчету частичных емкостей C_{10} и C_{12}

Для учета влияния, которое оказывают остальные пары (проводники), увеличивая реальную величину частичных емкостей, вводится понятие о поправочных коэффициентах K_1 и K_2, определяемых экспериментальным путем.

В табл. 8.8 приведены значения C_{10} и C_{12}, полученные расчетным [см. (8.22) и (8.23)] и экспериментальным путем для кабеля

Таблица 8.8

Номер повива	Значение C_{10}, нФ		K_1	Значение C_{12}, нФ		K_2
	расчетное	измеренное		расчетное	измеренное	
Центральный	5,0	13,9	2,8	—	—	—
I	5,1	14,78	2,9	4,14	8,35	2,02
II	5,45	16,6	2,96	3,21	6,43	2,0
III	5,82	17,25	2,96	2,51	5,04	2,01
IV	6,2	19,26	3,1	1,98	4,22	2,12
V	6,7	21,06	3,15	1,48	3,47	2,35
VI	7,35	21,75	2,96	1,09	2,55	2,34
VII	8,5	20,96	2,46	0,725	1,63	2,24
VIII	11,6	22,55	1,96	0,312	0,907	2,91

ТГ 300×2×0,7 длиной 313 м. Там же приводятся значения коэффициентов K_1 и K_2, которые можно полагать равными соответственно 3 и 2.

В действующих линиях ГТС возможны случаи, когда одна и та же пара по длине кабеля перемещается несколько раз из центрального повива в наружный. Такая пара, определенная указанным способом как пригодная к уплотнению, на самом деле может оказаться не соответствующей требованиям по взаимозащищенности. Поэтому выбранные по величине C_{12} пары (количество их может быть выбрано с запасом) целесообразно проверить дополнительно импульсным прибором типа Р-5-9 или ИКЛ-5. Для этого в цепи, одним из проводов которой является закороченная пара, а другим — оболочка (экран) кабеля, посылается зондирующий импульс. В том месте, где

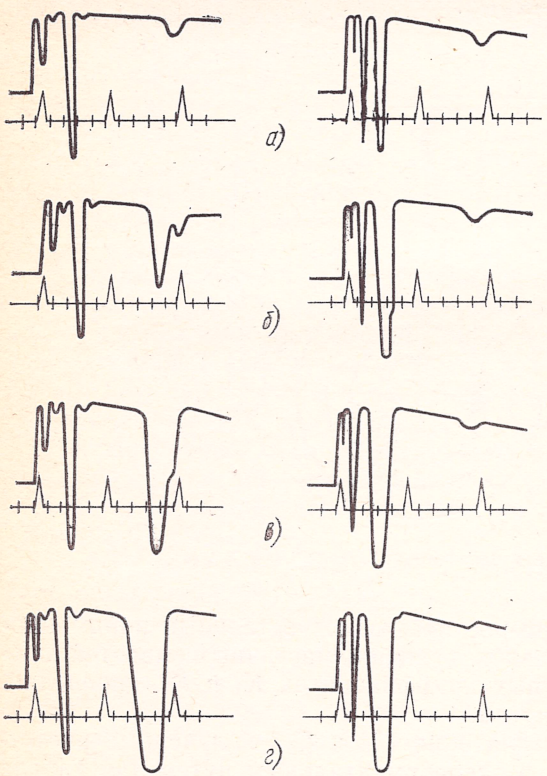


Рис. 8.5. Осциллограммы, иллюстрирующие эффект перемещения пары по длине линии:
а) перемещения нет;
б) из центрального повива в первый повив;
в) из центрального повива во второй повив;
г) из центрального повива в третий повив

измеряемая пара переходит из одного повива в другой, происходит изменение волнового сопротивления цепи и возникает отраженный импульс, который фиксируется на экране прибора.

На рис. 8.5 приведены осциллограммы, показывающие эффект такого перемещения пар в линии из кабеля типа ТГ 50×2×0,5 протяженностью 2000 м. Экспериментальная проверка этого способа на действующих линиях подтвердила его состоятельность.

В случае определения пар, пригодных к уплотнению, в линии из кабелей неизвестной конструкции при отсутствии прибора для измерения частичных емкостей можно использовать любой низкочастотный генератор с несимметричным выходом. При этом общие положения по измерениям остаются такими же, как в описанном выше случае, с той лишь разницей, что генератор подключается к опорной паре, замеряется уровень на его выходе и далее на всех парах поочередно измеряется уровень помех. Величины взаимозащищенности пар определяются по разности уровней между опорной и остальными парами.

В табл. 8.9 приводятся значения $\bar{A}_0$ и σ, полученные в результате измерения на действующих линиях из кабелей типа Т, и значения $\bar{A}_0$ и σ, полученные при измерении на отдельных строительных длинах кабеля типа Т.

Таблица 8.9

Объект измерения	Расположение взаимовлияющих пар							
	в смежных повивах		через один повив		через два повива		через три повива	
	$\bar{A}_0$, дБ	σ	$\bar{A}_0$, дБ	σ	$\bar{A}_0$, дБ	σ	$\bar{A}_0$, дБ	σ
Линия из кабеля ТГ 600×2×0,7; l=2700 м	74,3	9,5	74,8	8,5	76,7	7,9	79,8	6,9
Линия из кабеля ТГ 400×2×0,5; l=2637 м	74,8	7,8	76,2	7,2	77,8	7,2	78,4	7,7
Строительная длина кабеля ТГ 300×2×0,7; l=313 м	67,9	7,9	72,8	6,8	79,2	6,7	81,6	6,9
Строительная длина кабеля ТГ 100×2×0,5; l=455 м	73,3	8,9	76,7	6,7	78,5	7,3	79,1	7,1

Как видно из табл. 8.9, статистические оценки вероятностных характеристик переходного затухания на ближнем конце, полученные для отдельных строительных длин, практически не отличаются от оценок, полученных для смонтированных линий. Указанное обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что возможно предварительное прогнозирование пар, пригодных для уплотнения, и что рекомендованный способ определения пар по повивам не вызывает сомнений.

8.4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАБЕЛЕЙ ГТС ПРИ ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

ПЕРВИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЧИ

Величины, характеризующие качество передачи различных электрических сигналов по кабельным цепям, определяются кон-

структивными данными кабелей: диаметром токопроводящей жилы d_0, радиальной толщиной изоляции жилы $\Delta_{из}$, расстоянием между жилами одной цепи a, типом скрутки основных групп, взаимным расположением соседних цепей, экраном, а также конструктивными допусками на отклонение d_0 и $\Delta_{из}$ от номинальных значений.

Расчет первичных параметров передачи связан с некоторыми трудностями, которые определяются наличием конструктивных неоднородностей по длине кабеля и технологическими погрешностями (различное натяжение жил при скрутке групп и групп в кабельный сердечник, плотность обжатия кабеля при наложении поясной изоляции, оболочки и т. д.), которые в первую очередь влияют на такие параметры, как рабочая емкость $C_р$ и проводимость изоляции $G_{из}$.

Все сказанное в основном относится к кабелям типа Т. Кабели типа ТП конструктивно имеют более жесткую структуру и меньшее количество конструктивных неоднородностей, что в значительной мере облегчает задачу расчета первичных параметров.

В обширной литературе, посвященной кабелям связи, приводятся формулы, позволяющие определить эти параметры аналитическим путем. Необходимость расчета первичных параметров возникает не только на этапе конструирования кабеля, но и в целом ряде других случаев, когда требуется определить их частотные характеристики в каком-то определенном диапазоне частот.

Определение первичных параметров экспериментальным путем прямыми измерениями возможно только для таких параметров, как электрическое сопротивление жил постоянному току R_0 и рабочая емкость пар кабеля $C_р$. Что касается определения индуктивности и проводимости изоляции, то известные прямые экспериментальные способы связаны с затруднениями, а косвенные методы (например, метод измерения входных сопротивлений при «холостом ходе» и «коротком замыкании» измеряемой линии) требуют специальной аппаратуры, очень трудоемки и мало пригодны для практического применения, особенно в высоком диапазоне частот. Так для кабелей типа Т косвенными методами были экспериментально определены все первичные параметры передачи на частоте 600 кГц. Сопоставление этих данных с расчетными позволило установить, что относительно среднеизмеренных величин значение $C_р$ ниже на 12—17%, значение индуктивности — на 40%, значение коэффициента затухания — на 13%.

Значительное расхождение расчетных и экспериментальных данных объясняется следующим. При аналитических расчетах предполагается, что изолированная жила кабеля типа Т имеет круглую форму, а возникающее при скрутке смятие жилы учитывается коэффициентом смятия. Однако подавляющее большинство жил с воздушно-бумажной изоляцией имеет неправильную форму, и, следовательно, понятие о «диаметре» изолированной жилы, равно как и о расстоянии между жилами, не имеет четкого смысла.

Получение заниженного расчетного значения рабочей емкости объясняется еще и тем, что приводимые в литературе формулы

получены в предположении, что определяется $C_р$ одиночной пары, а поправки на влияние частичных емкостей этой пары по отношению к соседним и оболочке (экрану) кабеля осуществляются введением в формулу полуэмпирических коэффициентов. Кроме того, вывод формул для $C_р$ и индуктивности L основан на предположении, что расстояние между жилами пары достаточно велико и эффектом близости в пространстве между проводами можно пренебречь, т. е. что мы имеем дело с неискаженным полем. Сравнение данных, полученных при расчете параметров кабелей ГТС, когда расстояние между жилами мало, с экспериментальными данными показало, что такое допущение уже неприемлемо. Исходя из этого, для расчета $C_р$ (Ф/км) и L (Г/км) можно рекомендовать известные выражения [17], которые для многопарных кабелей ГТС дают более точные результаты:

$$C_р = \frac{\lambda \varepsilon_э \cdot 10^{-6}}{36 \ln\left[\left(a + \sqrt{a^2 - d_0^2}\right) / d_0\right]}; \qquad (8.24)$$

$$L = \lambda \left[4 \ln \frac{a + \sqrt{a^2 - d_0^2}}{d_0} + Q(x)\right] \cdot 10^{-4}, \qquad (8.25)$$

где λ — коэффициент укрутки; $\varepsilon_э$ — эквивалентная диэлектрическая проницаемость среды «изоляция жил — воздух»; a — расстояние между жилами, мм; d_0 — диаметр токопроводящей жилы, мм; $Q(x)$ — коэффициент, учитывающий уменьшение внутренней индуктивности вследствие поверхностного эффекта. При низких частотах он близок к единице.

ВТОРИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЧИ

Расчет вторичных параметров передачи не представляет затруднений, и результаты расчета, как правило, хорошо совпадают с измеренными значениями.

Частотные характеристики вторичных параметров передачи кабелей ГТС типов Т и ТП приведены в табл. 8.10 и 8.11.

РАБОЧИЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЧИ

Исследование параметров передачи на линиях ГТС показало, что рабочее затухание $a_р$ практически совпадает с собственным затуханием линии, и, таким образом, можно полагать, что $a_р = \alpha l_л$, где $l_л$ — длина линии, км.

Входное сопротивление линии $Z_{вх}$ имеет волнообразную частотную зависимость. Наибольшие скачки $Z_{вх}$ наблюдаются в диапазоне частот до 200 кГц, когда на величину $Z_{вх}$ оказывает влияние нагрузка на конце линии.

Если при измерении рабочих параметров передачи цепь на дальнем конце нагрузить на $|Z_в| = 110$ Ом, т. е. на сопротивление, равное установившемуся значению волнового сопротивления в ди-

Таблица 8.10

Частота, кГц	Кабели типа Т с парной скруткой жил при $t = 20°C$											
	Изоляция воздушно-бумажная, $d_0 = 0,5$ мм; $R_0 = 168$ Ом/км; $C_р = 41$ нФ/км				Изоляция пористо-бумажная, $d_0 = 0,5$ мм; $R_0 = 190$ Ом/км; $C_р = 50$ нФ/км				Изоляция воздушно-бумажная $d_0 = 0,7$ мм; $R_0 = 90,5$ Ом/км; $C_р = 40$ нФ/км			
	$\lvert Z_в \rvert$, Ом	$-\varphi_в$	α, дБ/км	β, рад/км	$\lvert Z_в \rvert$, Ом	$-\varphi_в$	α, дБ/км	β, рад/км	$\lvert Z_в \rvert$, Ом	$-\varphi_в$	α, дБ/км	β, рад/км
0,8	972,0	44°35′	1,20	0,190	830,0	44°38′	1,30	0,208	672,0	44°00′	0,91	0,135
3,0	480,0	42°42′	2,14	0,370	427,0	42°54′	2,35	0,400	360,0	40°50′	1,48	0,262
5,0	375,0	40°48′	2,70	0,475	330,0	41°15′	2,96	0,516	283,0	38°00′	1,83	0,346
10,0	263,0	37°15′	3,61	0,676	234,0	38°15′	4,00	0,734	208,0	32°40′	2,44	0,521
20,0	191,0	31°30′	4,61	0,985	175,0	33°00′	5,05	1,10	166,5	25°06′	2,96	0,834
50,0	143,0	19°36′	5,66	2,03	130,0	21°36′	6,35	2,04	144,0	14°33′	3,39	1,80
100,0	130,0	11°45′	6,79	3,34	118,0	13°45′	7,40	3,76	136,5	8°00′	3,83	3,43
150,0	125,0	8°30′	7,74	4,90	113,5	10°20′	8,35	5,36	134,0	5°25′	4,61	5,05
200,0	124,0	7°00′	8,61	6,40	110,0	8°35′	9,35	6,91	133,0	4°10′	5,35	6,76
250,0	123,0	6°18′	9,57	8,00	109,5	7°35′	10,27	8,60	132,5	3°24′	6,05	8,30
300,0	122,5	5°45′	10,44	9,46	109,0	7°00′	11,14	10,25	132,0	2°55′	6,70	9,55
400,0	122,5	5°09′	12,18	12,5	108,0	6°06′	13,05	13,30	130,6	2°21′	7,83	13,0
500,0	122,0	4°50′	13,66	15,6	107,1	5°38′	14,96	16,75	130,0	2°00′	8,92	16,3
600,0	121,5	4°36′	15,01	18,7	107,0	5°22′	16,53	20,0	129,8	1°48′	10,01	19,6
700,0	121,0	4°24′	16,36	22,0	106,9	5°10′	18,27	23,2	129,0	1°40′	10,88	22,5
800,0	121,0	4°15′	17,40	25,0	106,8	4°57′	20,01	26,5	128,8	1°35′	11,75	25,6
900,0	121,0	4°06′	18,44	28,0	106,2	4°48′	21,32	30,0	128,5	1°30′	12,62	29,0
1000,0	121,0	4°00′	19,56	31,2	105,5	4°41′	22,62	33,4	128,4	1°27′	13,49	32,2
1200,0	120,5	3,46′	21,58	37,2	105,0	4°27′	25,23	40,5	128,4	1°20′	15,23	38,7
1500,0	120,5	3,33′	24,01	46,5	104,5	4°12′	29,23	50,5	128,4	1°12′	16,88	43,3
2000,0	120,2	3,18′	28,10	61,8	104,0	3°54′	34,80	68,0	128,2	1°05′	20,27	64,5

Примечание. Разброс значений во всем диапазоне частот: $\alpha \pm 10\%$; $\lvert Z_в \rvert \pm 6\%$.

Частота, кГц	Кабели типа ТПП пучковой скрутки при $t = 20°C$											
	Изоляция сплошная полиэтиленовая; $d_0 = 0,5$ мм; парный; $R_0 = 180$ Ом/км; $C_р = 45$ нФ/км; $L = 5,84 \cdot 10^{-4}$ Г/км				Изоляция сплошная полиэтиленовая; $d_0 = 0,5$ мм; четверочный; $R_0 = 180$ Ом/км; $C_р = 40$ нФ/км; $L = 7,14^{-4}$ Г/км				Изоляция сплошная полиэтиленовая; $d_0 = 0,7$ мм; парный; $R_0 = 92$ Ом/км; $C_р = 45$ нФ/км; $L = 5,78 \cdot 10^{-4}$ Г/км			
	$\lvert Z_в \rvert$, Ом	$-\varphi_в$	α, дБ/км	β, рад/км	$\lvert Z_в \rvert$, Ом	$-\varphi_в$	α, дБ/км	β, рад/км	$\lvert Z_в \rvert$, Ом	$-\varphi_в$	α, дБ/км	β, рад/км
0,8	892,5	44°33′	1,22	0,144	947,0	44°26′	1,16	0,136	638,0	44°06′	0,87	0,104
3,0	461,0	43°15′	2,37	0,291	488,0	42°47′	2,18	0,271	330,5	41°41′	1,62	0,209
5,0	356,5	42°05′	2,94	0,376	375,0	41°51′	2,74	0,357	257,8	39°25′	2,01	0,282
10,0	255,5	39°14′	3,95	0,558	272,1	38°00′	3,65	0,538	187,2	34°15′	2,58	0,436
20,0	185,5	33°55′	5,08	0,869	200,5	31°51′	4,64	0,857	144,3	26°00′	3,11	0,734
50,0	135,3	22°28′	6,36	1,770	152,8	20°02′	5,70	1,800	121,2	14°36′	3,76	1,659
100,0	121,8	13°45′	7,14	3,320	139,8	12°15′	6,47	3,430	115,5	8°55′	4,40	3,226
150,0	117,4	10°07′	7,62	4,910	137,0	8°59′	7,00	5,080	113,7	6°55′	5,05	4,786
200,0	116,0	8°22′	8,36	6,400	135,2	7°38′	7,86	6,730	112,7	5°56′	5,73	6,338
250,0	115,1	7°12′	9,20	8,000	134,5	6°30′	8,69	8,380	111,5	5°21′	6,39	7,848
300,0	114,3	6°24′	9,97	9,600	133,8	5°48′	9,47	10,000	110,9	4°53′	6,96	9,375
400,0	113,0	5°31′	11,30	12,500	132,5	5°00′	10,76	13,320	109,9	4°15′	8,01	12,391
500,0	112,4	4°56′	12,60	15,570	131,8	4°30′	11,72	16,500	109,1	3°49′	8,93	15,393
600,0	111,8	4°30′	13,72	18,500	131,2	4°12′	12,78	19,750	108,5	3°30′	9,76	18,373
700,0	111,1	4°12′	14,69	21,800	130,8	3°51′	13,89	22,980	108,2	3°14′	10,68	21,370
800,0	110,5	3°54′	15,64	25,000	130,0	3°36′	14,76	26,100	107,8	3°02′	11,22	24,352
900,0	110,5	3°45′	16,70	28,500	129,7	3°25′	15,40	29,200	107,4	2°51′	11,82	27,308
1000,0	109,9	3°30′	17,38	31,000	129,7	3°15′	16,14	32,500	107,2	2°43′	12,49	30,278
1200,0	109,0	3°15′	19,20	37,000	129,0	3°00′	18,10	37,200	106,9	2°29′	13,65	36,224
1500,0	108,5	3°00′	21,05	43,000	128,9	2°46′	20,30	45,000	106,4	2°14′	15,31	45,101
2000,0	107,2	2°30′	23,85	61,500	127,0	2°00′	22,55	64,100	105,9	1°56′	17,56	59,885

Примечание. Разброс значений во всем диапазоне частот: $\alpha \pm 5\%$; $\lvert Z_в \rvert \pm 5\%$.

апазоне частот свыше 200 кГц, то частоту, при которой имеет место максимальное значение $Z_{вх}$, можно определить исходя из выражения

$$|Z_{вх}| = |Z_в| \left[\frac{2vfl}{(v^2 - 4l^2 f^2)} + 1 \right]. \qquad (8.26)$$

Из (8.26) следует, что $|Z_{вх}|$ обращается в максимум при $f = v/2\,l$, когда знаменатель дроби будет равен нулю.

В (8.26) $|Z_в|$ — установившееся значение волнового сопротивления, v — фазовая скорость распространения сигнала, l — длина линии.

Расчет, проведенный по формуле (8.26) для $v = (280 \div 290) \times 10^6$ м/с, показывает, что максимальное значение $|Z_{вх}|$ следует ожидать в диапазоне частот до 150 кГц. Этот вывод подтверждается результатами проведенных экспериментальных исследований.

Связь между рабочими и характеристическими параметрами передачи при наличии конструктивных неоднородностей

Измерение рабочих параметров передачи $Z_{вх}$ и $a_р$ проще и менее трудоемко, чем измерение характеристических параметров, особенно затухания. Частотные зависимости $a_р$, как было отмечено выше, в основном совпадают с кривыми собственного затухания, но имеют более равномерный характер и дают значения затухания, отличающиеся от собственного на $\pm 0{,}87$ дБ (0,1 Нп).

Эффект сглаживания, равно как и наблюдающееся в ряде случаев уменьшение $a_р$ при активных нагрузках по сравнению с собственным затуханием, можно объяснить наличием реактивной составляющей у характеристических сопротивлений пар отдельных строительных длин. Поскольку величины собственного затухания пар в отдельных строительных длинах в диапазоне высоких частот (выше 500—600 кГц) достигают больших значений, затуханием взаимодействия можно пренебречь.

Рабочее затухание отличается от собственного слагаемыми вида

$$\Delta a_1 = \ln |(Z_{ci} + R)/(2\sqrt{Z_{ci}R})|, \qquad (8.27)$$

где $Z_с$ — характеристическое сопротивление с учетом неоднородностей; $i = 1$ обозначает, что определяется характеристическое сопротивление $Z_{с1}$ со стороны входа линии, а $i = 2$, что измеряется $Z_{с2}$, т. е. характеристическое сопротивление со стороны ее выхода. При этом рабочее затухание отличается от собственного на величину $2\Delta a = \ln |(Z_в + R)/(2\times\sqrt{Z_в R})|$, которая определяется несогласованностью нагрузки на концах линии.

Так как $Z_{с1}$ и $Z_{с2}$ мало отличаются от $Z_в$, в дальнейших рассуждениях будем оперировать величиной $Z_в$, т. е. характеристическим сопротивлением линии без учета неоднородностей.

Имея в виду наличие реактивной составляющей у сопротивления $Z_в$, найдем

$$\Delta a = \frac{1}{2} \ln |(\mathrm{Re}\, Z_в + R + i\, \mathrm{Im}\, Z_в)^2 / [4R\, (\mathrm{Re}\, Z_в + i\, \mathrm{Im}\, Z_в)]|.$$

Выполняя операцию вычисления модуля как корня квадратного из суммы квадратов действительной и мнимой частей, получим

$$2\Delta a = \ln \left[(\mathrm{Re}\, Z_в + R + i\, \mathrm{Im}\, Z_в)^2 / 4R \sqrt{(\mathrm{Re}\, Z_в)^2 + (\mathrm{Im}\, Z_в)^2} \right].$$

Поскольку $\mathrm{Im}Z_в$ мала по сравнению с $\mathrm{Re}Z_в$, можно, во-первых, пренебречь величиной $(\mathrm{Im}Z_в)^2$ по сравнению с $(\mathrm{Re}Z_в + R)^2$ и, во-вторых, считая $(\mathrm{Im}Z_в/\mathrm{Re}Z_в) \ll 1$, заменить

$$\frac{1}{\sqrt{(\mathrm{Re}\, Z_в)^2 + (\mathrm{Im}\, Z_в)^2}} = \frac{1}{\mathrm{Re}\, Z_в} \left[1 - 2 \left(\frac{\mathrm{Im}\, Z_в}{\mathrm{Re}\, Z_в} \right)^2 \right].$$

Тогда

$$2\Delta a = \ln \frac{(\mathrm{Re}\, Z_в + R)^2}{4R \cdot \mathrm{Re}\, Z_в} \left[1 - 2 \left(\frac{\mathrm{Im}\, Z_в}{\mathrm{Re}\, Z_в} \right)^2 \right] = \ln \frac{(\mathrm{Re}\, Z_в + R)^2}{4R\, \mathrm{Re}\, Z_в} + \ln \left[1 - 2 \left(\frac{\mathrm{Im}\, Z_в}{\mathrm{Re}\, Z_в} \right)^2 \right].$$

При малых углах у характеристического сопротивления и активной нагрузке, подобранной по модулю, можно полагать, что $(\mathrm{Re}Z_в + R)^2/(4R\mathrm{Re}Z_в) \approx 1$ и $2\Delta a = \ln(1-x) \approx -x \approx -2(\mathrm{Im}Z_в/\mathrm{Re}Z_в)^2$ и $\Delta a = -(\mathrm{Im}Z_в/\mathrm{Re}Z_в)^2 \approx -\mathrm{tg}^2\varphi_{Z_в} \approx \varphi^2_{Z_в}$ или окончательно $\Delta a \approx \varphi^2_{Z_в}$.

Частотные зависимости характеристических параметров в основном показывают, что увеличение затухания на отдельных частотах сопровождается ростом угла $\varphi_{Z_в}$ характеристических сопротивлений. Рост угла дает отрицательное приращение к величине рабочего затухания, что приводит к малой зависимости рабочего затухания от собственного. Поэтому практически при эксплуатации кабелей и решении вопросов их высокочастотного уплотнения можно с достаточной степенью точности полагать, что $a_р = a_{собств}$.

8.5. ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ ТРАКТОВ АППАРАТУРЫ ИКМ-30

СОСТАВ ОБОРУДОВАНИЯ ИКМ-30

В настоящее время на городских телефонных сетях нашей страны для организации соединительных линий межстанционной и межузловой связи по низкочастотным многопарным кабелям широко применяется аппаратура ИКМ-30.

Комплекс оборудования ИКМ-30 состоит из:

стоек аналого-цифрового оборудования (САЦО), содержащих оборудование четырех 30-канальных аналого-цифровых преобразователей (АЦО) и согласующие устройства с АТС;

стоек оконечного оборудования линейных трактов (СОЛТ), рассчитанных на 30 трактов (900 каналов), на которых, кроме того, расположены станционные регенераторы и комплекты дистанционного питания (ДП);

промежуточного оборудования линейного тракта — необслуживаемого регенерационного пункта на 12 линейных двусторонних регенераторов (НРПК-12);

специализированной измерительной и проверочной аппаратуры: обнаружителя нарушений биполярности (ОНБ) и прибора дистанционного контроля регенераторов (ПДКР).

Оборудование линейного тракта в перспективе (при внедрении электронных АТС) будет использоваться самостоятельно, а не в комплексе с аналого-цифровым оборудованием.

СОДЕРЖАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Техническое обслуживание включает в себя комплекс организационно-технических мероприятий, направленных на обеспечение бесперебойной работы линейных трактов и требуемого их качества. Перечень этих мероприятий или работ и их методика определяются соответствующими инструкциями по эксплуатации линейных сооружений, необслуживаемых регенерационных пунктов (НРП), оконечного оборудования линейного тракта. Все эти работы подразделяются на профилактическое обслуживание, текущее обслуживание (включая ремонт) и капитальный ремонт.

К контрольно-профилактическим работам относятся измерения достоверности передачи, помехоустойчивости регенераторов, проверка сигнализации стоек оконечного оборудования линейного тракта, проверка системы телеконтроля и проверка служебной связи. Профилактические работы на уплотненных кабелях проводятся в соответствии с действующими инструкциями и рекомендациями по эксплуатации кабелей ГТС. Дополнительная профилактика низкочастотных кабелей, уплотненных ИКМ, связана с установкой на них контейнеров. В частности, появляются следующие работы: окраска консолей, кронштейнов в смотровых устройствах с НРП, проверка заземления НРП и измерение его сопротивления, смазка болтов крепления крышек контейнеров, покраска внешней поверхности НРП, замена уплотняющей резины, обеспечивающей установку НРП под избыточное воздушное давление.

Планами проверки оборудования и линейного тракта, разрабатываемыми каждой ГТС на определенный срок, на все профилактические проверки и измерения устанавливается соответствующая периодичность. По результатам проведения профилактики производятся устранение выявленных неисправностей и доведение параметров до норм.

Текущее обслуживание оборудования состоит в устранении повреждений, возникающих в процессе эксплуатации.

Неисправности могут приводить к прекращению прохождения цифрового сигнала через линейный тракт или к ухудшению качества его прохождения (снижение достоверности). Ряд неисправностей оборудования ИКМ-30 и линейного тракта могут приводить только к снижению удобства эксплуатации. К первым относятся: отсутствие тока дистанционного питания; отсутствие ИКМ сигнала на выходе приемной части станционного регенератора; ошибки в ИКМ сигнале, приводящие к частым сбоям синхронизации аналого-цифрового оборудования; обрыв уплотняемой пары кабеля или значительное понижение сопротивления ее изоляции и другие. Ко вторым относятся: отсутствие питания панели обслуживания и блоков служебной связи на стойке оконечного оборудования линейного тракта; отсутствие контрольного ИКМ сигнала на выходе панели обслуживания; отсутствие вызова и разговорного сигнала по каналу служебной связи; возбуждение канала служебной связи и другие.

Для каждой из характерных неисправностей в заводской инструкции по эксплуатации аппаратуры ИКМ-30 указаны вероятные причины и предлагается метод их устранения. В процессе текущего обслуживания проводится ремонт неисправных блоков. Ремонт регенераторов ИКМ-30 может осуществляться только на специальных стендах, оснащенных необходимыми радиотехническими приборами.

Капитальный ремонт проводится в зависимости от технического состояния оборудования, его работоспособности и срока службы. Периодичность и порядок проведения капитального ремонта определяются в каждом конкретном направлении связи с учетом обходных связей, возможности резервирования и так далее.

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Выполнение работ по техническому обслуживанию линейных трактов ИКМ-30 на ГТС распределяется между цехами линейных сооружений и аппаратуры уплотнения. Инженерно-технический персонал линейного цеха отвечает за состояние кабелей межстанционной связи (включая стабкабели) и контейнеров НРП (герметичность, внешнее состояние). Инженерно-технический персонал цеха аппаратуры уплотнения отвечает за состояние оконечного оборудования линейного тракта ИКМ-30 и выемной части контейнеров НРП. В соответствии с этим распределением между цехами проводится текущее обслуживание и профилактика, причем при необходимости работ в НРП, откачке воды (при ее наличии) из смотровых устройств, их вскрытие и закрытие, а также установка под избыточное воздушное давление НРП осуществляются персоналом линейного цеха. Этим же персоналом выполняются все работы, связанные с кабелем, от разъема выемной части НРП до вводной платы стоек оконечного оборудования.

Техническое обслуживание оборудования ИКМ-30 проводит инженерно-технический персонал, выделенный в группу, входящую в состав цеха аппаратуры уплотнения. Контроль за сигнализацией, замену предохранителей может производить дежурный персонал ЛАЦ. В составе группы по обслуживанию цифровых систем передачи в зависимости от объема оборудования должно быть несколько подготовленных специалистов. Они контролируют качество работы линейных трактов, а при повреждении определяют, например, номер неисправного регенератора и производят его замену. В ЛАЦ должны быть специализированные приборы для измерения достоверности передачи как линейного тракта, так и отдельного регенератора, пульт для определения номера неработающего или неустойчиво работающего регенератора, аппарат обходчика для ведения переговоров НРП—ЛАЦ.

Линейные цехи, обслуживающие линейные тракты ИКМ-30, должны иметь комплект специальных измерительных приборов, поставляемых совместно с оборудованием ИКМ-30 для измерения затухания кабельных линий на полутактовой частоте системы (1024 кГц). С помощью этого комплекта из двух приборов определяется пригодность пар для уплотнения аппаратурой ИКМ-30.

Ремонт линейных сооружений производится по существующим на ГТС правилам, но с учетом соблюдения соответствующих правил техники безопасности. Восстановление работоспособности линейного тракта в случае выхода из строя оборудования ИКМ-30 осуществляется заменой блоков (например, линейных или станционных регенераторов, блоков дистанционного питания и т. п.). Ремонт блоков должен выполняться в специальных мастерских, оснащенных соответствующими приборами, ремонтными стендами, радиоэлектронными элементами, силами квалифицированных специалистов. Такая мастерская должна быть централизованной на всю телефонную сеть.

Особое внимание следует уделять требованиям по безопасному ведению работ при обслуживании оборудования линейных трактов с дистанционным питанием регенераторов. В 1977 г. Министерством связи СССР издана соответствующая инструкция, которая распространяется на инженерно-технический персонал ЛАЦ и кроссов телефонных станций, линейных цехов, обслуживающих линейные тракты ИКМ-30.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

В последнее время на городских телефонных сетях многих индустриальных стран мира стала быстрыми темпами внедряться аппаратура цифровых систем передачи. Аналогичная тенденция наблюдается и в нашей стране.

Эксплуатация линейных трактов цифровых систем передачи отличается рядом особенностей и представляет значительные трудности. На крупных ГТС линейные тракты, связывающие между собой узлы входящего и исходящего сообщений или находящиеся на значительных расстояниях районные АТС, могут иметь до восьми — десяти вводов на транзитные АТС и до 15—20 смотровых устройств с НРП, причем эти тракты могут проходить через три-четыре, а

может и более административных районов телефонных узлов. Эти специфические особенности требуют, как видно, создания специального центра по эксплуатации оборудования ИКМ-30, включая линейные тракты.

В центре должен обеспечиваться анализ соответствующей сигнализации, точное определение места повреждения (отказа), определение состояния отказов на поврежденных направлениях, посылка соответствующего инженерно-технического персонала для устранения неисправности. Центр должен быть оснащен соответствующей сигнализацией и проверочно-испытательной аппаратурой (автоматической). При наличии ЭВМ на центре будет осуществляться также регистрация и информация об отказах, состоянии линейных трактов по достоверности передачи, периодическая выдача администрации ГТС информации о состоянии линейных трактов. Создание центра потребует коррекции оборудования ИКМ-30, находящегося в эксплуатации, и модернизации выпускаемого промышленностью.

При центре эксплуатации оборудования ИКМ-30 должна быть предусмотрена мастерская по ремонту блоков и в первую очередь линейных регенераторов. Здесь же должен находиться ЗИП блоков для замены неисправных. Перед установкой регенератора для замены на нем выполняются соответствующие перепайки под конкретное место его установки. Центр должен быть обеспечен необходимым транспортом.

Международный опыт внедрения на ГТС таких центров показывает, что при достаточно высокой надежности оборудования линейных трактов и при централизации их эксплуатации достигается высокое качество обслуживания и экономическая эффективность.

8.6. ВЫСОКОЧАСТОТНОЕ УПЛОТНЕНИЕ АБОНЕНТСКИХ ЛИНИЙ ГТС С ПОМОЩЬЮ АППАРАТУРЫ АВУ

При развитии городских телефонных сетей наибольшие трудности возникают в части увеличения мощности пучков кабельных линий. Эти трудности связаны не только с дефицитностью кабелей, но и с целым рядом других обстоятельств, которые не позволяют осуществить такое увеличение. Особенно это относится к абонентским линиям связи.

Расширение возможностей абонентских линий возможно за счет использования коммутационных установок, концентраторов и блокираторов. Однако при этом в той или иной степени ограничиваются возможности абонента в получении связи в необходимое для него время, поэтому данные устройства находят ограниченное применение.

Использование высокочастотного уплотнения на абонентских линиях решает указанные выше проблемы и позволяет при увеличении мощности телефонной станции увеличивать количество абонентов без дополнительных капитальных затрат на расширение сети абонентских кабельных линий. Поскольку вопросы использования абонентских линий ГТС при их высокочастотном уплотнении достаточно подробно рассмотрены в [3], то приводятся только основные сведения, касающиеся одноканальной аппаратуры высокочастотного уплотнения абонентских линий типа АВУ.

Абонентская высокочастотная установка (АВУ) предназначена для организации на абонентской линии ГТС одного дополнительного телефонного канала, кроме обычного канала, расположенного в тональном диапазоне частот. Дополнительный канал образуется путем высокочастотного уплотнения абонентской линии аппаратурой АВУ с частотным разделением каналов.

Установка рассчитана для работы по существующим кабелям ГТС типа Т и ТП с жилами диаметром 0,4; 0,5 и 0,7 мм. Максимальная длина связи приведена в табл. 8.12. Она зависит от типа абонентской линии и определяется допустимым затуханием сигнала на частоте 800 Гц.

Высокочастотный канал организован по двухполосной системе с использованием метода амплитудной модуляции с передачей несущей и боковых частот. От абонента к АТС передается частота 28 кГц, а в обратном направлении — 64 кГц. Номинальная величина остаточного затухания канала на частоте 800 Гц составляет в направлениях передачи: «абонент — станция» — 2 дБ; «станция — абонент» — 4,3 дБ.

Таблица 8.12

Вид изоляции	Диаметр жил, d_0, мм	Максимальная длина линий, км, из кабеля типа	
		Т	ТП
Воздушно-бумажная	0,5	3,5	—
Воздушно-бумажная	0,7	5,8	—
Пористо-бумажная	0,5	3,1	—
Сплошная, полиэтиленовая	0,4	—	2,4
	0,5	—	3,1
	0,7	—	5,4

В аппаратуре предусмотрена ступенчатая регулировка остаточного затухания на абонентских линиях разной длины, которая производится коммутацией удлинителей с затуханием 10,4; 5,2 и 2,6 дБ.

Высокочастотный абонентский блок (ВЧ-А) выполнен в виде отдельного закрытого блока в пластмассовом корпусе размером 270×180×60 мм и устанавливается на стене в непосредственной близости от телефонного аппарата. Низкочастотный блок (НЧ-А) конструктивно объединен с безобрывной розеткой и выполняется конструктивно в пластмассовом корпусе размерами 90×60××31 мм.

Блок станционных комплектов (БСПК) представляет собой конструкцию коробчатого поворотного типа с размерами 440×251×205 мм, предназначенный для установки на стативе СПК или стене. Статив станционных комплектов (СПК) предназначен для размещения до восьми блоков БСПК.

Кроме того, в составе оборудования имеется блок батарей (ББ) — источник резервного питания в случае пропадания напряжения сети.

ГЛАВА 9

СОВМЕЩЕНИЕ ЦЕПЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНОЙ И АНАЛОГОВОЙ ИНФОРМАЦИИ В КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЯХ ГТС

◆

9.1. ПАРАМЕТРЫ СИГНАЛОВ ДИСКРЕТНОЙ И АНАЛОГОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

В зависимости от вида передаваемых сигналов сети передачи информации строятся по двум принципам: телефонному (ПДИ-ТФ) или телеграфному (ПДИ-ТГ). В сети телефонного типа дискретная информация передается сигналами переменного тока с частотной, фазовой и амплитудной модуляцией. В сети телеграфного типа информация передается сигналами постоянного тока различной формы.

Параметры сигналов, передаваемых аппаратурой ПД и факсимильной связи, работающей по телефонному принципу приведены соответственно в табл. 9.1 и 9.2. В табл. 9.3 приведены параметры сигналов аппаратуры передачи дискретной информации, работающей по телеграфному принципу. Для систем телемеханики используются: сигналы постоянного тока с напряжением 0,6; 1,2; 2,4; 4,8; 6; 12; 24; 48; 60; 120 В и длительностью импульсов, опре-

Таблица 9.1

Вид сигнала	Напряжение сигнала, В	Несущая частота, Гц	Девиация, Гц	Фаза, град.	Скорость передачи, Бод
Частотномодулированный	0,3—0,775	1080	±100	—	200
		1750	±100	—	200
		1500	±200	—	600
		1700	±400	—	1200
		470	±30	—	75
Многочастотный	0,3—0,775 (суммарное напряжение)	Группа А — 920, 1000, 1080, 1160; группа В — 1320, 1400, 1480, 1560; группа С — 1720, 1800, 1880, 1960	—	—	40
Фазомодулированный	0,3—0,775	1800	—	90	2400
		1800	—	180	2400
		1500	—	90	1200
		1500	—	180	1200

Таблица 9.2

Вид сигнала	Напряжение сигнала, В	Несущая частота, Гц	Девиация, Гц	Скорость, строк/мин
Частотномодулированный	0,05—0,775	1900	±400	120
		1700	±400	120
		2700	±400	240
		3000	±700	240
Амплитудномодулированный	0,15—0,775	1500	—	60
		1900	—	120
		2800	—	90
				120
				250

Таблица 9.3

Вид сигнала	Напряжение сигнала, В	Скорость передачи, Бод	Примечание
Однополярные импульсы постоянного тока	80 — 120	50	
Двухполярные импульсы постоянного тока	20, 60	50	
	10	100	
	0,3; 0,7	1200, 2400	
Импульсы телеграфной аппаратуры ДАТА:			
трехканальной	Не более 0,775	50, 100	По каждому каналу
		2400	Групповая скорость
шестиканальной	Не более 0,775	50, 100, 200	По каждому каналу
		4800	Групповая скорость
Импульсы телеграфной аппаратуры АГАТ	6	50, 100, 200	
Импульсы аппаратуры абонентского телеграфирования	20	100	
	10	100	
	10	200	

деляемой рядом $(1, 2, 4, 6, 8) \cdot 10^n$ с, где n — любое целое положительное или отрицательное число, а также сигналы переменного тока с напряжением 0,6; 1,2; 4,8; 6; 12; 24 В и несущей частотой от 300 до 3400 Гц.

9.2. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВЗАИМНЫХ ВЛИЯНИЙ МЕЖДУ ЦЕПЯМИ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНОЙ И АНАЛОГОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Совмещение цепей передачи дискретной и аналоговой информации в кабельных линиях возможно при условии отсутствия взаимных помех и обеспечения качества передачи, удовлетворяющего требованиям ЕАСС. В соответствии с нормами ЕАСС средняя величина мощности псофометрических шумов на выходе аппаратуры коммутации и физических цепей ГТС не должна быть более 100 пВт (0,245 мВ) для абонентских и 500 пВт (0,55 мВ) соединительных линий.

Исследованием шумов в низкочастотных кабельных линиях ГТС (см. гл. 7) установлено, что средняя величина напряжения помех, измеренная псофометром с фильтром МККТТ, составляет 0,14 на абонентской и 0,46 мВ на соединительной линиях.

Критерием оценки влияния цепей передачи дискретной информации на телефонные цепи является величина напряжения помех, которая может быть наведена только цепями ПДИ и составляет 0,2 для абонентской и 0,3 мВ для соединительной линий.

В качестве критерия, определяющего степень влияния цепей передачи различного вида информации на цепи передачи данных, может быть принято напряжение невзвешенных шумов, измеренное прибором со среднеквадратичной характеристикой детектирования и временем интеграции 200 мс в полосе частот 0,3—3,4 кГц. Согласно существующим нормам на коммутируемые сети средняя величина мощности невзвешенных шумов не должна быть более 200 пВт (0,347 мВ) для абонентских и 1000 пВт (0,775 мВ) для соединительных линий.

Среднее значение напряжения невзвешенных шумов в цепях кабельных линий ГТС, как следует из результатов статистических исследований помех, составляет 0,18 на абонентской и 0,59 мВ на соединительной линиях. Допустимое напряжение невзвешенных шумов в цепях передачи данных, наведенных другими цепями ПДИ данного кабеля, равно 0,29 для абонентской и 0,5 мВ для соединительной линий.

Величины невзвешенных шумов не снижают верности передачи дискретной информации по физическим цепям кабельных линий ГТС, предусмотренной техническими условиями на аппаратуру ПДИ.

9.3. УСЛОВИЯ СОВМЕЩЕНИЯ ЦЕПЕЙ ДИСКРЕТНОЙ И АНАЛОГОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Условия совмещения передачи дискретной и аналоговой информации определяются допустимыми величинами напряжения псофометрических помех и невзвешенных шумов, которые могут быть

наведены в телефонных цепях и цепях ПД телефонного типа цепями дискретной информации. Во избежание перегрузки групповых и линейных трактов систем передачи выходные уровни сигналов аппаратуры дискретной информации, использующей АМ, ФМ и ЧМ модуляцию, регламентируются допустимой величиной средней мощности сигнала в канале ВЧ аппаратуры в точке с нулевым относительным уровнем (табл. 9.4).

Таблица 9.4

Вид дискретной информации	Мощность сигнала в точке подключения к					
	ВЧ аппаратуре		кроссу АТС		АЛ	
	мкВт	В	мкВт	В	мкВт	В
Передача данных	50	0,170	185	0,33	500	0,550
Факсимильная связь:						
АМ	360	0,465	1320	0,89	3590	1,450
ЧМ	100	0,245	367	0,47	997	0,773

По степени влияния цепи дискретной информации делятся на цепи с сигналами низкого уровня (НУ), влияние которых мало отличается от влияния телефонных цепей, и цепи с сигналами высокого уровня (ВУ), влияние которых превосходит величины влияний между телефонными цепями. Цепи с сигналами НУ, как правило, не требуют отбора пар в кабеле по переходному затуханию, однако количество этих цепей может быть ограничено.

К сигналам НУ следует отнести ЧМ, ФМ, АМ, многочастотные сигналы и импульсы постоянного тока с напряжением не более 0,5 В, импульсы телеграфной аппаратуры АГАТ, приведенные в табл. 9.1—9.3. Сигналами ВУ следует считать сигналы существующей телеграфной аппаратуры, работающей импульсами постоянного тока однополярными с напряжением 0—120 В и двухполярными с напряжением ± 60 и ± 20 В при скорости передачи 50 Бод, сигналы телеграфной аппаратуры ДАТА и ЧМ, ФМ, АМ сигналы, применяемые при передаче данных, факсимильной связи и телемеханики, с напряжением более 0,5 В.

Параметры сигналов НУ выбираются таким образом, чтобы при влиянии цепей дискретной информации напряжение псофометрических помех в цепи, подверженной влиянию, с вероятностью 0,997 не превышало приведенных выше нормированных значений допустимого напряжения помех. Передача сигналов ВУ требует отбора пар с повышенным переходным затуханием на ближнем конце на частоте 800 Гц. Количество пар и параметры сигналов при этом строго регламентируются.

Суммарное напряжение помех, наводимых в телефонных цепях от влияния n фиксированных цепей ВУ дискретной информации,

по которым передаются сигналы с различными параметрами, определяется выражением

$$U_{п\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^{K} U_i^2 n},$$

где K — общее количество систем передачи дискретной информации; U_i — напряжение помех от влияния одной цепи; n — число активных цепей.

9.4. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕЛЕФОННЫХ ЦЕПЕЙ КАБЕЛЕЙ ГТС ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДИСКРЕТНОЙ И АНАЛОГОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

По абонентским и соединительным линиям ГТС могут передаваться сигналы различного назначения. Возможность совмещения цепей дискретной и аналоговой информации определяется условиями электромагнитной совместимости: нормированными значениями псофометрических и невзвешенных шумов, электрическими характеристиками цепей кабельных линий. Ниже приводятся основные положения по использованию кабелей ГТС для передачи сигналов ПД, телеграфирования, факсимильной связи и телемеханики:

1. Для передачи данных, сигналов телеграфирования, телемеханики, факсимильной связи должны предоставляться пары, удовлетворяющие нормам по постоянному току, предъявляемым к телефонным цепям.

2. Передача дискретной информации может осуществляться по кабельным линиям городской телефонной сети путем использования выделенных или коммутируемых симметричных телефонных цепей.

3. Аппаратура передачи дискретной информации должна иметь симметричный выход.

4. Передача сигналов дискретной информации НУ может осуществляться по цепям кабелей СЛ и абонентской сети, удовлетворяющим нормам телефонной сети по переходному затуханию на ближнем конце при частоте 800 Гц ($A_0 \geqslant 69{,}5$ дБ), однако количество цепей ПДИ ограничивается.

5. Передача сигналов дискретной информации ВУ должна осуществляться по выделенным цепям с повышенным переходным затуханием на ближнем конце при частоте 800 Гц.

6. Для соблюдения режимов работы аппаратуры дискретной информации регуляторы передачи в оконечной абонентской аппаратуре должны быть опломбированы.

В кроссе АТС должна быть установлена аппаратура контроля параметров сигналов дискретной инфрмации.

7. Передача дискретной информации по телефонному принципу может быть организована как по местной сети, так и с выходом на междугородную телефонную станцию (МТС). Информация при

этом передается переменным током, например, сигналами с АМ, ЧМ, ФМ и многочастотными сигналами (см. табл. 9.1).

8. При организации связи по физическим цепям местной сети (без выхода на МТС) максимальные уровни сигналов дискретной информации в точке подключения цепей к абонентской линии не должны превышать 0 дБ.

9. Передача дискретной информации по абонентской линии осуществляется:

сигналами высокого уровня, приведенными в табл. 9.1, с напряжением 0,775 В. При этом должны предоставляться цепи с переходным затуханием $A_0 \geqslant 87{,}0$ дБ, количество которых не ограничивается;

сигналами низкого уровня, приведенными в табл. 9.1, с напряжением 0,5 В и ниже. При этом могут быть использованы любые цепи с переходным затуханием $A_0 \geqslant 69{,}5$ дБ без отбора. Количество предоставляемых цепей не должно превышать: 55 для кабелей 600×2; 50 для кабелей 400×2 и 35 для кабелей 100×2;

сигналами факсимальной аппаратуры «Штрих» с напряжением 0,245 В и ниже. При этом могут быть использованы любые пары с переходным затуханием $A_0 \geqslant 69{,}5$ дБ.

10. Передача дискретной информации по соединительным линиям осуществляется сигналами НУ и ВУ (см. табл. 9.1) по любым цепям с переходным затуханием $A_0 \geqslant 69{,}5$ дБ. Количество цепей не ограничивается.

11. Передача дискретной информации по телеграфному принципу осуществляется по выделенным цепям кабельных линий городской телефонной сети.

12. Передача дискретной информации телеграфными сигналами высокого уровня по абонентской линии осуществляется сигналами постоянного тока с напряжением;

0—120 В и ±60 В при скорости передачи 50 Бод по цепям с переходным затуханием $A_0 \geqslant 95{,}5$ дБ;

0—20 В и ±10 В при скорости передачи 100 Бод по цепям с $A_0 \geqslant 87{,}0$ дБ;

±20 В при скорости передачи 100 Бод по цепям с $A_0 \geqslant 87{,}0$ дБ;

±10 В при скорости передачи 200 Бод по цепям с $A_0 \geqslant 87{,}0$ дБ;

±0,7 В при скорости передачи 1200 Бод по цепям с $A_0 \geqslant 78{,}2$ дБ.

13. Передача дискретной информации по соединительной линии осуществляется сигналами постоянного тока с напряжением:

0—120 В и ±60 В при скорости передачи 50 Бод по цепям с $A_0 \geqslant 87{,}0$ дБ;

0—20 В и ±10 В при скорости передачи 100 Бод с $A_0 \geqslant 78{,}2$ дБ;

±20 В при скорости передачи 100 Бод по цепям с $A_0 \geqslant 78{,}2$ дБ;

±10 В при скорости передачи 200 Бод по цепям с $A_0 \geqslant 78{,}2$ дБ.

±0,7 В при скорости передачи 1200 и 2400 Бод по цепям с $A_0 \geqslant 69{,}5$ дБ.

14. Количество цепей, предоставляемых на абонентской и соединительной линиях для всех видов сигналов постоянного тока в соответствии с пп. 12 и 13, определяется по табл. 9.5.

Таблица 9.5

Количество цепей в кабеле ГТС	Цепи ПДИ-ТГ в линии		Количество цепей в кабеле ГТС	Цепи ПДИ-ТГ в линии	
	соединительной	абонентской		соединительной	абонентской
50	4	2	400	25	20
100	8	5	500	36	23
200	15	7	600	36	23
300	20	10	1200	36	23

Примечание. Рекомендации, приведенные в табл. 9.5, следует считать временными, поскольку предусматривается замена существующей телеграфной аппаратуры, работающей сигналами постоянного тока с напряжением 60 В, аппаратурой АГАТ и каналообразующей аппаратурой, не оказывающей влияние на соседние цепи кабелей ГТС.

15. Количество цепей с переходным затуханием не менее 69,5 дБ на частоте 800 Гц, предоставляемых для аппаратуры ДАТА, при напряжении выходного сигнала не более 0,65 В на соединительной линии не должно быть более: 20 для кабелей 600×2; 15 для кабелей 400×2 и 4 для кабелей 100×2.

16. Аппаратура ДАТА на абонентском участке может работать без ограничения числа цепей при переходном затухании между цепями 78,2 дБ.

17. Передача дискретной информации телеграфного типа сигналами НУ осуществляется по цепям кабельных линий ГТС, удовлетворяющим требованиям, предъявляемым к телефонным цепям без отбора пар;

количество цепей, предоставляемых для аппаратуры АГАТ при напряжении выходного сигнала не более 6,0 В и скорости передачи 50, 100 и 200 Бод, на абонентском участке и соединительных линиях не ограничивается;

передача сигналов от аппаратуры ПД со скоростью 1200 Бод и напряжением 0,3 В и ниже может осуществляться по любым парам с переходным затуханием A_0 не менее 69,5 дБ; количество цепей не ограничивается;

передача сигналов от аппаратуры ПД со скоростью 2400 Бод и напряжением 0,3 В и ниже может осуществляться по любым парам с $A_0 = 69{,}5$ дБ; количество цепей не ограничивается.

18. Передача сигналов телемеханика с параметрами, приведенными в табл. 9.1 и 9.2, осуществляется в соответствии с пп. 7—14.

19. Возможность передачи дискретной информации сигналами, отличными от приведенных в табл. 9.1 и 9.2, определяется расчетным путем [2].

ГЛАВА 10

ВЛИЯНИЕ ЛИНИЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

◆

10.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИНИЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Любые линии высокого напряжения (ЛВН) при прохождении по ним переменного тока создают в пространстве вокруг себя переменное электромагнитное поле. Линии связи (ЛС), находящиеся в зоне влияния этого поля, подвержены индуктивному влиянию: электрическому и магнитному. Электрическое влияние возникает под действием электрического поля и определяется наличием во влияющих проводах переменного электрического напряжения. Электрическое влияние проявляется только на проводах воздушных линий; кабельные же линии не подвержены этому влиянию из-за наличия в них металлических покровов. Магнитное влияние обусловлено воздействием магнитного поля и определяется наличием во влияющих проводах переменного электрического тока.

Наряду с индуктивным воздействием линии высокого напряжения оказывают на линии связи гальваническое влияние, которое возникает в результате прохождения влияющего тока в земле и проявляется только на однопроводных цепях связи, обратным проводом которых служит земля. Гальваническое влияние на кабельные линии, в которых практически отсутствуют однопроводные цепи, не является определяющим и может рассматриваться в основном с точки зрения изменения магнитного влияния за счет появления дополнительного тока в металлических покровах кабеля при их заземлении.

По степени и характеру индуктивные взаимодействия ЛВН на ЛС делятся на опасные влияния, в результате которых создается опасность для обслуживающего персонала, абонентов ЛС, а также для аппаратуры и кабелей, включенных в нее, и на мешающие, в результате которых в ЛС появляются помехи, нарушающие или ухудшающие качество связи. При магнитном влиянии ЛВН на кабельные линии определяющим является опасное влияние, создаваемое током основной промышленной частоты 50 Гц.

Линии высокого напряжения, проходящие в городах и населенных пунктах, можно разделить на две группы: линии электропередач (ЛЭП) и контактные сети электрифицированных железных дорог (эл. ж. д.).

В СССР для передачи электроэнергии от мест производства до мест потребления в основном применяют трехфазный переменный ток напряжением от 3 до 500 кВ. В будущем предполагается увеличить напряжение ЛЭП до 1200 кВ. Номинальное напряжение линии электропередачи выбирается в зависимости от ее длины и передаваемой мощности. Линии передачи электроэнергии строят воздушными и кабельными.

Воздушные линии выполняются голыми проводами, подвешенными на изоляторах, смонтированных на опорах. При рассмотрении влияния воздушных ЛЭП на кабельные линии связи существующие профили (расположение проводов на опорах) могут быть сведены к трем видам: 1) горизонтальному; 2) вертикальному; 3) треугольному.

Все металлические опоры ЛЭП в городах соединены грозозащитными стальными тросами, заземленными на каждой опоре. Наличие тросов снижает влияние ЛЭП, степень которого зависит от сопротивления тросов постоянному току.

Подземные линии выполняются высоковольтными кабелями (рабочее напряжение от 3,3 до 500 кВ), прокладываемыми в канализации или непосредственно в земле. Несмотря на обычно тесное сближение этих линий с линиями связи, влияние их благодаря эффекту экранирования оболочек значительно меньше, чем воздушных ЛЭП.

Линии электропередач переменного тока могут работать по симметричной и несимметричной системам. При работе в несимметричном режиме (неполнофазном симметричных линий и нормальном полностью несимметричных линий, использующих землю в качестве одного из проводов), а также аварийном режиме — короткого замыкания эти линии оказывают опасное влияние на ЛС.

В последнем случае величина влияния зависит от расположения ЛС относительно (высоковольтной) подстанции, а также относительно места короткого замыкания.

Линиями электропередач, оказывающими основное влияние в населенных пунктах, являются воздушные ЛЭП с напряжением свыше 35 кВ. В большинстве случаев эти линии присоединяются к трансформаторам, нейтраль которых соединена с землей через малое сопротивление (отсюда их название — «ЛЭП с заземленной нейтралью»).

Основными требованиями, предъявляемыми к ЛЭП в городах и населенных пунктах, являются:

повышенная механическая прочность (больший коэффициент прочности проводов, гирлянд и опор);

повышенная электрическая защита, в частности запрещается даже частичное разземление грозозащитного троса;

сопротивление заземления в черте городов не должно превышать 10 Ом, в то время как обычно допускается до 30 Ом;

более жесткое соблюдение полосы отчуждения, равной 50 м.

При рассмотрении влияния ЛЭП на кабельные линии городов и населенных пунктов необходимо учитывать, что из-за ограниченности возможных трасс обычно по одному направлению (параллельно) проходит несколько ЛЭП, которые оказывают взаимное экранирующее действие.

Вторая группа ЛВН, встречающаяся в городах, — эл. ж. д. переменного однофазного тока промышленной частоты, имеющие существенные технико-экономические преимущества перед систе-

мой постоянного тока. Начиная с 1954 г. они широко внедряются в Советском Союзе. При этой системе напряжение в контактной сети повышается до 25 кВ (вместо 3 кВ на постоянном токе), что позволяет увеличить расстояние между тяговыми подстанциями, уменьшить сечение проводов контактной сети, а следовательно, снизить расход меди.

Наряду с этим эл. ж. д. переменного тока обладают существенным недостатком, заключающимся в значительном индуктивном и гальваническом воздействии на близлежащие линии связи. Тяговые сети эл. ж. д. переменного тока, являющиеся полностью несимметричной разновидностью линий высокого напряжения, создают значительное опасное влияние основной гармоники (50 Гц).

При работе этих сетей, как правило, применяется двустороннее питание контактной сети, однако в случае аварийного выхода из строя одной из тяговых подстанций возможен переход на одностороннее питание с участком питания, равным расстоянию между тяговыми подстанциями (вынужденный режим).

При нормальном режиме работы контактной сети (двустороннем питании) опасные напряжения незначительны, так как при равномерной нагрузке токи смежных участков тяговой сети, сдвинутые на 180°, создают взаимокомпенсирующие электромагнитные поля.

В случае вынужденного или нормального режима с односторонним питанием (консольный режим) контактной сети при всех прочих равных условиях нагрузочные токи несколько больше, чем в нормальном режиме с двусторонним питанием, что соответственно приводит к увеличению влияния.

Таким образом, вынужденный или подобный ему нормальный режим с односторонним питанием является наиболее неблагоприятным рабочим режимом влияния на ЛС тяговой сети эл. ж. д.

Однако эти положения верны тогда, когда длина ЛС, подверженной влиянию, соизмерима с длиной межподстанционной (фидерной) зоны или больше ее, что для ГТС в большинстве случаев не имеет места. Если длина ЛС значительно меньше длины фидерной зоны, что характерно для ГТС, то эти условия выполняются только при расположении ЛС в середине (токоразделе) фидерной зоны, что является также редким случаем. При всех остальных вариантах расположения ЛС относительно фидерной зоны среднее значение влияющего тока в нормальном режиме двустороннего питания незначительно отличается от величины этого тока в вынужденном режиме работы контактной сети, который к тому же по времени несоизмерим с нормальным.

Как известно [5], наводимые опасные напряжения прямо пропорциональны эквивалентному току $I_{эк}$, который, в свою очередь, равен

$$I_{эк} = \frac{2\Delta U}{(m+1)(R_{тс}\cos\varphi + X_{тс}\sin\varphi)\, l_{п}}\left[1+(m-1)\left(1-\frac{2l_{н}+l_{с}}{2\,l_{п}}\right)\right]. \quad (10.1)$$

где ΔU — падение напряжения в тяговой сети на участке питания;

$R_{т.с}$, $X_{т.с}$, φ — параметры тяговой сети; m — число электровозов на участке питания; $l_с$, $l_п$, $l_н$ — соответственно длины участков сближения, питания и расстояние от тяговой подстанции до начала участка сближения.

Отношение напряжений, наводимых при вынужденном и нормальном режимах при равномерном распределении электровозов в фидерной зоне и равенстве секционных зон, равно

$$\frac{U_в}{U_н} = \frac{\Delta U_в [4m(m+1) l_п - (2m-1)(m+1)(l_н + l_с/2)]}{4\Delta U_н [m(2m+1) l_п - (2m+1)(m-1)(l_н + l_с/2)]}.$$

Учитывая, что номинальное напряжение в начале участка питания (фидерной зоны) равно 27,5 кВ, а допустимые минимальные напряжения в конце этого участка для вынужденного и нормального режимов соответственно равны 19 и 21 кВ, условия, при которых влияние в нормальном режиме работы больше, чем в вынужденном, определяется из неравенства

$$\frac{4m(m+1) l_п - (2m-1)(m+1)(l_п + l_с/2)}{3{,}06[(2m+1) m l_п - (2m+1)(m-1)(l_н + l_с/2)]} \leqslant 1, \quad \text{откуда}$$

$$l_н + l_с/2 \leqslant l_п [(2{,}12\, m^2 - 0{,}94\, m)/(4{,}12\, m^2 - 4{,}06\, m - 2{,}06)] \quad \text{или}$$

$$l_н + l_с/2 \leqslant l_п M. \qquad (10.2)$$

На рис. 10.1 приведена зависимость коэффициента M от числа электровозов m. Как видно из рисунка, величина M всегда несколько больше 1/2, а при малом количестве электровозов увеличивается до 1. Исходя из этого, неравенство (10.2) можно записать как $l_н + l_с/2 \leqslant l_п/2$ или для малого количества электровозов (до пяти в фидерной зоне) $l_н + l_с/2 \leqslant l_п$.

Эти неравенства показывают, что во всех случаях, когда как минимум половина участка сближения находится в ближайшей к тяговой подстанции четверти фидерной зоны, в нормальном режиме влияние может оказаться больше, чем в вынужденном режиме.

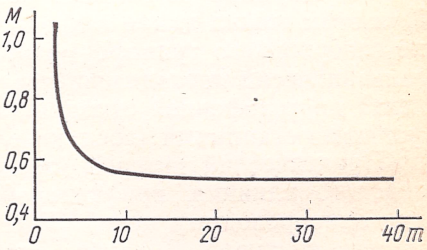


Рис. 10.1. Зависимость коэффициента M от числа электровозов m

Такое положение будет также иметь место при любой длине участка сближения, непревышающего длину секционной зоны, в случае если участок сближения начинается у тяговой подстанции ($l_н = 0$).

На основании изложенного для условий городских телефонных сетей следует считать основным влияющим режимом — нормальный, тем более, что при этом режиме количество электровозов, находящихся одновременно в фидерной зоне, не ограничено.

Кроме того, необходимо учитывать, что значительное влияние возникает при аварийном режиме (коротком замыкании), который

в схемном отношении равноценен вынужденному и характеризуется односторонним питанием.

Величины токов короткого замыкания зависят от расстояния между тяговой подстанцией и местом замыкания, поэтому при определении величины влияния этих токов весьма существенным является удаление ЛС от подстанции. Следовательно, во всех случаях определения величины влияния контактной сети эл. ж. д. на кабельные линии ГТС принципиальное значение имеет расположение линии связи в фидерной зоне относительно тяговой подстанции.

При рассмотрении влияния эл. ж. д. на ЛС существенное значение имеет также экранизирующее действие, оказываемое рельсовыми цепями и зависящее от электропроводности этих цепей. Необходимо учитывать, что на станциях и прилегающих участках эл. ж. д. характеризуются разветвленной сетью рельсовых путей (многопутьем), при которой эффект экранирования значительно отличается от однопутевых и даже двухпутевых участков.

10.2. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОПАСНОГО (ОДНОПРОВОДНОГО) ВЛИЯНИЯ

Опасные влияния создаются линиями высокого напряжения промышленной частоты в частично или полностью несимметричных рабочих и аварийных режимах. Величина опасных влияний зависит от взаимного расположения влияющей и подверженной влиянию линий: длины и ширины сближения. Длиной сближения называется длина участка, на котором происходит сближение этих линий; шириной сближения называется расстояние между ними. При этом важна длина гальванически неразделенного участка ЛС, не содержащего трансформаторов, усилителей, фильтров. На ГТС гальванически неразделенными участками являются линии от абонента до телефонной станции (абонентские линии) и между телефонными станциями (соединительные линии).

Практический интерес представляет количественная оценка опасного влияния, при которой рассматривается взаимное влияние однопроводных цепей ЛВН и ЛС, т. е. двух индуктивно связанных контуров. В данном случае на основании закона электромагнитной индукции при коэффициенте взаимной индукции M, Г/км, и длине сближения l, км, получаем $\dot{E} = -i\omega M\dot{I}l$, где $\dot{E}$ — продольная ЭДС; $\dot{I}$ — влияющий ток; $\omega = 2\pi f$ — круговая частота; f — частота.

При определении степени опасного влияния на линиях связи, подверженных индуктивному влиянию ЛВН, интерес, однако, представляет не продольная ЭДС, а напряжение на ЛС по отношению к земле, зависящее от этой ЭДС и состояния линии связи.

Для определения величины влияния ЛВН на кабельные линии ГТС [12] рассматриваются два индуктивно связанных контура, обладающих собственными параметрами и параметрами взаимосвязи (рис. 10.2*а*).

Если выделить в однопроводной цепи, подверженной влиянию, бесконечно малый отрезок dx, то, учитывая только магнитную связь в установившемся режиме и несоизмеримость влияющих и наведенных токов, т. е. практическое отсутствие обратного влия-

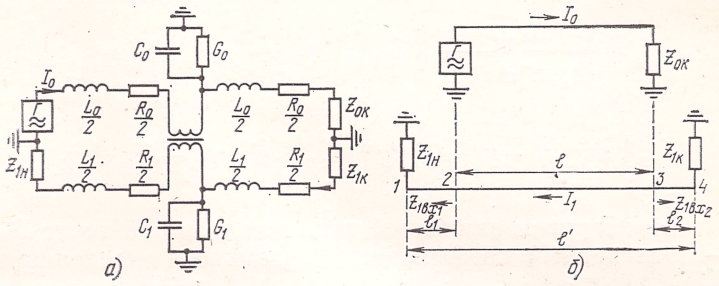


Рис. 10.2. Схемы влияния линий высокого напряжения на линии связи

ния, получим следующие зависимости тока и напряжения в кабельной цепи ЛС:

$$u_1 - (u_1 + du_1) = R_1 i_1 dx + L_1 \frac{\partial i_1}{\partial t} dx + R_{01} i_0 dx + L_{01} \frac{\partial i_0}{\partial t} dx,$$

$$i_1 - (i_1 + di_1) = G_1 u_1 dx + C_1 \frac{\partial u_1}{\partial t} dx,$$

где u и i — мгновенные значения напряжения и тока; R, L, C, G — первичные параметры цепи соответственно: сопротивление, индуктивность, емкость, проводимость; 0 — индекс влияющей цепи; 1 — индекс цепи, подверженной влиянию; 01 — индекс взаимосвязи.

Решив эти уравнения, получим значения напряжения и тока в любой точке подверженной влиянию линии:

$$U_1 = Z_{01}\left[\frac{1}{Z_{1в} Z_п \operatorname{sh}\gamma_1 l}\left(Z_{1в}\int_0^l \operatorname{ch}\gamma_1 (l-y)\, I_0(y)\, dy + \right.\right.$$

$$\left. + Z_{1к}\int_0^l \operatorname{sh}\gamma_1 (l-y)\, I_0(y)\, dy\right)(Z_{1н}\operatorname{ch}\gamma_1 x + Z_{1в}\operatorname{sh}\gamma_1 x) -$$

$$\left. - \int_0^x \operatorname{ch}\gamma_1 (x-y)\, I_0(y)\, dy\right];$$

$$I_1 = -\frac{Z_{01}}{Z_{1в}}\left[\frac{1}{Z_{1в} Z_п \operatorname{sh}\gamma_1 l}\left(Z_{1в}\int_0^l \operatorname{ch}\gamma_1 (l-y)\, I_0(y)\, dy + Z_{1к}\int_0^l \operatorname{sh}\gamma_1 (l-\right.\right.$$

$$\left.\left. -y)\, I_0(y)\, dy\right)(Z_{1в}\operatorname{ch}\gamma_1 x + Z_{1н}\operatorname{sh}\gamma_1 x) - \int_0^x \operatorname{sh}\gamma_1 (x-y)\, I_0(y)\, dy\right].$$

Эти выражения определяют напряжение и ток в цепи, когда длина подверженной влиянию линии равна длине участка сближения. Однако возможны случаи, когда ЛС имеет участки, не подверженные влиянию (*1—2* и *3—4* рис. 10.2*б*). Напряжение в начале такой цепи (точка *1*)

$$U^*_{1н}=\frac{Z_{0i}}{Z_{iв}Z^*_{п}\operatorname{sh}\gamma_1 l}\left(Z_{1в}\int_0^l \operatorname{ch}\gamma_1(l-y)\,I_0(y)\,dy+\right.$$

$$\left.+Z_{1вх\,2}\int_0^l \operatorname{sh}\gamma_1(l-y)\,I_0(y)\,dy\right)(Z_{1\,вх\,1}\operatorname{ch}\gamma_1 l_1-Z_{1в}\operatorname{sh}\gamma_1 l_1).$$

С учетом нагрузки влияющей цепи ток в любой точке $I_0=I_{0н}p$, где p — приведенный коэффициент отражения, определяемый по формуле $p=\left(e^{-\gamma_0 x}-p_к e^{\gamma_0(x-2l)}\right)/\left(1-p_н p_к e^{-2\gamma_0 l}\right)$.

Следовательно, при согласованной нагрузке влияющей цепи, когда $p=l^{-\gamma_0 x}$, напряжение в начале цепи, подверженной влиянию по всей длине, будет равно

$$U_{1н}=\frac{Z_{0i}Z_{iн}I_{0н}}{Z_{iв}Z_{п}\operatorname{sh}\gamma_i l}\left[\frac{Z_{iв}}{2}\left(\frac{e^{-\gamma_0 l}-e^{-\gamma_i l}}{\gamma_i-\gamma_0}-\frac{e^{-\gamma_0 l}-e^{\gamma_i l}}{\gamma_i+\gamma_0}\right)+\right.$$

$$\left.+\frac{Z_{iк}}{2}\left(\frac{e^{-\gamma_i l}-e^{-\gamma_0 l}}{\gamma_i-\gamma_0}+\frac{e^{\gamma_i l}-e^{-\gamma_0 l}}{\gamma_i+\gamma_0}\right)\right].$$

При наличии не подверженных влиянию участков

$$U^*_{1н}=\frac{Z_{0i}I_{0\,н}}{Z_{iв}Z^*_{п}\operatorname{sh}\gamma_i l}\left[\frac{Z_{iв}}{2}\left(\frac{e^{-\gamma_0 l}-e^{-\gamma_i l}}{\gamma_i-\gamma_0}-\frac{e^{-\gamma_0 l}-e^{\gamma_i l}}{\gamma_i+\gamma_0}\right)+\right.$$

$$\left.+\frac{Z_{i\,вх\,2}}{2}\left(\frac{e^{-\gamma_i l}-e^{-\gamma_0 l}}{\gamma_i-\gamma_0}+\frac{e^{\gamma_i l}-e^{-\gamma_0 l}}{\gamma_i+\gamma_0}\right)\right](Z_{1\,вх\,1}\operatorname{ch}\gamma_1 l_1-Z_{1в}\operatorname{sh}\gamma_1 l_1).$$

Принимая [1] величину влияющего тока постоянной по всей длине линии ($\gamma_0=0$), получаем

$$U_{1н}=\frac{Z_{0i}Z_{iн}I_0}{Z_{iв}Z_{п}\gamma_1}\left(Z_{1в}+Z_{1к}\operatorname{th}\frac{\gamma_1 l}{2}\right);$$

$$U^*_{1н}=\frac{Z_{0i}I_0}{Z_{iв}Z^*_{п}\gamma_1}\left(Z_{1в}+Z_{1\,вх\,2}\operatorname{th}\frac{\gamma_1 l}{2}\right)(Z_{1\,вх\,1}\operatorname{ch}\gamma_1 l_1-Z_{1\,в}\operatorname{sh}\gamma_1 l_1),$$

где $Z_{п}=(Z_{1н}+Z_{1к})\operatorname{cth}\gamma_1 l+Z_{1в}+\dfrac{Z_{iн}+Z_{iк}}{Z_{iв}}$,

$Z^*_{п}=(Z_{1вхi}+Z_{1вх2})\operatorname{cth}\gamma_1 l+Z_{1в}+\dfrac{Z_{1вхi}+Z_{1вх2}}{Z_{1в}}$.

Далее целесообразно рассмотреть, чему равны напряжения в начале цепи при различных значениях нагрузки в линии, подверженной влиянию. После преобразования с учетом того, что $\gamma_1\dfrac{l}{2}\ll 1$ (длина сближения меньше 40 км), получаем выражения табл. 10.1.

Таблица 10.1

$Z_{1н}$	$Z_{1к}$	$U_{1н}$	$U^*_{1н}$	$\sum_1^n U^*_{1нi}$
∞	∞	$\frac{\omega M I l}{2} = \frac{E}{2}$	$\frac{\omega MI}{\gamma_1} \cdot \frac{2\mathrm{sh}\gamma_1 \frac{l}{2} \mathrm{sh}\gamma_1 \left(l_2 + \frac{l}{2}\right)}{\mathrm{sh}\,\gamma_1 l_0}$	$\frac{2\omega}{\gamma_1 \mathrm{sh}\gamma_1 l_0} \sum_1^n M_i I_i \,\mathrm{sh}\,\gamma_1 \times \times \frac{l_i}{2} \,\mathrm{sh}\,\gamma_1 \left(l_{2i} + \frac{l_i}{2}\right)$
∞	0	$\omega M I l = E$	$\frac{\omega MI}{\gamma_1} \cdot \frac{2\mathrm{sh}\gamma_1 \frac{l}{2} \mathrm{ch}\gamma_1 \left(l_2 + \frac{l}{2}\right)}{\mathrm{ch}\,\gamma_1 l_0}$	$\frac{2\omega}{\gamma_1 \mathrm{ch}\gamma_1 l_0} \sum_1^n M_i I_i \,\mathrm{sh}\,\gamma_1 \times \times \frac{l_i}{2} \,\mathrm{ch}\,\gamma_1 \left(l_{2i} + \frac{l_i}{2}\right)$
$Z_{1в}$	$Z_{1в}$	$\frac{\omega MI}{2\gamma_1} (1 - e^{-\gamma_1 l})$	$\frac{\omega MI}{2\gamma_1} e^{-\gamma_1 l_1} (1 - e^{-\gamma_1 l})$	$\frac{\omega}{2\gamma_1} \sum_1^n M_i I_i e^{\gamma_1 l_{1i}} \times \times \left(1 - e^{-\gamma_1 l_i}\right)$

Формулы табл. 10.1 относятся к отдельно взятым участкам сближения. Обычно имеет место сложная трасса с несколькими участками сближения, находящимися в различных условиях. В этом случае необходимо суммировать напряжения, наводимое на отдельных участках с учетом места их расположения.

Формулы, определяющие напряжения, наводимые на линии связи при сложной трассе сближения (n участков), также приведены в табл. 10.1. Из таблицы видно, что при отсутствии участков, не подверженных влиянию, т. е. $l_1 = l_2 = 0$, выражения для $U^*_{1н}$ упрощаются и становятся равными $U_{1н}$.

При изоляции провода на концах подверженного влиянию участка в нем возникают напряжения по отношению к земле, равные половине индуктированной продольной ЭДС. Это равенство справедливо при частоте тока 50 Гц и длине кабельной линии до 40 км. При других условиях начинают сказываться емкостные связи с землей.

Если оба конца провода заземлены, то напряжение по отношению к земле на любом конце равно падению напряжения на сопротивлении заземления. При уменьшении сопротивления напряжение стремится к нулю, при увеличении — к половине продольной ЭДС. В случае заземления одного конца провода напряжение на втором конце по отношению к земле будет равно величине, которая обратно пропорциональна указанному сопротивлению за-

земления и с уменьшением последнего от бесконечности (изоляции) до нуля увеличивается в пределах от половины продольной ЭДС до целой. Следовательно, максимальное напряжение по отношению к земле на ЛС возникает на изолированном конце гальванически неразделенного участка при заземлении другого. Этот случай принимается в качестве расчетного для определения величины опасного влияния.

Как было указано выше, опасное напряжение для гальванически неразделенного участка ЛС при сближении с ЛВН может быть определено по формуле, В

$$U=\omega MIl. \qquad (10.3)$$

Здесь M — коэффициент взаимоиндукции между влияющей и подверженной влиянию линиями, зависящий от частоты, эквивалентной ширины сближения ($a_{эк}$) и удельной проводимости земли ($\sigma_з$), Г/км; $a_{эк}$ — эквивалентная ширина сближения, м, равная $(a_1+a_2)/2$ при $a_2 \leqslant 2a_1$; $\sqrt{a_1 a_2}$ при $a_2 \leqslant 3a_1$; $(a_1+2a_2)/3$ при $a_2 \leqslant 5a_1$; a_1 и a_2 — ширина сближения в начале и конце участка сближения, м; I — влияющий ток, А; l — длина участка сближения, км.

При расчете влияния эл. ж. д. переменного тока в рабочем режиме в качестве влияющего тока принимается эквивалентный нагрузочный ток, одинаковый по всей длине влияющего участка и индуктирующий в ЛС опасное напряжение, соответствующее реально существующему [см. (10.1)]. При аварийном режиме эл. ж. д. в качестве влияющего тока принимается ток короткого замыкания, зависящий от места короткого замыкания, параметров тяговой сети и питающей ЛЭП.

Расчет опасных влияний высоковольтных линий электропередачи переменного тока производится при двух режимах; рабочем (при несимметричной системе ЛЭП) и аварийном (короткого замыкания). В первом случае в качестве влияющего тока принимается рабочий ток, протекающий в земле при нормальном режиме работы ЛЭП. Во втором случае в качестве влияющего тока принимается ток короткого замыкания, зависящий от места короткого замыкания и параметров ЛЭП.

Во всех расчетах опасного влияния ЛВН на ЛС необходимо учитывать, что это влияние определяется при частоте 50 Гц и величины в формулах соответствуют этой частоте.

При рассмотрении влияния ЛВН на кабельные линии ГТС необходимо учитывать результирующее экранирующее действие металлических покровов кабелей и всех сопутствующих им металлических сооружений (проводников). Это действие можно учесть введением в формулу (10.3), определяющую наводимое напряжение, результирующего (эквивалентного) коэффициента защитного действия $S_{эк}$, определяемого из формулы $U=\omega MIlS_{эк}$.

Для нахождения результирующего идеального коэффициента защитного действия n элементов можно составить систему уравнений:

$$\left.\begin{aligned} 0 &= \sum_{0}^{n} Z_{1i}\dot{I}_i, \\ &\cdots\cdots\cdots \\ 0 &= \sum_{0}^{n} Z_{ni}I_i, \\ \dot{E} &= -\sum_{0}^{n} Z_{Ai}I_i, \end{aligned}\right\} \qquad (10.4)$$

где $\dot{I}_i$ — ток в i-м проводнике; $\dot{E}$ — ЭДС, наводимая в жиле подверженного влиянию кабеля; Z — полное сопротивление цепи при одинаковых индексах — собственное, при разных — взаимное; 0 — индекс, соответствующий влияющему проводнику; A — индекс, соответствующий жиле кабеля, подверженного влиянию; 1 — индекс, соответствующий экранирующим покровам кабеля, подверженного влиянию; 2, ..., n — индексы, соответствующие экранирующим проводникам. При решении системы уравнений (10.4) принимаются следующие допущения:

расстояние между ЛВН и всеми экранирующими проводниками, включая экранирующие покровы кабеля, подверженного влиянию, равны между собой ($Z_{01}=Z_{02}=\ldots=Z_{0n}$);

расстояние между экранирующими покровами кабеля, подверженного влиянию, и жилой этого кабеля несоизмеримо мало по сравнению с расстоянием между этим кабелем и другими экранирующими проводниками;

расстояние между жилой и экранирующими покровами кабеля, подверженного влиянию, а также соответствующим экранирующим проводником, равны между собой ($Z_{A2}=Z_{12}\ldots Z_{An}=Z_{1n}$).

При этих условиях для практических расчетов можно принять, что результирующий коэффициент защитного действия (КЗД) равен произведению коэффициентов защитного действия всех n экранирующих сооружений (проводников), включая экранирующие покровы подверженного влиянию кабеля: $S_{эк}=\prod_{1}^{n} S_i$. Так, при наличии одного экранирующего элемента, проложенного рядом с кабелем, система уравнений (10.4) принимает вид:

$$0 = \sum_{0}^{2} Z_{1i}\dot{I}_i,$$

$$\cdots\cdots\cdots$$

$$0 = \sum_{0}^{2} Z_{2i}\dot{I}_i,$$

$$\dot{E} = -\sum_{0}^{2} Z_{Ai}\dot{I}_i.$$

Решая эту систему относительно $\dot{E}_A$ и учитывая вышеприведенные допущения, получаем

$$\dot{E}_A = \dot{E}_0 \frac{(Z_{11} - Z_{1A})(Z_{22} - Z_{12})}{Z_{11} Z_{22} - Z_{12}^2}, \qquad (10.5)$$

где $\dot{E}_0$ — ЭДС, наводимая в жиле подверженного влиянию кабеля при отсутствии экранирующих элементов.

Пренебрегая Z^2_{12}, получим, что результирующий КЗД (см. § 11.2)

$$S_{эк} = S \frac{Z_{22} - Z_{12}}{Z_{22}} = SS',$$

где S — КЗД экранирующих покровов кабеля; S' — КЗД экранирующего элемента.

Если в качестве экранирующего элемента рассматривать рядом проложенный кабель, то при одинаковых конструктивных данных экранирующих покровов кабелей ($Z_{11} = Z_{22} = Z$) из формулы (10.5) получим (см. § 11.2)

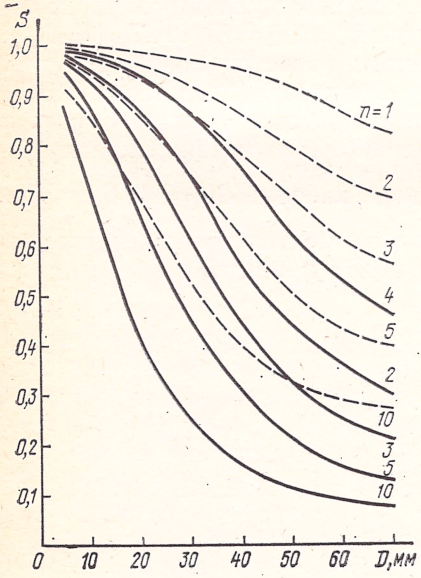
$$S_{эк} = (Z - Z_{1A})/(Z + Z_{12}) = R/(Z + Z_{12}),$$

где R — омическое сопротивление экранирующих покровов кабелей; Z — полное сопротивление экранирующих покровов кабелей.

Пользуясь вышеприведенной системой уравнений (10.4) и допуская, что все кабели одинаковые ($Z_{11} = Z_{22} = \ldots = Z_{nn} = Z$) и расстояния между ними равны ($Z_{2A} = Z_{3A} = \ldots = Z_{nA} = Z_{12} = \ldots Z_{1n} = Z'$), результирующий КЗД пучка из n кабелей (рис. 10.3) определяется по формуле

$$S_{эк} = R/[Z + (n-1)Z'],$$

где Z' — сопротивление взаимоиндукции между кабелями.



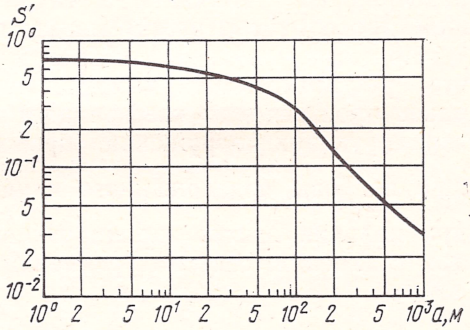


Рис. 10.4. Зависимость «уличного» КЗД от ширины сближения линий

Рис. 10.3. Коэффициент защитного действия пучка кабелей ГТС в свинцовой (————) и пластмассовой (— — — — —) оболочках

Таким образом, результирующий коэффициент защитного действия, учитывающий экранирующий эффект от различных протяженных сооружений, равен при определении влияния:

воздушных линий электропередачи $S_{эк}=SS_{ж}S_{вш}S_{м}S_{т}$,

кабельных линий электропередачи $S_{эк}=SS_{ж}S_{вш}S_{м}S_{т}S_{к}$,

электрифицированных железных дорог $S_{эк}=SS_{ж}S_{вш}S_{м}S_{т}S_{р}$.

В этих формулах:

S — коэффициент защитного действия экранирующих покровов подверженного влиянию кабеля связи;

$S_{ж}$ — коэффициент защитного действия соседних жил, зависящий от емкости кабеля связи (обычно равен 0,9—0,95, для случая ГТС при малых длинах линий можно принять равным 1);

$S_{вш}$ — коэффициент защитного действия соседних кабелей, так называемый «внешний», зависящий от количества, конструкции и месторасположения проложенных рядом кабелей. В этом случае экранирующие покровы кабелей рассматриваются как экранирующие конструкции (тросы) эквивалентного сечения и материала;

$S_{м}$ — коэффициент защитного действия проложенных рядом с линией протяженных металлических сооружений (трубопроводов, газопроводов, тюбингов и т. д.), зависящий от материала, сечения и расположения их относительно подверженной влиянию линии;

$S_{т}$ — коэффициент защитного действия подвешенного или проложенного в земле троса, зависящий от материала, сечения, условий заземления и расположения его относительно подверженной влиянию линии;

$S_{к}$ — коэффициент защитного действия экранирующих покровов электропередачи, примерно равный «внешнему» коэффициенту защитного действия кабеля связи с одинаковыми экранирующими покровами (диаметром наложения, материалом, размерами);

$S_{р}$ — коэффициент защитного действия рельсов электрифицированных железных дорог.

Способность подземных и наземных металлических сооружений, находящихся в непосредственной близости от подверженных влиянию линий и имеющихся в большом количестве (общее сечение их может достигать 100 см^2) на территории городов, уменьшать влияние ЛВН определяется так называемым «уличным» экранированием. Величина этого экранирования зависит от количества вышеупомянутых сооружений и должна учитываться при расчете влияний в зонах действия экранирующих сооружений (в населенных пунктах).

Эффект уличного экранирования можно учитывать двумя способами. При наличии в зоне влияния малого количества экранирующих сооружений (менее десяти) в расчет вводится так называемый «уличный» КЗД. Величина его, зависящая от насыщенности зоны влияния экранирующими сооружениями и расстояния между влияющей и подверженной влиянию линиями, находится в пределах 0,5—0,2.

В случае большого количества экранирующих сооружений при расчете влияния необходимо учитывать резкое уменьшение взаимной индукции между влияющей и подверженной влиянию линиями за счет увеличения проводимости грунта в этих зонах, например до 1 См/м. На рис. 10.4 приведена зависимость степени уменьшения влияния («уличного» КЗД) от ширины сближения линий при удельной проводимости грунта, равной 1 См/м.

Из приведенного рисунка видно, что при указанной удельной проводимости грунта и ширине сближения свыше 500 м имеет место достаточно малая величина «уличного» КЗД, обеспечивающая надежную защиту кабелей связи от влияния ЛВН.

В рекомендациях [6] предлагаются следующие величины «уличного» КЗД:

Города с населением:

свыше 2 млн. чел.	0,08
1—2 млн. чел.	0,1
500 тыс. — 1 млн. чел.	0,2
200—500 тыс. чел.	0,3
меньше 200 тыс. чел.	0,4
Промышленные предприятия при количестве работающих:	
свыше 20 тыс. чел.	0,15
10—20 тыс. чел.	0,2
5—10 тыс. чел.	0,3
менее 5 тыс. чел.	0,4

Определение опасного напряжения наводимого ЛВН на ЛС по общепринятой методике [4, 5] довольно трудоемкий процесс, особенно в случае многократных расчетов. Для облегчения и упрощения таких расчетов целесообразно использовать графический метод с применением специальной составной сетчатой номограммы с параллельными логарифмическими шкалами, построенной из четырех элементарных номограмм, совмещенных в одном квадранте (рис. 10.5).

Процесс определения наводимого напряжения показан на схеме номограммы цифрами в треугольнике (Δ). Из точки на левой шкале, соответствующей данной эквивалентной ширине сближения $a_{эк}$, проводится горизонтальная линия *1* до пересечения с кривой соответствующей удельной проводимости земли σ. Через полученную точку пересечения проводится вертикальная прямая *2* до пересечения с соответствующей прямой влияющего тока *I*. Затем из полученной точки проводится горизонтальная прямая *3* до пересечения с прямой, соответствующей длине сближения *l*, после чего проводится вертикальная прямая *4* до прямой соответствующего результирующего коэффициента защитного действия, учитывающего экранирующее влияние различных элементов. В случае бронированного кабеля для определения КЗД экранирующих покровов необходимо предварительно определить напряжение, наводимое на них. Наконец проводится горизонтальная прямая *5* до пересечения с правой шкалой. Точка пересечения укажет искомую величину.

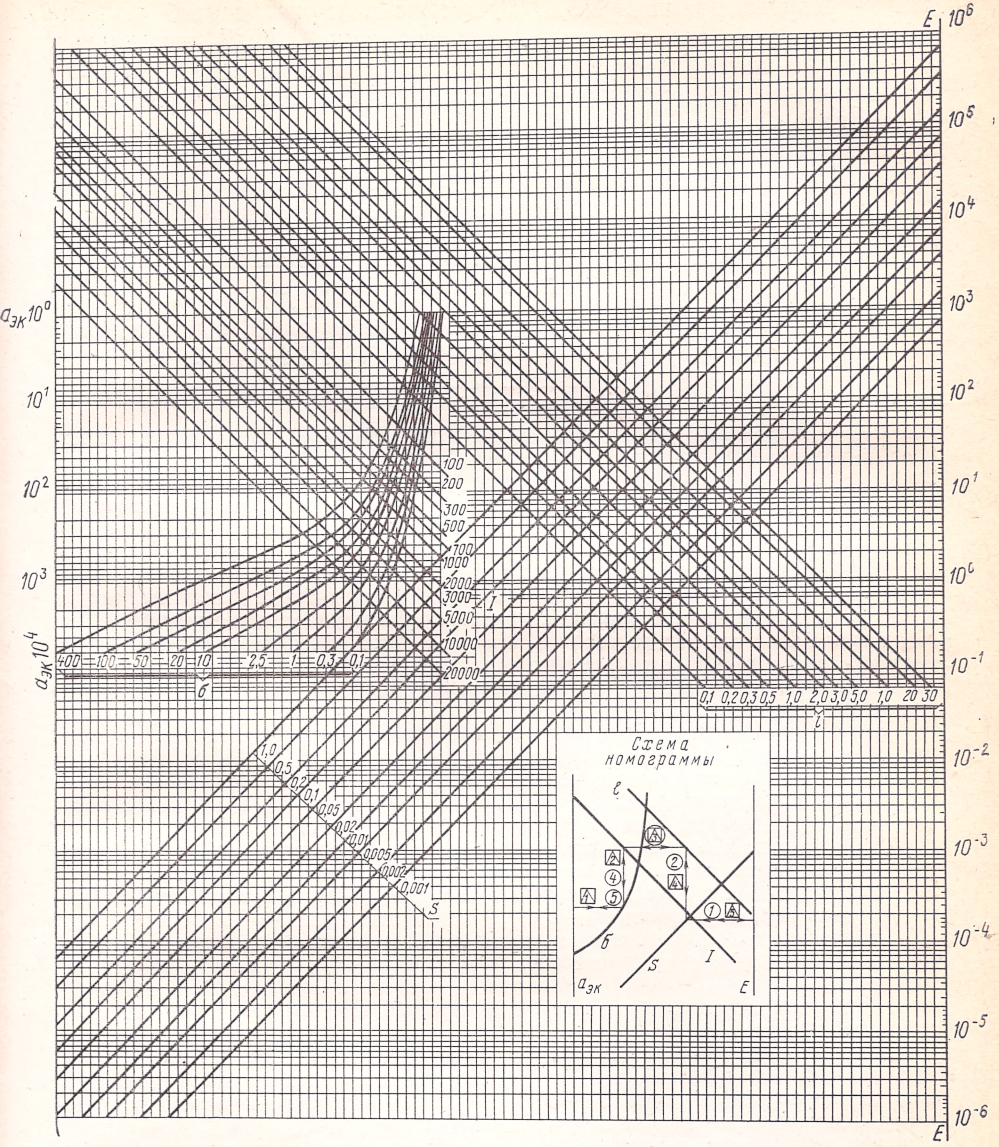


Рис. 10.5. Номограмма для расчета опасных напряжений на линиях связи: △ — определение U; □ — определение S; ○ — определение $a_{эк}$; $a_{эк}$ — эквивалентная ширина сближения, м; U — наводимое напряжение, В; σ — проводимость земли, мСм/м; I — влияющий ток, А; l — длина сближения, км; S — результирующий КЗД

Если при расчете влияния ЛВН на линию связи окажется, что наводимое опасное напряжение больше допустимой нормы, то следует или увеличить ширину сближения (расстояние между влияющей и подверженной влиянию линиями), или улучшить (умень-

шить) результирующий КЗД. Допустимая (критическая) ширина сближения или необходимый результирующий КЗД определяют по этой же номограмме. Последовательность определения указана цифрами на схеме номограммы соответственно в окружности ○ и квадрате □.

В тех случаях, когда заданные величины не совпадают с величинами, указанными на номограмме, соответствующие точки пересечения находятся с помощью графической интерполяции.

10.3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА МЕШАЮЩЕГО (ДВУХПРОВОДНОГО) ВЛИЯНИЯ

Результирующее эффективное значение напряжения помех в двухпроводной цепи, индуктируемое любой ЛВН, в общем виде, как известно, определяется по формуле

$$U_д = \sqrt{U^2_{1м} + U^2_{1э} + U^2_{2м} + U^2_{2э}},$$

где $U_{1м}$ — напряжение между проводами цепи, обусловленное неодинаковым расположением этих проводов по отношению к влияющей линии при магнитном влиянии; $U_{1э}$ — то же, при электрическом влиянии; $U_{2м}$ — напряжение между проводами цепи, обусловленное асимметрией проводов по полному сопротивлению и полной проводимости изоляции по отношению к земле при магнитном влиянии; $U_{2э}$ — то же, при электрическом влиянии.

При определенных условиях, например при расчете влияния на кабельные линии связи, составляющими, обусловленными электрическим влиянием, можно пренебречь. Кроме того, в реальных условиях сближения можно пренебречь составляющей $U_{1м}$, так как расстояние между жилами одной пары кабеля несоизмеримо с расстоянием между влияющей линией и кабелем. Таким образом, при расчете мешающего влияния ЛВН на кабельные линии ГТС мы будем иметь одно слагаемое: $U_{2м}$.

В каждом проводе двухпроводной цепи (*а—б*), находящейся в зоне влияния, из-за магнитного влияния появляются напряжения $U_а$ и $U_б$ по отношению к земле. Если эти напряжения неодинаковы ($U_а \neq U_б$), в двухпроводной цепи появляется напряжение помехи. Неравенство напряжений $U_а$ и $U_б$ объясняется наличием в кабельных жилах различных электрических неоднородностей и случайным расположением их при одних и тех же факторах влияния. Случайные величины этих неоднородностей не позволяют определить расчетом величины напряжения $U_а$ и $U_б$ с той степенью точности, которая нужна для вычисления незначительной разности $U_а — U_б$.

Различную величину восприимчивости цепей к помехам принято характеризовать коэффициентом чувствительности η. Количественно этот коэффициент при электромагнитном влиянии принимается равным отношению ЭДС шума $E_ш$ к эквивалентной продольной ЭДС E_0, действующей в каждом из проводов двухпроводной цепи: $\eta = E_ш/E_0$.

Для того чтобы найти величину η экспериментальным путем, нужно измерить тем или иным способом $E_ш$ и E_0. Практически же измеряются величины напряжений $U_а$, $U_б$ и шума $U_а — U_б$ на клеммах сопротивления нагрузки. Поэтому целесообразно выразить $\eta = (U_а — U_б)/U_{ср} = U_ш/U_{ср}$, где $U_{ср}$ — средняя величина напряжения, представляющая собой полусумму двух напряжений. Поскольку $U_{ср}$ — напряжение на однопроводной цепи, которое при изоляции этой цепи по обоим концам равно половине наведенной продольной ЭДС, то $U_ш = (E_0/2)\eta$. Наводимую на однопроводную цепь продольную ЭДС можно определить по формуле $E_0 = \omega M I l S$.

Допущения, принятые при выводе этой формулы, справедливы и для нашего случая влияния линии высокого напряжения на кабели ГТС.

Итак,

$$U_ш = (\omega M I l S/2)\eta,$$

т. е. наводимое мешающее напряжение рассчитывается по формуле, аналогичной формуле, предназначенной для расчета опасного напряжения при изоляции

подверженной влиянию линии (см. табл. 10.1) с учетом коэффициента чувствительности. В этой формуле влияющий ток — это эквивалентный ток частотой 800 Гц, оказывающий такое же влияние, как реально существующий рабочий ток, а все величины соответствуют частоте 800 Гц.

10.4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ

Гальваническое влияние, возникающее при работе ЛВН в несимметричном или подобном ему режиме, определяется разностью потенциалов между двумя точками земли, в которых расположены заземления подверженной влиянию цепи:

$$U_{\text{г}} = U_{\text{г}1} - U_{\text{г}2}, \tag{10.6}$$

где $U_{\text{г}1}$ и $U_{\text{г}2}$ — потенциалы точек земли, в которых расположены заземления.

Потенциал любой точки земли зависит от удельного сопротивления земли и расстояния от нее до места выхода и входа тока в землю, т. е. до подстанции и электровоза или места короткого замыкания. Чем больше удалена точка от этих мест, тем меньше ее потенциал.

Потенциал точки земли в зоне влияния ЛВН с координатами x, y можно определить по формуле

$$U_{(x,y)} = (\Gamma I \rho_{\text{з}})/(2\pi), \tag{10.7}$$

где I — влияющий ток в земле, А; $\rho_{\text{з}}$ — удельное сопротивление, Ом·м; Γ — коэффициент, зависящий в первую очередь от характера влияющей линии. В случае контактной сети эл. ж. д. переменного тока

$$\Gamma = \gamma_{\text{р}}[\Omega(\gamma_{\text{р}}x,\ \gamma_{\text{р}}y) - \sum_{1}^{n} \Omega\gamma_{\text{р}}(l_{xi}-x)\gamma_{\text{р}}(l_{yi}-y)]S_{\text{р}}, \tag{10.8}$$

где $\gamma_{\text{р}} = \sqrt{|Z_{\text{р}}|/R_{\text{пер.р}}}$ — постоянная распространения тока в рельсах, 1/м; $Z_{\text{р}}$ — полное сопротивление рельсового пути, Ом/м; $R_{\text{пер.р}} = R_{\text{из.р}} + \frac{\rho_{\text{з}}}{\pi} \ln \frac{1{,}12}{\gamma_{\text{р}} a}$ — переходное сопротивление между рельсами и землей, Ом·м; $R_{\text{из.р}}$ — сопротивление изолирующего (балластного) слоя железнодорожного полотна, Ом·м; a — эквивалентный радиус рельсового пути, равный $b/4$, м; b — ширина железнодорожного пути; Ω — специальная функция, учитывающая зависимость потенциалов точек земли от их координат; lx и ly — расстояния между подстанцией и электровозом соответственно по оси x и y; i — порядковый номер электровоза; $S_{\text{р}}$ — идеальный КЗД рельсов.

В случае ЛЭП

$$\Gamma = 1/a_1 - 1/a_2, \tag{10.9}$$

где a_1 и a_2 — расстояние от точки определения потенциала соответственно до подстанции и точки короткого замыкания, м.

Как было сказано выше, гальваническое влияние (т. е. токи помех от него) определяется разностью потенциалов точек заземления подверженной влиянию цепи. Поэтому для расчета этого влияния в [10.6] необходимо подставить значение потенциалов точек заземления [см. (10.7)] с учетом характера влияющей линии [см. (10.8), (10.9)].

При расчете влияния эл. ж. д. следует знать, что по мере движения электровозов потенциалы точек заземлений, находящихся в зоне влияния, будут меняться, поэтому нужно учитывать максимально возможную разность потенциалов.

Представленные формулы не учитывают действия на потенциалы земли соседних подземных металлических сооружений, которые значительно уменьшают их, т. е. создают определенное экранирование.

В принципе, при удельном сопротивлении земли менее 10^5 Ом·м гальваническое влияние становится столь незначительным, что с ним можно не считаться.

10.5. НОРМЫ ДОПУСТИМЫХ ВЕЛИЧИН ВЛИЯНИЯ

Для нормальной работы кабельных линий ГТС необходимо ограничить допустимые наводимые напряжения до таких пределов, при которых обслуживание было бы безопасно, а связь осуществлялась без заметных искажений. Эти пределы определяются следующими факторами:

1) требованиями техники безопасности при работе на линии;

2) опасностью повреждения изоляции оборудования или кабеля;

3) опасностью возникновения помех, в частности, в однопроводных цепях.

Первые два фактора определяют допустимые опасные напряжения, третий — мешающие. Величины допустимых напряжений по отношению к земле, согласно требованиям каждого из этих пунктов, значительно отличаются друг от друга (от тысячи вольт, исходя из требований целостности изоляции кабеля и оборудования, до нескольких десятых милливольт с точки зрения мешающих влияний в двухпроводных цепях). Очевидно, что в качестве нормы следует принимать наименьшую из величин, определяемых этими требованиями.

При определении допустимых величин напряжений принимаются во внимание время и условия их воздействия на людей и аппаратуру. Кратковременные опасные напряжения возникают в цепях связи, имеющих сближения с ЛЭП и контактной сетью эл. ж. д., при коротком замыкании последних. Время воздействия при этом находится в пределах от 0,1 до 1,5 с, что определяется временем срабатывания устройств защиты.

Длительные опасные и мешающие напряжения возникают при сближении линий связи с несимметричными линиями высокого напряжения.

Допустимые величины влияния на однопроводные цепи. По условиям безопасности необходимо нормировать допустимую величину тока, протекающую через тело человека, с учетом таких факторов, как продолжительности действия тока; пути прохождения тока по телу человека; индивидуальных свойств организма. Кроме того, следует учитывать, что неожиданность усиливает воздействие электрического удара на человека. Допустимая величина тока, проходящая через тело человека при случайном касании провода, находящегося под постоянным индуктируемым напряжением, равна примерно 10 мА — величине, при которой человек может самостоятельно оторваться от провода. В директивах МККТТ в качестве такой нормы временно рекомендуется 15 мА. Допустимая величина тока, проходящая через тело человека при случайном касании провода, находящегося под кратковременным (0,1 и 1,5 с) индуктируемым напряжением, равна примерно соответственно 100—30 мА.

Однако обычно нормируется не ток, а определенная на основе статистических наблюдений величина наводимой продольной ЭДС

(напряжение на проводе по отношению к земле при заземленном противоположном конце его). На кабельных линиях за допустимую величину длительного наводимого постороннего напряжения (продольной ЭДС), при котором не требуется принятие специальных мер защиты, принимается в соответствии с правилами по технике безопасности напряжение 36 В. Норма допустимого кратковременного напряжения (продольной ЭДС) устанавливается исходя из прочности изоляции кабеля и безопасности обслуживающего персонала и составляет: 60% испытательного пробивного напряжения изоляции кабеля при влиянии эл. ж. д. и 100% при влиянии ЛЭП, либо напряжение 160 В, безопасное при длительности действия до 0,6 с, 240 В — до 0,3 с и 320 В — до 0,15 с. В директивах МККТТ и регламентирующих документах ряда стран (ФРГ, ГДР, ПНР и т. д.) в качестве нормы принимается 60% пробивного напряжения изоляции кабеля.

В системе АТС, в которых имеются или временно возникают цепи через землю, индуктируемые в однопроводных цепях посторонние напряжения (продольные ЭДС) вызывают помехи, нарушающие нормальную работу станции. Мешающее действие постороннего напряжения на работу реле и других станционных механизмов зависит от величины и частоты этого напряжения. Наибольшее действие оказывает напряжение, близкое по частоте к передаваемым сигналам, т. е. 50 Гц.

Обычно при оценке работы соединительных линий АТС принималась во внимание лишь их устойчивость к разности потенциалов между заземлениями АТС, т. е. к наличию в проводах соединительных линий постороннего постоянного напряжения. Однако существование на ЛС однопроводного влияния привело к необходимости определить устойчивость работы цепей соединительных и абонентских линий при наводке постороннего переменного напряжения частотой 50 Гц.

Для установления допустимых величин этих напряжений были проведены исследования однопроводного мешающего влияния на соединительных и абонентских линиях различных систем АТС (машинной, декадно-шаговой и координатной). При этом соединительные и абонентские линии проверялись на нормальную работу на всех этапах соединения (вызов станции, ответ станции, набор номера, вызов абонента, ответ абонента, разговор, отбой со стороны вызывающего и вызываемого абонентов) при различных величинах наводимых напряжений.

Результаты испытаний для различных видов соединения при максимально допустимых разностях потенциалов заземлений АТС ± 8 В для проводов *a*, *b* и ± 6 В для проводов *c* показали, что норма допустимых посторонних напряжений (продольных ЭДС) для соединительных и абонентских линий зависит от типа АТС и РСЛ, а также от способа включения абонента. Однако в большинстве случаев при современном станционном оборудовании эта величина превышает допустимую по технике безопасности норму 36 В.

Таким образом, в качестве единой нормы допустимых напряжений (продольных ЭДС), длительно наводимых на однопроводные цепи, целесообразно принять величину 36 В.

Допустимые величины влияния на двухпроводные цепи. Помехи, возникающие в цепях кабельных линий, можно разделить на две группы: помехи внутреннего происхождения, возникающие в самих устройствах, образующих канал связи, и помехи внешнего происхождения, проникающие в канал извне. К первой группе относятся термические шумы линии, нелинейные шумы, контактные шумы, собственные шумы ламп и полупроводников, шумы от источников питания. Ко второй группе относятся помехи, вызванные линиями высокого напряжения и другими внешними источниками электромагнитного влияния.

Очевидно, что при проектных расчетах общую допустимую норму помех следует разделить между двумя указанными группами источников, а норму, выделенную для каждой группы, разделить между отдельными источниками.

Результирующее напряжение помех в заданной точке, например у аппарата абонента, равно геометрической сумме напряжений, создаваемых на каждом из участков телефонного тракта с учетом затухания до указанной точки. Общая допустимая норма псофометрических помех в телефонном канале и отдельных его звеньях должна устанавливаться исходя из качества телефонной передачи при заданном уровне шума в помещениях передачи и приема и нормированных величинах собственного затухания телефонного тракта и его звеньев. Нормы затухания и величины псофометрических шумов отдельных участков телефонного тракта ГТС [7, 8] приведены на рис. 10.6. При общем эквиваленте затухания 36 дБ (4,1 Нп) затухание телефонного тракта для городско-

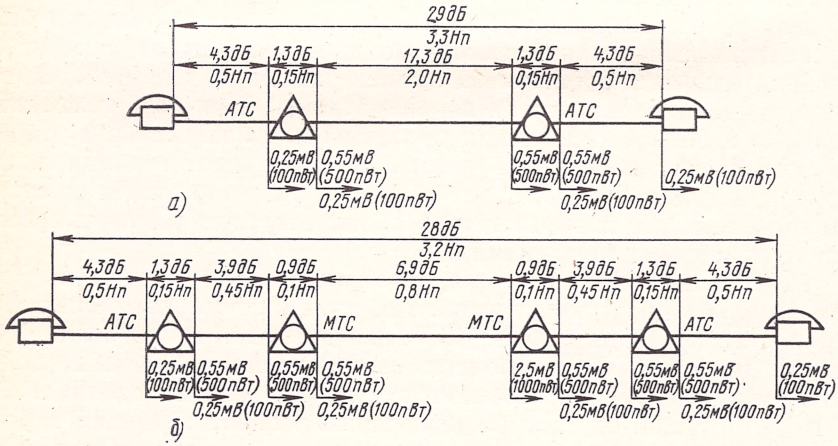


Рис. 10.6. Схема телефонного тракта:
а) городское соединение; *б*) междугородное соединение

го соединения соответствует 29 дБ (3,3 Нп), а для междугородного — 28 дБ (3,2 Нп).

По существующим нормам [7] допустимое напряжение псофометрического шума на зажимах телефонного аппарата равно 1,25 мВ, а норма шума междугородного участка телефонного тракта при максимальном количестве переприемов, равном десяти, и протяженности 13 900 км [1, 7] не должна превышать 2,5 мВ (1000 пВт) в точке с относительным уровнем 7 дБ (0,8 Нп).

Общее напряжение псофометрических помех на зажимах телефонного аппарата от всех собственных внутренних источников шума на городских телефонных сетях при наличии суммарного шума (2,5 мВ), возникающего на междугородном участке, составляет (рис. 10.6*б*) $U_{с.ш} = \sqrt{(0{,}25e^{-2{,}7})^2 + (0{,}55e^{-2{,}55})^2 + (0{,}55e^{-2{,}10})^2 + (0{,}55e^{-2})^2 + (2{,}5e^{-1{,}2})^2 + (0{,}55e^{-1{,}1})^2 + (0{,}55e^{-0{,}65})^2 + (0{,}55e^{-0{,}5})^2 + 0{,}25^2} = 0{,}93$ мВ. Тогда суммарное допустимое псофометрическое напряжение шума от влияния линий высокого напряжения $U_ш = \sqrt{1{,}25^2 - 0{,}93^2} = \sqrt{1{,}15} = 0{,}83$ мВ.

Эта величина может быть принята за суммарную норму мешающего псофометрического напряжения, наводимого ЛВН на городские участки линии связи при междугородном соединении абонентов.

Что касается городского соединения двух абонентов одного города, то в общем случае собственное псофометрическое напряжение шума на зажимах телефонного аппарата составляет (рис. 10.6*а*) $U_{с.ш} = \sqrt{(0{,}25e^{-2{,}8})^2 + (0{,}55e^{-2{,}65})^2 + (0{,}55e^{-0{,}65})^2 + (0{,}55e^{-0{,}5})^2 + 0{,}25^2} = 0{,}508$ мВ. При этом суммарное допустимое напряжение псофометрического шума от влияния ЛВН $U_ш = \sqrt{1{,}25^2 - 0{,}51^2} = 1{,}14$ мВ. Эта величина также может быть принята за суммарную норму мешающего псофометрического напряжения, наводимого на линию связи в данном случае.

Учитывая, что распределение помех на участках телефонного тракта ГТС является случайным и учету не поддается, принимаем это распределение равномерным и независимым от длины отдельных участков. Тогда при рассмотрении только соединительной линии получим следующие нормы, наводимого псофометрического напряжения: при междугородном соединении двух абонентов $Ue^{-0{,}65} = 0{,}83$, $U = 1{,}59$ мВ; при городском соединении двух абонентов $Ue^{-0{,}65} = 1{,}14$, $U = 2{,}18$ мВ. При влиянии на абонентскую и соединительную линии получим при междугородном соединении $\sqrt{U^2 + (Ue^{-0{,}65})^2} = 0{,}83$; $U = 0{,}73$ мВ; при городском соединении $\sqrt{U^2 + (Ue^{-0{,}65})^2} = 1{,}14$; $U = 1{,}01$ мВ.

Результаты расчетов для остальных случаев влияния приведены в табл. 10.2, из которой видно, что для любого участка ГТС наводимое псофометрическое напряжение не должно превышать 0,7 мВ.

Однако согласно статистическим данным среднее отношение длин абонентских и соединительных линий ГТС составляет 1 : 5,

Таблица 10.2

Состав участка, подверженного влиянию	Норма, мВ, при соединении	
	междугородном	городском
Абонентская линия	0,83/0,91	1,14/1,18
Абонентская + абонентская линии	0,83/0,91	1,14/1,18
Абонентская + соединительная линии	0,73/0,80	1,01/1,05
Соединительная линия	1,59/1,74	2,18/2,26
Абонентская + соединительная + абонентская линии	0,73/0,80	1,01/1,04
Соединительная + соединительная линии	1,55/1,68	—
Абонентская + соединительная + соединительная линии	0,72/0,80	—
Абонентская + соединительная + соединительная + абонентская линии	0,72/0,80	—

Примечание. В числителе приведены нормы, соответствующие существующему оборудованию с мощностью собственного шума 500 пВт, а в знаменателе — перспективному оборудованию с мощностью собственного шума 100 пВт.

поэтому целесообразно нормировать допустимые напряжения отдельно для абонентских и соединительных линий. В табл. 10.3 приведены результаты расчета допустимых псофометрических напряжений для абонентского и межстанционного участков сети, проведенного по ранее использованной методике, но с учетом вышеприведенного соотношения.

Таблица 10.3

Состав участка, подверженного влиянию	Норма, мВ			
	при междугородном соединении линии		при городском соединении линии	
	абонентской	соединительной	абонентской	соединительной
Абонентская линия	0,83/0,91	—	1,14/1,18	—
Абонентская + абонентская линии	0,83/0,91	—	1,14/1,18	—
Соединительная линия	—	1,59/1,74	—	2,18/2,26
Абонентская + соединительная линии	0,29/0,32	1,47/1,60	0,42/0,42	2,10/2,10
Абонентская + соединительная + абонентская линии	0,29/0,32	1,47/1,60	0,41/0,42	2,05/2,10
Соединительная + соединительная линии	—	1,55/1,68	—	—
Абонентская + соединительная + соединительная линии	0,28/0,31	1,43/1,56	—	—
Абонентская + соединительная + соединительная + + абонентская линии	0,28/0,31	1,43/1,56	—	—

Примечание. В числителе приведены нормы, соответствующие существующему оборудованию с мощностью собственного шума 500 пВт, а в знаменателе — перспективному оборудованию с мощностью собственного шума 100 пВт.

При нормировании величины мешающего псофометрического напряжения принимаются значения, не превышающие наименьшую из полученных величин: 0,28 мВ для абонентской и 1,43 мВ для соединительной линии. Таким образом, в качестве нормы мешающего влияния для ГТС могут быть рекомендованы величины 0,25 мВ и 1,4 мВ соответственно для абонентского и межстанционного участков сети.

При наличии на ГТС узлов входящего и исходящего сообщения нормы на отдельные участки соединительной линии принимаются равными и составляющими в сумме общую норму на соединительную линию.

Если кабельные линии связи одновременно подвержены влиянию эл. ж. д. и ЛЭП, то общая норма помех может быть распределена между ними следующим образом: от ЛЭП — $0{,}6U_{ш}$, для контактной сети эл. ж. д. — $0{,}8U_{ш}$.

В настоящее время в качестве допустимой нормы мешающего влияния принята недостаточно обоснованная величина 1,5 мВ от абонента до абонента при городском соединении и от абонента до МТС при междугородном [4, 5]. При сравнении этой величины с приведенными в табл. 10.2 и 10.3 видно, что она значительно превышает полученные нормы. Кроме того, заданная на участок абонент — МТС норма 1,5 мВ не учитывает вероятную добавочную помеху участка от противоположного абонента до своей МТС, величина которой может достигать 0,4 мВ.

Все это указывает на необходимость рассмотрения вопроса о пересмотре существующей нормы мешающих влияний. При этом требуется учесть, что расчет проведен на основе полученной суммарной нормы мешающего влияния, в 2 раза большей, чем норма, рекомендованная МККТТ (0,5 мВ).

Таблица 10.4

Состав участка, подверженного влиянию	Норма, мВ			
	при междугородном соединении линии		при городском соединении линии	
	абонентской	соединительной	абонентской	соединительной
Абонентская линия	0,50	—	0,50	—
Абонентская + абонентская линии	0,50	—	0,50	—
Соединительная линия	—	0,96	—	0,96
Абонентская + соединительная линии	0,18	0,90	0,18	0,90
Абонентская + соединительная + абонентская линии	0,18	0,90	0,18	0,90
Соединительная + соединительная линии	—	0,93	—	—
Абонентская + соединительная + соединительная линии	0,17	0,85	—	—
Абонентская + соединительная + соединительная + абонентская линии	0,17	0,85	—	—

Если провести расчет допустимых норм на отдельных участках телефонного тракта, исходя из величины допустимого суммарного мешающего напряжения, равного 0,5 мВ (табл. 10.4), то в результате норма мешающего влияния на абонентский и межстанционный участки соответственно уменьшится до 0,15 и 0,85 мВ.

ГЛАВА 11

ЗАЩИТА КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОТ ВЛИЯНИЯ ЛИНИЙ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

◆

11.1. ОЦЕНКА СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ

Для защиты кабельных линий связи от внешних электромагнитных влияний линий высокого напряжения в настоящее время существует много методов, применение которых зависит от вида влияния, характеристики линий, условий прокладки и т. п. Все методы защиты могут быть разделены на две группы: меры, принимаемые на влияющих линиях высокого напряжения, и меры, принимаемые на подверженных влиянию линиях связи.

К методам, принимаемым на влияющих ЛВН в черте городов и населенных пунктов, относятся:

1. Ограничение времени работы ЛВН в режиме короткого замыкания и других несимметричных режимах, при которых возникает опасное влияние.

2. Транспозиция проводов ЛЭП, симметрирующая расположение фазовых проводов и уменьшающая токи нулевой последовательности.

3. Включение сглаживающих устройств (фильтров и контуров).

4. Применение отсасывающих трансформаторов мощностью в несколько сот киловольт-ампер с коэффициентом трансформации, равным единице.

Существуют два способа включения отсасывающих трансформаторов — с обратным проводом и без него. При первом способе первичная обмотка включается в контактный провод, а вторичная в дополнительный (обратный) провод, подвешенный на опорах контактной сети и соединенный с рельсами. При втором способе вторичная обмотка включается прямо в рельсы. В Советском Союзе отсасывающие трансформаторы включаются на расстоянии 2—4 км друг от друга только с обратным проводом. Эффективность действия этих трансформаторов оценивается величиной КЗД, которая в зависимости от количества включенных трансформаторов колеблется от 0,5 до 0,05.

Гораздо больший интерес представляют методы, применяемые на линиях связи, к которым относятся:

1. Выбор оптимальной трассы прокладки или относ ЛС, уменьшающие величину влияния до допустимой величины. На основа-

нии расчета определяется так называемая критическая ширина сближения, т. е. расстояние, на котором допустима прокладка линий связи. Иногда ЛС целесообразно проложить перпендикулярно ЛВН, что практически приводит к ликвидации магнитного влияния.

Данный метод фактически неприменим в случае влияния ЛВН на кабельные линии городских телефонных сетей ввиду отсутствия достаточной возможности маневрирования трассами прокладки ЛС в условиях городов и населенных пунктов.

2. Включение в линии связи разделительных (изолирующих) трансформаторов, которые делят ее на отдельные гальванические разделенные участки, что уменьшает наведенную продольную ЭДС.

Разделительные трансформаторы имеют коэффициент трансформации 1 : 1 и включаются так, чтобы опасное напряжение, наводимое на участке между ними, не превышало бы допустимой величины. Коэффициент защитного действия разделительных трансформаторов равен $S=1/(n+1)$, где n — число трансформаторов.

Включение разделительных трансформаторов на кабельных линиях малоприемлемо из-за необходимости передачи по этим линиям ряда сигналов, требующих гальванически неразделенной цепи, а также из-за громоздкости и дороговизны этих трансформаторов при использовании их на многопарных кабелях.

3. Прокладка или подвеска хорошо заземленных тросов, в которых за счет наведенного тока создается электромагнитное поле, компенсирующее влияние ЛВН. Аналогичным способом воздействуют и другие протяженные заземленные проводники — рельсы, трубопроводы и т. п. Это позволяет использовать в качестве телефонной канализации металлические трубы.

Прокладка специального троса и кабеля в металлических трубах является дорогостоящим и нерентабельным методом уменьшения влияния ЛВН.

4. Включение в кабельную линию связи многообмоточных нейтрализующих трансформаторов с коэффициентом трансформации, не равным 1 : 1. Первичная обмотка такого трансформатора включается в оболочку кабеля, вторичная — в жилы. За счет трансформации тока оболочки в жилу уменьшаются токи влияния, наведенные в жилах кабеля, причем уменьшение можно регулировать коэффициентом трансформации и величиной тока оболочки.

5. Включение в кабельную линию связи редукционных (компенсирующих) трансформаторов, обладающих коэффициентом трансформации 1 : 1. Конструктивно обмотки редукционных трансформаторов могут быть выполнены с помощью самого кабеля, намотанного на сердечник, или в виде специальных обмоток.

При включении редукционных трансформаторов увеличивается взаимная индуктивность «оболочка — жила», величина которой зависит от числа витков трансформатора.

Использование редукционных, а также нейтрализующих трансформаторов для компенсации влияния ЛВН на линии связи яв-

ляется дорогостоящим, конструктивно трудновыполнимым методом и целесообразно только на линиях из малопарных кабелей. В настоящее время такие трансформаторы в отечественной практике фактически отсутствуют.

6. Включение газонаполненных разрядников между жилами и заземленной оболочкой. При перенапряжении разрядники срабатывают и величина наводимой ЭДС уменьшается как в жиле с разрядниками, так и в соседних жилах (скрытый коэффициент защитного действия). Данный метод в условиях применения многопарных кабелей неэкономичен, поскольку требует значительного количества разрядников, и приемлем только при кратковременных перенапряжениях (коротком замыкании).

7. Использование экранирующих покровов кабеля, степень защищенности которых определяется коэффициентом защитного действия металлических покровов кабеля. Значение коэффициента может варьироваться при разработке кабеля изменением конструкции экранирующих покровов. Этот метод является наиболее универсальным и рациональным.

В настоящее время в качестве наружного защитного покрова кабелей ГТС применяется джутовая подушка или пластмассовый (полиэтиленовый) шланг. Эти способы защиты оболочки имеют существенное различие с точки зрения проявления экранирующих свойств оболочки кабеля. Если в первом случае при достаточной длине кабельной линии через некоторое время после прокладки можно считать оболочку хорошо заземленной, что крайне важно для проявления ее защитных свойств, то во втором случае для этого требуется устройство специальных дополнительных заземлений. Главенствующую роль при определении степени защищенности кабеля от влияния ЛВН играют характеристики экранирующих покровов этих кабелей.

Существующие кабели ГТС обладают следующими недостатками при использовании их в зонах влияния ЛВН:

кабели в свинцовой оболочке обладают экранирующим покровом из дефицитного материала с большим удельным сопротивлением, что значительно ухудшает его защитные свойства;

кабели в пластмассовой оболочке имеют тонкие алюминиевые экраны, обладающие весьма малым экранирующим эффектом, проявляющимся к тому же только при оборудовании дополнительных заземлений;

бронированные кабели обладают защитным покровом (броней), предназначенной в основном для механической защиты и не способной зачастую выполнять экранирующую функцию.

В настоящее время значительное распространение в городах и населенных пунктах еще имеют кабели в свинцовой оболочке. Однако количество кабелей в пластмассовом исполнении с каждым годом существенно увеличивается, что в недалеком будущем приведет к наличию большого количества кабельных линий, обладающих малой защищенностью от внешних электромагнитных полей.

11.2. ИДЕАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ

Как указывалось выше, за счет наличия в кабелях металлических покровов (брони, экранов и т. п.) кабельные линии полностью защищены от электрического влияния и испытывают влияние только магнитной составляющей внешнего электромагнитного поля. Степень магнитного влияния зависит от напряженности магнитного поля и от защищенности кабеля, которая характеризуется эффектом экранирования. Количественно эффект экранирования в кабеле определяется коэффициентом экранирования, который в диапазоне низких частот называют коэффициентом экранного, или защитного действия.

Обычно под коэффициентом экранирования S понимается отношение напряженностей магнитного поля при наличии экрана $H_э$ и при его отсутствии (H):

$$S = H_э/H.$$

Применительно к низкочастотному диапазону и протяженным экранам, какими являются экранирующие элементы кабеля, низкочастотный коэффициент экранирования, т. е. коэффициент защитного действия (КЗД), целесообразно определять как отношение ЭДС, наводимых в жилах при наличии $(E_э)$ и отсутствии (E) экранирующего элемента:

$$S = E_э/E. \qquad (11.1)$$

Таким образом, чем меньше КЗД кабеля, тем выше защищенность кабельных цепей от внешнего электромагнитного влияния.

Коэффициент защитного действия металлических покровов кабеля при идеальном (равном 0) заземлении этих покровов называют «идеальным» $(S_{ид})$, а в реальных условиях при конечном значении сопротивления заземлений покровов — «реальным» $(S_р)$.

На основе рис. 11.1, иллюстрирующего влияние линии высокого напряжения на кабель связи при идеально заземленном экране,

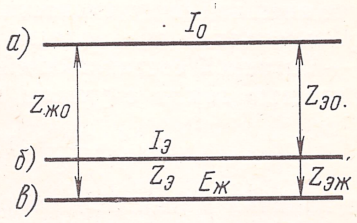


Рис. 11.1. Схема экранирующего элемента при влиянии линий высокого напряжения:
а) линия влияния; *б*) экранирующий элемент; *в*) линия связи, подверженная влиянию

можно составить систему уравнений, приведенную к единице длины:

$$I_э Z_э - I_0 Z_{0э} = 0,$$

$$I_0 Z_{0\,ж} - I_э Z_{э.ж} = E_ж,$$

откуда

$$E_ж = I_0[(Z_{0\,ж} Z_э - Z_{0\,э} Z_{э.ж})/Z_э].$$

Учитывая формулу (11.1),

$$S_{\text{ид}} = 1 - (Z_{0\,\text{э}} - Z_{\text{э.ж}})/(Z_{\text{э}} Z_{0\,\text{ж}}). \qquad (11.2)$$

В этих формулах: I_0 — влияющий ток во влияющей линии, A; $I_{\text{э}}$ — ток, индуктируемый в экранирующих покровах ЛС, А; $E_{\text{ж}}$ — ЭДС, индуктируемая в ЛС при наличии экрана, В; $Z_{\text{э}}$ — полное сопротивление экранирующих покровов ЛС, Ом/км; $Z_{0\text{ж}}$ — полное взаимное сопротивление между влияющей линией и ЛС, Ом/км; $Z_{0\text{э}}$ — полное взаимное сопротивление между влияющей линией и экранирующим покровом ЛС, Ом/км; $Z_{\text{эж}}$ — полное взаимное сопротивление между экранирующим покровом и жилой ЛС, Ом/км.

Из формулы (11.2) видно, что идеальный КЗД экранирующих покровов кабеля зависит как от расположения этих покровов по отношению к влияющей ($Z_{0\text{э}}$) и подверженной влиянию ($Z_{\text{жэ}}$) линий, так и от собственных параметров этих покровов ($Z_{\text{э}}$).

Учитывая несоизмеримость расстояния между влияющей линией и ЛС, можно принять, что $Z_{0\text{э}} \cong Z_{0\text{ж}}$, и тогда

$$S_{\text{ид}} = 1 - Z_{\text{э.ж}}/Z_{\text{э}} = (Z_{\text{э}} - Z_{\text{э.ж}})/Z_{\text{э}}. \qquad (11.3)$$

Полное взаимное сопротивление $Z_{\text{эж}}$ при немагнитных покровах, как известно, равно

$$Z_{\text{э.ж}} = \text{i}\,\omega\, M_{\text{э.ж}} = \text{i}\,\omega \frac{\mu_0}{2\pi}\left(\ln \frac{4\cdot 10^3}{1{,}781\,|\varkappa|\,D_{\text{ср}}} + \frac{1}{2} - \text{i}\,\frac{\pi}{4}\right) =$$

$$= \text{i}\,\omega \frac{\mu_0}{2\pi}\left(\ln \frac{4\cdot 10^3}{1{,}781\,|\varkappa|\,D_{\text{ср}}} + \frac{1}{2}\right)\cdot 10^3 - \frac{\omega\mu_0}{8}\cdot 10^3,$$

где $M_{\text{э.ж}}$ — коэффициент взаимоиндукции между экранирующими покровами и жилой, Г/км; $\omega = 2\pi f$ — угловая частота; f — частота тока, Гц; $\mu_0 = 4\pi\cdot 10^{-7}$ — магнитная постоянная, Г/м; $D_{\text{ср}}$ — средний диаметр наложения покрова, мм; $|\varkappa| = \sqrt{\omega\mu_0\sigma_{\text{з}}}$ — коэффициент проникновения тока в землю, 1/м; $\sigma_{\text{з}}$ — удельная электрическая проводимость земли, Ом/м; $1{,}781 = e^C$; C — постоянная Эйлера.

Первое слагаемое является реактивной составляющей и соответствует внешней индуктивности экранирующих покровов $L_{\text{вш}}$, поскольку выражение под знаком ln значительно превышает 1/2; второе — активной составляющей, Ом/км, обусловленной конечной проводимостью земли с учетом поверхностного эффекта:

$$R_{\text{п.э}} = \frac{\omega\mu_0}{8}\cdot 10^3 = \pi^2 f\cdot 10^{-4}.$$

При наличии магнитных покровов (брони) необходимо учитывать дополнительное увеличение полного взаимного сопротивления между экранирующими покровами и жилами, равное величине полного внутреннего сопротивления магнитных покровов, Ом/км:

$$Z_{\text{вт}} = R_{\text{вт}} + \text{i}\,\omega L_{\text{вт}},$$

где $R_{\text{вт}}$ — внутреннее сопротивление магнитных покровов, обусловленное потерями на гистерезис, Ом/км; $L_{\text{вт}}$ — внутренняя индуктивность магнитных покровов, Г/км.

В этом же случае полное сопротивление экранирующих покровов ($Z_э$) равное сумме полного внешнего сопротивления $Z_{вш}$ и полного внутреннего сопротивления $Z_{вт}$ (для немагнитных покровов последнее сопротивление равно нулю):

$$Z_э = Z_{вш} + Z_{вт},$$

$$Z_{вш} = R_0 + R_{пэ} + i\omega L_{вш},$$

$$Z_{вт} = R_{вт} + i\omega L_{вт},$$

где R_0 — сопротивление экранирующих покровов постоянному току, Ом/км; $R_{п.э}$ — сопротивление за счет поверхностного эффекта с учетом конечной проводимости земли, Ом/км; $L_{вш}$ — внешняя индуктивность экранирующих покровов, Г/км.

Учитывая вышеприведенные выражения, получаем:

$$S_{ид} = (Z_{вш} + Z_{вт} - Z_{э.ж})/Z_э = R_0/Z_э = R_0/(R_\sim + i\omega L),$$

или

$$S_{ид} = R_0/\sqrt{R_\sim^2 + \omega^2 L^2},$$

где $R_\sim = R_0 + R_{п.э} + R_i$ — сопротивление экранирующих покровов переменному току, Ом/км; $L = L_{вш} + L_{вт}$ — полная индуктивность экранирующих покровов, Г/км.

Аналогичную зависимость можно получить при введении понятия «сопротивление связи» ($Z_{св}$), определяемого отношением электрического поля на внутренней поверхности экранирующих покровов кабеля, т. е. фактически $E_{э.ж}$, к току, протекающему в цепи «экранирующие покровы — земля» ($I_э$).

Действительно, так как жила и экранирующие покровы охватываются одним магнитным потоком (внешним), то $Z_{э.ж} = Z_э - Z_{св}$, а подставляя это выражение в (11.3), получаем $S_{ид} = Z_{св}/Z_э$ или, учитывая, что в низкочастотном диапазоне сопротивление связи равно полному сопротивлению экранирующих покровов постоянному току, получаем

$$S_{ид} = R_0/Z_э.$$

Для тонального диапазона можно принять $R_\sim = R_0$, тогда

$$S_{ид} = 1/\sqrt{1 + \omega^2 L^2/R^2_0}. \qquad (11.4)$$

Таким образом, КЗД кабеля прямо пропорционален сопротивлению постоянного тока экранирующих покровов и обратно пропорционален частоте и индуктивности этих покровов.

Экранирующие металлические покровы кабелей могут быть выполнены в виде трубки, ленты или слоя проволок. Сопротивление постоянному току таких покровов будет равно, Ом/км:

для трубки (продольной ленты)

$$R_т = [\rho\kappa_г/\pi D_{ср}\delta K_{у.п.н}] \cdot 10^3; \qquad (11.5)$$

для спиральной ленты без учета контактной (межленточной) проводимости

$$R_л = [\rho\kappa/(b\delta)] \cdot 10^3 = [\pi\rho D_{ср}/(b\delta b_{эк})] \cdot 10^3; \qquad (11.6)$$

для слоя проволок без учета контактной (межпроволочной) проводимости

$$R_{\text{п}} = [4\rho\kappa/(\pi d^2 N)] \cdot 10^3 = [4\rho D_{\text{ср}}/(d^3 N^2)] \cdot 10^3. \qquad (11.7)$$

В формулах (11.5) и (11.7):

ρ — удельное сопротивление постоянному току металла экранирующего покрова, Ом·мм²/м;

$D_{\text{ср}} = D + \delta$ — средний диаметр наложения покрова, мм; $D_{\text{ср.г}} = D + h$ — средний диаметр наложения гофрированного покрова, мм;

D — диаметр наложения (сердечника кабеля) металлических покровов, мм;

δ — толщина металлического покрова, мм;

h — высота гофра, обычно равная 0,04 D, мм;

b — ширина ленты, мм;

t — шаг гофра, мм;

$b_{\text{эк}}$ — эквивалентная ширина покрова ($b/K_{\text{у.п.н}}$ — для ленты, Nd — для слоя проволок), мм;

N — количество бронепроволок в слое;

d — диаметр бронепроволок, мм;

$\kappa = 1/\sin\alpha = \pi D_{\text{ср}}/b_{\text{эк}}$ — коэффициент спиральности наложения покрова (ленты или проволоки);

α — угол обмотки, угол между поперечной осью кабеля и направлением наложения;

$K_{\text{у.п.н}}$ — коэффициент условного нормального перекрытия [11] ленты (для трубки равный 1,0);

$\kappa_{\text{г}} = l_{\text{г}}/l$ — коэффициент [11] гофрирования (при отсутствии гофрирования равный 1);

$l_{\text{г}}$, l — длины соответственно выпрямленного и невыпрямленного гофрированного покрова.

При наличии нескольких металлических покровов суммарное сопротивление их будет равно сопротивлению параллельного соединения всех покровов:

$$R_{\text{п}} = \frac{1}{\sum_{1}^{n} 1/R_i},$$

где R_i — сопротивление i-го слоя.

Расчет активного сопротивления, Ом/км, с учетом потерь на гистерезис в покрове из низкоуглеродистой стали (НУ) рекомендуется производить по формуле

$$R_i = 4 \cdot 10^{-4} (\mu_r/300)^2 f V,$$

где μ_r — магнитная проницаемость материала покрова; f — частота тока, Гц; V — объем стального покрова, м³, или, принимая для броненленты,

$$V = b\,\delta\,\kappa = \frac{b\,\delta\pi D_{\text{ср}}}{b_{\text{эк}}} \cdot 10^{-6},$$

где b — ширина бронеленты, мм; δ — толщина бронеленты, мм; $b_{эк}$ — эквивалентная ширина бронеленты, мм;

$D_{ср}$ — средний диаметр наложения бронеленты, мм, получаем

$$R_i = 4 \cdot 10^{-4} (\mu_r/300)^2 f \frac{b\,\delta\pi\,D_{ср}}{b_{эк}} \cdot 10^{-6}.$$

Для стальной трубки или продольной ленты, принимая

$$V = \pi D_{ср} \delta \cdot 10^{-6},$$

получаем

$$R_i = 4 \cdot 10^{-4} (\mu_r/300)^2 f \pi D_{ср} \delta,$$

а с учетом гофрирования

$$R_i = 4 \cdot 10^{-4} (\mu_r/300)^2 f \pi D_{ср} \delta \kappa_г.$$

Внешняя индуктивность металлических покровов, Г/км,

$$L_{вш} = \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{4 \cdot 10^6}{1{,}781 \cdot D_{ср} |\varkappa|},$$

где μ_0 — магнитная постоянная, Г/м; $D_{ср}$ — средний диаметр наложения покрова, мм; $|\varkappa| = \sqrt{\omega \mu_0 \sigma_з}$ — коэффициент проникновения тока в землю, 1/м; $\omega = 2\pi f$ — угловая частота; f — частота, Гц; $\sigma_з$ — удельная проводимость, См/м.

Принимая удельную электрическую проводимость земли равной $25 \cdot 10^{-3}$ См/м (среднее значение для СССР) и подставляя численные значения отдельных величин, получаем расчетную формулу для $L_{вш}$, Г/км:

$$L_{вш} \cong 2 \cdot 10^{-4} \ln [5{,}07 \cdot 10^6 / D_{ср} \sqrt{f})].$$

При расчете внутренней индуктивности металлических покровов кабеля учитывается только индуктивность магнитных покровов, в частности стальных оболочек, лент и бронепроволок, так как магнитная проницаемость таких покровов в сотни раз больше, чем у немагнитных покровов. По этой же причине в случае расчета полной индуктивности металлических покровов кабеля при отсутствии в них магнитных материалов учитывается только внешняя индуктивность.

При наличии металлического покрова из магнитного материала внутренняя индуктивность определяется по формуле, Г/км,

$$L_{вт} = (1{,}5 \mu_r \delta_{эк} \kappa / D_{ср}) \cdot 10^{-4}, \qquad (11.8)$$

где μ_r — относительная магнитная проницаемость металлического покрова (стальной оболочки, брони и т. д.); $\delta_{эк}$ — эквивалентная толщина покрова, соответствующая толщине покрова при сплошном заполнении по сечению.

Для стальной гофрированной оболочки $\delta_{эк} = \delta$ и

$$L_{вт} = (1{,}5 \mu_r \delta / D_{ср}) \cdot 10^{-4}. \qquad (11.9)$$

Для стальной ленточной брони $\delta_{эк} = n\delta b / b_{эк}$ и

$$L_{вт} \approx (1{,}5 \mu_r n \delta \kappa K_{у.п.н} / D_{ср}) \cdot 10^{-4}, \qquad (11.10)$$

где n — число лент.

Для проволочной брони $\delta_{эк}=\pi dn/4$ и

$$L_{вт}\approx(0{,}375\mu_r\pi dn\kappa/D_{ср})\cdot 10^{-4}, \qquad (11.11)$$

где n — число слоев бронепроволоки.

При определении внутренней индуктивности по формулам (11.8) — (11.11) необходимо учитывать, что магнитная проницаемость магнитных материалов, в данном случае брони или оболочки, не является величиной постоянной, а зависит от индуктированного в металлических покровах кабеля тока, который определяет напряженность магнитного поля в них и, следовательно, μ_r этих покровов.

Для расчета $L_{вт}$ применяют метод последовательного приближения по схеме:

$$\mu_r\rightarrow L_{вт}\rightarrow Z\rightarrow I\rightarrow H\rightarrow\mu_r,$$

где $Z=R_{\sim}+i\omega L$ — полное сопротивление покровов кабеля, Ом/км; — активная составляющая полного сопротивления, Ом/км; $L=L_{вш}+L_{вт}$ — индуктивность покровов, Г/км; $L_{вш}$ и $L_{вт}$ — внешняя и внутренняя индуктивность, Г/км; $I=U/Z$ — ток в магнитном покрове кабеля, А; U — напряжение, наведенное на металлические покровы кабеля, В/км; $H=[1/(\pi D_{ср})]\cdot 10^3$ — напряженность магнитного поля в магнитном покрове кабеля, А/м; $D_{ср}$ — средний диаметр наложения магнитного покрова, мм; μ_r — относительная магнитная проницаемость материала магнитного покрова.

По этой схеме сначала в формулы (11.8) — (11.11) подставляют ориентировочную величину, затем с помощью найденных величин внутренней индуктивности, полного сопротивления всех по-

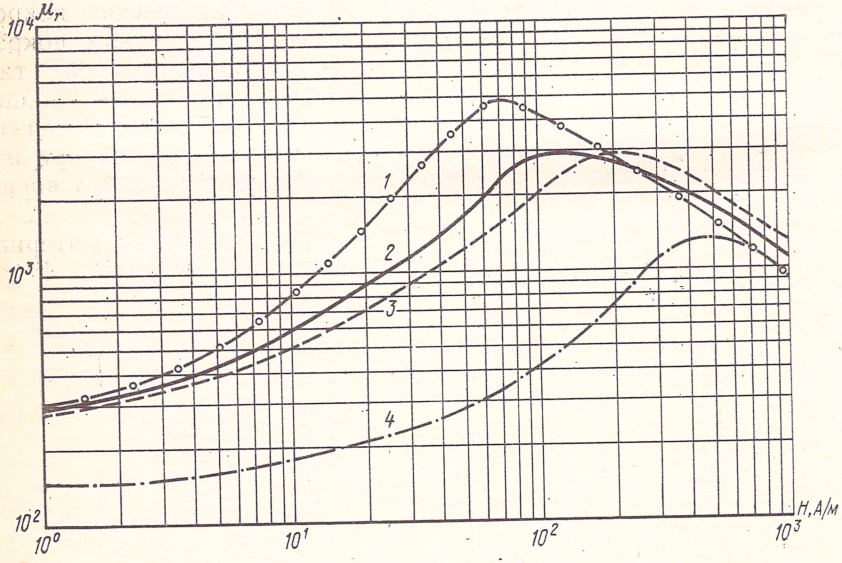


Рис. 11.2. Зависимость $\mu_r=f$ (H):
1 — сталь ХТБ; *2* — сталь 05 НС; *3* — сталь АРМКО; *4* — сталь НУ

кровов и наведенного напряжения определяют индуктированный ток. После этого определяют напряженность магнитного поля в магнитном покрове и соответственно (рис. 11.2) магнитную проницаемость. Если найденная величина μ_r не совпадает с принятой, в формулы (11.8) — (11.11) подставляют новое (промежуточное) значение и расчет повторяют до совпадения этих величин.

Как показано выше, общепринятая методика определения КЗД и электрических параметров экранирующих покровов кабелей достаточно сложна и трудоемка, особенно при проведении многократных расчетов. Для упрощения этих расчетов целесообразно пользоваться рациональным графическим методом расчета с помощью специально построенных номограмм для немагнитных (у небронированных кабелей) и магнитных (у бронированных кабелей) экранирующих покровов. В первом случае — это составная сетчатая номограмма, построенная в вертикально сопряженных квадрантах на логарифмической и полулогарифмической сетках. Во втором случае — это составная сетчатая номограмма, состоящая из четырех элементарных номограмм, расположенных в четырех сопряженных квадрантах.

На рис. 11.3 приведена номограмма, относящаяся только к кабелям с немагнитными экранирующими покровами. Ход решения указан на схеме номограммы.

Нижний график номограмм дает возможность определить сопротивление постоянному току различных оболочек кабеля (свинцовой, алюминиевой, медной) в зависимости от их толщины при различных их средних диаметрах. Верхний график используется для определения КЗД кабелей с немагнитными экранирующими покровами при различных частотах, если известно сопротивление покровов кабеля постоянному току и средний диаметр их наложения.

Эта номограмма позволяет без дополнительных расчетов определить величину КЗД кабеля с немагнитными экранирующими покровами при заданных конструктивных параметрах и, наоборот, конструкцию покровов кабеля для получения необходимой величины КЗД. Последовательность построения в этих двух случаях указана цифрами соответственно в окружности (○) и треугольнике (△).

Для определения электрических параметров экранирующих покровов и КЗД кабеля с любыми по материалу и конструкции покровами целесообразно пользоваться номограммой, приведенной на рис. 11.4. Ход решения указан на ее схеме. Правый нижний график номограммы дает возможность определить сопротивление постоянному току экранирующих покровов различных типов (оболочка — о, лента — л, проволока — п) из разных материалов (свинец — Pb, алюминий — Al, медь — Cu, сталь — Fe) в зависимости от диаметра их наложения.

Для удобства построения приняты следующие конструктивные ограничения: экранирующие покровы считаются однослойным ($n=1$); толщина оболочек и диаметр проволок равны 1 мм; шири-

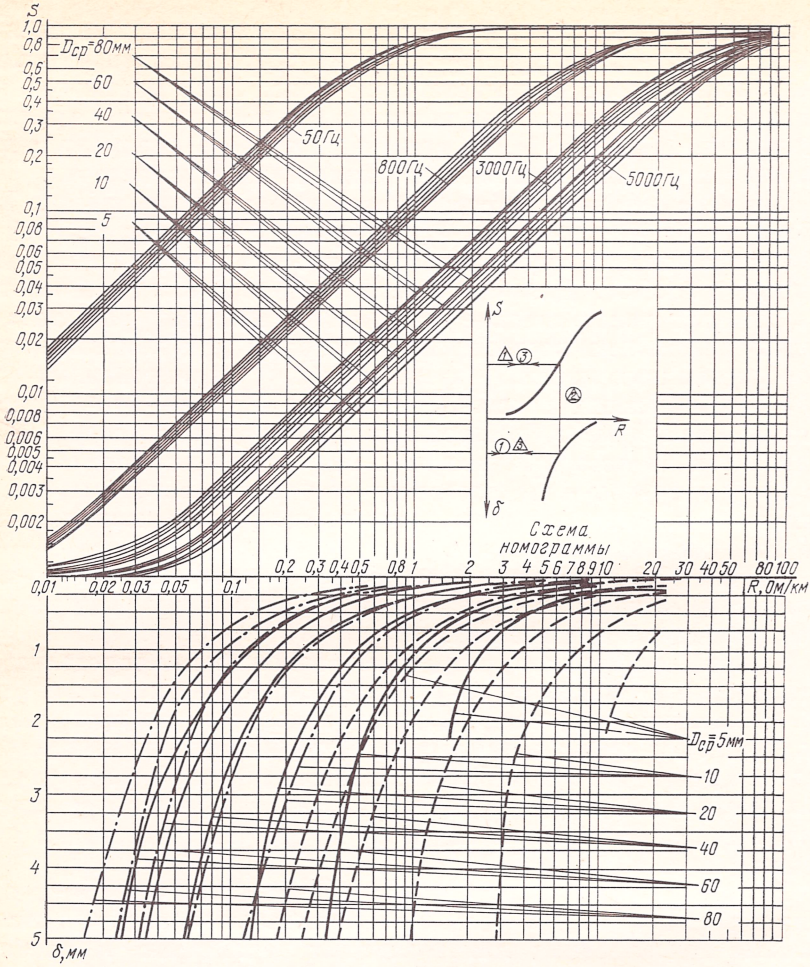


Рис. 11.3. Номограмма для определения КЗД немагнитных экранирующих покровов кабелей:

○ — определение КЗД; △ — определение толщины оболочки; ———— алюминий; —·—·— медь, — — — свинец

на лент — 50 мм; толщина лент — 0,1 и 1 мм соответственно для немагнитных (алюминий и медь) и магнитных (сталь) материалов.

При наличии конструктивных данных, отличных от принятых, необходимо пользоваться следующими формулами пересчета:

для оболочки $R_0 = R'_0/\delta$,

для ленты немагнитной $R_л = 250R'_л/(nb\delta)$,

для ленты магнитной $R_л = 2500R'_л/(nb\delta)$,

для слоя проволоки $R_n = R'_n/nd^2$,

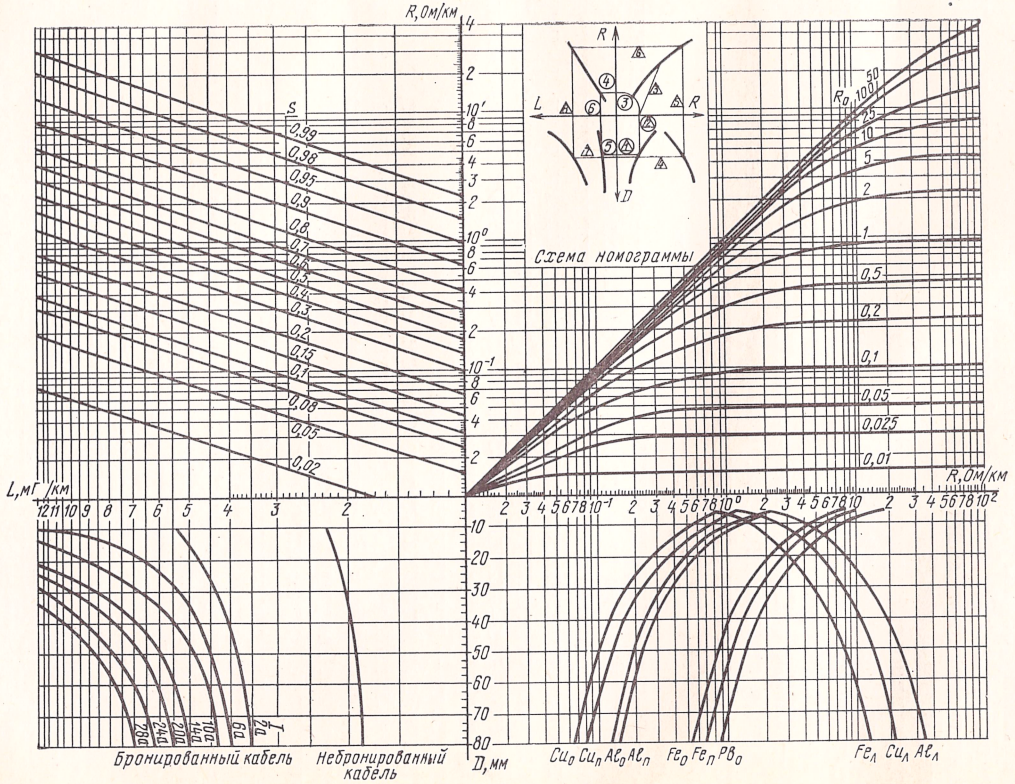


Рис. 11.4. Номограмма для определения КЗД экранирующих покровов кабеля: ○ — однородный покров; △ — разнородный (двухслойный) покров

В этих формулах: R_0, $R_л$, $R_п$ — искомые сопротивления соответствующих покровов; R'_0, $R'_л$, $R''_п$ — сопротивления соответствующих покровов, полученные по данной номограмме; δ — толщина покрова оболочки или ленты; n — число слоев; b — ширина ленты; d — диаметр проволок.

Пересчетная формула для слоя проволок получена при условии, что угол наложения проволок равен нулю, что является допустимым, так как обычно слой проволок имеет очень малый угол наложения.

Сопротивление постоянному току экранов, состоящих из двух разнородных покровов (например, бронированный кабель), определяется по правому верхнему октанту. Предварительно по правому нижнему октанту определяется сопротивление каждого покрова отдельно. Если имеется больше двух покровов, то можно пользоваться правым верхним октантом, прибавляя каждый раз по одному слою, считая его вторым.

Индуктивность экрана определяется по левому нижнему октанту в зависимости от среднего диаметра наложения всех покровов и, в случае наличия магнитного покрова, от величины тока. При этом принимаются: частота тока — 50 Гц, удельная проводимость земли — 25×10^{-3} См/м; конструкция экрана — одна лента шириной 50 мм и толщиной 1 мм. При другой конструкции экрана необходимо произвести пересчет по формуле

$$L = [50(L' - L_{вш})\delta n]/b + L_{вш},$$

где L — полная индуктивность, искомая; L' — полная индуктивность, полученная из графиков; $L_{вш}$ — внешняя индуктивность.

После определения электрических параметров экранирующих покровов, в частности сопротивления постоянному току и индуктивности, по семейству прямых, изображенных в левом верхнем октанте, находим значения КЗД. Последовательность построения указана цифрами для однородного экрана в окружности (○) и разнородного — в треугольнике (△).

Эта же номограмма при обратном построении дает возможность по заданному КЗД определить конструкции экранизирующих покровов кабеля. В случае отсутствия кривых, точно соответствующих необходимым величинам, нужные значения находятся методом графической интерполяции.

Экспериментальное определение КЗД кабелей ГТС можно проводить как косвенным методом, измеряя параметры экранирующих покровов, так и непосредственно, измеряя уменьшение ЭДС, наводимой на жилы кабеля при наличии экранирующего покрова. В последнем случае измерения производятся на коротких образцах (1,2—1,7 м) с помощью прибора Relmse 53[а] [12].

В настоящее время разработан прибор (УИКЗД) для измерения КЗД в широком диапазоне частот (до 600 кГц). Этот прибор по сравнению с вышеописанным дает более точные результаты, так как конструктивно позволяет изменять внешнюю индуктивность $L_{вш}$ в необходимых пределах [9].

Сравнение результатов измерений и расчетов показывает хорошее совпадение их, а некоторое отклонение объясняется принятыми допущениями: в расчете, учитывая низкочастотность рассматриваемого диапазона, сопротивление металлических покровов кабеля принимается равным сопротивлению постоянному току, а в измерениях согласно системе измерений внешняя индуктивность экра-

нирующих покровов принимается всегда равной 2 мГ/км. Кроме того, необходимо учитывать, что техническая документация допускает некоторые отклонения в конструктивных параметрах (диаметре сердечника, радиальной толщине оболочки, экране или брони и т. п.) кабелей ГТС, которые, в свою очередь, влияют на величину КЗД.

Результаты определения идеального КЗД для существующих многопарных кабелей в свинцовой и пластмассовой оболочках (типа Т и ТПП) приведены на рис. 11.5.

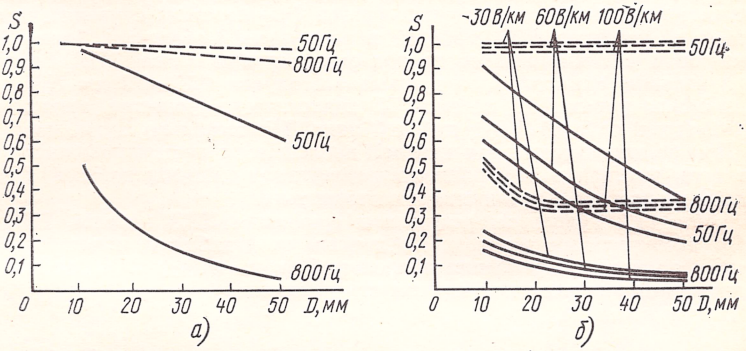


Рис. 11.5. Коэффициент защитного действия существующих кабелей ГТС: *а*) небронированных; *б*) бронированных;
———— в свинцовой оболочке, — — — в пластмассовой оболочке

Данные графики подтверждают положение об уменьшении КЗД при уменьшении сопротивления постоянному току экранирующих покровов кабеля, увеличении частоты влияющего тока, а также наводимого напряжения (до определенной величины) для кабеля с магнитными экранирующими покровами. Они подтверждают зависимость КЗД небронированных кабелей в свинцовой оболочке (типа ТГ) и в пластмассовой с алюминиевым экраном (типа ТПП) от диаметра сердечника кабеля и частоты. С увеличением емкости (диаметра) кабеля и частоты КЗД снижается, причем с увеличением одного из факторов увеличивается зависимость КЗД от другого. Это объясняется тем, что сопротивление постоянному току экранирующих покровов в зависимости от диаметра кабеля уменьшается резче, чем индуктивность. Соответственно отношение этих величин увеличивается, что в свою очередь уменьшает КЗД.

Величина КЗД кабелей ТПП с алюминиевым спиральным экраном значительно больше, чем кабелей со свинцовой оболочкой, так как сопротивление спирально намотанной ленты с учетом отсутствия контактной проводимости значительно больше, чем у свинцовой трубки. Эти же причины приводят к гораздо меньшей зависимости КЗД кабелей с алюминиевым спиральным экраном от диаметра кабеля по сравнению с кабелем со свинцовой оболочкой.

Незначительная зависимость КЗД в кабелях этого типа от диаметра объясняется также тем, что отношение индуктивности к

сопротивлению экрана, непосредственно влияющее на КЗД, с изменением диаметра кабеля меняется мало. С одной стороны, с увеличением диаметра кабеля, учитывая уменьшение внешней индуктивности и увеличение сопротивления постоянному току из-за отсутствия контактной проводимости спиральной ленты, упомянутое отношение уменьшается, с другой стороны — принятое при этом увеличение ширины ленты экрана приводит к его увеличению.

Коэффициент защитного действия кабелей типа ТПП с продольным алюминиевым экраном естественно уменьшается (улучшается) с увеличением емкости кабеля. Сравнение КЗД кабелей в свинцовой оболочке (типа ТГ) и в пластмассовой с алюминиевым продольным экраном (типа ТПП) показывает, что при толщине алюминиевого продольного экрана 0,15—0,2 мм КЗД кабелей ТПП примерно равен КЗД кабелей ТГ аналогичного диаметра, причем при малых диаметрах кабелей КЗД кабелей типа ТГ несколько хуже, чем кабелей ТПП. При больших диаметрах кабелей наблюдается противоположная картина. Кроме того, разница в коэффициентах защитного действия кабелей ТГ и ТПП несколько возрастает с увеличением частоты тока.

В табл. 11.1 приведены результаты сравнения КЗД кабелей ТПП с продольным и спиральным экраном. По данным этой таблицы можно сделать вывод, что в одинаковых условиях продольный экран из одной алюминиевой ленты эквивалентен спиральному из пяти-шести лент.

Таблица 11.1

Марка кабеля	Характеристика алюминиевого экрана	Количество лент	КЗД
ТПП 100×4×0,4	Продольный гофрированный	1	0,91
	Спиральный	3	0,96
	»	5	0,93
	»	6	0,91
	»	7	0,90
ТПП 200×4×0,4	Продольный гофрированный	1	0,83
	Спиральный	4	0,85
	»	5	0,83
	»	7	0,77

На рис. 11.5 приведена зависимость КЗД бронированных кабелей в свинцовой оболочке (типа ТБ) и в пластмассовой с алюминиевым спиральным экраном (типа ТППБ) от диаметра кабеля, частоты и наведенного напряжения. С увеличением каждого из этих факторов КЗД уменьшается: увеличение частоты увеличивает влияние диаметра и уменьшает влияние наводимого напряжения на КЗД. Увеличение зависимости влияния диаметра кабеля на КЗД от частоты объясняется не только причинами, рассмотренными выше, но и увеличением внутренней индуктивности за счет роста магнитной проницаемости экранирующих покровов в результате возрастания тока в покровах, сопротивление которых в этом случае уменьшается.

Уменьшение влияния наводимого напряжения с увеличением частоты объясняется уменьшением магнитной проницаемости и соответственно внутренней индуктивности экранирующих покровов,

что особенно чувствуется при несоизмеримости активной и реактивной составляющих полного сопротивления.

Зависимость КЗД бронированных кабелей от наводимого напряжения при увеличении частоты значительно больше у кабелей с алюминиевым спиральным экраном, чем у кабелей в свинцовой оболочке, так как в первом случае соизмеримость активной и реактивной составляющих приводит к большей зависимости КЗД от магнитной проницаемости покровов.

Сравнение КЗД бронированных кабелей показывает, что применение брони в кабелях с пластмассовой оболочкой и алюминиевым экраном значительно менее эффективно, чем в кабелях со свинцовой оболочкой.

Исследования КЗД бронированных кабелей различного типа в свинцовой оболочке (ТБ), с алюминиевым продольным или спиральным экраном (ТППБ) показывают, что применение брони эффективно только при наличии слоя с малым сопротивлением постоянному току, так как только при этом создается значительный ток в экранирующих покровах и соответственно большая напряженность магнитного поля, обеспечивающая значительный экранирующий эффект. Данное положение хорошо иллюстрируется табл. 11.2, в которой приведено улучшение (в процентах) КЗД

Таблица 11.2

Емкость кабеля	Величина КЗД для кабеля типа								
	Т		Улучшение КЗД, %	ТПП (экран продольный)		Улучшение КЗД, %	ТПП (экран спиральный)		Улучшение КЗД, %
	небронированного	бронированного		небронированного	бронированного		небронированного	бронированного	
210×2	—	—	—	0,99	0,96	2,6	0,99	0,990	0
320×2	0,97	0,90	7,2	—	—	—	—	—	—
150×2	0,97	0,70	27,4	0,97	0,86	11,2	0,99	0,970	2,0
600×2	0,92	0,61	33,9	0,94	0,83	11,8	0,99	0,967	2,3
00×2	0,87	0,32	40,8	0,93	0,78	16,1	0,99	0,965	2,5
00×2	0,82	0,42	48,6	0,86	0,75	13,0	0,99	0,960	3,0
00×2	0,66	0,30	54,8	0,83	0,59	29,7	0,99	0,940	5,0

кабелей при наложении брони. Действительно, КЗД бронированных кабелей Т и ТПП с продольным и спиральным алюминиевым экраном по сравнению с небронированными кабелями этих типов уменьшается соответственно в диапазонах: 5—50%, 2—30%, 0—5%. Причем с увеличением емкости кабелей (диаметра наложения экранирующих покровов) наблюдается резкое уменьшение КЗД бронированных кабелей.

Следовательно, для эффективного с точки зрения экранирования использования бронепокрова необходимо, чтобы в конструкции кабеля имелся бы экранирующий покров из хорошо проводя-

щего материала, достаточной толщины, обладающий малым сопротивлением постоянному току.

Сравнение КЗД экранирующих покровов бронированных и небронированных кабелей с алюминиевыми ленточными экранами (см. табл. 11.2) показало незначительное улучшение КЗД при бронировании таких кабелей. Это ставит под вопрос целесообразность применения в бронированных кабелях с пластмассовой оболочкой алюминиевого ленточного экрана. Стальные ленты брони могут обеспечить примерно такой же КЗД, как и в совокупности с алюминиевым экраном. Исключение же из конструкции подобного кабеля алюминиевого экрана даст значительный экономический эффект, снижение стоимости кабеля и затрат на его монтаж.

Рассмотренный материал по КЗД существующих многопарных кабелей свидетельствует о том, что наилучший (наименьший) КЗД имеет бронированный кабель в свинцовой оболочке (ТБ); несколько хуже он у кабелей небронированных в свинцовой оболочке (ТГ) и бронированных с алюминиевым продольным экраном (ТППБ); значительно худший у бронированных кабелей со спиральным экраном и небронированных с продольным и, наконец, наихудший (наибольший) у небронированного кабеля с алюминиевым спиральным экраном (ТПП), что указывает на явную недостаточность алюминиевого спирального экрана для осуществления реальной защиты кабеля.

Исследование идеального коэффициента защитного действия существующих многопарных кабелей подтверждает, что для увеличения защищенности кабелей от внешних электромагнитных полей, т. е. для уменьшения КЗД, необходимо или увеличить индуктивность экранирующих покровов кабеля, или уменьшить их сопротивление постоянному току. Первое можно осуществить наложением на кабель брони с большой магнитной проницаемостью, второе — сплошной оболочки или продольной ленты, достаточной толщины из материала с хорошей проводимостью. Так, замена свинцовой оболочки алюминиевой может улучшить КЗД кабеля примерно в 8 раз, а медной — в 12 раз. Для получения же равного КЗД достаточно свинцовую оболочку заменить алюминиевой примерно в 5—8 раз тоньше или медной в 5—12 раз тоньше в зависимости от величины КЗД и диаметра кабеля.

11.3. РЕАЛЬНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ

Реальным коэффициентом защитного действия экранирующих покровов кабелей ГТС является КЗД этих покровов при сопротивлении заземления их, отличном от нуля, что в общем случае относится к кабелям, проложенным в реальных условиях.

Согласно известной формуле [2], с учетом неидеального заземления экранирующих покровов, реальный КЗД равен

$$S_{\text{р}} = 1 - \frac{Z_{\text{э ж}}}{Z_{\text{э}}}\psi = 1 - (1 - S_{\text{ид}})\psi = 1 - (1 - S_{\text{ид}})(1 - \varphi) = S_{\text{ид}} + (1 - S_{\text{ид}})\varphi, \tag{11.12}$$

где φ — расчетная функция. При отсутствии участков, не подверженных влиянию,

$$\varphi = \frac{\operatorname{sh}\frac{\gamma l}{2}\left[(1+p_н)\sqrt{p_к}\operatorname{sh}\left(\frac{\gamma l}{2}-\ln\sqrt{p_к}\right)+(1+p_к)\sqrt{p_н}\operatorname{sh}\left(\frac{\gamma l}{2}-\ln\sqrt{p_н}\right)\right]}{\gamma l\sqrt{p_н p_к}\operatorname{sh}(\gamma l-\ln\sqrt{p_н p_к})} \tag{11.13}$$

или в упрощенной показательной форме

$$\varphi = \frac{(e^{\gamma l}+1)[(e^{\gamma l}-1)(p_н+p_к)+2(e^{\gamma l}-p_к p_н)]}{2\gamma l(e^{2\gamma l}-p_н p_к)}. \tag{11.14}$$

В этих формулах: l — длина сближения ЛС и влияющей линии, м; $p_н=(Z_н-Z_в)/(Z_н+Z_в)$, $p_к=(Z_к-Z_в)/(Z_к+Z_в)$ — коэффициенты отражения соответственно в начале и конце цепи «экранирующие покровы — земля»; $Z_н$, $Z_к$ — сопротивления заземления соответственно в начале и конце линии связи, Ом; $Z_в$ — волновое сопротивление цепи «экранирующие покровы — земля», Ом; γ — постоянная распространения цепи «экранирующие покровы — земля», 1/м.

Постоянная распространения цепи «экранирующие покровы — земля» $\gamma=\sqrt{Z_э\cdot 10^{-3}/R_{пер}}$, 1/м, где $Z_э$ — полное продольное сопротивление экранирующих покровов; $R_{пер}$ — переходное сопротивление «экранирующие покровы — земля».

Волновое сопротивление цепи «экранирующие покровы — земля» $Z_в=\sqrt{Z_э R_{пер}\cdot 10^{-3}}$, Ом.

При наличии многократного заземления переходное сопротивление «экранирующие покровы — земля» состоит из переходного сопротивления за счет контактов между экранирующими покровами и землей $R'_{пер}$ и переходного сопротивления за счет заземления $R''_{пер}$:

$$R_{пер}=R'_{пер}R''_{пер}/(R'_{пер}+R''_{пер}).$$

Переходное сопротивление за счет заземления $R''_{пер}=R_з l_з\sqrt{nR_з}/(n\sqrt{R_з}+0{,}14\sqrt{l_з})$, Ом·м, где $R_з$ — сопротивление заземления, Ом; $l_з$ — расстояние между заземлениями, м; n — число заземлений.

Для кабелей, не имеющих пластмассовой оболочки, переходное сопротивление за счет контактов между экранирующими покровами и землей $R'_{пер}=R_{из}+\frac{1}{\pi\sigma_з}\ln\frac{1{,}12}{\gamma\sqrt{DH\cdot 10^{-3}}}$ Ом·м, где $R_{из}$ — сопротивление изоляции экранирующего покрова для практических расчетов, принимаемое равным нулю, Ом/м; $\sigma_з$ — удельная электрическая проводимость земли, См/м; γ — постоянная распространения «экранирующие покровы — земля», 1/м; D — диаметр наложения экранирующих покровов, мм; H — глубина прокладки кабеля, м.

Для кабелей, имеющих пластмассовую изолирующую оболочку (наружный покров типа Шп), переходное сопротивление $R'_{пер}=\frac{1}{G+G_{из}+i\omega C}+\frac{1}{\pi\sigma_з}\ln\frac{1{,}12}{\sqrt{DH\cdot 10^{-3}}}$, Ом·м, где $G=\omega C\operatorname{tg}\delta$ —

активная проводимость, обусловленная потерями в диэлектрике, Ом/м; $G_{из}$ — активная проводимость, обусловленная сопротивлением изоляции пластмассовой оболочки, Ом/м; C — емкость «экранирующие покровы — земля», Ф/м; $\operatorname{tg}\delta$ — тангенс угла диэлектрических потерь.

В практических расчетах при средней удельной электрической проводимости земли и частоте до 10—20 кГц можно принять $R'_{пер}=\frac{1}{i\omega C}$, Ом·м, где $C=\frac{\varepsilon_r}{18\ln(D_{вш}/D_{вт})}$, Ф/м, где ε_r — относительная диэлектрическая проницаемость оболочки кабеля; $D_{вш}$, $D_{вт}$ — соответственно внешний и внутренний диаметры оболочки кабеля, мм.

В большинстве практических случаев при равных величинах сопротивлений заземлений на концах линии ($Z_н=Z_к$) формула (11.13) упрощается

$$\varphi=\frac{(1+p)\operatorname{sh}(\gamma l/2)}{\sqrt{p}\,\gamma l\operatorname{ch}(\gamma l/2-\ln\sqrt{p})}. \qquad (11.15)$$

причем при $\gamma l\gg 1$ функция $\varphi=(1+p)/\gamma l$.

В случае изолированной оболочки расчетная функция (11.13) имеет вид: $\varphi=\frac{2\operatorname{th}(\gamma l/2)}{\gamma l}$, причем при $\gamma l\gg 1$ функция $\varphi=2/\gamma l$.

Иногда для расчетной функции [12] используется выражение, аналогичное ранее приведенному (11.13):

$$\varphi=\frac{2\operatorname{sh}n}{\gamma l}\,\frac{\operatorname{sh}(\gamma l+n)-\operatorname{sh}n}{\operatorname{sh}(\gamma l+2n)}, \qquad (11.16)$$

где $n=\operatorname{arcth}(Z_з/Z_в)$; $Z_з$ — сопротивление заземления.

При идеально заземленных экранирующих покровах ($Z_н=Z_к=0$) расчетная функция (11.14), (11.15) и (11.16) становится равной нулю, а реальный КЗД [см. (11.12)] — идеальному: $S_р=S_{ид}+(1-S_{ид})\varphi=S_{ид}$.

С некоторыми допущениями в инженерных расчетах реального КЗД можно учитывать только дополнительное активное сопротивление «экранирующие покровы — земля», возникающее за счет неидеального заземления оболочки [12]:

$$S_р=1/\sqrt{1+[\omega L/(R_0+R_з)]^2}$$

или

$$S_р=1/\sqrt{1+\left(\frac{1}{S^2_{ид}}-1\right)\left(\frac{R_0}{R_0+R_з}\right)^2}=1/\sqrt{1+\left(\frac{1}{S^2_{ид}}-1\right)Q^2}$$

откуда

$$S_{ид}=1/\sqrt{1+\left(\frac{1}{S^2_р-1}\right)\frac{1}{Q_2}}.$$

В данном случае отношение реального КЗД и идеального будет равно

$$\theta=1/\sqrt{S^2_{ид}+(1-S^2_{ид})Q^2}.$$

При использовании этих выражений необходимо учитывать, что величины (параметры), входящие в них, должны относится не к единице длины, а ко всей линии, и суммарное сопротивление заземлений должно быть приведено к соответствующей единице длины.

Для кабелей, заземленных на всем протяжении линии (ТГ, ТБ и т. п.), реальный КЗД целесообразно рассчитывать только для линий длиной до 3—5 км, так как для линий большей длины он равен идеальному. Для кабелей с пластмассовой защитной оболочкой типа ТПП реальный КЗД нецелесообразно рассчитывать, поскольку, учитывая величину идеального КЗД этих кабелей (около 1) и соотношение идеальных и реальных КЗД, для практических расчетов его можно считать равным 1.

Для определения реального КЗД предварительно необходимо провести расчеты вторичных параметров экранирующих покровов кабелей.

Величины реальных КЗД кабелей типа Т при длине линии 500 и 3000 м, частоте 50 и 800 Гц, удельной электрической проводимости земли 25 См/м, а для кабелей бронированного типа при продольной ЭДС, равной 30 В/км, приведены на рис. 11.6. Здесь же для сравнения приведены значения соответствующих идеальных КЗД на частоте 800 Гц.

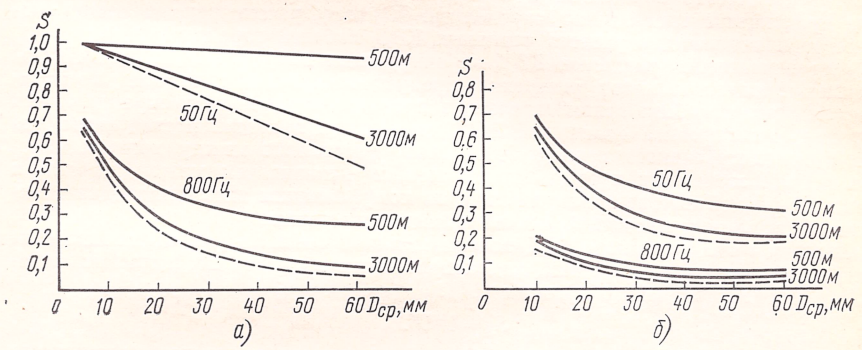


Рис. 11.6. Реальный КЗД существующих кабелей ГТС в свинцовой оболочке: *а*) небронированных; *б*) бронированных;
———— реальный, — — — идеальный

Реальный и идеальный КЗД имеют одинаковую зависимость от емкости кабеля (диаметра наложения экранирующих покровов), частоты влияющего тока и наведенного напряжения. Изменение удельной электрической проводимости земли влияет по-разному на реальный и идеальный КЗД: первый уменьшается, а второй увеличивается с увеличением проводимости. С увеличением длины линии величина реального КЗД уменьшается и асимптотично приближается к величине идеального, поэтому рассчитывать его для кабелей типа Т при длине линии более 2—5 км нецелесообразно.

Расчет коэффициента защитного действия (в частности, реального) экранирующих покровов кабелей — длительный и трудоемкий процесс, особенно при выборе оптимальной конструкции кабеля, когда необходимо многократное проведение этого расчета. Для облегчения данного процесса расчет КЗД запрограммирован на ЭВМ. Программа составлена применительно к машине БЭСМ-2М, а алгоритм расчета записан на языке ALGOL-60 [10]. Этой же программой можно пользоваться для расчета параметров экранирующих покровов кабеля. В программе использовался вышеизложенный метод расчета с использованием выражения для функции φ в показательной форме.

Значительный интерес представляет экспериментальное определение реальных КЗД экранирующих покровов многопарных кабелей. В настоящее время из-за отсутствия возможности моделирования реальных условий прокладки кабеля не существует лабораторных методов измерения реальных КЗД и последний обычно определяется следующим методом.

Предварительно измеряются наводимые в жилах кабеля ЭДС, а затем реальный КЗД рассчитывается по формуле

$$S_{\text{р}} = E/(\omega M I S_{\text{эк}} l). \qquad (11.17)$$

В общем случае определение входящих в формулу (11.17) величин довольно сложный и трудоемкий процесс, дающий к тому же не вполне достоверные результаты. При проведении исследований в городах, поселках и других населенных пунктах, а также в районах железнодорожных станций, где имеется большое количество подземных и наземных металлических сооружений, их вообще практически невозможно определить. Поэтому рассмотренный выше способ мало приемлем для расчета реальных КЗД кабелей городской связи.

Для нахождения реальных КЗД экранирующих покровов этих кабелей может быть предложен метод измерения, предусматривающий прокладку по трассе исследуемого кабеля вспомогательного провода, не имеющего экранирующих покровов, с синхронной фиксацией ЭДС, наводимых в жилах исследуемого кабеля и вспомогательного провода. Поскольку расстояние между жилами кабеля и вспомогательными проводами значительно меньше, чем между жилами и влияющей линией высокого напряжения, то коэффициенты взаимоиндукции между этими жилами и влияющей линией практически равны.

Учитывая это, реальный КЗД кабеля можно вычислить как отношение синхронно измеренных напряжений, индуктированных в жилах исследуемого кабеля (U) и вспомогательного провода (U'):

$$S_{\text{р}} = U/U'.$$

Следует отметить, что при этих измерениях существенные погрешности может вносить наличие гальванической составляющей наводимого напряжения. Для уменьшения этой составляющей в формулу целесообразно подставлять величины наводимых в незаземленной жиле напряжений, равные 1/2 ЭДС, а вспомогательные заземления организовать при максимальном удалении от влияющей линии.

Обобщенные результаты экспериментального исследования реальных КЗД различных типов кабелей и сравнение их с расчетными величинами идеальных КЗД показали следующее:

расхождение расчетных и экспериментальных значений реального КЗД составляет около 10%;

в общем случае реальный КЗД экранирующих покровов кабеля превышает идеальный на 15—25%;

при наличии участков кабельной линии, не подверженных магнитному влиянию, пересекающих электрифицированную железную дорогу или проходящих в непосредственной близости от тяговых подстанций, т. е. находящихся в зоне непосредственного гальванического влияния, реальный КЗД несколько ближе к идеальному (разница около 10%);

реальный КЗД кабельных линий небольшой длины (до 1 км) при неблагоприятных условиях превышает идеальный на 30—40%.

Эти результаты представляют интерес для практических проектных расчетов и позволяют с достаточной точностью определить возможность сближения кабелей связи с линиями высокого напряжения, а также подтверждают зависимость реального КЗД от состояния сопротивления экранирующих покровов относительно земли, их продольного сопротивления и доказывают значительное влияние условий прокладки, в частности, расположения трассы кабельной линии относительно влияющей линии.

11.4. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ КАБЕЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Сравнение реальных величин опасного влияния с допустимыми нормами показывает, что для снижения возможных наводимых напряжений до уровня допустимых необходимо иметь кабели с большим количеством градаций КЗД, что не может быть целесообразным. Поэтому рекомендуется [12], в зависимости от условий влияния линий высокого напряжения, условно разделять все кабели на три группы:

1) кабели, предназначенные для использования в легких условиях прокладки, когда наводимые опасные напряжения примерно соответствуют норме, и имеющие КЗД экранирующих покровов, примерно равный 1;

2) кабели, предназначенные для использования в нормальных условиях прокладки, когда наводимые опасные напряжения в 1,5—2 раза больше нормы, и имеющие КЗД экранирующих покровов, равный 0,8—0,5.

3) кабели, предназначенные для использования в тяжелых условиях прокладки, когда наводимые опасные напряжения в 4—10 раз больше нормы, и имеющие КЗД экранирующих покровов, равный 0,3—0,1.

Согласно этой классификации существующие кабели в пластмассовой оболочке с алюминиевым спиральным экраном можно отнести к первой группе, кабели в свинцовой оболочке — ко второй. К третьей группе кабелей, т. е. допускающих прокладку в тяжелых условиях при непосредственной близости линий высокого напряжения и имеющих КЗД, равный 0,3—0,1, не может быть отнесен ни один из существующих типов многопарных кабелей.

Как уже указывалось, создание экранирующих покровов с малым КЗД может быть обеспечено за счет применения металлов или с малым удельным электрическим сопротивлением (медь, алюминий) или с большой магнитной проницаемостью (сталь 0,5НС, ХТБ, АРМКО и т. п.). Второй вариант практически эффективен не самостоятельно, а только при использовании совместно с первым.

При разработке новых типов кабелей целесообразно определить оптимальную конструкцию экранирующих покровов.

Вначале рассмотрим экранирующие покровы без магнитных элементов (небронированный кабель). Как известно, КЗД при определенной частоте и индуктивности будет минимальным при ми-

нимальном сопротивлении экранирующих покровов постоянному току. Выражая сопротивление постоянному току через стоимостные показатели, находим

$$R=\rho\gamma p l^2/P, \qquad (11.18)$$

где γ — плотность материала экранирующего покрова; ρ — удельное электрическое сопротивление материала экранирующего покрова; l — длина, p — удельная стоимость экранирующего покрова на единицу массы; P — полная стоимость экранирующих покровов.

Из (11.18) видно, что минимальное сопротивление постоянному току и соответственно минимальный КЗД при определенной стоимости экранирующих покровов или минимальная стоимость при определенном сопротивлении постоянному току, т. е. КЗД, будут иметь место при минимуме удельного коэффициента $K_1=\rho\gamma p$.

В настоящее время при существующих ценах немагнитным материалом, обеспечивающим оптимальный эффект, является алюминий, конкурировать с которым свинец и медь без учета дефицитности смогут только при значительном удешевлении.

При наличии в экранирующих покровах магнитных элементов оптимальность последних определяется следующим образом. Внешняя индуктивность принимается постоянной (2 мГ), а внутренняя

$$L_{вт}=1{,}5\mu_r\delta_{эк}/D_{ср}$$

или при переходе к стоимостным показателям

$$L_{вт}=1{,}5\mu_r P/(\pi D^2_{ср}\gamma p), \qquad (11.19)$$

где μ_r — относительная магнитная проницаемость материала экранирующего элемента; γ — плотность материала экранирующего элемента, p — удельная стоимость экранирующего элемента на единицу массы; P — полная стоимость экранирующего элемента; $D_{ср}$ — средний диаметр наложения покрова; l — длина.

Как известно, при определенных значениях частоты и сопротивления постоянному току экранирующих покровов КЗД будет минимальным при максимальной индуктивности последних. Согласно (11.19) максимальная индуктивность (фактически внутренняя) при определенной стоимости экранирующих покровов или минимальная стоимость при определенной индуктивности будет иметь место при минимальном удельном коэффициенте $K_2=\mu_r/(\gamma p)$. Из анализа значений коэффициентов K_1 и K_2 видно, что при существующих ценах и величине наводимой ЭДС, равной 30 В/км, наиболее целесообразно для бронирования кабеля использовать сталь НУ.

Таким образом, зная характеристики (плотность, удельное сопротивление, магнитную проницаемость и удельную стоимость) металлов, используемых в качестве материалов для экранирующих покровов и найдя значения коэффициентов K_1 и K_2, можно определить оптимальную конструкцию экранирующих покровов кабеля. При этом вначале определяется оптимальная конструкция

немагнитных элементов экранирующих покровов, а затем, при необходимости, оптимальная конструкция магнитных элементов.

При определении оптимальной конструкции экранирующих покровов предлагаемым методом не учитываются технологичность производства и дефицитность материалов, что может привести на практике к некоторой коррекции полученных результатов.

11.5. КАБЕЛИ ГТС ДЛЯ ЗОН ВЛИЯНИЯ

Существующие в настоящее время многопарные кабели удовлетворяют только двум классификационным группам: с КЗД порядка 1,0 (кабели в полиэтиленовой оболочке типа ТПП) и с КЗД порядка 0,8—0,5 (кабели в свинцовой оболочке типа Т). Это определяет необходимость в многопарных кабелях повышенной защищенности от внешних электромагнитных влияний с КЗД, равным 0,3—0,1.

На рис. 11.7 приведены расчетные данные КЗД в зависимости от диаметра сердечника на кабель с различными экранирующими покровами. При расчете

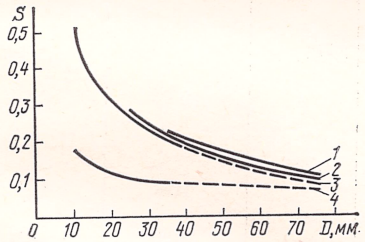


Рис. 11.7. Коэффициент защитного действия различных экранирующих покровов:

1 — гофрированного алюминия δ=2 мм; *2* — гофрированной меди δ=0,3 мм, бронированной двумя стальными лентами δ=0,8 мм; *3* — гладкого алюминия δ=2 мм; *4* — гладкого алюминия δ=2 мм, бронированного двумя стальными лентами δ=0,5 мм

учитывалось, что электропроводящие, а следовательно, и экранирующие свойства медного экрана толщиной 0,3 мм не эквивалентны свойствам алюминиевой оболочки толщиной 2,0 мм. Для компенсации этого оказалось достаточно усилить защитные действия бронированного медного экранирующего покрова, например, применением утолщенной брони. График на рис. 11.7 показывает, какие экранирующие покровы обеспечивают необходимые КЗД при различных диаметрах их наложения (емкости кабеля).

На основе этого с учетом технологических возможностей кабельной промышленностью предлагается две конструкции многопарных бронированных кабелей в алюминиевой оболочке с КЗД 0,1—0,2 и с медным экраном и КЗД порядка 0,2—0,3.

Кабель в алюминиевой оболочке типа ТПАБШп имеет медные жилы диаметром 0,5 мм с полиэтиленовой изоляцией и сердечник с элементарными 10×2 пучками, обмотанный одной пластмассовой и шестью бумажными лентами (рис. 11.8*а*). Радиальная толщина алюминиевой оболочки равна 1,9 мм. Кабель бро-

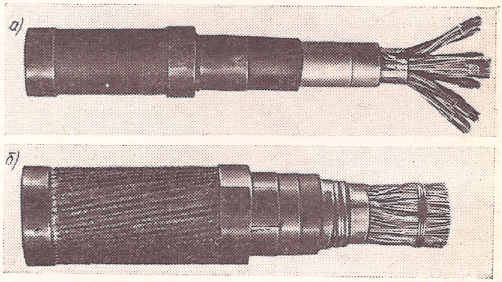


Рис. 11.8. Кабели для зон влияния:

а) в алюминиевой оболочке типа ТПАБШп; *б*) с медным экраном типа ТПМПБ

нируется двумя стальными лентами толщиной 0,5 мм, поверх которых накладывается наружный полиэтиленовый шланг. Емкость этого кабеля может быть 50×2, 100×2, 200×2.

Кабель с медным экраном типа ТПМПБ имеет медные жилы диаметром 0,4 мм с полиэтиленовой изоляцией и сердечник с элементарными 5×4 пучками (которые, в свою очередь, скручиваются в главные 25×4 пучки), обмотанный двумя пластмассовыми лентами (рис. 11.8*б*). Для медного гофрированного экрана используется медная лента толщиной 0,25—0,3 мм. Поверх экрана накладывается полиэтиленовая оболочка. Кабель бронируется двумя стальными лентами толщиной 0,8 мм. Емкость кабеля — 150×4, 200×4 и 300×4.

Наружный защитный покров указанных кабелей может быть двух вариантов: джутовая обмотка (ТПАБ, ТПМПБ) или полиэтиленовый шланг (ТПАБШп и ТПМПБШп). Основные электрические характеристики этих кабелей приведены в табл. 11.3. На рис. 11.9 приведены зависимости КЗД опытных

Таблица 11.3

Наименование характеристик	Единица измерения	Частота, кГц	Кабель типа	
			ТПАБШп	ТПМПБ
Электрическое сопротивление токопроводящей жилы	Ом/км	Пост. ток	88±5	140±7
Сопротивление изоляции жил, не менее	МОм·км	»	10^{+4}	10^{+4}
Испытательное напряжение, прикладываемое в течение 2 мин	В	0,05		
между жилами			10^3	10^3
между жилами и экраном (оболочкой)			2000	500
Рабочая емкость	нФ/км	0,8	45±5	45±5
Переходное затухание между цепями кабеля на ближнем конце, не менее	дБ/стр.дл.	0,8	78,0	78,0
Коэффициент защитного действия при продольной ЭДС 30 В/км		0,05	0,2—0,1	0,3—0,1

образцов кабелей ТПАБШп 100×2×0,5 и ТПМПБ 200×4×0,4, которые показывают, что величина этого параметра соответствует требуемой величине (0,3—0,1).

Данные кабели без применения усилителей с учетом существующих норм обеспечивают длину абонентских линий около 3 км, а соединительных 10—13 км.

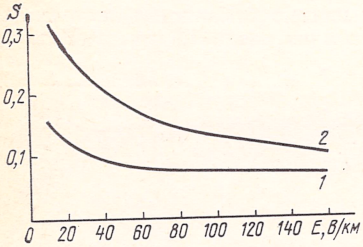


Рис. 11.9. Коэффициент защитного действия кабелей для зон влияния:

1 — типа ТПАБШп; *2* — типа ТПМПБ

Для определения целесообразности применения предлагаемых кабелей с малым КЗД их необходимо сравнить с существующими кабелями ТБ и ТППБ в совокупности с дополнительными экранирующими элементами, создающими эквивалентный малый КЗД. В настоящее время применяются в основном два способа обеспечения малого КЗД кабельных линий: прокладка в земле в непосредственной близости от кабельной линии медных тросов или прокладка кабелей в стальных трубах.

В табл. 11.4 и 11.5 дано экономическое сравнение кабелей ТПАБ, ТПМПБ с кабелями ТБ, ТППБ соответствующих емкостей

Таблица 11.4

Емкость кабеля	Свинец, кг/км-пара	Медь, кг/км-пара			
	Кабель ТБ	Кабель ТБ с медным тросом	Кабель ТППБ с медным тросом	Кабель ТБ и ТППБ со стальными трубами	Кабель с малым КЗД
50×2×0,5	13,3	30,5	36,6	3,6	3,6
100×2×0,5	9,5	17,0	20,1	3,6	3,6
200×2×0,5	7,1	10,3	11,8	3,6	3,6
300×2×0,4 (150×4×0,4)	5,8	6,8	7,8	2,3	3,6
400×2×0,4 (200×4×0,4)	5,2	5,7	6,4	2,3	3,3
600×2×0,4 (300×4×0,4)	5,0	4,6	5,1	2,3	3,1

Таблица 11.5

Емкость кабеля	Общая масса, кг/км-пары (числитель), и стоимость, руб./км-пары (знаменатель) кабеля типа					
	ТБ		ТППБ		с малым КЗД	
	Медный трос	Стальные трубы	Медный трос	Стальные трубы	С полиэтиленовым покрытием и заземлением	С джутовым покрытием
50×2×0,5	60,5/53,1	234,3/53,7	56,0/56,5	223,7/50,9	29,8/21,2	23,8/22,4
100×2×0,5	37,5/32,6	124,4/32,9	33,6/34,6	117,5/31,8	20,0/16,9	17,0/17,8
200×2×0,5	24,8/22,0	68,3/22,1	21,1/22,1	63,0/20,7	15,2/12,5	12,9/13,8
300×2×0,4 (150×4×0,4)	16,8/17,2	45,7/17,3	14,0/16,5	41,9/15,5	14,0/8,8	13,0/10,2
400×2×0,4 (200×4×0,4)	14,4/15,5	36,1/15,5	12,0/14,6	33,0/13,9	11,9/8,2	11,1/9,3
600×2×0,4 (300×4×0,4)	12,6/14,1	27,0/14,1	10,9/12,3	24,8/11,8	9,9/7,8	9,4/8,5

с дополнительными экранирующими элементами (медными тросами или стальными трубами), обеспечивающими равные КЗД.

Учитывая, что эксплуатационные расходы при использовании рассматриваемых кабелей при прочих равных условиях практически равны, сравнение достаточно провести только по их стоимости.

В расчете КЗД кабелей ТБ и ТППБ учитывались тросы соответственно 185 и 240 мм², а также стальные трубы диаметром 100 мм и толщиной 4 мм.

В случае применения полиэтиленового, а не джутового покрытия у кабелей с малым КЗД (ТПАБШп и ТПМПБШп) учитывалась необходимость устройства дополнительного заземления массой 30 кг/км и стоимостью 5 руб./км (при проводимости грунта около 30 мСм/м). В таблицах стоимость кабелей указана без учета стоимости прокладки, так как для кабелей одинаковой емкости она может считаться равной. Стоимость дополнительных экранизирующих элементов (тросов и труб) приведена с учетом стоимости прокладки, которая для троса принималась равной 100 руб./км.

Из табл. 11.5 видно, что по расходу дефицитных материалов (меди, свинца) с рассматриваемыми кабелями повышенной защищенности сравним только

кабель ТППБ в сочетании со стальными трубами. По весовым и стоимостным показателям кабели с малым КЗД находятся вне конкуренции (см. табл. 11.6). Это хорошо видно и из рис. 11.10: кабели с малым КЗД легче существующих с медным тросом в 1,5—2,5 раз, со стальными трубами в 2,5—10 раз. Кроме того, разработанные кабели в 1,5—3 раза дешевле существующих с дополнительными элементами. Значительная разница в сравнительных показателях зависит от емкости кабелей.

Таким образом, наиболее экономично использование кабеля с малым КЗД, а наиболее рациональна конструкция кабеля с алюминиевой оболочкой типа ТПА. Однако в настоящее время, учитывая технологическую невозможность производства кабелей большой емкости в алюминиевой оболочке (уникальность и ограниченные возможности пресса), можно рекомендовать выпуск кабелей резервной конструкции типа ТПМПБ (с медным экраном) большой емкости (150×4—300×4).

Для решения вопроса о внедрении и практической возможности использования этих кабелей, в частности определения защитных свойств его экранизирующих покровов в реальных условиях, были проведены испытания в эксплуатационных условиях. С этой целью были организованы опытные линии из кабелей ТПАБШп 100×2×0,5 и ТПМПБ 200×4×0,4. Трассы этих линий проходили в непосредственной близости от контактной сети эл. ж. д. переменного тока с максимальным удалением от полотна

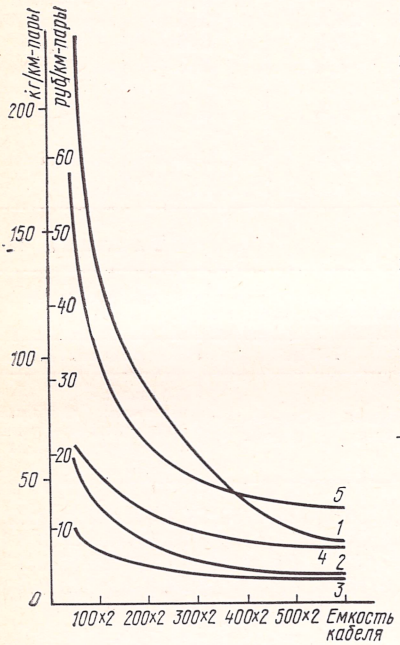


Рис. 11.10. Сравнение кабелей для зон влияния с существующими кабелями ГТС:

1 — масса существующих кабелей с трубами; *2* — масса существующих кабелей с тросом; *3* — масса кабеля для зон влияния; *4* — стоимость существующих кабелей; *5* — стоимость кабелей для зон влияния

эл. ж. д. соответственно на 365 и 80 м и минимальным удалением — 14 и 5 м. Участки сближения эл. ж. д. — многопутевые: количество путей на них достигает 16 и 30. В одной траншее с исследуемыми кабелями был проложен высокочастотный вспомогательный неэкранированный провод, предназначенный для проведения измерений.

Для обеспечения необходимой величины реального КЗД кабеля ТПАБШп 100×2×0,5 по трассе линии было включено пять заземлений с сопротивлением не более 2 Ом каждое. Для устройства заземлений использовались многоэлектродные заземлители из параллельно соединенных единичных заземлителей. На основании предварительного ориентировочного расчета было установлено, что при четырех электродах-штангах из углового железа 60×60×6 длиной 2,5 м величина сопротивления каждого заземления (одиночных электродов и соединительной полосы) $R = 1{,}88$ Ом. Таким образом, для организации необходимых заземлений достаточно наличие четырех электродов. Однако при строительстве опытной линии, учитывая значительную зависимость величины сопротивления заземления от метеорологических условий, количество электродов было увеличено до пяти. Контрольные измерения сопротивления этих заземлений показали, что его величина не превышает 1 Ом.

Для проведения измерений подключение заземлений было организовано не стационарно, а через универсальные кабельные муфты УКМ-6, обеспечивающие возможность их отключения.

В качестве заземлений на линии из кабеля ТПМПБ 200×4×0,4 использовались заземления оконечных устройств, величина сопротивления которых составляет соответственно 2 и 7 Ом.

После завершения строительства опытных линий на исследуемых кабелях и вспомогательном проводе было проведено несколько циклов измерений наводимых напряжений (одновременно на тяговой подстанции измерялись токи в питающих фидерах). Первоначально измерялись напряжения, наводимые на жилах исследуемых кабелей и вспомогательного провода, при отключенных заземлениях: опасное и мешающее (однопроводные и двухпроводные, псофометрические и действующие). Затем измерялись те же величины, но при включенных заземлениях.

На линии из кабеля ТПАБШп 100×2×0,4, кроме того, измерялись опасные напряжения только при одном отключенном заземлении (оконечном со стороны измерения).

В табл. 11.6 и 11.7 приведены максимальные и минимальные значения наводимых напряжений соответственно в кабелях ТПАБШп и ТПМПБ.

Таблица 11.6

Вид кабеля	Напряжение, мВ					
	мешающее				опасное	
	псофометрическое		действующее			
	минимальное	максимальное	минимальное	максимальное	минимальное	максимальное
С незаземленным покровом	0,02 / 130	0,045 / 500	0,07 / 1500	1,1 / 5800	1350	1170
С заземленным покровом	0,03 / 4	0,038 / 14	0,5 / 180	0,3 / 2700	400	1650

Примечание. В числителе дано значение для двухпроводной цепи, в знаменателе — для однопроводной.

Таблица 11.7

Вид кабеля	Напряжение, мВ					
	мешающее				опасное	
	псофометрическое		действующее			
	минимальное	максимальное	минимальное	максимальное	минимальное	максимальное
С незаземленным покровом	0,01 / 1,0	0,1 / 26	0,7 / 60	2,3 / 900	400	5000
С заземленным покровом	0,01 / 9	0,01 / 40	0,1 / 600	1,7 / 3000	250	2000

Примечание. См. табл. 11.6.

По данным измерений были подсчитаны:

величина влияющего тока, равная сумме токов всех питающих фидеров;

псофометрический коэффициент чувствительности кабеля, рассчитанный как отношение псофометрических значений напряжений в двухпроводной цепи к значениям этих напряжений в однопроводной цепи;

формфактор подверженной влиянию цепи, подсчитанный как отношение псофометрического напряжения к действующему для одно- и двухпроводной цепей.

Усредненные значения этих коэффициентов приведены в табл. 11.8 и 11.9 соответственно для кабелей ТПАБШп 100×2×0,5 и ТПМПБ 200×4×0,4.

Таблица 11.8

Вид кабеля	Коэффициент чувствительности	Формфактор, %	
		Однопроводная цепь	Двухпроводная цепь
С заземленным покровом	$8{,}1 \cdot 10^{-3}$	0,9	3,0
С незаземленным покровом	$0{,}12 \cdot 10^{-3}$	9,6	14,5

Таблица 11.9

Вид кабеля	Коэффициент чувствительности	Формфактор, %	
		Однопроводная цепь	Двухпроводная цепь
С заземленным покровом	$0{,}64 \cdot 10^{-3}$	1,35	9,9
С незаземленным покровом	$1{,}36 \cdot 10^{-3}$	2,34	5,9

Измерения, проводимые одновременно на исследуемых кабелях и вспомогательных проводах, дали возможность подсчитать реальные КЗД этих кабелей. В первую очередь определялись так называемые «внутренние» КЗД кабелей, т. е. КЗД экранирующих покровов кабелей при включенных и отключенных заземлениях, подсчитанные как отношения напряжений, наводимых на жилы кабелей и провода при соответствующих условиях заземления. Затем определялись значения «внешних» КЗД, т. е. КЗД металлических покровов кабелей по отношению к рядом проложенным цепям при полном заземлении экранирующих покровов кабелей. Эти коэффициенты рассчитывались как отношение напряжений, наводимых на вспомогательный провод при соответствующих условиях заземления кабеля. Для определения влияния количества заземлений на реальные КЗД кабелей ТПАБШп проводились дополнительные измерения при частично отключенных заземлениях.

Усредненные значения реальных КЗД кабелей ТПАБШп 100×2×0,5 и ТПМПБ 200×4×0,4 приведены соответственно в табл. 11.10 и 11.11. Для сравнения в этой же таблице приведены значения идеальных КЗД.

Из табл. 11.10 видно, что реальный КЗД экранирующих покровов кабеля ТПАБШп 100×2×0,5 на частоте 50 Гц в 1,65 раза больше идеального, измеренного на образцах. Аналогичная зависимость обнаруживается и для КЗД на частоте 800 Гц, при этом реальный КЗД в 2,5 раза больше идеального.

Из анализа данных этой таблицы можно сделать вывод, что отсутствие заземлений экранирующих покровов кабеля ТПАБШп 100×2×0,5 ухудшает реальный КЗД кабеля в 4 раза, а отсутствие даже одного заземления — в 2 раза. Значение «внешнего» КЗД кабеля ТПАБШп 100×2×0,5, т. е. эффект экранирования соседних линий, находящихся в непосредственной близости, равен 0,5, а при отсутствии даже одного из заземлений металлических покровов кабеля ухудшается на 22%.

Таблица 11.10

Частота, Гц	Коэффициент защитного действия					
	идеальный	реальный				
		внутренний			внешний	
		покров не заземлен	покров частично заземлен	покров заземлен	покров заземлен	покров частично заземлен
50	0,12	0,88	0,44	0,2/0,19*	0,5	0,61
800	0,012	—	—	0,03	—	—

* В числителе — измеренное значение, в знаменателе — расчетное значение.

Таблица 11.11

Частота, Гц	Коэффициент защитного действия			
	идеальный	реальный		
		внутренний		внешний
		покров не заземлен	покров заземлен	
50	0,30	0,82	0,46/0,43*	0,8
800	0,02	—	0,04	—

* В числителе — измеренное значение, в знаменателе — расчетное значение.

Из табл. 11.11 видно, что реальный КЗД экранирующих покровов кабеля ТПМПБ 200×4×0,4 на частоте 50 Гц в 1,6 раза больше идеального, измеренного на образцах. Такая же зависимость наблюдается и для КЗД, измеренного на частоте 800 Гц: его величина в 2 раза больше идеального. Из данных таблицы видно, что при наличии заземлений по концам линии реальный КЗД примерно в 2 раза меньше, чем при отсутствии их. И, наконец, «внешний» КЗД кабеля ТПМПБ 200×4×0,4, т. е. эффект экранирования соседних линий, равен 0,8. Расхождение величин идеального и реального КЗД необходимо учитывать при проектировании линий связи.

Проверочный расчет реальных КЗД кабелей ТПАБШп 100×2×0,5 и ТПМПБ 200×4×0,4 на опытных линиях, результаты которого приведены в табл. 11.10 и 11.11, показал, что расчетные величины соответственно на 5 и 6,5% меньше измеренных. После года опытной эксплуатации на кабеле ТПАБШп 100×2×0,5 были проведены повторные измерения, которые показали стабильность параметров кабеля, в частности, реального КЗД. Кроме того, исследование реального КЗД показало, что при относительно малой протяженности линий (1—3 км) на его величину влияют только оконечные заземления экранирующих покровов. Измерения на кабелях с джутовым и полиэтиленовым защитными покровами показывают, что джутовый покров даже сразу после прокладки кабеля обладает меньшим переходным сопротивлением. Этим объясняется лучший КЗД у кабелей с джутовым покрытием при отсутствии заземлений экранирующих покровов.

Таким образом, результаты эксплуатации кабелей ТПАБШп и ТПМПБ подтверждают практическую возможность применения этих кабелей, а также влияние количества заземлений и величины их сопротивления экранирующих покровов на значения реального КЗД. Кроме того, подтверждается положение, что эти кабели даже в реальных условиях обладают малым КЗД (0,2—0,5), т. е. в 2—4 раза меньше, чем у кабеля ТБ. Это дает возможность прокладывать их в зонах непосредственного влияния линий высокого напряжения. Однако и в эксплуатационных условиях проявляется большая эффективность кабеля типа ТПАБШп по сравнению с кабелем ТПМПБ.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

НОРМЫ ГОДОВОГО РАСХОДА АРМАТУРЫ, МАТЕРИАЛОВ И ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ СОДЕРЖАНИЕ И ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ 1 км СТОЕЧНЫХ ЛИНИЙ

Арматура и оборудование

Болты диаметром 10—12 мм, длиной 250—400 мм с шайбой и гайкой, шт.	1,0
Втулка 9—11 мм, шт.	2,5
Колпачок оцинкованный, шт.	1,4
Копыто чугунное, шт.	1,2
Планки отходные, шт.	0,5
Проволока стальная оцинкованная диаметром 2 мм, кг	1,7
То же, диаметром 5 мм, кг	1,8
То же, диаметром 4 мм, кг	1,6
Стойки трубчатые 1×2; 2×2; 6×2; 10×2, шт.	0,5
Струбцина с колодками и гайками, шт.	0,8
Хомут для крепления стоек, шт.	0,8
Штыри, шт.:	
промежуточные	2,5
с накладками, болтами и гайками	0,8
стальные с гайками к траверсам	0,35
Трос стальной, кг	2,0

Материалы

Войлок для прокладки под копыто, кг	0,4
Гвозди 25—150 мм, кг	0,4
Железо кровельное, кг	1,6
Замазка, кг	9,5
Краска серая масляная, кг	2,9
Олифа, кг	0,8
Сурик, кг	0,2

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПЕРЕЧЕНЬ АВАРИЙНОГО ЗАПАСА МАТЕРИАЛОВ, ИНСТРУМЕНТОВ, ПРИСПОСОБЛЕНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ БРИГАДЫ КАБЕЛЬЩИКОВ-СПАЙЩИКОВ

Бокс 100×2
Распределительная коробка с включенным кабелем длиной до 15 м
Кабельный ящик
Комплект инструментов и приспособлений
Лебедка ручная
Домкраты
Барабан кабельный
Ось для кабельного барабана
Палки канализационные
Чулки кабельные
Проволока стальная
Трос стальной
Провод ПКСВ-2
Провод ЛТВ-В
Полевой кабель
Телефонный аппарат
Ломы
Лопаты
Кувалда
Подкувалдник
Комплект зубил
Муфты и перчатки разные
Переходные манжеты
Гильзы бумажные
Гильзы полиэтиленовые
Кольца полиэтиленовые (групповые)
Бинт миткалевый
Стеклоткань
Лента полиэтиленовая
Лента поливинилхлоридная
Нитки суровые
Ветошь
Рольный свинец
Припой ПОССу-30-2
Припой ПОССу-40-2
Масса прошпарочная
Масса заливочная МКС-6
Стеарин
Бензин
Асбест
Кабельная бумага

Примечание. Величина запаса устанавливается в зависимости от местных условий.

ИНДИКАТОРЫ, ПРИБОРЫ, ИСТОЧНИКИ ТОКА, МЕХАНИЗМЫ, ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ КАБЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ РАБОТАХ

А. Перечень индикаторов и приборов, применяемых при проведении кабельных работ

Наименование	*Назначение*
Газоанализаторы (ИВП 1.У1.1; ПГФ2М-И1А; ПГФ2М-ИЗГ; ШИ-10)	Проверка воздуха в шахте и колодцах на присутствие газа
Прибор ИКП-2М	Отбор пар в муфтах
Прибор ИМПИ-2	Отыскание мест повреждений изоляции металлических оболочек (экранов) кабелей с наружной пластмассовой оболочкой или шлангом, проложенных непосредственно в земле, и определение трасс этих кабелей
Прибор кабельный переносной (ПКП-4, ПКП-3, ПКП-2М)	Измерение электрических характеристик кабельных линий
Течеискатель БГТИ-5	Определение мест негерметичности оболочек кабелей и муфт
Манометры: до 2 кгс/см² ($2 \cdot 10^5$ Па)	Проверка давления воздуха в кабеле
до 4 кгс/см² ($4 \cdot 10^5$ Па)	Контроль давления воздуха в заливочном бачке
Термометры: бытовой	Измерение температуры воздуха в шахте
со шкалой до 260—300°С	Измерение температуры кабельной массы

Б. Источники тока

Наименование	*Назначение*
Трансформатор понижающий 220/12 В (в изолирующем кожухе, со шнуром в резиновой оболочке)	Электроосвещение колодцев, электропитание ПСЖ-4
Аккумулятор (мотоциклетный или автомобильный)	Электропитание ПСЖ-4 при отсутствии электросети
Аккумулятор СЦ-25	Электропитание течеискателя БГТИ-5
Батарея анодная: БАС-Г-60-У-1,3; 70-АМЦГ-У	Прозвонка кабельных пар
Батарея 68-АМЦ-Х-0,6 и элементы 1,6-ПМЦ-У-8	Электропитание прибора ПКП-2М
Элементы 3336-Л; КБС-Л-0,5; КБС-Х-0,7	То же, ИКП-2М, ИМПИ-2, карманного фонаря
Элемент 373	Электропитание карманного фонаря
Элемент А-343	Электропитание прибора ПКП-4
Элементы 165У и 373	То же, прибора ПКП-3

В. Механизмы и приспособления для сращивания жил кабелей без удаления изоляции

Наименование	*Назначение*
Пресс ПСМЖ-200	Сращивание жил соединителями СМЖ-10
Рама монтажная пресса ПСМЖ-200	Установка пресса и перемещение его вдоль монтируемого сердечника кабеля

Приспособление ПСЖ-4 (с электронагревательной спиралью или газовой горелкой)	Сращивание жил кабелей скруткой с тепловым воздействием на изоляцию
Рама монтажная ПСЖ-4	Установка ПСЖ-4 и перемещение вдоль монтируемого сердечник кабеля

Г. Инструменты для кабельно-монтажных работ

Наименование	*Назначение*
Вкладыши медные (комплект)	Сварка деталей пластмассовых муфт между собой и с оболочками кабелей
Гладилка металлическая с деревянной рукояткой	Заварка мелких трещин в пластмассовых муфтах и оболочках кабелей
Горелка газовая с баллонами	Паечные работы
Зубила (комплект)	Срубание ржавых болтов и т. д.
Игла для паяльной лампы	Прочистка ниппеля паяльной лампы
Ключи:	
гаечный раздвижной длиной 200—250 мм	Откручивание и закручивание гаек в распределительных шкафах, чугунных муфтах и т. д.
торцевой 12 мм	То же, консольных болтов
Кусачки боковые 130 мм	Перерезание жил кабелей
Лом	Разработка мерзлого грунта
Мастерок штукатурный	Подмазка стен, заделка штроб
Метр стальной складной	Разметка кабеля при монтаже муфт
Молотки:	
стальной 0,5 кг	Обработка бронепокровов кабелей
деревянный	Обколачивание свинцовых муфт
Напильники: трехгранный 300 мм, плоский	Опиливание бронепокровов или стальной гофрированной оболочки
Насос автомобильный	Подача воздуха в заливочный бачок или баллоны осушки воздуха
Нож монтерский	Разрезание пластмассовых и свинцовой оболочек
Отвертки: малая 150 мм, средняя 200 мм, большая 250 мм	Отвинчивание и завинчивание винтов, шурупов
Паяльники:	
торцевой 0,3 кг, стаканчиковый	Пайка жил кабелей или медной проволоки
электропаяльник	Пайки жил к контактным перьям плинтов при зарядке боксов в мастерских
Паяльные лампы емкостью:	
0,5 л	Пайка муфт
1,0 л	Нагревание кабельной массы
Пассатижи 250 мм	Перерезание проволоки
Пила-ножовка	Опиливание концов кабелей, стальной гофрированной оболочки, бронепокровов и т. д.
Плоскогубцы	Заделка проводников
Полотна ножовочные	Заправка пилы-ножовки
Пробойник	Заготовка отверстий и гнезд в стенах
Рулетка стальная 20 м	Промеры длины кабеля
Шабер	Зачистка проволок
Шило	Прокалывание оболочки, муфт
Шлямбур 18 мм	Заготовка отверстий, гнезд
Шпатель	Заделка каналов замазкой

Д. Приспособления для кабельно-монтажных работ

Наименование	*Назначение*
Баллоны с хлористым кальцием или силикагелем	Осушка воздуха, подаваемого в кабель
Бачок заливочный	Подача компаунда в газонепроницаемую муфту
Бидоны емкостью 2 и 4 л	Хранение бензина
Брезент 2×2 м	Укладка инструмента
Ведра:	
паяльное (металлическое)	Подача в колодец горящей паяльной лампы, чайника с нагретой кабельной массой
бытовое	Вычерпывание воды, сбор мусора
Вентилятор	Вентиляция колодцев
Вентиль	Содержание кабелей под давлением
Веревка пеньковая диаметром 16 мм, 30 м	Работа на подвесных кабелях
Войлок 2×2 м	Работа на холодном полу шахты или колодца
Воронка	Заливка бензина
Галоши диэлектрические	Проведение электроизмерений
Гладилка из льняной ткани, пропитанная стеарином	Разравнивание припоя при пайке свинцовых муфт и оболочек
Зеркало 10×15 см в футляре	Осмотр муфт и кабелей
Замок висячий с ключами	Запирание ящиков с инструментами
Кисти:	
щетинная плоская	Очистка плинтов
малярная средняя	Окраска боксов, распределительных коробок, кабельных ящиков и т. д.
малярная малая	Нанесение цифр по трафарету
Клеенка мягкая двусторонняя	Укладка инструментов и материалов в условиях сырости
Козлы деревянные	Монтаж кабелей в котлованах
Козлы деревянные двойные	Монтаж в котлованах кабелей с круглой проволочной броней
Колено кабельное	Выгибание кабеля
Ковш	Сбор воды в ведро
Кружка резиновая (медицинская)	Приготовление эпоксиднотиоколового компаунда, стиракрила
Крюк (монтерка)	Открывание крышек люков
Лопата	Подчистка и засыпка котлованов
Лестница высотой:	
3 м	Спуск в колодец
6—7 м	Работа на настенных кабелях
Маска резиновая предохранительная со шлангом	Работа в загазованном колодце
Микротелефонная трубка	Прозвонка кабеля
Микротелефонная трубка с номеронабирателем	То же
Ограждения	Ограждение места работ
Отрезок стальной проволоки диаметром 5 мм	Перемешивание нагретой кабельной массы
Очки защитные	Работа с нагретой кабельной массой, штробление стен и т. д.
Пакеты полиэтиленовые	Хранение изолирующих гильз, групповых колец
Палатка брезентовая (или фанерная)	Установка над люком колодца или над котлованом

Перчатки резиновые диэлектрические

Пинал деревянный с крышкой
Пленка пластмассовая

Предупреждающие знаки
Противень:
большой 450×250×50 мм
малый 300×200×30 мм
Приспособление для изгиба кабеля

Палочка деревянная

Рукавицы брезентовые

Ручки деревянные
Совок
Сумка брезентовая

Спасательный пояс с лямками
Сумка с медикаментами
Табурет
Трафарет букв и цифр
Телефоны головные
Флакон
Фонарь карманный электрический

Чайники стальные сварные на 5 и 2 л
Штырь заземления
Щетка стальная

Электрическая лампа на 12 В с патроном, сеткой и шнуром
Ящик (сундук) с инструментом

Проведение работ, связанных с прикосновением к цепям сильного тока
Хранение стеарина и гладилки
Временная заделка сердечника кабеля
Ограждение места работ

Сбор кабельной массы
Сбор припоя
Выкладка кабеля по форме колодца
Перемешивание эпоксиднотиоколового компаунда стиракрила
Работа с нагретой кабельной массой или бронированными кабелями
Для напильников
Подбор мусора со дна колодца
Хранение и переноска инструментов
Спуск в колодец
Оказание первой помощи
Проведение монтажных работ
Нумерация оконечных устройств
Прозвонка кабеля
Хранение раствора канифоли
Работа при недостаточном освещении
Разогрев кабельной массы

Заземление электроприборов
Чистка поверхности металлических муфт, бронепокровов
Освещение рабочего места

Хранение и перевозка инструментов

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ПЕРЕЧЕНЬ И РАСХОД МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ МОНТАЖЕ КАБЕЛЕЙ

А. Материалы, применяемые при монтаже соединительных муфт кабелей ТПП с жилами диаметром 0,32 мм

1. Соединение жил производится простой скруткой, восстановление оболочки — полиэтиленовой муфтой, свариваемой под стеклолентой

Наименование материала	*Расход материала при емкости кабеля, пар*			
	100	600	1200	2400
Бензин, л	0,07	0,4	0,7	1,0
Ветошь, кг	0,4	0,6	0,7	1,0
Гильзы полиэтиленовые, индивидуальные, шт.	210	1260	2600	5000
Лента полиэтиленовая, г:				
для обмотки сростка	30	50	70	120
для сварки муфты	20	40	50	80
Муфта полиэтиленовая, шт.	1	1	1	1
Мыло хозяйственное, г	15	15	15	20
Нитки суровые, г	20	120	200	400
Стеклолента, г	30	40	60	75

2. Соединение жил производится соединителями СМЖ-10, восстановление оболочки — полиэтиленовой муфтой и термоусаживаемыми трубками

Наименование материала	*Расход материала при емкости кабеля, пар*			
	100	600	1200	2400
Бензин, л	0,07	0,3	0,4	0,5
Ветошь, г	0,4	0,6	0,7	1,0
Лента полиэтиленовая, г:				
для обмотки сростка	30	50	70	120
для подмотки муфты	20	40	50	80
Муфта полиэтиленовая, шт.	1	1	1	1
Мыло хозяйственное, г	15	15	15	20
Соединители СМЖ-10, шт.	11	66	130	255
Сэвилен, г	2,0	8,0	12,0	20,0
Термоусаживаемая трубка, шт.	3	3	3	3

Б. Материалы, применяемые при монтаже соединительных муфт кабелей ТПП с жилами диаметром 0,5 мм

1. Соединение жил производится простой скруткой, восстановление оболочки — полиэтиленовой муфтой, свариваемой под стеклолентой

Наименование материала	*Расход материала при емкости кабеля, пар*			
	50	100	300	600
Бензин, л	0,07	0,15	0,3	0,5
Ветошь, кг	0,4	0,4	0,6	0,7
Гильзы полиэтиленовые, индивидуальные, шт.	105	210	640	1260
Лента полиэтиленовая, г:				
для обмотки сростка	30	35	60	90
для сварки муфты	20	25	40	60
Муфта полиэтиленовая, шт.	1	1	1	1
Нитки суровые, г	10	15	45	90
Стеклолента, г	30	40	80	120

В. Материалы, применяемые при монтаже соединительных муфт кабелей с гидрофобным заполнением марки ТПЭПЗ

1. Соединение жил производится простой скруткой, восстановление оболочки — полиэтиленовой муфтой, свариваемой под стеклолентой

Наименование материала	*Расход материала при емкости кабеля, пар*			
	10	30	50	100
Бензин, л	0,10	0,10	0,12	0,15
Бумажные полотенца, шт.	1	2	2	3
Бумага кабельная (или оберточная), г	20	30	40	50
Ветошь, г	0,3	0,3	0,4	0,4
Гильзы полиэтиленовые, шт.	21	63	105	210
Групповые кольца, шт.	21	63	105	210
Заполнитель, г	100	200	250	350
Керосин, г	10	40	45	50
Лента полиэтиленовая, г:				
для обмотки сростка	5	15	30	35
для сварки муфты	5	16	20	25
Муфта полиэтиленовая, шт.	1	1	1	1
Мыло хозяйственное, г	10	10	20	20
Стеклолента, г	15	25	30	40

Г. Материалы, применяемые при монтаже соединительных муфт кабелей в стальной гофрированной оболочке марки ТПСтШп

1. Соединение жил производится простой скруткой, восстановление стальной оболочки — свинцовой муфтой, восстановление полиэтиленового шланга — полиэтиленовой муфтой

Наименование материала	*Расход материала при емкости кабеля, пар*		
	100	300	600
Бензин, л	0,5	1,0	1,8
Ветошь, кг	0,4	0,6	0,7
Гильзы полиэтиленовые индивидуальные, шт.	210	640	1260
Лента полиэтиленовая, г:			
для обмотки сростка	35	60	90
для гидроизоляции оболочки	5	10	15
для сварки полиэтиленовой оболочки	25	40	60
Мастика битумно-резиновая, г	20	30	40
Муфты, шт.:			
свинцовая	1	1	1
полиэтиленовая	1	1	1
Мыло хозяйственное, г	15	20	20
Нитки суровые, г	15	45	90
Паяльная паста ПМКН-40, г	10	15	20
Припой ПОССу-30-2, кг	0,33	0,54	0,76
Стеарин, г	5	8	10
Стеклолента, г	40	80	120

Д. Материалы, применяемые при монтаже соединительных муфт кабелей в свинцовой оболочке марки ТГ с жилами диаметром 0,5 мм

Наименование материала	*Расход материала при емкости кабеля, пар*			
	100	300	600	1200
Бензин, л	0,28	0,6	1,4	2,4
Ветошь, г	0,4	0,6	0,7	1,0
Гильзы бумажные, шт.	210	630	1260	2600
Масса кабельная МКП, кг	0,35	0,6	1,0	1,7
Миткаль, м²	0,07	0,105	0,175	0,35
Муфта свинцовая, шт.	1	1	1	1
Мыло хозяйственное, г	15	20	20	25
Нитки суровые, г	15	45	90	165
Припой ПОССу-30-2, кг	0,33	0,54	0,76	1,1
Стеарин, г	12	15	20	30

Е. Дополнительные материалы, применяемые при монтаже бронированных кабелей

Наименование материала	*Расход материала при емкости кабеля, пар*		
	50	100	300
Бензин, л	0,5	0,7	1,1
Масса кабельная МКБ, кг	5	7	9,5
Муфта чугунная, шт.	1	1	1
Лак БТ177, г	3	5	10
Лента пластмассовая, г	10	15	20
Лента смоляная, кг	0,1	0,2	0,3
Паста ПБК-26, г	1	2	3
Припой ПОССу-30-2, г	5	7	10
Проволока медная, г (для перепайки бронелент)	15	20	30

Ж. Выполнение оконечной заделки кабеля в полиэтиленовой оболочке марки ТПП с жилами диаметром 0,5 мм

Наименование материала	*Расход материала при емкости кабеля, пар*			
	50	100	300	600
Бензин, л	0,05	0,1	0,15	0,2
Ветошь, кг	0,1	0,15	0,2	0,25
Лента полиэтиленовая, г	6	8	15	20
Мыло хозяйственное, г	5	5	10	10
Пластмассовый наконечник, шт.	1	1	1	1
Стеклолента, г	7	10	20	30

З. Выполнение оконечной заделки кабеля в свинцовой оболочке марки ТГ с жилами диаметром 0,5 мм

Наименование материала	*Расход материала при емкости кабеля, пар*			
	100	300	600	1200
Бензин, л	0,1	0,15	0,2	0,25
Ветошь, кг	0,15	0,2	0,25	0,3
Мыло хозяйственное, г	5	10	15	20
Припой ПОССу-30-2, г	10	30	40	60
Стеарин, г	3	5	7	10

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

НОРМЫ РАСХОДА ОСНОВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА МОНТАЖЕ КАБЕЛЬНЫХ ОКОНЕЧНЫХ УСТРОЙСТВ

А. Расход материалов на монтаж боксов БКТ-100×2 и БКТ-50×2, заряжаемых кабелем в пластмассовой оболочке

Бензин, л	0,9 (0,7)
Ветошь, кг	0,1
Гильзы полиэтиленовые, шт.	210 (105)
Канифоль, г	15 (10)
Лак асфальтовый, г	70 (40)
Лента поливинилхлоридная, г	30 (20)
Мыло хозяйственное, г.	10
Нитки суровые, г	10 (6)
Припой ПОССу-40-2, г	10/8

Примечания: 1. В скобках указан расход материалов на монтаж боксов БКТ-50×2.

2. Крепление кабеля в полиэтиленовой оболочке к вводной трубке бокса допускается производить липкой полиэтиленовой лентой, поверх которой наматывают липкую поливинилхлоридную ленту (5 г).

Б. Расход материалов на монтаж боксов БКТ-100×2 и БКТ-50×2, заряжаемых кабелем в свинцовой оболочке

Бензин, л	1,4 (1,2)
Ветошь, кг	0,10
Гильзы бумажные, шт.	210 (105)
Канифоль, г	15 (10)
Лак асфальтовый, г	70 (40)
Масса кабельная, кг:	
МКП	0,2 (0,1)
МКС-6	0,15 (0,1)

Мыло хозяйственное, г	10
Нитки суровые, г	10 (6)
Припой, г:	
ПОССу-30-20	80 (50)
ПОССу-40-2	10 (8)
Стеарин, г	12 (10)

Примечания: 1. В скобках указан расход материалов на монтаж боксов БКТ-50×2.

2. Кабельная масса МКП применяется для прошпарки кабеля с бумажной изоляцией, а МКС-6 — для заливки корыта плинта слоем толщиной 1,5 мм.

В. Расход материалов на монтаж распределительных коробок КРТ-10×2 и КРТП-10×2, заряжаемых кабелем в пластмассовой оболочке

Бензин, л	0,25
Ветошь, кг	0,05
Гильзы полиэтиленовые, шт.	21
Канифоль, г	10
Лак асфальтовый, г	10
Лента поливинилхлоридная (кабель с поливинилхлоридной или полиэтиленовой оболочкой), г	15
Мыло хозяйственное, г	5
Нитки суровые, г	2
Припой ПОССу-40-2, г	3

Г. Расход материалов на монтаж распределительной коробки КРТ-10×2, КРТП-10×2, заряжаемой кабелем в свинцовой оболочке

Бензин, л	0,5
Ветошь, кг	0,05
Гильзы бумажные, шт.	21
Канифоль, г	10
Лак асфальтовый, г	10
Масса кабельная, г:	
МКП	50
МКС-6	50
Мыло хозяйственное, г	5
Нитки суровые, г	2
Припой, г:	
ПОССу-30-2	16
ПОССу-40-2	3
Стеарин, г	5

Примечание. Кабельная масса МКП применяется для прошпарки сердечника кабеля с бумажной изоляцией, а МКС-6 для заливки корытца плинта слоем толщиной 1,5 мм.

Д. Расход материалов на монтаж распределительной коробки КРТН-10×2, заряжаемой кабелем в пластмассовой оболочке

Бензин, л	0,25
Ветошь, кг	0,05
Канифоль, г	10
Мыло хозяйственное, г	5
Нитки суровые, г	2
Припой ПОССу-40-2, г	3

Е. Расход материалов на монтаж кабельных ящиков ЯКГ-10×2 и ЯКГ-20×2, заряжаемых кабелем в пластмассовой оболочке

Бензин, л	0,35 (0,25)
Гильзы полиэтиленовые, шт.	42 (21)
Канифоль (раствор), г	10 (5)

Лак асфальтовый, г 15/10
Лента поливинилхлоридная, г 15
Мыло хозяйственное, г 5
Нитки суровые, г . . . . . 2(1)
Припой ПОССу-40-2, г . . . . . 6(3)

Примечание. В скобках указан расход материалов на монтаж кабельного ящика ЯКГ-10×2.

Ж. Расход материалов на монтаж кабельных ящиков ЯКГ-20×2 и ЯКГ-10×2, заряжаемых кабелем в свинцовой оболочке

Бензин, л . . . . . 0,7(0,5)
Гильзы бумажные, шт. . . . . 42(21)
Канифоль (раствор), г . . . . . 10(5)
Лак асфальтовый, г . . . . . 15(10)
Масса кабельная, кг:
МКП . . . . . 0,5(0,35)
МКС-6 . . . . . 0,14(0,08)
Мыло хозяйственное, г 5
Нитки суровые, г . . . . . 2(1)
Припой, г:
ПОССу-30-2 . . . . . 30(20)
ПОССу-40-2 . . . . . 6(3)
Стеарин, г 5

Примечания: 1. В скобках указан расход материалов на монтаж кабельного ящика ЯКГ-10×2.

2. Кабельная масса МКП применяется для прошпарки сердечника кабеля с бумажной изоляцией, а МКС-6 — для заливки корытца плинта слоем толщиной 1,5 мм.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

НОРМЫ ГОДОВОГО РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ И ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЕ СОДЕРЖАНИЕ И ТЕКУЩИЙ РЕМОНТ КОМПРЕССОРНО-СИГНАЛЬНЫХ УСТАНОВОК ТИПА КСУ

Бензин авиационный Б-70, л 1,0
Ветошь (обтирочные материалы), кг 2,0
Замша техническая, дм² 1,0
Керосин, л 3,0
Кисти, шт.:
акварельные 0,1
флейц 0,2
Краски, кг:
алюминиевая под серебро 0,05
нитрокраска 0,3
Масло, кг:
приборное марки МВП для КЭП (часовое, костное), ... 0,05
КС-19 или 19-Т для компрессора 16,0
Мыло хозяйственное, кг 1,0
Селикагель, кг:
марки КСМ или МСМ 6,0
индикаторный 0,04
Спирт этиловый ректификат, л 0,03
Трубка пластмассовая 6—10 мм, м 20,0
Шланг резиновый, внутренний диаметром 4—10 мм, м 5,0

Блок осушки и автоматики

Автотрансформатор АСБ-0,5 на 220/127 В, шт. 0,01
Выключатель трехполюсный П3-3-10, шт. 0,01
Диоды, шт.:
Д7Ж 0,2
Д206 (Д211) 1,0
Защелка прибора КЭП-12У, шт. 0,1
Звонок постоянного тока 60 В, шт. 0,01
Индикатор влажности, шт. 0,1

КЭП-12У с соленоидом на четыре пневматические и три электрические цепи, шт. 0,02
Камеры осушительные, шт. 0,5
Конденсаторы, шт.:
МБГО-500-025 0,01
МБГО-2-160-30 0,01
Кулачки прибора КЭП-12У, шт. 1,0
Лампы, шт.:
неоновая ТН-0,2 0,1
коммутаторная КМ-5 на 60 В 1,0
Манометры, шт.:
МТ на 1,6 кгс/см² ($1{,}6\times10^5$ Па)
МТ на 10 кгс/см² (10^6 Па)
ОБМ-160 на 1,6 кгс/см² ($1{,}6\times10^5$ Па) 0,1
электроконтактный ЭКМ-IV на 10 кгс/см² (10^6 Па) 0,1
Мембраны и уплотняющие прокладки для редуктора, шт.:
РДВ-0,5
РДВ-0,6 0,1
Мембрана пневматическая клапанов КЭП-12У, шт. 1,0
Механизм храповой расцепляющий, шт. 0,03
Переключатель кнопочный, шт. 0,01
Предохранитель ПК-45 на 1 А, шт. 1,0
Подшипник № 23а, шт. 0,05
Пускатель магнитный П6-122, шт. 0,05
Резисторы, шт.:
ПЭВ-6,2 кОм - 15 Вт 0,05
ВС-0,25-50 кОм
ВС-0,25-25 кОм 0,01
Реле, шт.:
РПУ 220 В
РПУ 60 В
РПН 0,01
Релеискатель, шт. 0,01
Термореле ТР-200, шт. 0,01
Электроконтакты подвижные и неподвижные прибора КЭП-12У, шт. . . . 1,0
Электродвигатель СД-54 для КЭП-12У, шт. 0,01

Распределительный статив

Манометр ОБМ-160 II класса, шт. 0,01
Мембрана вентиля, шт. 0,5
Ротаметр РМ-А-0,63 (ГУЗ), шт. 1,0
Фоторезистор ФКС-О, шт. 0,01

Компрессор модели М-1136

Клапан сливной, шт. 0,05
Компрессор воздушный ГП-015 модели 1136, шт. 0,03
Кольцо компрессорное, шт. 2,0
Манометр 1-0-16, диаметр 60, класс точности IV, шт. 0,3
Палец поршневой 120-3509169, шт. 0,1
Пластина клапанная, шт. 2,0
Поршень 120-3509160, шт. 0,05
Прокладка обратного клапана, шт. 1,0
Пружина 1136.6002В2, шт. 0,2
Пружина обратного клапана, шт. 1,0
Ремень клиновый А-1400, шт. 0,4
Фильтр, шт. 0,1
Цилиндр, шт. 0,05
Шарик, шт. 0,2
Шарикоподшипник, шт.:
№ 104
№ 305 0,25
Шатун, шт. 0,05

Таблица 1

ПАРАМЕТРЫ АТС КООРДИНАТНОЙ СИСТЕМЫ

f, кГц	Исходящее соединение			Входящее соединение		
	$\lvert Z_x\rvert$, Ом	φ_x, град	a, дБ	$\lvert Z_x\rvert$, Ом	φ_x, град	a, дБ
0,2	1071	—13,25	1,38	1210	—15,00	1,16
0,3	1000	—11,75	1,00	1209	—13,00	0,97
0,5	954	—12,25	0,74	1241	—17,26	0,69
0,7	957	—14,15	0,65	1243	+ 6,00	0,60
0,8	965	—15,25	0,62	1232	+17,15	0,58
0,9	975	—17,00	0,59	1198	+13,00	0,55
1,1	960	—17,25	0,55	990	+ 1,50	0,53
1,3	907	—12,50	0,52	800	— 5,50	0,55
1,5	850	— 7,50	0,50	675	—10,25	0,58
1,7	790	— 3,00	0,48	583	—14,25	0,61
2,0	701	+ 2,75	0,45	489	—18,50	0,66
2,4	586	— 4,50	0,47	450	—21,50	0,72
3,0	467	—12,50	0,49	405	—25,25	0,83
3,4	418	—15,75	0,52	368	—27,00	0,89
4,0	361	—19,75	0,55	346	—28,75	0,97

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ АТС ДЕКАДНО-ШАГОВОЙ СИСТЕМЫ

f, кГц	Входящее соединение			Исходящее соединение			Транзитное соединение		
	$\lvert Z_x\rvert$, Ом	φ_x, град	a, дБ	$\lvert Z_x\rvert$, Ом	φ_x, град	a, дБ	$\lvert Z_x\rvert$, Ом	φ_x, град	a, дБ
0,2	1102	— 8,50	2,13	699	—10,50	1,50	1538	—68,50	0,48
0,3	1096	— 6,37	1,96	784	— 6,50	1,12	12664	—66,0	0,42
0,5	1021	— 2,13	1,66	806	+ 1,50	0,84	900	—62,00	0,40
0,7	923	—50,00	1,44	810	— 2,50	0,77	700	—58,50	0,41
0,8	864	—62,75	1,36	807	— 4,00	0,74	646	—57,00	0,44
0,9	760	—62,30	1,31	800	— 2,75	0,75	595	—55,50	0,46
1,1	667	—60,50	1,23	750	— 4,50	0,77	527	—53,50	0,48
1,3	627	—59,50	1,21	700	—19,00	0,80	483	—52,00	0,50
1,5	595	—58,00	1,21	656	—34,50	0,82	447	—50,75	0,52
1,7	564	—57,00	1,23	615	—46,50	0,84	416	—50,00	0,54
2,0	523	—55,00	1,28	552	—58,00	0,90	379	—48,50	0,57
2,4	465	—54,00	1,33	490	—59,00	0,95	346	—47,00	0,61
3,0	404	—53,25	1,39	408	—60,00	1,02	307	—44,50	0,66
3,4	370	—52,00	1,42	375	—58,00	1,07	287	—44,00	0,68
4,0	346	—49,75	1,50	334	—52,50	1,17	269	—43,50	0,71

Таблица 3

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЧИ КАБЕЛЕЙ ТИПА Т С ПАРНОЙ СКРУТКОЙ И РАЗЛИЧНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Частота, кГц	Изоляция					
	воздушно-бумажная типа «трубочка»			воздушно-массная		
	$\lvert Z_B\rvert$, Ом	φ, град	α, дБ/км	$\lvert Z_B\rvert$, Ом	φ, град	α, дБ/км
1	2	3	4	5	6	7
Диаметр жилы d=0,5 мм						
0,2	1942	—45,00	0,61	1660	—45,00	0,61
0,3	1585	—45,00	0,75	1355	—45,00	0,75

1	2	3	4	5	6	7
0,5	1228	—45,00	0,96	1060	—45,00	0,96
0,7	1050	—44,70	1,13	890	—44,70	1,14
0,8	972	—44,58	1,20	830	—44,63	1,22
0,9	915	—44,50	1,28	785	—44,58	1,28
1,1	830	—44,30	1,38	715	—44,40	1,40
1,3	765	—44,15	1,46	660	—44,25	1,50
1,5	722	—43,95	1,54	620	—44,10	1,60
1,7	688	—43,80	1,62	588	—43,85	1,70
2,0	643	—43,50	1,73	545	—43,70	1,85
2,4	589	—43,16	1,87	495	—43,38	2,05
3,0	480	—42,70	2,14	428	—42,90	2,35
3,4	475	—42,25	2,21	400	—42,55	2,52
4,0	435	—41,70	2,41	370	—42,05	2,74
5,0	375	—40,80	2,70	330	—41,25	2,96
	Диаметр жилы d=0,6 мм			*Диаметр жилы d=0,7 мм*		
0,2	1566	—45,00	0,47	1344	—45,00	0,48
0,3	1279	—45,00	0,58	1098	—45,00	0,58
0,5	981	—45,00	0,75	850	—45,00	0,75
0,7	830	—44,10	0,89	715	—44,10	0,79
0,8	784	—44,00	0,95	672	—44,00	0,88
0,9	735	—43,95	0,99	630	—43,85	1,00
1,1	670	—43,75	1,08	570	—43,55	1,09
1,3	630	—43,60	1,15	535	—43,28	1,14
1,5	596	—43,40	1,22	500	—43,00	1,19
1,7	568	—43,20	1,29	480	—42,70	1,23
2,0	529	—42,94	1,40	445	—42,30	1,29
2,4	480	—42,58	1,54	400	—41,70	1,36
3,0	417	—42,00	1,74	360	—40,83	1,48
3,4	390	—41,68	1,85	330	—40,30	1,54
4,0	360	—41,10	2,01	305	—39,40	1,64
5,0	318	—40,25	2,26	283	—38,00	1,83

Таблица 4

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЧИ КАБЕЛЕЙ ТИПА ТПП ПУЧКОВОЙ СКРУТКИ ПРИ $t=20°$ С

Частота, кГц	Изоляция сплошная, полиэтиленовая, четверочная скрутка жил			Изоляция сплошная, полиэтиленовая, парная скрутка жил		
	$\lvert Z_в \rvert$, Ом	φ, град	α, дБ/км	$\lvert Z_в \rvert$, Ом	φ, град	α, дБ/км
1	2	3	4	5	6	7
	Диаметр жилы d=0,4 мм			*Диаметр жилы d=0,5 мм*		
0,2	2330	—45,00	0,72	1789	—44,90	0,61
0,3	1903	—44,90	0,88	1461	—44,85	0,74
0,5	1474	—44,80	1,14	1132	—44,75	0,96
0,7	1246	—44,70	1,35	956	—44,60	1,14
0,8	1164	—44,63	1,54	892	—44,55	1,23
0,9	1099	—44,0	1,63	843	—44,50	1,29
1,1	994	—44,50	1,69	763	—44,40	1,43
1,3	900	—44,40	1,85	680	—44,25	1,56
1,5	840	—44,30	1,96	640	—44,15	1,68
1,7	795	—44,20	2,07	610	—44,05	1,78
2,0	743	—44,08	2,23	565	—43,85	1,92

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
2,4	685	—43,88	2,43	520	—43,63	2,10
3,0	602	—43,62	2,73	461	—43,25	2,38
3,4	568	—43,40	2,88	440	—43,05	2,52
4,0	525	—43,10	3,12	405	—42,70	2,75
5,0	467	—42,68	3,51	356,5	—42,08	2,95
	Диаметр жилы d=0,5 мм			*Диаметр жилы d=0,7 мм*		
0,2	1884	—44,80	0,57	1355	—44,75	0,41
0,3	1538	—44,70	0,69	1106	—44,60	0,50
0,5	1192	—44,60	0,90	857	—44,35	0,65
0,7	1007	—44,50	1,06	724	—44,08	0,69
0,8	947	—44,43	1,13	676	—43,93	0,72
0,9	888	—44,36	1,20	639	—43,85	0,87
1,1	803	—44,25	1,33	578	—43,55	0,96
1,3	720	—44,12	1,44	525	—43,30	1,02
1,5	668	—44,00	1,53	490	—43,03	1,09
1,7	630	—43,88	1,62	468	—42,75	1,15
2,0	590	—43,70	1,75	435	—42,38	1,24
2,4	550	—43,45	1,93	400	—41,85	1,34
3,0	488	—43,10	2,18	351	—41,03	1,51
3,4	460	—42,85	2,30	330	—40,55	1,60
4,0	425	—42,47	2,48	305	—39,75	1,71
5,0	375	—41,85	2,74	275	—38,45	1,87

Таблица 5

ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕДАЧИ КАБЕЛЕЙ ТИПА Т3 С ВОЗДУШНО-БУМАЖНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ ТИПА «ТРУБОЧКИ» С ЧЕТВЕРОЧНОЙ ЗВЕЗДНОЙ СКРУТКОЙ ЖИЛ РАЗЛИЧНОГО ДИАМЕТРА ПРИ t=20° С

Частота, кГц	d=0,8 мм; R_0=66 Ом/км; C=31 нФ/км			d=0,9 мм; R_0=53 Ом/км; C=30 нФ/км			d=1,2 мм; R_0=29 Ом/км; C=28 нФ/км		
	$\lvert Z_в \rvert$ Ом	φ, град	α, дБ/км	$\lvert Z_в \rvert$, Ом	φ, град	α, дБ/км	$\lvert Z_в \rvert$, Ом	φ, град	α, дБ/км
0,2	1306	—45,00	0,31	1200	—44,30	0,27	904	—43,30	0,20
0,3	1066	—45,00	0,38	980	—44,00	0,33	738	—42,95	0,24
0,5	826	—44,60	0,49	759	—43,55	0,43	572	—42,20	0,31
0,7	698	—43,80	0,58	641	—43,00	0,51	483	—41,44	0,36
0,8	553	—43,30	0,62	600	—42,85	0,54	452	—41,02	0,39
0,9	616	—42,99	0,66	566	—42,50	0,57	426	—40,65	0,41
1,1	557	—42,05	0,73	512	—42,00	0,63	385	—39,90	0,46
1,3	513	—41,20	0,78	465	—41,55	0,68	348	—39,15	0,49
1,5	480	—40,35	0,83	430	—41,00	0,71	323	—38,40	0,51
1,7	460	—39,50	0,88	410	—40,50	0,74	310	—37,65	0,53
2,0	428	—38,20	0,94	385	—39,80	0,79	290	—36,50	0,55
2,4	390	—36,50	1,01	355	—38,80	0,84	268	—35,00	0,58
3,0	341	—33,95	1,12	316	—37,12	0,91	246	—32,70	0,61
3,4	320	—32,25	1,17	298	—36,30	0,96	230	—31,20	0,64
4,0	300	—29,70	1,24	280	—34,80	1,02	215	—28,95	0,67
5,0	270	—25,50	1,35	252	—32,42	1,11	205	—25,17	0,72

Таблица 6

АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПУПИНОВСКОЙ КАТУШКИ
при $L_S=70$ мГ и $R_0=6$ Ом

f, кГц	R_h, Ом	R_ω, Ом	R_n, Ом	R_S, Ом
0,2	0,050	0,012	0,211	6,27
0,3	0,075	0,028	0,317	6,42
0,5	0,125	0,077	0,528	6,73
0,7	0,175	0,151	0,739	7,07
0,8	0,201	0,197	0,844	7,24
0,9	0,226	0,249	0,950	7,43
1,1	0,276	0,373	1,161	7,81
1,3	0,326	0,520	1,372	8,22
1,5	0,376	0,693	1,583	8,65
1,7	0,426	0,890	1,794	9,11
2,0	0,501	1,232	2,111	9,84
2,4	0,602	1,773	2,533	10,91
3,0	0,752	2,771	3,167	12,69
3,4	0,852	3,559	3,589	14,00
4,0	1,003	4,926	4,222	16,15

Таблица 7

АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПУПИНОВСКОЙ КАТУШКИ
при $L_S=100$ мГ, $R_0=6$ Ом

f, кГц	R_h, Ом	R_ω, Ом	R_n, Ом	R_S, Ом
0,2	0,085	0,018	0,301	6,40
0,3	0,128	0,040	0,452	6,62
0,5	0,214	0,110	0,754	7,08
0,7	0,299	0,216	1,056	7,57
0,8	0,342	0,281	1,206	7,83
0,9	0,385	0,358	1,357	8,10
1,1	0,470	0,532	1,659	8,66
1,3	0,555	0,743	1,960	9,26
1,5	0,641	0,990	2,262	9,89
1,7	0,726	1,271	2,564	10,56
2,0	0,855	1,759	3,016	11,63
2,4	1,025	2,533	3,619	13,18
3,0	1,282	3,956	4,524	15,76
3,4	1,453	5,084	5,127	17,66
4,0	1,709	7,037	6,032	20,78

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

К главе 1

1. **Жданов И. М., Кучерявый Е. И.** Построение городских телефонных сетей М.: Связь, 1972.
2. **Линии** кабельные городских телефонных сетей. Нормы технологического проектирования (НТП—322—68). М.: Связь, 1970.
3. **Дубровский Е. П., Мижерицкий Г. Ш., Шарле Д. Л.** Городские кабельные линии связи. М.: Связь, 1979.
4. **Алексеев В. И., Томчин Б. З., Шарле Д. Л.** Кабельные линии городских телефонных сетей. М.: Связь, 1973.
5. **Грызлов А. С., Дубровский Е. П.** Линейные сооружения городской телефонной сети. М.: Связь, 1974.

К главе 2

1. **Руководство** по техническому учету оборудования и паспортизации сооружений ГТС. М.: Связь, 1979.
2. **Централизация** технического обслуживания абонентов ГТС. Малинников В. В., Новожилова Э. В., Маримонт Л. Б. и др. М.: Связь, 1978.
3. **Руководство** по электрическим измерениям линий сельских телефонных сетей. М.: Связь, 1977.
4. **Руководство** по электрическим измерениям линий городских телефонных сетей. М.: Связь, 1976.
5. **Руководство** по эксплуатации кабельных сооружений ГТС. М.: Связь, 1970.
6. **Руководство** по эксплуатации канализационных сооружений городских телефонных сетей. М.: Связь, 1971.
7. **Инструкция** по приемке в эксплуатацию вновь построенных, реконструированных и отремонтированных линейных сооружений городских телефонных сетей. М.: Связь, 1979.
8. **Инструкция** о порядке исправления повреждений и учета заявлений на городских телефонных сетях. М.: Связь, 1968.

К главе 3

1. **Кабели** со встроенным тросом для подвески на опорах воздушных линий связи./Руга А. Д., Сенчило З. В., Федорова М. П., Яин Г. А. — Вестник связи, 1973, № 11, с. 28—30.
2. **Многопарные** кабели связи в стальной гофрированной оболочке./Брискер А. С., Маримонт Л. Б., Гродская И. Д. и др. — Автоматика — телемеханика, 1973, № 4, с. 14—16.
3. **Городские** телефонные кабели на рубеже десятой пятилетки./Брискер А. С., Руга А. Д., Шарле Д. Л. — Электросвязь, 1975, № 12, с. 1—8.
4. **Электрические** характеристики кабелей ГТС с жилами уменьшенного диаметра в широком диапазоне частот./Иткина В. И., Подвязный А. Н., Руга А. Д., Чернышева Т. М. — Сборник научных трудов ЦНИИС, Л.: Энергия, 1978, № 3, с. 46—49.

5. **Алексеев В. И., Томчин Б. З., Шарле Д. Л.** Кабельные линии городских телефонных цепей. М.: Связь, 1973.
6. **Брискер А. С., Руга А. Д., Шарле Д. Л.** Городские телефонные кабели. М.: Связь, 1979.
7. **Общая** инструкция по строительству линейных сооружений ГТС. М.: Связь, 1978.
8. **Aluminium** conductor telephone Cable/Kutamaru H., Ucno K., Higashimoto T. et cet. — Sumitomo Elec. Rev. 1971, № 105.
9. **Mc.Bride R. L.** Higt pair count Cable saves big money for Anchorage Tel. — Telephony. 1972, sept. 18, v. 183, № 12.
10. **Pritchett J.** Development of Cables for the changing networks. — The Post Office Electrical Engineers Jornal. 1972, v. 64.
11. **Meier A. R.** Aluminium cable-wire of the future. — Telephony. 1974, v. 187, № 6.
12. **Пат.** 174—36 № 3, 803, 340 (США).

К главе 4

1. **Общая** инструкция по строительству линейных сооружений ГТС. М.: Связь, 1978.
2. **Руководство** по эксплуатации канализационных сооружений городских телефонных сетей. М.: Связь, 1971.
3. **Положение** о проведении планово-предупредительного ремонта сооружений связи. М.: ХОЗУ МС, 1965.
4. **Руководство** по эксплуатации кабельных сооружений ГТС. М.: Связь, 1970.
5. **Инструкция** по приемке в эксплуатацию вновь построенных, реконструированных линейных сооружений городских телефонных сетей. М.: Связь, 1973.
6. **Временные** нормы годового расхода материалов и запасных частей на эксплуатационное содержание и текущий ремонт городских телефонных сетей. М.: Связь, 1979.
7. **Временные** рекомендации по предотвращению попадания газа в помещения ввода кабелей предприятий связи. М.: ХОЗУ МС, 1978.
8. **Дубровский Е. П.** Канализационно-кабельные сооружения городских телефонных сетей. М.: Высшая школа, 1976.
9. **Назарьев О. В.** Обзор конструкций телефонной канализации зарубежных стран. М.: 1979, вып. 3, с. 11—32. В надзаг.: ЦНТИ, Информсвязь, Зарубежная техника связи.
10. **Пахомов Б. П., Ходорковский Н. А.** Новая конструкция кабельной канализации для районов севера. — Вестник связи, 1978, № 10, с. 25—26.

К главе 5

1. **Общая** инструкция по строительству линейных сооружений ГТС. М.: Связь, 1978.
2. **Временная** инструкция по монтажу кабелей городских телефонных сетей термоусаживаемыми трубками. М.: ССКТБ, 1976.
3. **Инструкция** по сращиванию жил кабелей ГТС многожильными соединителями СМЖ-10. М.: ССКТБ, 1978.
4. **Инструкция** по сращиванию жил кабеля ТПП способом механизированной скрутки. М.: ССКТБ, 1977.
5. **Назарьев О. В.** Современные методы монтажа кабелей ГТС новых типов. М.: 1974, № 2. В надзаг.: ЦНТИ, Информсвязь. Зарубежная техника связи. Экспресс-информация. Эксплуатация средств связи.
6. **Назарьев О. В.** Обзор способов сращивания жил кабелей ГТС соединителями сжимаемого типа. М.: 1976, вып. 7. В надзаг.: ЦНТИ, Информсвязь. Зарубежная техника связи. Экспресс-информация.

К главе 6

1. **Положение** о проведении планово-предупредительного ремонта сооружений связи. М.: Связь, 1965.
2. **Руководство** по эксплуатации кабельных сооружений ГТС. М.: Связь, 1970.
3. **Руководство** по проектированию и защите от коррозии подземных металлических сооружений. М.: Связь, 1978.

4. **Правила** охраны линий связи. Условия производства работ в пределах охранных зон и просек на трассах линий связи и радиофикации. М.: Связь, 1970.
5. **Временные** нормы годового расхода материалов и запасных частей на эксплуатационное содержание и текущий ремонт городских телефонных сетей. М.: Связь, 1979.
6. **Общая** инструкция по строительству линейных сооружений ГТС. М.: Связь, 1978.
7. **Руководство** по электрическим измерениям линий городских телефонных сетей. М.: Связь. 1976.

К главе 7

1. **Каллер М. Я.** Теория линейных электрических цепей. М.: Транспорт, 1978.
2. **Лившиц Б. С., Фидлин Я. В., Харкевич А. Д.** Теория телефонных и телеграфных сообщений. М.: Связь, 1971.
3. **Линии** кабельные городских телефонных сетей. Нормы технологического проектирования (НТП—322—68). М.: Связь, 1970.
4. **Парфенов Ю. А., Парфенова Р. К., Ли Э. Д.** Влияние цепей ПДИ в кабелях ГТС. М.: Связь, 1979.
5. **Прибор** для автоматического измерения переходного затухания/Копачева Ю. И., Парфенов Ю. А. и др. — Труды научно-технической конференции. Л.: ЛЭИС, 1961, вып. 1, с. 133—141.

К главе 8

1. **Фриман И. Н.** Аппаратура уплотнения КАМА. М.: Связь, 1974.
2. **Boer, Schouten.** On the number of pairs which can be used for carrier working in random — spliced, de—loaded voice—frequency Cables. — Philips Telecommunication Review, 1958, v. 19, № 1.
3. **Ким Л. Т., Рапопорт Э. З.** Уплотнение городских телефонных цепей. М.: Связь, 1973.
4. **Патрик О. Г.** К вопросу об уплотнении низкочастотных кабелей ГТС малоканальной аппаратурой с ИКМ. — Сборник научных трудов ЦНИИС. М.: 1973, № 4, с. 67—71.
5. **Клейн В.** Теория взаимного влияния в линиях связи. М.: ИЛ, 1959.
6. **Вентцель Е. С.** Теория вероятностей. М.: Физматиздат, 1962.
7. **Руга А. Д., Костянец Е. В.** Параметры передачи и влияния кабелей типа ТГ в диапазоне частот до 600 кГц. — Электросвязь, 1961, № 4, с. 69—76.
8. **Руга А. Д., Костянец Е. В.** Методика отбора в кабелях ГТС пар, пригодных для ВЧ уплотнения. — Вестник связи, 1963, № 5, с. 8—9.
9. **Жженова Н. А., Руга А. Д.** Параметры передачи и влияния телефонных кабелей ГТС в широком спектре частот. — Труды ЦНИИС ЛФ № 21, Л.: Энергия, 1969, с. 145—156.
10. **Жженова Н. А., Руга А. Д.** О расчете переходных характеристик цепей через вторичные параметры в симметричных кабелях связи. — Сборник научных трудов ЦНИИС, М.: 1973, № 4, с. 77—83.
11. **Жженова Н. А., Руга А. Д.** Некоторые статистические характеристики переходных влияний в телефонных кабелях на частотах линейного сигнала аппаратуры ИКМ-30. — Сборник научных трудов ЦНИИС. М.: 1974, № 4. с. 57—62.
12. **Горская Л. А., Патрик О. Г.** Упрощенный способ выбора пар в кабеле ГТС для уплотнения аппаратурой ИКМ. — Сборник научных трудов ЦНИИС. М.: 1972, № 4.
13. **Matuda S.** Transmission Properties and Crosstalk characteristic of City Cables and Toll Cables at High Frequency for PCM Transmission Design. — Electr. Commun. Techn. J. NTT, 14, 1, 1965, p. 59.
14. **Christiansen H., Kersten R.** Grundsätzliches für Nachrichten—Übertragungstechnik mit Pulscodemodulation. — Nachrichten — Übertragungstechnik. Siemens Zeitschrift 48, Jahrgang, 1974, Beiheft, s. 257.

15. **Dömer J., Pospischil R.** PCM Übertragungsetrecken mit Kabelleitungen. — Nachrichten—Übertragungstechnik. Siemens Zeitschrift, 48, Jahrgang, 1974, Beiheft, s. 276.
16. **Руга А. Д.** Некоторые вопросы разработки высокочастотного кабеля с малым диаметром жил для соединительных линий ГТС. — Сборник научных трудов НИИТС. Л.: 1959, № 3. с. 110—129.
17. **Каллер М. Я.** Теория электрических цепей. М.: Трансжелдориздат, 1962.
18. **Цифровые** системы передачи: Пер. с польск./Под ред. В. Маевского и Е. Милка. М.: Связь, 1979.

К главе 9

1. **Условия** совмещения цепей дискретной и аналоговой информации в кабелях ГТС/Копачева Ю. И., Ничаевский Л. М., Парфенов Ю. А. и др. — Вестник связи, 1978, № 9, с. 29—31.
2. **Парфенов Ю. А., Парфенова Р. К., Ли Э. Д.** Влияние цепей ПДИ в кабелях ГТС. М.: Связь, 1979.
3. **Ли Э. Д., Парфенов Ю. А.** Исследование влияния цепей передачи дискретной информации ЧМ сигналами на телефонные цепи в НЧ кабельных линиях связи. — Всесоюзная конференция по теории кодирования и передачи информации. М. — Горький, 1972.
4. **Ли Э. Д., Парфенова Р. К., Парфенов Ю. А.** О критериях оценки взаимных влияний между цепями дискретной и аналоговой информации в кабельных линиях связи. — Сборник научных трудов. М.: ЦНИИС, 1973, вып. 3, с. 64—67.

К главам 10 и 11

1. **Михайлов М. И., Разумов Л. Д.** Защита кабельных линий связи от влияния внешних электромагнитных полей. М.: Связь, 1967.
2. **Михайлов М. И., Разумов Л. Д., Соколов С. А.** Защита сооружений связи от опасных и мешающих влияний. М.: Связь, 1978.
3. **Кабели** связи для электрических железных дорог переменного тока/Гаврилюк В. В., Любимов К. А., Малочинская А. Н. и др. М.: Транспорт, 1965.
4. **Правила** защиты устройств проводной связи и проводного вещания от влияния тяговой сети электрических железных дорог переменного тока. М.: Транспорт, 1973.
5. **Правила** защиты устройств проводной связи железнодорожной сигнализации и телемеханики от опасного и мешающего влияния линий электропередачи. Ч. I и II. М.: Связь, 1969, 1972.
6. **Директивное** указание № 14/4. — Электросетьпроект. М. 1972.
7. **Система** общегосударственной автоматически коммутируемой телефонной сети. Книга II. Раздел XVI, М.: ЦНИИС, 1970.
8. **Линии** кабельные ГТС. Нормы технологического проектирования (НТП 322—68). М.: Связь, 1970.
9. **Разумов А. Д., Бликман М. Б.** Измерение КЗД металлических покровов кабелей связи в широком диапазоне частот. — Вестник связи, 1972, № 7.
10. **Брискер А. С., Либерзон Б. И.** Расчет КЗД экранирующих покровов кабелей на ЭВМ. — Труды ЦНИИС ЛФ, 1969, № 22.
11. **Брискер А. С., Руга А. Д., Шарле Д. Л.** Городские телефонные кабели. Справочник. М.: Связь, 1979.
12. **Брискер А. С.** Исследование влияния линий высокого напряжения на кабельные линии ГТС. Автореф. дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Л., 1972.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3

Глава 1. Система построения местной телефонной связи 4

1.1. Городская телефонная сеть 4
1.2. Электрические нормы на сети местной телефонной связи 8

Глава 2. Основные положения по технической эксплуатации линейных сооружений ГТС 11

2.1. Подчиненность городских телефонных сетей 11
2.2. Задачи технической эксплуатации и виды выполняемых работ . . 11
2.3. Организация эксплуатации линейно-кабельных сооружений ГТС . . 12
2.4. Организационная структура кабельно-канализационного участка линейного цеха 13
2.5. Планирование, контроль и обеспечение работ по технической эксплуатации кабельно-канализационных сооружений 16
2.6. Технический учет и паспортизация линейных сооружений ГТС . . 18
2.7. Контрольные сроки устранения кабельных повреждений и аварий . 23
2.8. Состав и объем электрических измерений кабельных линий . . . 24
2.9. Совершенствование технической эксплуатации линейно-кабельных сооружений ГТС 27

Глава 3. Кабели городских телефонных сетей и оконечные устройства 29

3.1. Требования, предъявляемые к современным многопарным кабелям ГТС 29
3.2. Кабели ГТС с воздушно-бумажной изоляцией жил в свинцовой оболочке 29
3.3. Кабели ГТС с полиэтиленовой изоляцией жил в пластмассовой оболочке 32
3.4. Кабели ГТС с воздушно-бумажной изоляцией в стальной гофрированной оболочке 37
3.5. Низкочастотные герметизированные кабели местной связи . . . 38
3.6. Кабельные оконечные, распределительные и абонентские защитные устройства 40

Глава 4. Кабельная канализация и ее эксплуатация 46

4.1. Канализационные сооружения ГТС 46
4.2. Нормы годового расхода материалов для эксплуатационного содержания канализации 56
4.3. Осмотр и текущий ремонт канализации 56
4.4. Капитальный ремонт канализации 61
4.5. Основные повреждения канализации и их устранение 62
4.6. Реконструкция кабельной канализации 64
4.7. Надзор за сохранностью канализации 66

Стр.

4.8. Надзор за строительством и капитальным ремонтом канализации . 66
4.9. Приемка канализации в эксплуатацию 67

Глава 5. Прокладка и монтаж кабелей в условиях эксплуатации . . 68

5.1. Прокладка, вытягивание и замена кабелей в канализации и коллекторах 68
5.2. Прокладка кабелей в земле 71
5.3. Скрытая прокладка кабелей 73
5.4. Подвеска кабелей на опорах воздушных линий и стойках . . . 73
5.5. Прокладка кабелей через водные преграды 76
5.6. Вводы кабелей в здания, прокладка по стенам и в закладочных устройствах 76
5.7. Монтаж кабелей 77

Глава 6. Техническая эксплуатация кабельных линий ГТС 89

6.1. Техническое обслуживание кабельных линий 89
6.2. Текущий ремонт кабельных линий 90
6.3. Капитальный ремонт кабельных линий 94
6.4. Защита металлических оболочек подземных кабелей от коррозии . 96
6.5. Содержание кабельных линий под избыточным воздушным давлением 99
6.6. Определение мест негерметичности оболочек и муфт при содержании кабелей под давлением 102
6.7. Устранение кабельных повреждений и выполнение работ по ремонту кабелей 105
6.8. Устранение повреждений в оконечных кабельных устройствах . . 112

Глава 7. Электрические характеристики кабельных линий ГТС . . 115

7.1. Параметры передачи линейного тракта ГТС 115
7.2. Взаимные влияния между цепями низкочастотных кабельных линий ГТС 121
7.3. Помехи в цепях кабельных линий ГТС 123

Глава 8. Высокочастотное уплотнение кабельных линий городской телефонной сети в процессе эксплуатации 133

8.1. Общие сведения 133
8.2. Выбор цепей в кабелях ГТС при их уплотнении системами передачи с частотным разделением каналов 133
8.3. Выбор цепей в кабелях ГТС при их уплотнении системами передачи с временным разделением каналов 139
8.4. Электрические характеристики кабелей ГТС при переменном токе . 149
8.5. Техническое обслуживание линейных трактов аппаратуры ИКМ-30 . 155
8.6. Высокочастотное уплотнение абонентских линий ГТС с помощью аппаратуры АВУ 158

Глава 9. Совмещение цепей передачи дискретной и аналоговой информации в кабельных линиях ГТС 159

9.1. Параметры сигналов дискретной и аналоговой информации . . . 159
9.2. Критерий оценки взаимных влияний между цепями передачи дискретной и аналоговой информации 161
9.3. Условия совмещения цепей дискретной и аналоговой информации . 161
9.4. Использование телефонных цепей кабелей ГТС для передачи дискретной и аналоговой информации 163

Глава 10. Влияние линий высокого напряжения на кабельные линии в процессе эксплуатации 165

10.1. Характеристика линий высокого напряжения 166
10.2. Методика расчета опасного (однопроводного) влияния 170
10.3. Методика расчета мешающего (двухпроводного) влияния . . . 180

10.4. Методика расчета гальванического влияния 181
10.5. Нормы допустимых величин влияния 182

Глава 11. Защита кабельных линий при их эксплуатации от влияния линий высокого напряжения 188

11.1. Оценка существующих методов защиты линий 188
11.2. Идеальный коэффициент защитного действия 191
11.3. Реальный коэффициент защитного действия 204
11.4. Рекомендуемые величины коэффициента защитного действия кабелей и методы их обеспечения 209
11.5. Кабели ГТС для зон влияния 211
Приложения 218
Список литературы 233

Анатолий Самойлович Брискер, Михаил Александрович Восс, Олег Вячеславович Назарьев, Александр Васильевич Новожилов, Юрий Алексеевич Парфенов, Александр Дмитриевич Руга

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДСКИХ ТЕЛЕФОННЫХ СЕТЕЙ

Редактор Е. В. Комарова
Обл. художника А. С. Широкова
Художественный редактор Р. А. Клочков
Технический редактор Г. И. Колосова
Корректор Т. Г. Захарова

ИБ № 645 (Связь)

Сдано в набор 29.10.80 г. Подп. в печ. 23.01.81 г.
Т-00722 Формат 60×90/16 Бумага кн.-журн. Гарнитура литературная
Печать высокая Усл. печ. л. 15,0 Усл. кр.-отт. 15,0 Уч.-изд. л. 18,26
Тираж 12 000 экз. Изд. № 18338 Зак. № 224 Цена 1 р. 20 к.
Издательство «Радио и связь». Москва 101000, Главпочтамт, а/я 693

Типография издательства «Радио и связь» Госкомиздата СССР
Москва 101000, ул. Кирова, д. 40

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОРОДСКИХ ТЕЛЕФОННЫХ СЕТЕЙ