

УДК 621.391
621.395.73:621.315
621:398
ББК 32.88

Ю.А. Парфенов

Кабели электросвязи. М.: Эко-Трендз, 2003. – 256 с.: ил.

ISBN 5-88405-053-4

В книге рассматриваются вопросы развития, конструирования и эксплуатации кабелей электросвязи с медными жилами, применяемых на различных участках Взаимоувязанной сети связи России. Приводятся электрические нормы на линии связи, рассматриваются некоторые особенности монтажа кабелей. Освещаются новые перспективные направления развития сетей связи: цифровое уплотнение абонентских линий и структурированные кабельные системы. Особое внимание уделено конструкции кабелей, восстановлению поврежденных, находящихся в эксплуатации линий связи.

Книга предназначена для широкого круга специалистов, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией линий связи, производством кабельной продукции, а также студентам соответствующих специальностей.

ББК 32.88

ISBN5-88405-053-4

© Автор, 2003

**Книга издана при содействии и поддержке
фирмы «ЭЛИКС-КАБЕЛЬ»**

СОДЕРЖАНИЕ

От автора	6
Глава 1. Взаимоувязанная сеть связи России	8
1.1. Основные положения.....	8
1.2. Принципы построения междугородной телефонной сети	12
1.3. Принципы построения внутризоновой телефонной сети.....	13
1.4. Принципы построения городских телефонных сетей	14
1.5. Принципы построения сельских телефонных сетей.....	20
1.6. Построение сети проводного вещания.....	24
Глава 2. Классификация и основные конструктивные элементы кабелей связи.....	28
2.1. Основные положения.....	28
2.2. Конструктивные элементы кабелей электросвязи	29
2.2.1. Токопроводящие жилы	31
2.2.2. Изоляция жил.....	32
2.2.3. Гидрофобный наполнитель	35
2.2.4. Поясная изоляция	37
2.2.5. Экран.....	38
2.2.6. Оболочки	39
2.2.7. Несущий трос.....	42
2.2.8. Защитные покровы	43
2.2.9. Наружный покров.....	44
Глава 3. Основы теории кабелей электросвязи	47
3.1. Первичные параметры цепи.....	47
3.2. Вторичные параметры цепи.....	48
3.3. Электромагнитные процессы в симметричных кабелях	49
3.4. Первичные параметры передачи симметричных кабелей.....	51
3.5. Вторичные параметры передачи симметричных кабелей.....	53
3.6. Электромагнитные процессы в коаксиальных парах	56
3.7. Первичные параметры передачи коаксиальных кабелей	57
3.8. Вторичные параметры передачи коаксиальных кабелей	59
3.9. Неоднородности в цепях связи	63
3.10. Причины и параметры взаимного влияния между симметричными цепями	66
3.11. Электромагнитные связи между цепями в симметричных кабелях.....	70
3.12. Косвенные влияния	74
3.13. Принципы нормирования величин переходного затухания	77
3.14. Взаимное влияние между коаксиальными парами	79
Глава 4. Кабели магистральных и зоновых сетей	84
4.1. Основные положения.....	84
4.2. Кабели с кордельно-полистирольной изоляцией.....	84
4.3. Кабели с полиэтиленовой изоляцией	94
4.4. Коаксиальные кабели	98

Глава 5. КАБЕЛИ ГОРОДСКИХ ТЕЛЕФОННЫХ СЕТЕЙ	109
5.1. Требования, предъявляемые к современным многопарным кабелям ГТС	109
5.2. Кабели ГТС с воздушно-бумажной изоляцией жил в свинцовой оболочке.....	109
5.3. Кабели ГТС с воздушно-бумажной изоляцией жил в стальной гофрированной оболочке	112
5.4. Кабели ГТС с полиэтиленовой изоляцией жил в пластмассовой оболочке	113
5.5. Низкочастотные герметизированные кабели местной связи	117
5.6. Параметры передачи и влияния кабелей ГТС в высокочастотном диапазоне..	119
5.7. Новый стандарт на пластмассовые кабели местной связи.....	123
Глава 6. Кабели сельской связи	135
6.1. Высокочастотные кабели	135
6.2. Абонентские малопарные кабели с алюмомедными жилами	143
6.3. Абонентские кабели с медными жилами	144
6.4. Однопарные кабели	148
Глава 7. Кабели проводного вещания.....	151
7.1. Конструктивные характеристики	151
7.2. Электрические параметры.....	152
Глава 8. Кабели для «последней мили»	156
8.1. Высокочастотные (цифровые) абонентские кабели местной связи	156
8.2. Кабели для последних метров «последней мили»	157
8.3. Новый высоконадежный высокочастотный однопарный кабель	160
Глава 9. Нормирование электрических характеристик кабельных линий	165
9.1. Электрические нормы на магистральные и зоновые кабельные линии	165
9.1.1. Электрические нормы на линии ЧРК	165
9.1.2. Электрические нормы на линии ЦСП	167
9.1.3. Новый стандарт на электрические характеристики магистральных и зоновых кабельных линий	168
9.2. Электрические нормы на линии местной связи	169
9.2.1. Общие положения.....	169
9.2.2. Нормы электрические на кабельные линии ГТС	170
9.3. Нормы электрические на линии сельских сетей электросвязи.....	172
9.4. Нормы на электрические параметры сетей ПВ.....	174
9.4.1. Параметры низкочастотных сетей однопрограммного проводного вещания.....	174
9.4.2. Нормы на электрические параметры высокочастотных сетей ТПВ	176
Глава 10. Кабели структурированных кабельных систем.....	178
10.1. Основные положения.....	178
10.2. Структура СКС	180
10.3. Конструкции кабелей СКС.....	182
10.4. Электрические характеристики кабелей СКС.....	185
10.5. Электрические характеристики горизонтальных кабелей СКС	191
10.6. Новые возможности кабелей СКС	193

Глава 11. «Медным кабелям жить»	200
11.1. Исходные положения.....	200
11.2. Сети абонентского доступа на «старых» линиях ТПП.....	202
11.2.1. Оборудование xDSL	202
11.2.2. Абонентские линии местных телефонных сетей.....	205
11.3. Новая жизнь кабеля КСПП.....	213
Глава 12. Как «лечить» замокшие кабели сети абонентского доступа	219
12.1. Исходные положения.....	219
12.2. Основные характеристики жидкого гидрофобного заполнителя.....	220
12.3. Гидрофобный заполнитель кабельный низкотемпературный	221
12.4. Технология восстановления и герметизации многопарных телефонных кабелей	222
12.5. Восстановление замокших кабелей, проложенных в телефонной канализации	223
12.6. Восстановление замокших кабелей, проложенных в грунте.....	224
12.7. Герметизация кабельных муфт и прилегающих участков кабеля.....	224
12.8. Восстановление отрезков кабеля на ремонтной базе	225
12.9. Монтаж соединительных муфт на герметизированном кабеле.....	226
Глава 13. Новые технологии монтажа кабелей местной связи.....	227
13.1. Монтаж герметизированных муфт с использованием индивидуальных соединителей, гидрофобного заполнителя и термоусаживаемых лент	227
13.1.1. Общие положения	227
13.1.2. Порядок выполнения работ по монтажу герметизированных муфт.....	230
13.2. Технология герметизации муфт линий местной связи из кабелей с полиэтиленовой изоляцией жил и оболочкой	234
13.2.1. Общие положения	234
13.2.2. Технология герметизации муфт многопарных кабелей с полиэтиленовой изоляцией жил и оболочкой.....	235
13.3. Монтаж малопарных кабелей местной связи с применением полимеризирующихся компаундов и тупиковых муфт.....	238
13.4. Технология монтажа и демонтажа муфт.....	239
Глава 14. Исторический экскурс	242
14.1. Откуда есть и пошла наука связистская	242
14.2. Кабели сельской электросвязи.....	244
Список сокращений.....	249
Литература	251

*Посвящается
моим учителям
и единомышленникам*

ОТ АВТОРА

Прогресс телекоммуникационного комплекса России (ТКР) необходимо рассматривать с учетом исторической перспективы построения Российской информационной инфраструктуры (РИИ) и вхождения ее в Глобальную информационную инфраструктуру (ГИИ, GII).

Это подразумевает развитие ВСС России: наземных сетей общего пользования, корпоративных сетей, спутниковых сетей связи, сетей телевизионного и звукового вещания.

Предлагаемая книга посвящена электрическим кабелям связи, обеспечивающим функционирование всех перечисленных сетей.

Эта книга не претендует на оригинальность представляемого материала. В ней обобщен опыт учителей и единомышленников, вложивших большой труд в область создания основ, развития и внедрения теории и практики кабельной техники и линий связи.

Мы все – кабельщики, связисты, учились на трудах Акульшина Павла Кузьмича, Кулешова Василия Николаевича, Гроднева Игоря Измайловича, Курбатова Николая Дмитриевича, Шиниборова Павла Яковлевича, Каллера Моисея Яковлевича, Фролова Павла Алексеевича, Маримонта Льва Борисовича.

Следует отметить большой вклад школы Шварцмана Владимира Осиповича, Цыма Александра Юрьевича, Воронцова Анатолия Сергеевича, Левинова Константина Георгиевича.

Труды кабельных лабораторий ЦНИИС, ЛОНИИС, КОНИИС, их теоретические исследования доведены до практического внедрения при создании всех звеньев ЕАСС и ВСС России.

Основу теории, практики конструирования и технологии кабелей связи создали Пешков Изослав Борисович, Абрамов Константин Константинович, Лакерник Рафаил Моисеевич, Александров Константин Александрович, Моряков Геннадий Семенович, Рысин Леонид Григорьевич, Еремеева Нина Ефимовна.

Следует также отметить большой вклад технической мысли в реализацию конструкций и технологию кабелей связи представителей кабельной промышленности Бульхина Анвара Кошафовича, Исакова Альберта Семеновича («КЗК»), Соколова Ивана Тимофеевича, Хундацай Людмилы Андреевны («Ташкенткабель»), Шермана Наума Лазоревича («Мозырькабель»). Большой вклад в развитие теории внесен учеными учебных институтов связи Верником Семеном Мироновичем, Бухгеймом Львом Эрнестовичем, Алексеенко Анатолием Лаврентьевичем.

На современном этапе развития кабельной техники следует отметить ученых и инженеров, вкладывающих свои знания современных кабельных структур: оптических кабелей и кабелей для структурированных сетей – Рысина Леонида Григорьевича, Семенова Андрея Борисовича, Воронцова Анатолия Сергеевича, Цыма Александра Юрьевича.

Автор особо благодарен Байцуру Глебу Григорьевичу, который оказывал поддержку новым идеям и их реализации по созданию высоконадежных кабелей связи, работая в должностях начальника Краснодарского краевого управления связи, заместителя министра связи СССР, министра связи РСФСР.

В этой книге я отдаю дань научно-технической школе, создавшей благодаря своим работам целую эпоху теории конструирования отечественных кабельных линий связи.

Следует отметить вклад в создание современных конструкций кабелей представителей технического управления Министерства связи СССР, Мамонова Евгения Степановича, Назарова Якова Николаевича, Борисковой Станиславы Дмитриевны и главного управления электросвязи Павловской Алимпиады Стефановны, Сергеевой Веры Ивановны, Восса Михаила Александровича.

Благодарю сотрудников родной кабельной лаборатории ЛОНИИС: Добнина Юлия Вольфовича, Кайзера Леонида Иосифовича, Чернышеву Татьяну Михайловну, Полякову Наталию Николаевну, Коломенскую Веру Ивановну, Шальгина Валерия Борисовича, Кадников Валентина Александровича, Антоневиича Леонида Никитовича, Копачеву Юлию Ивановну, Нефедову Дусю Вениаминовну, вложивших свои мысли исследователей и экспериментаторов в создание и внедрение перспективных конструкций кабелей связи и их эксплуатации на местных сетях.

И, конечно, следует отметить вклад начальников лабораторий ЛОНИИС по монтажу кабельных линий Назарьева Олега Вячеславовича, лаборатории кабелей ГТС Руги Александра Дмитриевича и начальника кабельного отдела Маримонта Льва Борисовича.

Автор благодарен также Белову Ю.Н. и Москаленко Ю.С., ранее работавших заведующими кафедрами линий связи Новосибирского и Ташкентского институтов связи. Совместные НИР позволили решить многие проблемы конструирования кабелей с гидростойким заполнением, их надежности и электромагнитной совместимости на линиях связи.

Особую роль следует отметить в создании «Общественного Центра поддержки кабельных линий абонентского доступа» (ОЦП «КУЛОН») при Учебном центре ОАО «Кубаньэлектросвязь». Костяк центра составили ОАО «Кубаньэлектросвязь» (КУ), ЛОНИИС (ЛО), НТЦ «НАТЕКС» (Н).

Творческий подход, теоретические знания, практические навыки в области линейно-кабельных сооружений и аппаратостроении позволили комплексно решить многие задачи конструирования кабелей связи и разработки ресурсосберегающих технологий, предусмотренных программой группы №12 «Сети абонентского доступа» при Координационном совете по новым технологиям Министерства Российской Федерации по связи и информатизации.

Благодарен заместителю директора ЛОНИИС по научной работе Кучерявому Андрею Евгеньевичу и начальнику отдела Николаеву Николаю Васильевичу, оказывающим постоянную поддержку в реализации творческих идей в области линейно-кабельных сооружений.

ГЛАВА 1

ВЗАИМОУВЯЗАННАЯ СЕТЬ СВЯЗИ РОССИИ

1.1. Основные положения

Основой развития электросвязи СССР была Общегосударственная единая автоматизированная сеть связи (ЕАСС), обеспечивающая функционирование телефонной, телеграфной передачи и прием газетных полос, передачу данных радиовещания и телевидения [3].

В период перестройки были проведены работы по преобразованию сети ЕАСС во Взаимоувязанную сеть связи Российской Федерации (ВСС РФ) с учетом структурных преобразований страны и развития новейших технических средств (рис. 1.1).

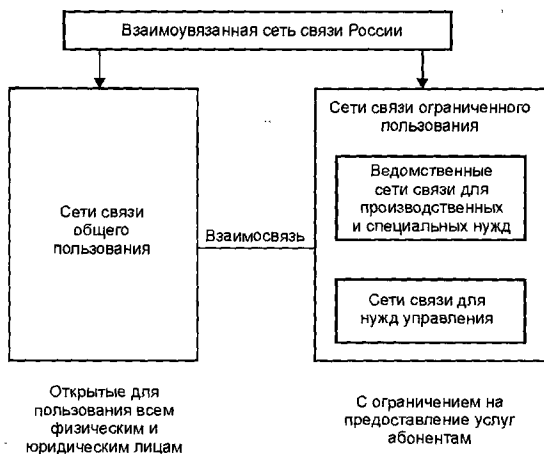


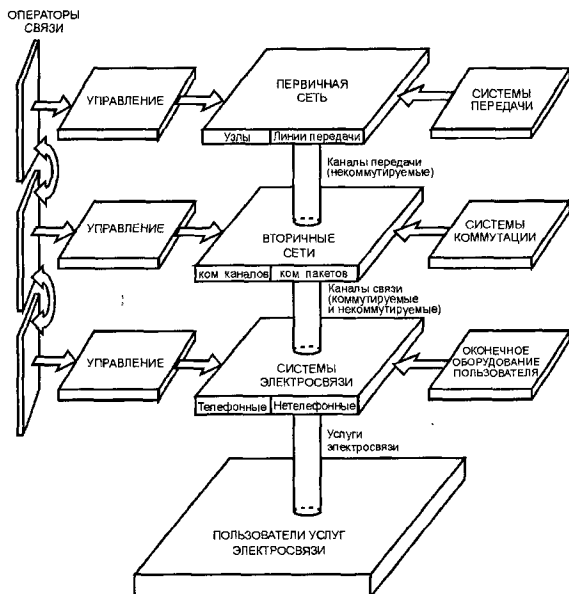
Рис. 1.1
Взаимоувязанная сеть связи Российской Федерации

Связь Российской Федерации как часть инфраструктуры страны представляет собой совокупность сетей, служб и оборудования связи, расположенных и функционирующих на территории страны. Она предназначена для удовлетворения потребностей населения, органов государственной власти и управления, обороны, безопасности, правопорядка, а также, пользователей всех категорий в услугах электросвязи [4-7].

Структурно ВСС РФ является иерархической системой и включает в себя три уровня (рис. 1.2).

Первый уровень – первичная сеть, второй уровень – вторичная сеть, третий уровень образуют системы (службы) электросвязи определенного вида в зависимости от предоставляемых абонентам услуг.

Рис. 1.2
Архитектура ВСС



Первичная сеть ВСС представляет собой совокупность узлов, линий передачи, типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов ВСС. Первичная сеть представляет вторичным сетям каналы передачи и физические цепи.

На основе типовых каналов передачи и физических цепей первичной сети с помощью узлов и станций коммутаций организуются различные вторичные сети (телефонная, телеграфная, передачи данных, передачи газет, сети распределения программ ТВ и ЗВ). Вторичные сети обеспечивают транспортировку, коммутацию, распределение сигналов в службах электросвязи.

На базе вторичных цепей организуются системы электросвязи, представляющие собой комплекс технических средств, осуществляющих электросвязь определенного вида и включающие в себя соответствующую вторичную сеть. Система электросвязи может включать в себя одну или несколько служб электросвязи и одну или несколько сетей электросвязи.

Служба электросвязи представляет собой организационно-техническую структуру на базе сети связи (или совокупности сетей связи), обеспечивающую обслуживание связью пользователей с целью удовлетворения их потребностей в определенном наборе услуг электросвязи. Различают два вида служб электросвязи: службы переноса и телеслужбы (службы предоставления связи).

Служба переноса обеспечивает только возможность передачи сигналов между стыками сети. Оконечные устройства не входят в службы переноса.

Телеслужба обеспечивает полную реализацию (включая функцию окончных устройств) возможностей определенного вида связи между пользователями. Телеслужба организуется на базе службы переноса и окончных устройств. Примерами телеслужб являются службы телефонной связи, телекса, бюрофакса. В качестве составной части соответ-

ствующей телеслужбы в архитектуру входят оконечные устройства, располагающиеся у пользователя.

Помимо принятого разделения сетей ВСС на первичные и вторичные возможно другое двухуровневое разделение: на транспортную сеть и сеть доступа.

Транспортная сеть связи состоит из междугородной и зоновых (региональных) сетей связи. Сеть доступа (абонентская сеть или сеть абонентского доступа) является местной сетью. Транспортная сеть предназначена для передачи высокоскоростных (широкополосных) потоков сообщения и их накопления.

Сеть доступа состоит из абонентских линий (на металлических или оптических кабелях или радиоканалах) с подключенными к ним абонентскими оконечными устройствами местных станций коммутаций, соединяющих их линии передачи и линии передачи к узлам транспортной сети.

Использование технических средств на первичной сети общего пользования

Основным средством цифровизации первичной сети должны быть цифровые СП, обеспечивающие образование следующих цифровых каналов и групповых цифровых трактов:

- основных цифровых каналов 64 кбит/с;
- первичных цифровых каналов и цифровых групповых трактов 2048 кбит/с;
- вторичных цифровых каналов и цифровых трактов 8448 кбит/с;
- третичных цифровых каналов и цифровых групповых трактов 34368 кбит/с;
- четвертичных цифровых каналов и цифровых групповых трактов 139264 кбит/с;
- групповых цифровых трактов СЦИ первого уровня 155520 кбит/с;
- групповых цифровых трактов СЦИ четвертого уровня 622080 кбит/с;
- групповых цифровых трактов СЦИ шестнадцатого уровня 2488320 кбит/с.

По территориальному признаку и назначению первичные и вторичные сети подразделяются на магистральную (междугородную – для вторичных сетей), внутризоновые (зоновые) и местные сети, а также международные сети.

Магистральные сети связи – технологически сопряженные междугородные сети электросвязи, образуемые между центром Российской Федерации и центрами субъектов Федерации, а также центрами субъектов Федерации между собой.

Зоновые (региональные) сети связи – технологически сопряженные сети электросвязи, образуемые в пределах территории одного или нескольких субъектов Федерации.

Местные сети связи – технологически сопряженные сети электросвязи, образуемые в пределах административной или определенной по иному принципу территорий, не относящиеся к региональным сетям связи. Местные сети подразделяются на городские и сельские.

Международные сети связи – технологически сопряженные с сетями связи иностранных государств сети электросвязи, находящиеся в ведении хозяйствующих субъектов, которым предоставлены права международных операторов.

В настоящее время в структуру ВСС входят следующие системы электросвязи общего пользования: телефонной связи (СТФС), телеграфной связи (СТГС), факсимильной связи (СФС), передачи газет (СПГ), передачи данных (СПД), распределения программ звукового вещания (СРПЗВ), распределения программ телевизионного вещания (СРПТВ).

Функциональная структура ВСС приведена на рис. 1.3.

Развитие сетей ВСС РФ предусматривает постепенный переход на двухуровневую структуру организации связи: транспортную сеть и сеть доступа (абонентскую сеть).

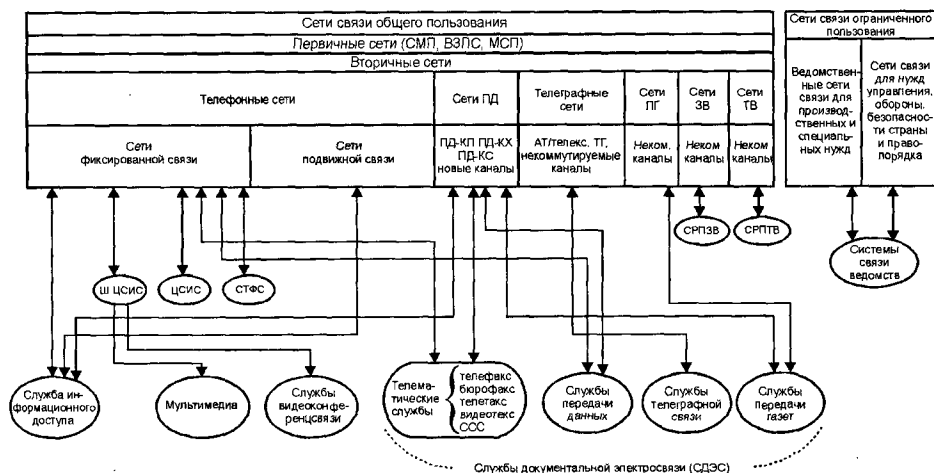
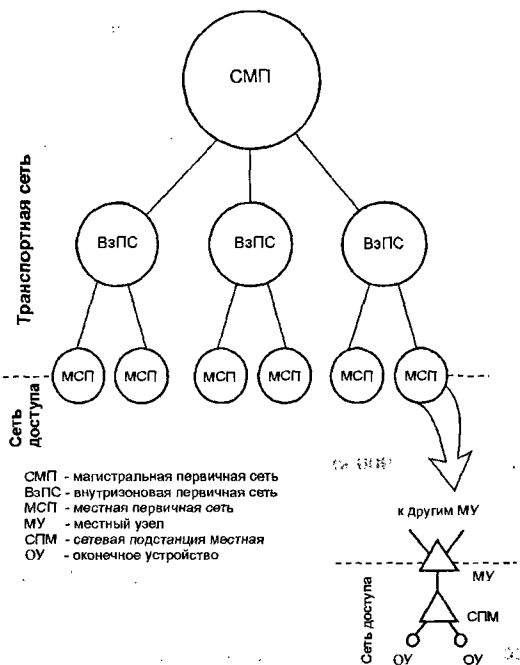


Рис. 1.3. Функциональная структура ВСС

Магистральные, внутризональные и часть местных цифровых наложенных первичных сетей являются основой транспортной цифровой сети связи России. Местные и первичные сети на участке «местный узел – оконечное устройство» в соответствии с новой терминологией является сетью доступа (рис. 1.4)

Рис. 1.4
Двухуровневая структура
построения первичной сети ОП



1.2. Принципы построения междугородной телефонной сети

Междугородная телефонная сеть представляет собой совокупность междугородных станций оконечных и оконечно-транзитных узлов автоматической коммутации и каналов связи между ними.

В основу построения междугородной телефонной сети положен принцип территориального деления, учитывающий:

- границы территорий и структуру магистральной первичной сети;
- административное деление территории;
- технико-экономические показатели.

Этот принцип, при необходимости, может быть изменен при появлении новых административных образований, создании экономических зон и др.

Междугородная телефонная сеть строится по следующим принципам:

- страна делится на телефонные территории. В каждой территории организуется узел автоматической коммутации – УАК или оконечная транзитная станция – ОТС, выполняющая роль УАК. На УАК и ОТС осуществляются транзитные соединения телефонных каналов. Все УАК и ОТС должны соединяться друг с другом пучками телефонных каналов по принципу «каждый с каждым»;
- телефонная территория имеет несколько зон нумерации. В зоне устанавливается одна или несколько АМТС;
- каждая АМТС по исходящей и входящей связи должна опираться на два УАК, на УАК своей территории и УАК смежной территории;
- междугородная телефонная сеть строится с обходами, т.е. с организацией между АМТС прямых путей на базе пучков каналов высокого использования (ПП) и сбросом избыточной нагрузки на обходные пути – промежуточные (ОПП) и последнего выбора (ППВ) к УАК;
- междугородная телефонная сеть строится по иерархическому принципу и имеет два уровня иерархии – АМТС-УАК (ОТС).

Структура телефонной сети представлена на рис. 1.5.

Расчет междугородной сети производится для нормальных условий работы сети, и каждая пара АМТС имеет оптимальный (самый дешевый) ППВ, который проходит через свой УАК (ОТС), или межсмежный. Все участки ППВ должны содержать пучки каналов высокого качества обслуживания, рассчитанные с вероятностью потерь 0,01.

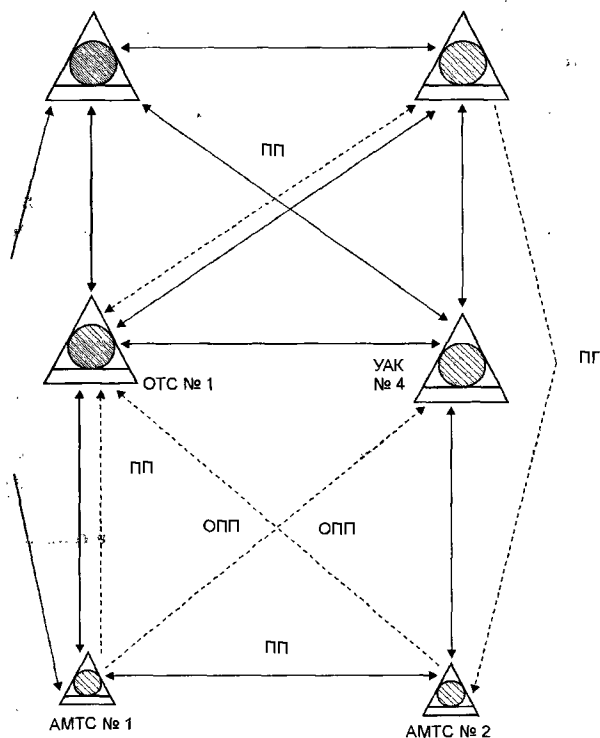
Организация междугородной связи с использованием спутниковых каналов возможна на прямых пучках между АМТС, а также на пучках ОПП к чужим УАК. При этом по каналу необходима передача информации о наличии спутникового канала в соединении. В соединении не должно быть более одного участка с использованием спутниковых каналов.

При междугородном и международном соединении, когда расстояние между АМТС превышает 8000 км, для обеспечения заданного качества передачи необходимо включение оборудования для подавления эха.

Число коммутационных участков при междугородном соединении – не более 5. наращивание емкости телефонной сети должно осуществляться путем установки цифрового коммутационного оборудования и прокладки каналов (линий) с цифровыми системами передачи.

На базе работающего цифрового оборудования ТфОП (в основном междугородной сети) и вновь устанавливаемого цифрового оборудования коммутации и систем передачи

Рис. 1.5
Построение междугородной телефонной сети



должна формироваться цифровая сеть связи общего пользования (ЦСС ОП). Абонентам этой сети должен предоставляться сквозной цифровой тракт от абонента до абонента или от концентратора (АТС) до концентратора (АТС) и будут предоставляться услуги ISDN (ЦСИС) и интеллектуальной сети. На начальном этапе эта возможность предоставляется ограниченному числу потребителей на ограниченное число направлений с последующим наращиванием и абонентской и сетевой емкости.

В параллель с наращиванием емкости междугородной телефонной сети должна производиться замена оборудования на местных телефонных сетях, выработавшего свой ресурс, на цифровое оборудование.

Все цифровые местные сети должны включаться в электронные АМТС по цифровым системам передачи, создавая, таким образом, элементы будущей цифровой сети общего пользования.

1.3. Принципы построения внутризонавой телефонной сети

Внутризонавая телефонная сеть представляет собой совокупность автоматических междугородных телефонных станций (АМТС), входящую одновременно в междугородную сеть, заказно-соединительных линий (ЗСЛ) и соединительных линий (СЛМ), связывающих ме-

стные сети с АМТС, соединительных линий между различными местными сетями в зоне при наличии электронных АТС, а также каналов между АМТС, если в зоне несколько АМТС.

На внутризональной сети может быть установлена одна или несколько АМТС.

Организация внутризональной сети с одной АМТС в зоне строится по радиальному принципу, т.е. каждая местная сеть включается в АМТС для исходящей связи по ЗСЛ для входящей связи по СЛМ. При установке на местных сетях станций с программным управлением возможна организация прямых путей между различными местными сетями зоны, если между ними имеется тяготение. В этом случае внутризональные сети строятся с обходами.

При наличии в зоне нескольких АМТС внутризональная сеть может строиться с обходами, при этом возможны различные варианты построения сети.

При размещении нескольких АМТС в разных городах зоны рекомендуется вариант построения сети, при котором местные сети разделены по АМТС, т.е. каждая местная сеть связана пучками ЗСЛ и СЛМ высокого качества обслуживания с опорной АМТС. С другими АМТС эти местные сети могут быть связаны при наличии достаточного тяготения и технических возможностей АМТС пучками СЛМ высокого использования. Все АМТС зоны должны связываться между собой по принципу «каждая с каждой» пучками каналов высокого качества обслуживания.

При размещении нескольких АМТС зоны в одном городе рекомендуется вариант построения внутризональной сети, при котором все местные сети должны быть соединены с одной АМТС пучками СЛМ высокого качества, а с другими АМТС города местная сеть может либо соединяться пучками СЛМ высокого качества обслуживания, либо пучками СЛМ высокого использования, либо ни иметь связи.

Каждая местная сеть включается пучками ЗСЛ, как правило, в одну АМТС.

Все АМТС города должны быть связаны между собой пучками каналов высокого качества обслуживания. Варианты организации внутризональной связи представлены на рис. 1.6 и 1.7. Организация полуавтоматической связи от РЦ и городов зоны осуществляется через телефонистку переговорного пункта. При наличии в зоне АМТС электронной системы эта связь организуется по пучку ЗСЛ, при этом на переговорных пунктах устанавливаются дисплейные рабочие места. Допускается организация полуавтоматической связи по прямым каналам от коммутатора РЦ к АМТС координатного типа.

На внутризональных сетях могут быть использованы, наряду с кабельными, радиорелейными и оптоволоконными линиями передачи, спутниковые системы. Спутниковые каналы могут быть использованы на прямых пучках между местными сетями, а также при связи с АМТС для внутризональной связи. При использовании спутникового канала необходимо включение оборудования эхоподавления.

1.4. Принципы построения городских телефонных сетей

Городские телефонные сети должны строиться с использованием преимущественно цифрового электронного (цифрового) коммутационного оборудования и линейных трактов цифровых систем передачи ИКМ. Декадно-шаговые АТС и узлы должны быть до 2005 г. сняты с эксплуатации и демонтированы. Замена координатных АТС осуществляется по мере износа оборудования.

Рис. 1.6
 Схема построения внутризональной
 сети с одной АМТС в зоне

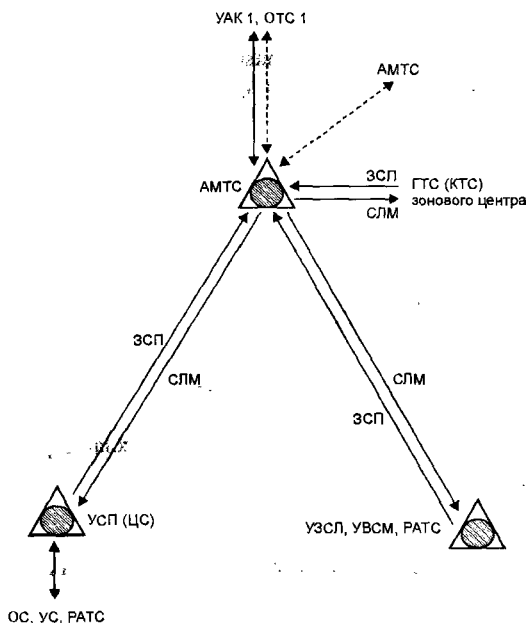
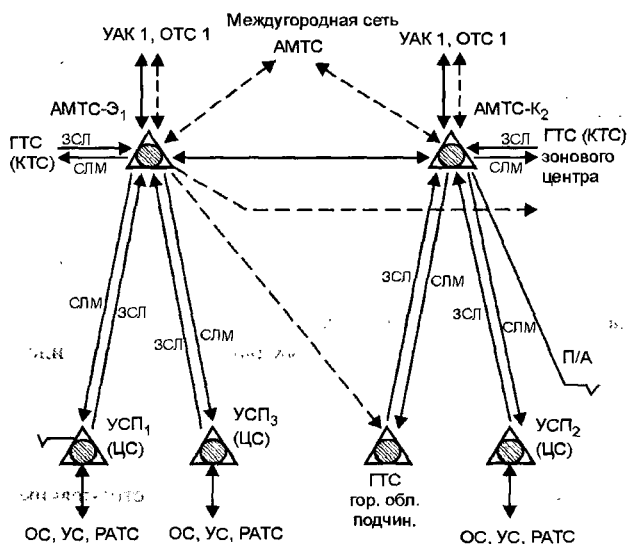


Рис. 1.7
 Схема построения
 внутризональной сети
 при размещении АМТС
 в развитых городах зоны



Абонентские оконечные устройства должны включаться в коммутационное оборудование городской сети следующими способами:

- непосредственно в АТС с помощью двухпроводных абонентских линий (АЛ);
- непосредственно в АТС с помощью АЛ, оборудованных системам передачи при условии обеспечения работы телефаксов и установки передачи данных (ПД);

- по цифровым абонентским линиям с использованием оборудования мультиплексирования и цифровых систем передачи;
- в подстанции (ПС), включаемые в АТС;
- в учрежденческо-производственные телефонные станции (УПТС).

На вновь вводимых АТС не допускается спаренное включение телефонных аппаратов. В качестве основного способа включения должно использоваться включение терминалов непосредственно в АТС по двухпроводным абонентским линиям.

При установке новых АТС рекомендуется перераспределять районы обслуживания вновь вводимых и действующих АТС таким образом, чтобы районы обслуживания АТС, установленных в разных производственных зданиях не перекрывались.

Связь станций ГТС между собой, а также с АМТС в настоящее время осуществляется по односторонним СЛ.

С внедрением на ГТС ОКС рекомендуется между цифровыми станциями использовать двусторонние СЛ.

По структурному признаку ГТС классифицируются следующим образом:

- не районированные;
- районированные без узлообразования;
- районированные с узлами входящих сообщений (УВС);
- районированные с узлами исходящих и входящих сообщений (с УИС и УВС).

Нерайонированная ГТС имеет одну АТС, в которую абонентские оконечные устройства включаются непосредственно или через УПАТС и подстанции.

На аналоговой ГТС такая структура экономически целесообразна при емкости сети до 8 тыс. номеров.

На цифровой ГТС в условиях широкого применения подстанций нерайонированная структура может быть экономически целесообразна при емкости сети в несколько десятков тысяч номеров.

Районированные ГТС без узлообразования имеют несколько районных АТС, которые на аналоговой сети связываются между собой по полносвязной схеме, а на цифровой сети – по полносвязной схеме с обходными направлениями.

Районированная структура на аналоговой ГТС экономически целесообразна при емкости сети до 80 тыс. номеров, а на цифровой сети – до нескольких сотен тысяч номеров.

Районированные ГТС с узлами входящих сообщений делятся на узловые районы, в каждом из которых для концентрации нагрузки к АТС узлового района устанавливаются УВС. Связь между АТС разных районов, как правило, осуществляется по схеме АТС–УВС–АТС через коммутационное оборудование узла входящих сообщений, расположенного в узловом районе, в котором находится входящая АТС.

Схема связи приведена на рис. 1.8. Внутри узлового района АТС связываются непосредственно или через УВС.

Все АТС узлового района имеют общий стотысячный (двухсоттысячный) индекс.

Аналоговые районированные ГТС с УВС могут иметь емкость до 800 тыс. номеров, а цифровые ГТС – до нескольких миллионов номеров.

Районированные ГТС с узлами исходящих и входящих сообщений обычно имеют несколько десятков узловых районов. Связь между АТС разных узловых районов, как видно из рис. 1.9, преимущественно осуществляется по схеме АТС–УИС–УВС–АТС.

Коммутационное оборудование УИС располагается вблизи АТС, от которых осуществляется концентрация исходящей телефонной нагрузки. Один УИС может обслуживать

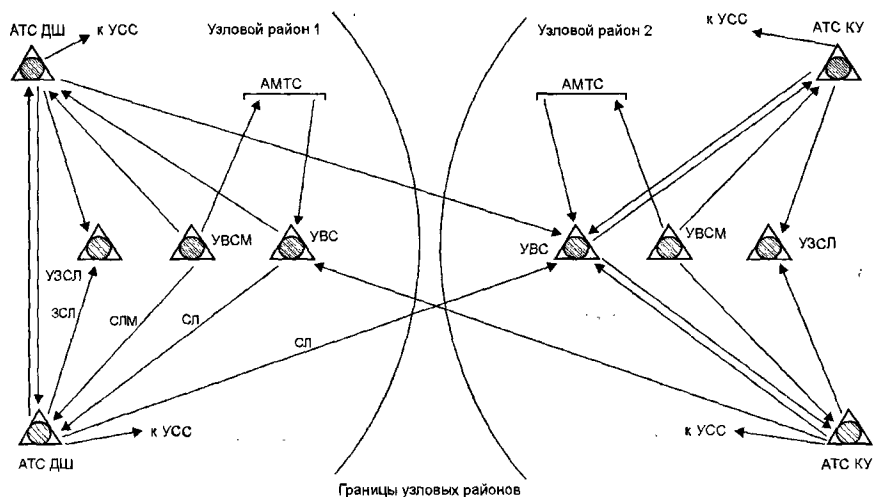


Рис. 1.8. Структура районированной ГТС с узлами входящих сообщений

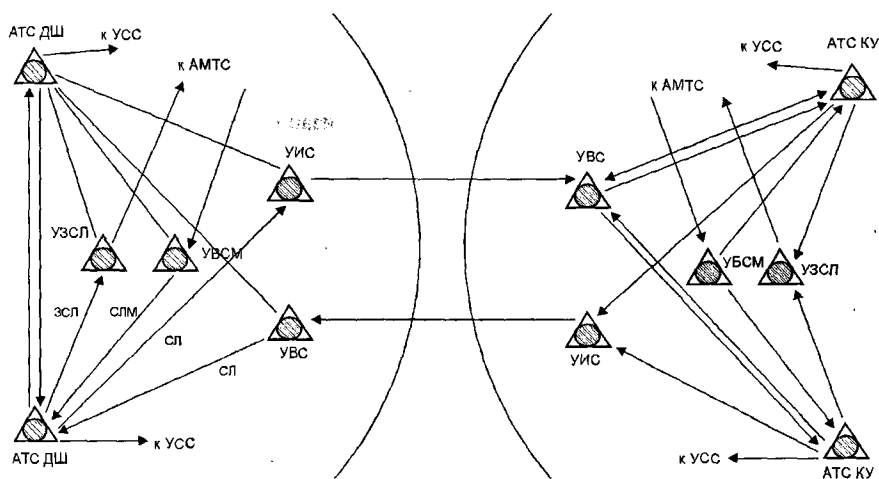


Рис. 1.9. Структура районированной ГТС с узлами исходящих и входящих сообщений

АТС одного или нескольких узловых районов. Как правило, через каждый УИС проходит связь от заданной группы станций к станциям одной миллионной зоны.

Коммутационное оборудование УВС размещается в узловом районе, для АТС которого УВС объединяют входящую нагрузку. Районные АТС, расположенные в пределах одного узлового района, связываются по таким же схемам как на ГТС с УВС.

Для аналоговых станций предельная номерная емкость АТС (в конце этапа развития) должна быть, как правило, кратна 10 тыс. номеров, а реальная номерная емкость узлового района – 100 тыс. номеров.

Вышеприведенные принципы построения ГТС реализованы в аналоговых ГТС и не будут видоизменяться при связи между аналоговыми АТС на весь оставшийся срок эксплуатации этих АТС.

Внедрение цифровых АТС должно осуществляться методом «наложенной сети» АТС. Основные правила создания «наложенной сети»:

- все связи между цифровыми АТС должны осуществляться только через цифровые АТС и узлы;
- при связи между цифровыми АТС должны использоваться линейные тракты цифровых систем передачи, удовлетворяющие рекомендациям МККТТ серии G при согласовании интерфейсов;
- в пределах одной местной сети при любых соединениях допускается, как правило, только один переход между «наложенной» и существующими сетями;
- вновь вводимые цифровые АТС должны включаться только в «наложенную сеть»;
- связь между цифровыми и аналоговыми АТС должна осуществляться по линейным трактам цифровых систем передачи, удовлетворяющим рекомендациям МККТТ серии G с установкой оборудования аналого-цифрового преобразования и согласования систем сигнализации на стороне аналоговых АТС;
- цифровые станции и узлы могут размещаться на одной территории ГТС или даже в одних зданиях с аналоговыми АТС и узлами.

Рекомендуется производить развитие отдельных ГТС на однотипных цифровых системах коммутации (не более двух типов).

Внедрение цифровых систем коммутации и передачи на аналоговой сети не должно требовать установки на существующих станциях и узлах специальных устройств сопряжения кроме оборудования, включающего в себя устройства аналого-цифрового преобразования (АЦП) и устройства согласования систем сигнализации. При этом переделки существующего оборудования не допускаются.

Все функции по сопряжению должны быть предусмотрены во внедряемых системах.

Структура действующих и строящихся наложенных сетей цифровых станций, как правило, соответствует принципам построения ГТС.

Абонентская телефонная сеть

Сеть линий, связывающая абонентов с узлами коммутации (абонентская сеть), строится в основном по шкафной системе (рис. 1.10). При этом АЛ подразделяются на:

- магистральные (от АТС до распределительного шкафа РШ);
- распределительные (от распределительного шкафа РШ до распределительной коробки РК);
- абонентскую проводку (от распределительной коробки до аппарата абонента).

Таким образом, кабели, прокладываемые на соответствующем участке сети, носят название соединительных, магистральных, распределительных и абонентских.

Перспективным направлением является создание цифровых сетей абонентского доступа. На рис 1.11 показана модель такой телекоммуникационной системы.

Первый элемент телекоммуникационной системы представляет собой совокупность терминального и иного оборудования, которое устанавливается в помещении абонента (пользователя). В англоязычной технической литературе этот элемент соответствует термину Customer Premises Equipment (CPE).

Второй элемент телекоммуникационной системы – сеть абонентского доступа. Ее роль состоит в том, чтобы обеспечить взаимодействие между оборудованием, установлен-

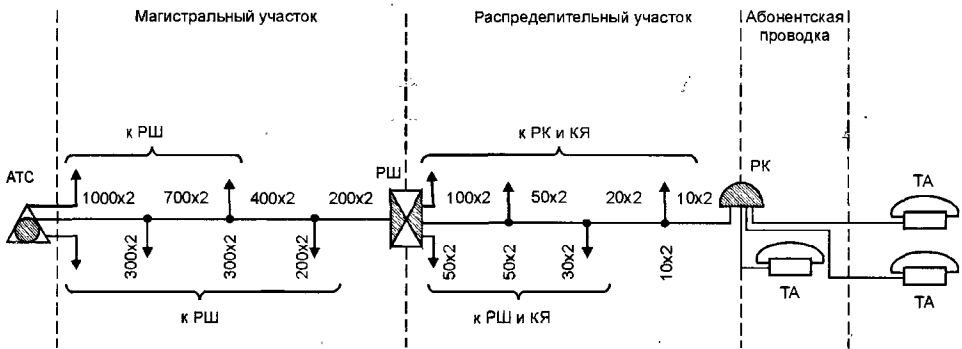
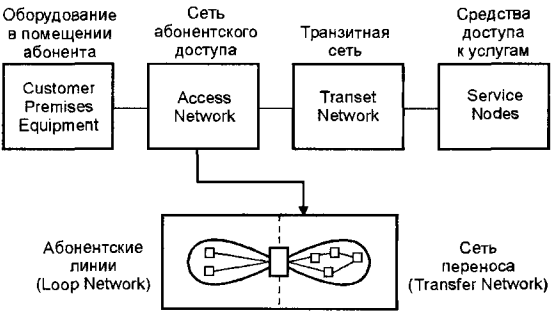


Рис. 1.10. Построение абонентской сети ГТС:

АТС – автоматическая телефонная станция; КЯ – кабельный ящик;
РК – распределительная коробка; ТА – телефонный аппарат; РШ – распределительный шкаф

Рис. 1.11
Модель перспективной
телекоммуникационной системы



ным в помещении абонента, и транзитной сетью. Обычно в точке сопряжения сети абонентского доступа с транзитной сетью устанавливается коммутационная станция. Пространство, покрываемое сетью абонентского доступа, лежит между оборудованием, размещенным в помещении у абонента, и этой коммутационной станцией. В ряде работ сеть абонентского доступа делится на два участка:

- абонентские линии АЛ (Loop Network), которые рассматриваются как индивидуальные средства подключения терминального оборудования;
- сеть переноса (Transfer Network), служащую для повышения эффективности средств абонентского доступа. Этот фрагмент сети доступа реализуется на базе систем передачи, в ряде случаев используются и устройства концентрации нагрузки.

Третий элемент телекоммуникационной системы – транспортная сеть (Tranсет Network). Ее функции состоят в установлении соединений между терминалами, включенными в различные сети абонентского доступа, или между терминалом и средствами поддержки каких-либо услуг. Транзитная сеть может покрывать территорию, лежащую как в пределах одного города или села, так и между сетями абонентского доступа двух различных стран.

Четвертый элемент телекоммуникационной системы обеспечивает средства доступа к различным услугам электросвязи (Service Nodes): узлы, поддерживающие услуги. Примером таких узлов могут быть рабочие места телефонистов-операторов и серверы, в которых хранится информация.

Гипотетическая модель создания сети абонентского доступа приведена на рис. 1.12.

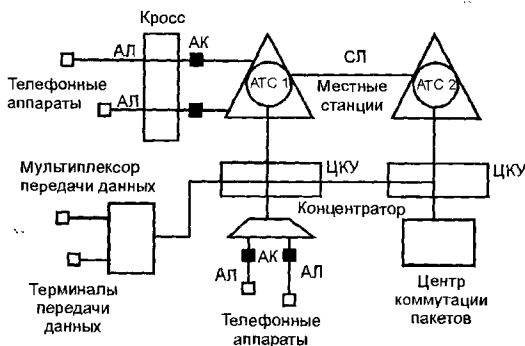


Рис. 1.12

Гипотетическая модель
сети абонентского доступа

АТС — автоматическая телефонная сеть;
АЛ — абонентские линии;
АК — абонентский комплект;
СЛ — сигнальная линия;
ЦКУ — цифровой кроссовый узел

Структура предлагаемой модели содержит две оконечные местные станции МС (АТС1 и АТС2) и один центр коммутации пакетов ЦКП. Абоненты ТфОП подключаются к МС двумя способами — непосредственно и через концентратор.

В первом случае сеть доступа состоит из совокупности АЛ. Можно с некоторыми допущениями считать, что в данном случае сеть доступа совпадает с совокупностью АЛ. Во втором случае АЛ заканчивается в абонентском концентраторе АК, а сеть доступа простирается до МС и включает еще и пучок СЛ между МС и концентратором. Итак, в рамках одной МС сеть доступа для различных групп абонентов может заметно отличаться с точки зрения ее структуры.

Для абонентов передачи данных ПД сеть доступа заканчивается в ЦКП. Для рассматриваемой модели эта сеть будет включать совокупность АЛ до мультиплексора, СЛ до ЦКУ и СЛ от ЦКУ, расположенного на МС. Таким образом, сеть доступа для абонентов ПД будет значительно «шире», чем для абонентов ТфОП.

Модель, показанная на рис. 1.12, не отражает все возможные структуры сети доступа. Она иллюстрирует некоторые характерные примеры относительно многовариантности сети доступа.

Таким образом, сеть доступа в общем плане может включать как абонентские участки, так и соединительные линии между АТС.

1.5. Принципы построения сельских телефонных сетей

На СТС следует использовать радиальное (одноступенчатая схема) и радиально-узловое (одно- и двухступенчатая схема) построение сети с возможностью использования прямых и обходных путей (рис. 1.13).

По назначению и месту расположения на сети телефонные станции СТС делятся на следующие виды:

- ЦС, расположенные в районном центре, выполняющие одновременно функции телефонной станции райцентра и транзитного узла СТС. В ЦС включаются соединительные линии (СЛ) узловых станций (УС) (при двухступенчатой схеме построения) и СЛ оконечных станций (ОС) (при одноступенчатой схеме построения). Через ЦС осуществляется связь со спецслужбами, МТС райцентра и с АМТС;

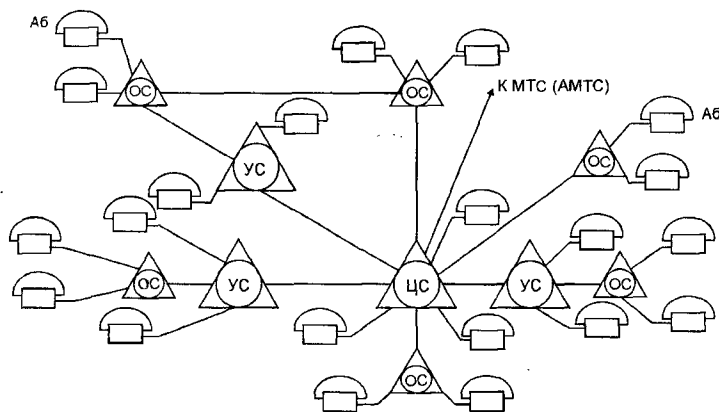


Рис. 1.13. Схема построения сельской связи

- УС, расположенные в любых населенных пунктах сельского района. УС предусматривают абонентскую сеть и представляют собой оконечно-транзитные станции, в которые включаются СЛ от ЦС, ОС и других УС. Через УС осуществляется транзитная связь между включенными в нее ОС, а также между этими ОС и ЦС или другими УС (при использовании прямых путей на уровне УС);
- ОС, расположенные в любых населенных пунктах сельского района. Соединительные линии ОС (в зависимости от схемы построения сети) включаются в ЦС или УС, а также в другие ОС или УС (при использовании прямых путей между ОС или между ОС и другими УС).

Выбор схемы построения СТС (одноступенчатой или двухступенчатой) производится при проектировании на основе технико-экономического сравнения вариантов построения СТС.

Узловые и центральные станции СТС должны обеспечивать четырехпроводный транзит разговорного тракта.

Все сельские АТС должны быть оборудованы аппаратурой автоматического определения категории и номера телефона вызывающего абонента (АОН).

Связь станций СТС между собой может осуществляться по односторонним, двусторонним, раздельным или общим для местной и междугородской связи (универсальным) СЛ, а ЦС с городскими АТС МТС и АМТС – по односторонним соединительным линиям.

Соединительные линии аналоговых станций СТС организуются, как правило, на базе каналов тональной частоты (ТЧ). При технико-экономическом обосновании и соблюдении установленных норм по затуханию разговорного тракта для организации СЛ можно использовать физические цепи.

Создание на СТС наложенной цифровой сети начинается с установки новой цифровой ЦС, аналоговая ЦС переводится в ранг узловой, как видно из рис. 1.14.

Все существующие аналоговые станции, а также цифровые, подключенные к бывшей ЦС по аналоговым трактам, остаются включенными в нее. Все цифровые станции, подключенные к бывшей ЦС по стандартным трактам ИКМ, переключаются на новую цифровую ЦС. Существующие УС при внедрении новой цифровой ЦС переводятся в ранг ОС, а для обеспечения связи ОС, включенных ранее в них, с бывшей ЦС на бывшей УС организуется также сетевой узел.

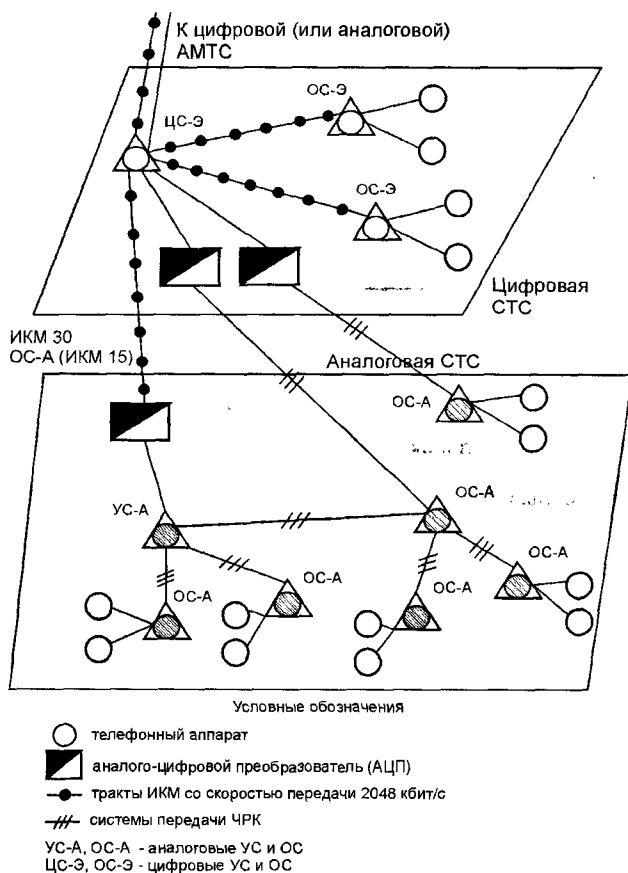


Рис. 1.14. Внедрение цифровых АТС на сельских телефонных сетях при демонтаже бывшей ЦС

Все последующее развитие СТС района на базе цифровых систем связи (АТС, системы передачи), включаемых по радиальному принципу в цифровую ЦС района, осуществляется в рамках «наложенной» цифровой сети.

Включение цифровой ЦС в цифровую зонную АМТС должно происходить только по цифровым каналам цифровых систем передачи. В случае включения цифровой ЦС в аналоговую АМТС допускается ее включение по аналоговым каналам.

При отсутствии возможностей четырехпроводного транзита в бывшей ЦС и/или организации нового направления связи «бывшая ЦС – цифровая ЦС» АТС, находящаяся в эксплуатации, должна быть демонтирована, а существующие УС и ОС переключены на новую цифровую ЦС (рис. 1.15).

Цифровая ЦС при необходимости включения действующих аналоговых станций должна обеспечивать стык с линейными трактами первичных (2048 кбит/с) и субпервичных (1024 кбит/с) систем передачи, а также с аналоговыми системами передачи на уровне четырехпроводного стыка.

Допускается использование для этих целей специально разработанных конверторов.

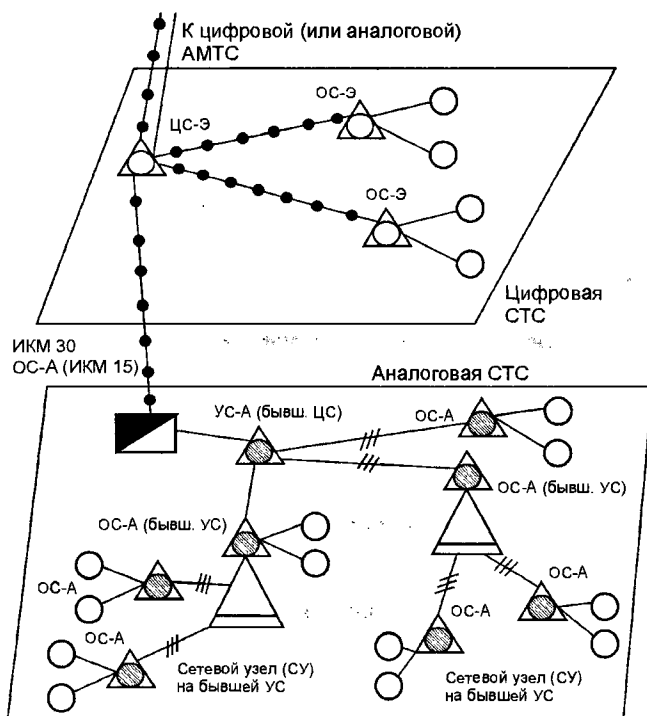


Рис. 1.15. Включение цифровых АТС на сельских телефонных сетях при переводе бывшей ЦС в ранг УС

На аналоговых станциях СТС могут включаться:

- индивидуальные двухпроводные абонентские линии (АЛ);
- абонентские линии, включаемые в аппаратуру систем передачи;
- концентраторы;
- линии радиотелефонной связи, радиоудлинители;
- таксофоны местной исходящей связи;
- таксофоны местной исходящей и входящей связи;
- таксофоны междугородной исходящей связи;
- переговорные пункты для ведения исходящих и входящих междугородных переговоров.

Цифровые станции СТС должны предусматривать включение:

- индивидуальных аналоговых двухпроводных АЛ непосредственно в АТС или через подстанции и мультиплексоры;
- цифровых АЛ (для АТС с функциями ЦСИС)
- линий радиотелефонной связи;
- таксофонов местной исходящей связи, местной исходящей и входящей связи, междугородной исходящей связи;
- переговорных пунктов для ведения исходящих и входящих междугородных переговоров.

Специфическая проблема СТС – включение мелких населенных пунктов и отдельных домов, разнесенных на большие расстояния. Один из путей решения данной проблемы – включение в один или два тракта ИКМ последовательно нескольких АТС Э малой емкости.

Для телефонизации удаленных, малонаселенных и труднодоступных абонентских пунктов сельской местности рекомендуется использовать АЛ по системам передачи, телефонные концентраторы, системы малоканальной радиотелефонной связи и радиоудлинитель, малоканальную радиорелейную аппаратуру.

При наличии рассредоточенных групп абонентов может использоваться кольцевая распределительная цифровая система передачи (ЦСПР), обеспечивающая выделение каналов в промежуточных пунктах через блоки подключения терминалов абонентов к АТС.

Выбор совокупности вариантов построения абонентской сети должен определяться при конкретном ее проектировании.

1.6. Построение сети проводного вещания

Сетью проводного вещания (ПВ) называется комплекс сооружений и устройств, предназначенных для приема сигналов программ звукового вещания, усиления их мощности, распределения с помощью проводной сети и доведения до широкого круга слушателей. Сети ПВ состоят из станционных и линейных сооружений.

Станционные сооружения представляют собой комплекс различных устройств: усилителей мощности, аппаратуры управления, контроля и коммутации. Линейные сооружения сети ПВ или радиотрансляционные сети (РТС) – это совокупность различных фидерных и абонентских линий, домовых проводки, трансформаторов и других линейных устройств, служащих для передачи программы вещания от усилителей до розеток, установленных у абонентов. Подача программ звукового вещания на радиотрансляционный узел осуществляется по радио- или проводным каналам.

Сеть ПВ строится по административно-территориальному признаку: населенный пункт, сельский район.

Организационно-технической единицей сети является радиотрансляционный узел РТУ, или узел ПВ. В состав РТУ входят станционные и линейные сооружения, а также абонентские устройства. Станционные сооружения служат для приема, усиления и распределения по линиям программ звукового вещания и управления автоматизированными узлами ПВ. Линейные сооружения являются элементами тракта, соединяющего усилитель с абонентской установкой. Комплекс линейных сооружений РТУ называется распределительной сетью (РС). Система построения, при которой программы звукового вещания подаются от одной станции, называется сетью РТУ с централизованным питанием нагрузки. Система построения, при которой программы подаются от центральной станции проводного вещания (ЦСПВ) на несколько опорных усилительных станций (ОУС) и далее распределяются по абонентской сети, называется сетью РТУ с децентрализованным питанием.

В сельской местности применяется в основном система с централизованной подачей программ вещания.

Цепи распределительной сети подразделяются на абонентские и фидерные. Абонентская цепь (АЦ) питает абонентские устройства. В ее состав входит также внутридомовая распределительная проводка. Фидерные цепи подразделяются на распределительные и магистральные. Распределительный фидер (РФ) питает абонентские цепи, магистральный фидер (МФ) – цепь распределительного фидера. На сельской сети ПВ допускается подключение АЦ непосредственно к МФ.

Сети проводного вещания подразделяются на однозвенные, двухзвенные и трехзвенные. Однозвенная – сеть, состоящая из АЦ, подключенных непосредственно к станции РТУ (рис. 1.16,а), применяется в небольших населенных пунктах, обслуживаемых мало-мощными узлами. В двухзвенной сети (рис. 1.16,б) абонентские цепи (звено I) подключаются к распределительным фидерам (звено II). Двухзвенные сети используются в крупных сельских населенных пунктах, а также для подключения к РТУ распределительных сетей близлежащих населенных пунктов. Трехзвенная сеть (рис. 1.16,г) состоит из магистрального фидера, подключаемого к станции РТУ (звено III), распределительных фидеров (звено II), питаемых магистральным фидером, и АЦ. Трехзвенную сеть целесообразно организовать в случае подключения к станции узла крупных населенных пунктов. Такое построение сети применяется для организации проводного вещания в отдельных сельскохозяйственных производствах при обслуживании двух-трех хозяйств одним узлом.

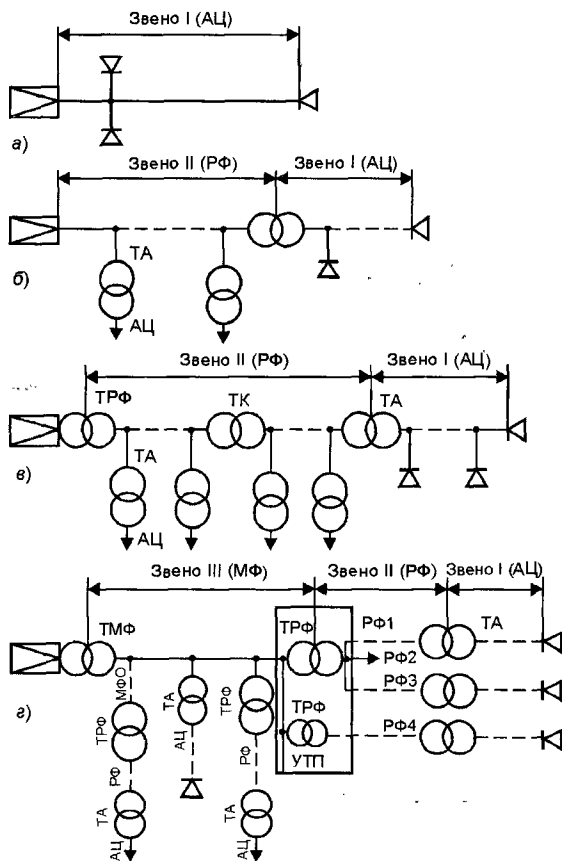


Рис. 1.16. Схема сетей проводного вещания:

а – однозвенная;

б – двухзвенная с электрически коротким РФ;

в – двухзвенная с электрически длинным РФ, скорректированным трансформатором ТК;

г – трехзвенная сельской РТУ (РФ1, РФ2, РФ3 – электрически короткие, РФ4 – электрически длинный РФ)

Одним из элементов сети проводного вещания являются линейные трансформаторы, которые преобразуют напряжение линейного тракта. Они подразделяются на абонентские и фидерные. Абонентский трансформатор служит для согласования низкого входного сопротивления АЦ с высоким сопротивлением фидера (РФ или МФ), или выхода усилителя и понижения напряжения до требуемого значения.

Фидерные трансформаторы предназначены для согласования исходного сопротивления усилителя с входным сопротивлением подключаемых к нему цепей и согласования стыков фидеров с разными входными сопротивлениями, а также понижения или повышения напряжения до требуемого значения.

В зависимости от выполняемых функций ФТ подразделяются на:

- повышающий трансформатор магистрального фидера (ТМФ), устанавливаемый между выходом усилителя и входом МФ для повышения напряжения, согласования выходного сопротивления усилителя с входным сопротивлением МФ и устранения гальванической связи между проводами цепей, подключенных к выходу одного усилителя;
- понижающий трансформатор магистрального фидера (ТПМФ), устанавливаемый на конце МФ для понижения напряжения и подключения РФ. Комплект из понижающего трансформатора, защитных, коммутационных и контрольно-измерительных устройств, устройств автоматики и резервного питания называется трансформаторной подстанцией (ТП) и применяется на городской сети проводного вещания. На сельской сети используется упрощенная трансформаторная подстанция (УТП), состоящая из понижающего трансформатора, устройств защиты и неоперативной коммутации;
- трансформатор распределительного фидера (ТРФ), устанавливаемого между выходом усилителя (или МФ) и входом электрически длинного РФ для повышения или понижения напряжения, устранения гальванической связи между проводами электрически длинных цепей, подключенных к выходу одного усилителя (или выходу МФ), и согласования сопротивлений стыкуемых электрических цепей;
- трансформатор согласующий (ТС), устанавливаемый на стыках цепей разнородных конструкций и материалов – для согласования их сопротивлений;
- трансформатор разделительный (ТР), устанавливаемый на фидере, подвешенном на опорах совместно с цепями СТС, для гальванического отделения участка совместной подвески от остальных участков или на цепях проводного вещания на участках, подверженных опасному влиянию высоковольтных линий, а также для снижения уровня индуктируемых опасных напряжений;
- трансформатор корректирующий (ТК), устанавливаемый на электрически длинных РФ для выравнивания частотной характеристики линейного тракта;
- трансформатор отвода (ТО), устанавливаемый между фидером и отводом от него для согласования их сопротивлений, а также согласования стыков разнородных конструкций цепей фидера и отвода.

Принципы построения сети трехпрограммного звукового вещания

Сети звукового вещания в городах и сельской местности имеют систему трехпрограммного проводного вещания (ТПВ). За основу сельского многопрограммного проводного вещания принята система ТПВ, применяемая в городах. Предусматривается сохранение первой основной низкочастотной программы по существующей системе организации сети ПВ. Вторая и третья программы передаются с помощью оборудования систем пере-

дачи с частотным разделением каналов, двумя боковыми полосами частот и несущими 78 и 120 кГц.

Максимально допустимое напряжение несущей частоты на выходе передатчика не должно превышать 120 В для трехзвенной, 60 В для двухзвенной и 30 В – для однозвенной кабельной сети.

Система построения сети ТПВ предусматривает установку в РТУ двух передатчиков. С помощью устройств подключения передатчиков амплитудно-модулированные высокочастотные сигналы передаются в магистральные или распределительные фидерные линии. Трансформаторная подстанция оборудуется устройством подключения трансформаторной подстанции. На распределительных фидерах установлены обходные устройства абонентских трансформаторов. Для обеспечения согласованного режима работы высокочастотных каналов звукового вещания на сети необходимо устанавливать согласующие устройства на кабельных вставках, автотрансформаторы отводов на входе фидерных отводов, согласующие нагрузки, включаемые в конце РФ и отводов. В качестве приемных устройств используются в основном индивидуальные трехпрограммные приемники, а в ряде случаев групповые – для общественных зданий.

Передающее устройство системы сельского ТПВ выполнено на транзисторах. Управление им осуществляется устройствами, согласованными с оборудованием автоматизированного узла однопрограммного вещания. Работа передающего устройства контролируется аппаратурой контроля и резервного управления (АКРУ).

ГЛАВА 2

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

2.1. Основные положения

Электрическим кабелем связи называют кабельное изделие, содержащее одну или более изолированных электрических цепей, заключенных в оболочку, поверх которой в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может быть наложен соответствующий защитный покров [1–5].

Электрические кабели связи классифицируют по следующим признакам: область применения, спектр передаваемых частот, конструкции, условия прокладки и эксплуатации.

В соответствии с построением ЕАСС (ВСС РФ) в зависимости от области применения кабели связи подразделяют на магистральные, зоновые (внутриобластные), местные (городские и сельские), станционные, структурированные кабельные сети (внутриобъектовые).

По спектру передаваемых частот кабели делят на низкочастотные (до 10 кГц) и высокочастотные (свыше 10 кГц).

В зависимости от условий прокладки и эксплуатации кабели подразделяют на подземные, для размещения в кабельной канализации, для подвески на опорах воздушных линий, подводные, станционные, для внутридомовых телефонных сетей и структурированные кабельных систем.

По конструкции и взаимному расположению проводников цепи электрических кабелей разделяют на симметричные и коаксиальные.

Симметричная цепь (пара) состоит из двух изолированных проводников с одинаковыми конструктивными и электрическими свойствами.

У коаксиальной цепи (пары) внутренний проводник концентрически расположен внутри внешнего проводника, имеющего форму полого цилиндра. Внутренний проводник изолирован от внешнего различными прокладками (шайбами, баллонами, корделем, сплошным слоем).

Для удобства классификации и пользования электрическим кабелям связи присваиваются буквенно-цифровое обозначение – марка кабеля, которая позволяет определить его конструкцию и назначение.

Первая группа букв в марке кабеля обозначает область применения: МК – магистральный кабель; ЗК – зонный кабель (симметричный); ВК – внутризоновый коаксиальный; КС – кабель сельский; Т – телефонный низкочастотный.

Марки станционных низкочастотных кабелей отличают стоящей на втором месте букве «С» – станционный (ТС), распределительный (ТР).

Как правило, кабели связи имеют парную скрутку жил. В обозначении и марке это не указывается.

В конструкциях кабелей, имеющих «звездную» (четверочную) скрутку жил, вводится буква «З», например, ТЗБ.

Малогабаритные коаксиальные кабели имеют марку МКТ (малогабаритный коаксиальный с трубчатополетиленовой изоляцией).

Основу марок радиочастотных кабелей составляет буква «Р».

Следующая буква в симметричных кабелях означает тип изоляции: С – кордельно-полистерольная (стерофлексная); П – полиэтиленовая.

Отсутствие буквы в обозначении – изоляция на основе бумаги (сплошная, кордельно-бумажная), например, кабель Т.

Еще одна буква относится к материалу оболочки: отсутствие буквы – свинцовая, А – алюминиевая, Ст – стальная гофрированная; П – полиэтиленовая; В – поливинилхлоридная.

Последняя буква маркировки кабеля обозначает тип защитных покровов: Г – без защитных покровов, т.е. голый (для кабеля со свинцовой оболочкой); Б – бронированный стальными лентами; К – круглыми проволоками; Ш – шланговое покрытие.

Группа цифр обозначает емкость (парность) кабеля и диаметр жил: например МКС 4×4×1,2 – четырехчетверочный кабель звездной скрутки жил с диаметром 1,2 мм; ТПП 50×2×0,5 – низкочастотный кабель парной скрутки жил емкостью 50 цепей с диаметром жил 0,5 мм.

Здесь приведены основные «устоявшиеся» обозначения марок кабелей, широко выпускаемых отечественной промышленностью конструкции кабелей и находящихся в эксплуатации на сетях ЕАСС (ВСС РФ). Последние годы в марку кабелей вводятся дополнительные обозначения, определяющие предприятие изготовитель и другие отличительные признаки.

Например, появился новый класс структурированных сетей КВП категорий 3, 5, 5е, 6, уплотняемый в «мегагерцовом» диапазоне, основанных на «витой» паре. Этому вопросу посвящена гл. 10, где подробно освещены особенности конструкций и электрических характеристик этих кабелей связи, подробные конструктивные и электрические характеристики симметричных и коаксиальных кабелей приведены в соответствующих главах книги.

Кабели с алюминиевыми, алюмомедными жилами не рассматриваются, так как эти кабели в связи с их малой надежностью не нашли широкого применения на сетях связи.

2.2. Конструктивные элементы кабелей электросвязи

Конструктивно кабель состоит из сердечника и защитных покровов. Сердечник – это скрученные в определенном порядке изолированные проводники, образующие электрические цепи, защитные покровы – влагонепроницаемая оболочка (металл, пластмасса, металлопластмасса) и наружные покровы (джут, броня, шланг).

Токопроводящие жилы электрических кабелей связи изготавливают, в основном, из меди. Как правило, используют отожженную мягкую медь марки ММ с удельным сопротивлением $\rho = 0,01754 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$ и температурным коэффициентом сопротивления постоянному току $\alpha_R = 0,0041/\text{град}$.

Для высокочастотных кабелей связи чаще всего применяют медные жилы диаметром 0,9 и 1,2 мм. В подводных и радиочастотных кабелях используют многопроволочную жилу, состоящую из скрученных проволок разного сечения.

Для городских кабелей применяют медные жилы диаметром 0,32; 0,4; 0,5; 0,64 и 0,7 мм.

В коаксиальных кабелях в качестве внешнего проводника служат цилиндрические медные трубки с продольным швом, гофрированные или оплетенные, а также алюминиевые трубки.

Для изоляции жил кабелей связи наряду с бумагой используют полимеризационные пластмассы – полистирол (стерофлекс) для магистральных кабелей, полиэтилен для кабелей зоной и местной связи.

При конструировании кабельной изоляции стремятся сделать так, чтобы количество твердого диэлектрика было минимальным, обеспечивающим устойчивость изоляции и жесткость конструкции кабеля, а количеством воздуха как наилучшего диэлектрика ($\epsilon = 1$, $\rho \rightarrow \infty$, $\text{tg} \delta \rightarrow \infty$) – максимальным. Такая конструкция изоляции принята в магистральных кабелях МКС.

Применяют конструкции сплошной или комбинированной изоляции жил:

- трубчатой – выполняется в виде бумажной или пластмассовой ленты, нанизанной в виде трубки;
- кордельной – состоящей из корделя, накладываемого на проводник по спирали, и тонкой ленты наложенной поверх корделя;
- сплошной – выполненной из сплошного слоя пластмассы;
- пористой – из пористого слоя полиэтилена;
- пленко-пористой – из пористого полиэтилена с покрытием тонким слоем сплошного полиэтилена;
- баллонной – представляющей собой тонкостенную пластмассовую трубку, внутри которой свободно располагается проводник. Трубка периодически в точках или по спирали обжимается горячим инструментом и надежно удерживает после затвердения жилу в центре изоляции;
- шайбовой – выполненную в виде шайбы из твердого диэлектрика, насаживаемого на проводник через определенное расстояние.

Наибольшее применение в настоящее время находят следующие виды изоляции:

- для симметричных ВЧ кабелей – кордельно-полистерольная (стерофлексная), сплошная пористополиэтиленовая;
- для кабелей ГТС и СТС – сплошная полиэтиленовая, пористо-бумажная;
- для коаксиальных кабелей – шайбовая, баллонная и пористополиэтиленовая;
- для станционных кабелей – сплошная поливинилхлоридная.

В симметричных кабелях применяют следующие наиболее распространенные способы скрутки изолированных проводников в группы:

- парной скрутки (П) – два изолированных проводника скручиваются определенным шагом (100...300 мм);
- звездной скрутки (З) – четыре изолированные жилы, расположенные по углам квадрата, скручиваются с шагом 150...300 мм;
- двойной парной скрутки (ДП) – две предварительные свитые пары скручивают между собой в четверку с шагом 150...300 мм;

- разнонаправленная скрутка, обеспечивающая транспозицию жил с определенным шагом с промежуточным параллельным участком (SZ скрутка).

Скрученные в группы изолированные жилы систематизируют в группы по определенному закону и объединяют в общий кабельный сердечник.

Различают сердечники с однородной (одинаковой структурой элементарных групп – четверки, пары) и неоднородные (разнородные по скрутке и диаметру элементарных групп) группами.

В зависимости от характера образования сердечника различают повивную и пучковую скрутки. В повивной скрутке элементарные группы располагают последовательными концентрическими слоями (повивами) вокруг центральной группы. Смежные повивы скручивают в противоположные стороны для уменьшения взаимных влияний и придания кабельному сердечнику большой механической прочности. При пучковой скрутке группы сначала объединяют в пучки, а затем пучки скручивают вместе, образуя сердечник кабеля.

Для обеспечения стабильности электрических характеристик и защиты от проникновения влаги, сердечник кабеля заполняется гидрофобной массой. Для защиты сердечника кабеля от воздействия внешней среды применяют герметичные оболочки. Оболочки в зависимости от материала, используемого для их изготовления, подразделяют на металлические (свинцовые, алюминиевые, стальные гофрированные) и пластмассовые (полиэтиленовые, поливинилхлоридные) и металлопластиковые.

Поверх оболочки кабеля накладывают наружные (броневые) покровы, защищающие кабель от механических повреждений. В зависимости от механических воздействий на кабель в процессе прокладки и эксплуатации применяют следующие разновидности брони: две стальные ленты (Б), повив из круглых стальных проволок (П).

Для защиты от воздействия грызунов в малопарных кабелях применяют однослойную тонкостенную ленту (0,1 мм), размещенную поверх сердечника в виде спирали с перекрытием или продольной гофрированной оболочкой.

Предусматривается также конструкция кабеля для подвески на опорах воздушных линий со встроенным стальным тростом.

В последующих параграфах по просьбе многочисленных читателей приведены основные технические характеристики элементов конструкций кабелей по материалам справочника «Городские телефонные кабели», А.С. Брискера, А.Д. Рута, Д.Л. Шарле, 1984 г. Необходимость в сведениях столь отдаленных времен вызвана тем, что на местных телефонных сетях проложено более 800 тыс. км различных конструкций кабелей.

В процессе развития кабельной техники совершенствовались и материалы, применяемые для кабелей связи. Изменялись стандарты, технические характеристики. Однако основные характеристики элементов кабелей оставались неизменными. Перечень ГОСТ и ТУ на эти материалы приведены в приложениях.

2.2.1. Токопроводящие жилы

Для изготовления токопроводящих жил кабелей связи применяется медная мягкая проволока марки ММ (ГОСТ 2112-79) следующих диаметров: 0,32; 0,4; 0,5; 0,64; 0,7; 0,9; 1,2 мм. Медная проволока изготавливается на кабельных заводах путем многократного волочения заготовок – медной катанки диаметром 7,2–8,0 мм преимущественно марки МК-ЛПС, полученной методом непрерывного литья и прокатки, светлой, не требующей последующего травления. Основные физико-механические и электрические характеристики медных токопроводящих проволок:

- плотность $\gamma = 8,9 \text{ т/м}^3 \text{ (г/см}^3\text{)}$;

- временное сопротивление разрыву σ_{br} МПа (кгс/мм²) – 196...274,5 (20...28);
- относительное удлинение Δl , не менее % – 20...25;
- удельное электрическое сопротивление ρ при температуре 20 °С, не более 17,24 Ом·мм²/км;
- удельная электрическая проводимость σ при температуре 20 °С, не менее 58,9 МОм/м;
- температурный коэффициент сопротивления α_R °С⁻¹ × 10⁻³ – 3,93.

2.2.2. Изоляция жил

В качестве изоляции жил в кабелях местной связи применяют трубчато-бумажную, сплошную полиэтиленовую бумаго-массную, пористо-полиэтиленовую изоляцию, для магистральных кабелей кордельно-стерафлексную изоляцию. На рис. 2.1 показаны конструкции изолированных жил.

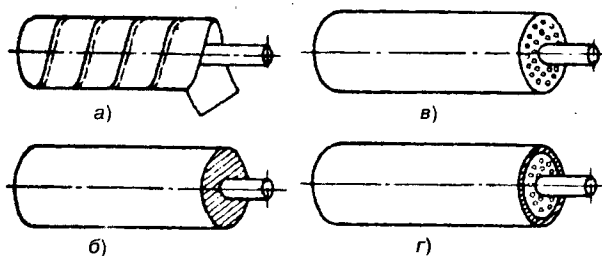


Рис. 2.1

Виды изоляции жил:

- а – трубчато-бумажная;
- б – сплошная полиэтиленовая;
- в – бумаго-массная или пористо-полиэтиленовая;
- г – пористо-сплошная полиэтиленовая

Воздушно-бумажная изоляция

Трубчато-бумажная изоляция образуется путем неплотной спиральной обмотки токопроводящей жилы лентой телефонной или кабельной бумаги. Обмотка производится с перекрытием каждого предыдущего витка последующим примерно на 20...25% по ширине ленты. Ширина и шаг наложения ленты рассчитываются так, чтобы между формирующейся бумажной трубкой и токопроводящей жилой образовался воздушный зазор (рис. 2.1, а).

Наложение трубчато-бумажной изоляции производится на многоходовых вертикальных машинах с центральным бумагообмотчиком.

Бумаго-массная изоляция, называется также пористо-бумажной, формируется на жиле непосредственно из волокон целлюлозы и представляет собой цилиндрический слой бумажной массы с внутренними порами, заполненными воздухом (рис. 2.1, в). Сырьем для изготовления бумажной массы является древесная хвойная сульфатная небеленая целлюлоза, используемая для изготовления различных кабельных бумаг и электроизоляционных картонов.

К целлюлозе могут добавляться отходы кабельной и телефонной бумаг. Основные параметры кабельных изоляционных материалов приведены в табл. 2.1.

Технологический процесс изолирования бумажной массой включает следующие операции: размол (укорочение и расщепление) волокон целлюлозы в воде, перемешивание и очистку массы, разбавление ее водой до концентрации 0,1...0,2%, дозированную подачу водной суспензии бумажной массы в изолированную часть бумаго-массного агрегата – в ванну, в которой вращается сетчатый цилиндр. Волокна целлюлозы осаждаются одновре-

Таблица 2.1. Свойства телефонной и кабельной бумаг

Марка бумаги	Состав по волокну, %	Толщина, мкм	Объемная масса, г/см³	Разрушающее усилие, не менее, Н (кгс)		Удлинение, %, не менее		Влажность
				в продольном направлении	в поперечном направлении	в продольном направлении	в поперечном направлении	
КТ-50	100% целлюлозы	50 ⁺⁴ ₋₃	Не более 0,82	60,8 (6,2)	19,6 (2,0)	2,0	4,0	7 ⁺¹ ₋₂
К-080	древесной сульфатной небеленой	80±5	0,78±0,05	83,4 (8,5)	39,2 (4,0)	2,2	6,6	4–8

менно на 60 проволоках, огибающих сетчатый цилиндр, и образуют на каждой изоляционный слой, а вода фильтруется сквозь сетчатую поверхность цилиндра. Затем проволоки с изоляцией проходят через формирующее устройство – быстро вращающиеся винтообразные гладилки, где изоляции придается цилиндрическая форма. Завершает процесс высокотемпературная сушка на проход в электрической печи (температура в первой зоне 600...700 °С), благодаря чему влага интенсивно испаряется, образуя в толще массы поры.

Полиэтиленовая изоляция

Полиэтиленовая изоляция накладывается на жилу методом экструзии (выпрессовывания). Различаются три ее разновидности: сплошная, пористая и пористо-сплошная. Материалом для сплошной изоляции служит композиция полиэтилена и содержащие в основе своей полиэтилен, а также термостабилизирующие и другие добавки.

Полиэтилен – твердый высокомолекулярный продукт полимеризации непредельного углеводорода этилена C₂H₄. В зависимости от способа получения различают полиэтилен высокого (ПЭВД) и низкого (ПЭНД) давления. Первый получают при давлении 140...250 МПа и температуре 70...100 °С. Плотность ПЭВД 0,918...0,930 г/см³. Он считается полиэтиленом низкой плотности. Плотность ПЭНД 0,949...0,967 г/см³. Его считают полиэтиленом высокой плотности. Способ получения полиэтилена обуславливает не только его плотность, но и молекулярную структуру, следовательно, основные свойства.

Полиэтиленовая изоляция накладывается на линиях, совмещающих волочение проволоки, ее отжиг на проход, экструдирование и охлаждение изолированной жилы.

Сплошная изоляция состоит из композиции на основе ПЭВД (низкой плотности). Допускается также использование композиции на основе ПЭНД (высокой плотности).

Основные свойства полиэтиленовых композиций приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Физико-механические и электроизоляционные свойства полиэтиленов

Параметр	Нормированное значение для полиэтилена марки				
	107-01 (02, 04) К	178-01 (02, 04) К	153-01 (02, 04) К	102-01 (02, 04) К	206-07 (19) К
Плотность т/м³ (г/см³)	0,917–0,920	0,917–0,921	0,9185–0,922	0,922–0,924	0,949–0,955
Показатель текучести расплава, г/10 мин	1,7–2,3	1,05–1,95	0,21–0,39	0,24–0,36	0,9–1,5
Предел текучести при растяжении, МПа (кгс/см²), не менее	9,3 (95)	9,3 (95)	9,8 (100)	11,3 (115)	23,5 (240)
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа (кгс/см²), не менее	12,2 (125)	11,7 (120)	13,7 (140)	14,7 (150)	20,5

Окончание таблицы 2.2

Параметр	Нормированное значение для полиэтилена марки				
	107-01 (02, 04) К	178-01 (02, 04) К	153-01 (02, 04) К	102-01 (02, 04) К	206-07 (19) К
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	550	600	600	600	500
Температура хрупкости, °С, не выше	-100	-100	-120	-120	-80–150
Температура плавления, °С	106–110				125–135
Стойкость к растрескиванию, г, не менее	2,5	2,5	500	500	50
Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 1 МГц, не более	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
Относительная диэлектрическая проницаемость на частоте МГц, не более	2,3				2,4
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см	$1 \cdot 10^{16} - 1 \cdot 10^{17}$				
Водопоглощение за 30 суток, %	0,02				0,03 0,04

Пористая полиэтиленовая (пенополиэтиленовая) изоляция получается в процессе экструдирования на жилу полиэтилена с некоторым количеством пенообразующего концентрата. Пенообразующий концентрат представляет собой полиэтилен высокого давления (низкой плотности) с равномерно распределенными в нем газообразователями, активаторами разложения газообразователей и стабилизатором.

Плотность пенополиэтилена зависит от степени его пористости f , равной отношению объемов пузырьков воздуха и твердого диэлектрика в пористом материале.

Зависимость относительной диэлектрической проницаемости пористого полиэтилена ϵ_r пп от степени его пористости f и, следовательно, плотности показана на рис. 2.2.

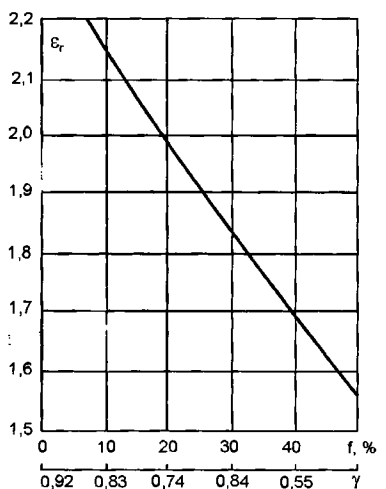


Рис. 2.2

Зависимость относительной диэлектрической проницаемости пористого полиэтилена ϵ_r от степени его пористости f или плотности γ

Преимуществами пористой полиэтиленовой изоляции перед сплошной являются ее меньшая относительная диэлектрическая проницаемость, и, следовательно, меньшие диаметры и массы кабелей. К недостаткам пористой изоляции по сравнению со сплошной относятся: большая влагоемкость, меньшие механическая и электрическая прочности.

Пористо-сплошная полиэтиленовая изоляция состоит из двух слоев. Внутренний пористый слой (на его долю приходится примерно 80% общей толщины) обеспечивает снижение эквивалентной относительной диэлектрической проницаемости изоляции. Внешний слой – сплошной, его назначение – предотвратить доступ влаги в случае ее проникновения в кабель или заполнителя (в герметизированных кабелях) к пористой изоляции с тем, чтобы воспрепятствовать ухудшению ее свойств. Наложение двухслойной пористо-сплошной изоляции сложнее, чем одинарной: оно производится на линии со сдвоенным экструдером или двумя последовательно расположенными экструдерами.

В последние годы разработана трехслойная пленко-пористо-пленочная изоляция жил: пленка 0,05 мк накладывается на медную жилу, затем слой из пористой изоляции, поверх которого размещается защитная пленочная «оболочка» – 0,08 мк.

2.2.3. Гидрофобный заполнитель

С целью защиты от проникновения влаги из внешней среды применяется *продольная герметизация кабелей*.

Известны следующие способы герметизации кабелей:

- полное заполнение всего межжильного пространства сердечника, так называемого свободного объема, гидрофобным компаундом;
- периодическое образование по длине кабеля внутренних водостойких пробок из компаунда;
- нанесение на изолированные жилы сухого порошка (например, на основе целлюлозы), который при проникновении внутрь кабеля влаги набухает и, заполняя свободный объем сердечника, препятствует ее продольному распространению;
- введение в сердечник кабеля влагопоглощающих элементов в виде лент и корделей.

В качестве заполнителя сердечника кабелей используется композиция из продуктов перегонки нефти – петролатум, или нефтяное желе, часто с добавкой полиэтилена. В отечественной практике используется гидрофобный заполнитель МЗК (масса защитная кабельная), представляющий собой смесь парафина, церезина и минерального масла с добавкой полиэтилена. Основные свойства заполнителя МЗК:

вязкость кинематическая при 100 °С, м ² /С(Ст)	(25–28)10 ^{–6} (0,25–0,28)
температура каплепадения °С, не ниже	65
плотность при 20 °С, т/м ³ (г/см ³).....	0,86–0,88
пенетрация при 25 °С, 0,1 мм	50–150
температура вспышки, определяемая в открытом тигле, не ниже, °С	220
удельное объемное электрическое сопротивление при 20 °С, не ниже, Ом·см	1·10 ¹⁵
относительная диэлектрическая проницаемость при 20 °С и частоте 1 кГц, не выше.....	2,8
усадка объема, %, не более	8

Степень совместимости заполнителя с полиэтиленовой изоляцией определяется в первую очередь величиной ее набухания. Набухание изоляции тем больше, чем ниже плотность полиэтилена (рис. 2.3). Величина набухания изоляции ΔН в процентах опреде-

ляется по результатам взвешивания образцов до и после выдержки в заполнителе (соответственно массы M_1 и M_2).

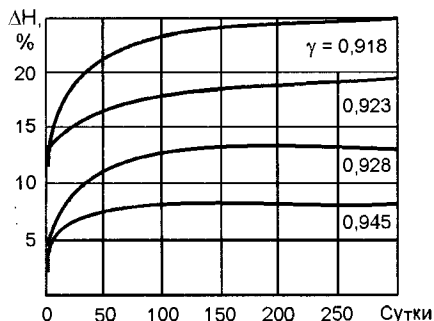


Рис. 2.3

Набухание полиэтилена различной плотности в петролатуме при 70 °С

При 100%-ном заполнении свободного объема сердечника кабелей со сплошной полиэтиленовой изоляцией δ' из толщиной δ из возрастает рабочая емкость с C' до C'' (в среднем на 15%). Сохранять рабочую емкость на уровне C' можно, если увеличить толщину изоляции ($\delta'' > \delta'$), но при этом примерно на 15% увеличивается наружный диаметр кабеля. Масса кабелей со сплошным заполнением в среднем на 35% больше, чем незаполненных.

Сохранить неизменной толщину изоляции при введении заполнителя и прежнем условии $C' = \text{const}$ можно, заменив сплошную изоляцию на пористую или пористо-сплошную. При этом на 5...10% увеличивается масса кабелей (табл. 2.3).

Таблица 2.3. Относительные параметры незаполненных и заполненных кабелей с различными вариантами полиэтиленовой изоляции

Параметр	негерметизированных со сплошной изоляцией	Значение, % для кабелей			
		герметизированных с изоляцией			
		сплошной		пористой	пористо-сплошной
		нормальной	утолщенной		
Толщина изоляции, $\delta_{из}$	100	100	140	100	100
Рабочая емкость, C	100	112–120	100	100	100
Коэффициент затухания	100	106–110	100	100	100
Наружный диаметр, $d_{нар}$	100	100	110–120	100 (± 5)	100
Масса кабеля, M	100	112–120	125–150	107	107

При частичном периодическом заполнении сердечника для образования водостойких пробок применяется компаунд на основе кремнийорганического каучука. Компаунд вводится в скрученный сердечник порциями методом инъекции на проход. Длина пробки – примерно 0,2 м, расстояние между пробками – около 4 м. При подобном соотношении степень заполнения свободного объема сердечника равна 5%, что практически почти не сказывается на конструктивных и электрических параметрах кабелей (за исключением незначительного увеличения их массы по сравнению с незаполненными). Способ образования пробок пригоден для кабелей как со сплошной, так и с пористой и пористо-сплошной изоляцией.

В последние годы в качестве гидрофобного заполнителя применяются и другие композиции.

2.2.4. Поясная изоляция

Поясная изоляция накладывается на скрученный сердечник с целью его скрепления и сохранения формы, а также для механической и тепловой защиты изоляции жил при последующих технологических процессах: экранировании, введении заполнителя, особенно наложении оболочки, бронировании (поливке горячим битумом). Поясная изоляция дополнительно увеличивает электрическую прочность изолированных жил по отношению к металлической оболочке или экрану.

В кабелях с воздушно-бумажной изоляцией жил и числом пар 10–100 в качестве поясной изоляции используются две ленты телефонной бумаги КТ-50 толщиной 0,05 мм, а в кабелях с числом пар более 100 – кабельной бумаги К-120 толщиной 0,12 мм. В кабелях с полиэтиленовой изоляцией жил поясной изоляцией служит одна-две (в зависимости от диаметра кабеля) пластмассовые ленты: поливинилхлоридные, полиэтиленовые или полиэтилентерефталатные (лавсановые). Применяются поливинилхлоридная пластифицированная (ПВХ) пленка марки К, полиэтиленовая (ПЭ) марки Мс, полиэтилентерефталатная (ПЭТ) марки ПЭТ-Э.

Основные свойства указанных пленок, обозначенных соответственно ПВХ, ПЭ и ПЭТ, приведены в табл. 2.4. Полиэтиленовая пленка обладает хорошими электроизоляционными свойствами, однако вследствие невысокой температуры размягчения (108...112 °С) оплавляется при прохождении через головку экструдера в процессе наложения полиэтиленовой оболочки. Наиболее употребительна поливинилхлоридная пленка. Возможно применение двух разнородных пленок, например ПВХ и ПЭТ.

Поясная изоляция накладывается спирально с перекрытием по ширине лент 15..50% или продольно. При спиральном наложении угол обмотки изменяется в широких пределах: от 80° для самых тонких кабелей до 20° для самых толстых.

Таблица 2.4. Свойства пленок, применяемых для поясной изоляции

Параметр	Значение для пленки (по ГОСТ)		
	ПЭ (10354-73)	ПЭТ (24234-80)	ПВХ (16272-79)
Толщина, мм	0,10; 0,12; 0,15; 0,20; 0,25*	0,05±0,005	0,23±0,04
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа (кгс/см ²), не менее	15 (150)	180 (1800)	12,5 (125)
Относительное удлинение, %, не менее	450	80	120
Температура хрупкости, °С, не выше	-70	—	-25
Водопоглощение за 24 ч при 20 °С, %, не более	0,1	—	1,0
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20 °С, Ом·см, не менее	1.10 ¹⁶	1.10 ¹⁴	—
Тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 1 кГц при 20 °С	(2-5)·10 ⁻⁴	5.10 ⁻³	—
Электрическая прочность при переменном напряжении частотой 50 Гц и 20 °С, кВ/мм, не менее	200	140	—
* С допуском соответственно ±0,016; 0,016; 0,02; 0,02 и 0,035 мм			

2.2.5. Экран

Для защиты цепей кабелей в пластмассовой и стальной оболочках от внешних электромагнитных влияний поверх поясной изоляции накладывается ленточный экран. В случае алюминиевой и свинцовой оболочек функции экрана выполняют сами оболочки, поскольку обладают существенно меньшими по сравнению со стальной оболочкой электрическими сопротивлениями: алюминиевая – благодаря высокой электропроводности материала, свинцовая – вследствие своей относительно большой толщины.

Экран может быть выполнен из мягкой медной или алюминиевой ленты. Последняя, менее дефицитная, предпочтительнее. Экран накладывается на сердечник спирально или продольно; этот способ технологичнее, так как не связан с вращательным движением. При спиральном наложении смежные витки ленты перекрываются по ширине на 10...15%. Продольный экран может быть гладким или гофрированным. Гофрированный экран значительно более стоек к многократным изгибам, но на него расходуется материала на 10...15% больше, чем на гладкий. Высота гофра 0,8...1,0 мм.

В отечественной практике применяется алюминиевый экран. Материалом для него служит лента из мягкой алюминиевой фольги марки А0 или А5 толщиной 0,10...0,15 мм (реже до 0,20 мм). Основные конструктивные параметры алюминиевой фольги приведены в табл. 2.5. Временное сопротивление разрыву не менее 40 МПа (4 кгс/мм²), относительное удлинение – не менее 3%. Фольга выпускается шириной 10...500 мм с интервалом 5 мм.

Таблица 2.5. Параметры алюминиевой фольги

Номинальная толщина, мм	Допуск на толщину, мм	Расчетная масса, г/м ²
0,10	+0,005/-0,01	270
0,12	±0,01	324
0,15	+0,05/-0,015	405
0,18	±0,015	486
0,20	±0,015	540

В кабелях со стальной оболочкой во избежание контакта алюминия со сталью поверх экрана накладывается разделительная обмотка из бумажных или пластмассовых лент.

Значительно более высокими физико-механическими свойствами обладает продольный экран из алюмополиэтиленовой ленты, представляющей собой алюминиевую фольгу, покрытую с одной или с обеих сторон полиэтиленовой пленкой толщиной $0,03 \pm 0,01$ мм (рис. 2.4). Двухслойная лента накладывается на поясную изоляцию металлом внутрь, а полиэтиленовым слоем наружу.

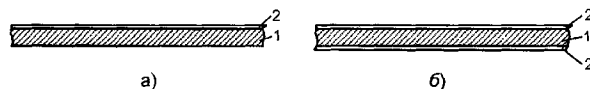


Рис. 2.4. Алюмополиэтиленовые ленты:

а – двухслойная Ал-ПЭ;

б – трехслойная ПЭ-Ал-ПЭ (1 – алюминиевая фольга; 2 – полиэтиленовая пленка)

Экран из алюмополиэтиленовой двух- или трехслойной ленты применяется в сочетании с полиэтиленовой оболочкой, к которой он приваривается изнутри в процессе наложения последней. При прохождении экранированного сердечника через головку экструдера, температура в которой достигает 200 °С, полиэтиленовый слой алюмополиэтиленовой

ленты нагревается и сваривается с формируемой в головке оболочкой. Таким образом, получается монолитная конструкция полиэтиленовой оболочки, покрытой слоем металла, т.е. металлизированной, изнутри. Такая оболочка называется алюмополиэтиленовой.

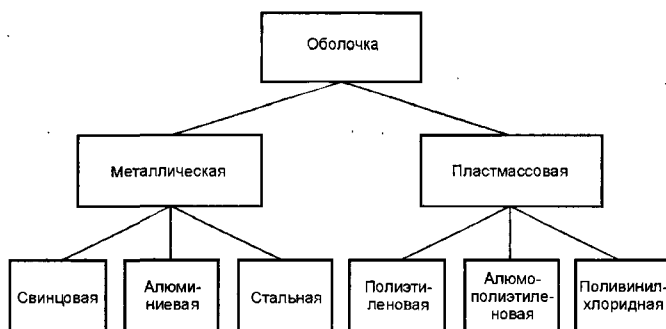
В отечественных кабелях применяется двухслойная лента «алюминий-полиэтилен» с толщиной алюминиевой фольги 0,10 и 0,15 мм. Ширина ленты составляет 1,1...1,2 периметра сердечника по поясной изоляции (с учетом 10...20%-ного перекрытия ее краев).

Алюминиевый экран, составляющий с оболочкой одно целое, во-первых, характеризуется во много раз большей стойкостью к многократным изгибам, чем отдельный экран, и, во-вторых, что является главным его достоинством, на несколько порядков увеличивает влагонепроницаемость оболочки, так как служит барьером на пути диффузии паров влаги из окружающей среды внутрь кабеля.

2.2.6. Оболочки

Оболочка – это непрерывная металлическая или неметаллическая трубка, расположенная поверх сердечника с поясной изоляцией (и экраном, если имеется) и предназначенная для защиты изолированных жил от влаги и других внешних воздействий. Представление о современных типах оболочек дает рис. 2.5.

Рис. 2.5
Типы оболочек городских телефонных кабелей



Металлические оболочки

Свинцовая оболочка кабелей связи изготавливается из свинцово-сурьмянистого сплава марок ССу, ССуМ, ССуМ2, ССуМО, ССуМТ. Все эти сплавы (за исключением ССу) кроме сурьмы содержат и другие легирующие присадки (табл. 2.6), повышающие механическую прочность оболочки и особенно ее вибростойкость. Оболочки кабелей, предназначенных для эксплуатации в условиях значительной вибрационной нагрузки, следует изготавливать из сплавов повышенной прочности марок ССуМ2 с содержанием сурьмы 0,6...0,8% и ССуМТ, в который входит теллур. Вибростойкость сплавов ССуМ2 и ССуМТ в 1,5...2 раза выше, чем остальных.

Свинцовая оболочка накладывается на сердечник методом выпрессовывания на свинцовых прессах: поршневых периодического действия, непрерывного действия.

Основные достоинства свинца – технологичность (легко прессуется, паяется). Недостатки – дефицитность и большая плотность.

Достоинства свинцовой оболочки – гибкость, коррозионностойкость, удовлетворительные параметры экранирования. Недостатки – большая масса, малая вибростойкость, нестойкость к многократным изгибам, малая прочность на растяжение и сжатие.

Таблица 2.6. Химический состав сплавов свинца

Марка сурьмянистого свинца	Содержание легирующих присадок, %			
	сурьмы	меди	теллура	олова
ССу	0,04–0,6	–	–	–
ССуМ	0,04–0,6	0,02–0,05	–	–
ССуМ2	0,4–0,8	0,02–0,05	–	–
ССуМТ	0,3–0,45	0,02–0,05	0,03–0,05	–
ССуМО	0,15–0,25	0,02–0,05	до 0,005	0,35–0,45

Стальная гофрированная оболочка, служащая заменителем свинцовой, обладает значительно большими вибростойкостью и прочностью на растяжение и на сжатие. Благодаря этому она в несколько раз тоньше свинцовой и, следовательно, имеет меньшую массу и, кроме того, что особенно важно, может выполнять функции двух конструктивных элементов кабеля: герметичной металлической оболочки, защищающей сердечник кабеля от влаги, и стальной ленточной брони, защищающей кабель от механических воздействий. Поэтому кабели в стальной оболочке могут применяться взамен небронированных и бронированных кабелей в свинцовой оболочке марок ТГ и ТБ, а также кабелей в полиэтиленовой оболочке с защитным покровом типа Б и т.п.

Стальная оболочка формируется путем продольного наложения на сердечник кабеля стальной ленты с одновременной герметизацией шва. Известны три способа герметизации продольного шва:

- высокочастотная сварка кромок ленты в стык;
- высокочастотная пайка краев ленты, наложенной с перекрытием (так называемая оболочка «сталпэст»);
- дуговая сварка кромок ленты в стык в атмосфере защитного нейтрального газа – аргона (так называемая оболочка «веллмантель»).

Основные недостатки стальной оболочки и меры по их устранению следующие:

Недостатки

Слабое защитное действие от внешних электромагнитных влияний

Малая гибкость и нестойкость к многократным изгибам

Сильная подверженность коррозии

Меры по их устранению

Наложение поверх поясной изоляции сердечника, под оболочкой, алюминиевого экрана

Гофрирование стальной ленты или оболочки

Покрытие оболочки антикоррозийным компаундом и полиэтиленовым шлангом

При высокочастотной пайке стальная оболочка формируется из предварительно гофрированных алюминиевой и стальной лент. При аргонно-дуговой и высокочастотной сварке стальная оболочка, а также алюминиевый экран формируются из гладких лент; гофрируется уже сваренная оболочка. В отечественной практике распространен синусоидальный гофр оболочки: спиральный, или винтовой, при аргонно-дуговой сварке и кольцевой при высокочастотной.

Алюминиевая оболочка также применяется в качестве заменителя свинцовой, но главное ее назначение – защита кабелей, прокладываемых в зонах влияния сильных электромагнитных полей: вблизи линий электропередачи (ЛЭП), электрифицированных железных дорог, заземляющего контура энергоустановок, мощных радиостанций и т.п. Значительная электропроводность алюминия обеспечивает более высокие экранирующие свойства алю-

миниевой оболочки от внешних электромагнитных влияний по сравнению с другими металлическими оболочками.

Алюминиевая оболочка накладывается на кабель методом выпрессовывания на поршневых прессах либо методом сварки – высокочастотной или аргоно-дуговой.

Алюминиевые оболочки могут быть гладкими или гофрированными.

Толщина алюминиевой оболочки для кабелей повышенной защищенности от внешних электромагнитных влияний выбирается в зависимости от требований к величине их коэффициента защитного действия (КЗД).

Пластмассовые оболочки

Пластмассовые оболочки – преимущественно полиэтиленовые и алюмополиэтиленовые, а в отдельных случаях поливинилхлоридные – являются основными заменителями свинцовой. Так как через любую пластмассу все же диффундируют пары влаги, то пластмассовые оболочки применяются, как правило, в сочетании с невлагоемкой полиэтиленовой изоляцией жил. Кабели для наружной прокладки выпускаются в полиэтиленовой или алюмополиэтиленовой оболочке, поскольку полиэтилен обладает на один-два порядка меньшей влагонепроницаемостью, чем поливинилхлоридный пластикат.

Полиэтиленовая и алюмополиэтиленовая оболочка изготавливается из светостабилизированного полиэтилена высокого давления (низкой плотности), содержащего примерно 2% мелкодиспергированной газовой сажи. Его основные свойства приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7. Свойства пластмасс, применяемых для оболочек: полиэтилена (ПЭ) и поливинилхлоридного пластиката (ПВХ)

Параметры	Значение для	
	ПЭ марок 102–10К и 153–10К	ПВХ марки 0–40
Показатель текучести расплава, г/10 мин	0,24–0,36 0,21–0,29	– –
Плотность, г/м ³ (г/см ³)	–	1,20–1,30
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа (кгс/см ²), не менее	14,7 (150) 13,7 (140)	13,7 (140)
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	600	280
Температура, °С: хрупкости, не выше плавления размягчения	–120 106–110 –	–40 – 170±10
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20 °С, Ом.см, не менее	1·10 ¹⁶ –1·10 ¹⁷	1·10 ¹⁰
Коэффициент влагонепроницаемости при 20 °С* кг/с.м.Па [г/ч.см.мм рт.см]	10 ^{–16} (10 ^{–9})	10 ^{–15} –10 ^{–14} (10 ^{–8} –10 ^{–7})
* Значения приближенные, не стандартизованные		

Для готовой оболочки кабелей ГОСТ 22498-77 нормированы следующие механические параметры:

разрушающее напряжение при растяжении, МПа (кгс/см²),
не менее6,85 (70)

относительное удлинение при разрыве, %, не менее	250
усадка, %, не более	3

Значительно более высокую влагозащищенность кабелей по сравнению с полиэтиленовой обеспечивает алюмополиэтиленовая оболочка, представляющая собой полиэтиленовую трубку металлизированную изнутри слоем алюминиевой фольги. Тонкий металлический барьер препятствует диффузии паров влаги через оболочку. Коэффициент влагонепроницаемости алюмополиэтиленовой оболочки в зависимости от ее конструкции и технологии изготовления может быть уменьшен в сотни, тысячи и даже десятки тысяч раз (т.е. на два-четыре порядка) по сравнению с однородной полиэтиленовой оболочкой. Единственный путь проникновения влаги в кабель с такой оболочкой – между перекрывающимися краями полиэтиленовой ленты (рис. 2.6). При использовании двухслойной ленты «алюминий-полиэтилен» ее перекрывающиеся края 4 не герметизируются, так как полиэтиленовая пленка 2 нижнего края лишь соприкасается с алюминиевой фольгой 1 верхнего края. Если же экран выполнен из трехслойной ленты «полиэтилен-алюминий-полиэтилен», то смежные полиэтиленовые слои 2 перекрывающихся краев ленты также свариваются между собой. В этом случае на пути диффундирующих паров влаги находится узкий ($2 \times 0,03$ мм) и относительно длинный (равный ширине перекрытия) слой полиэтилена.

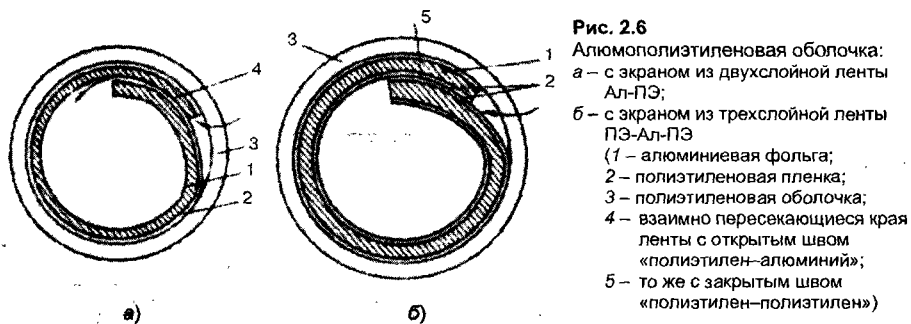


Рис. 2.6

Алюмополиэтиленовая оболочка:
а – с экраном из двухслойной ленты
Ал-ПЭ;

б – с экраном из трехслойной ленты
ПЭ-Ал-ПЭ

(1 – алюминиевая фольга;

2 – полиэтиленовая пленка;

3 – полиэтиленовая оболочка;

4 – взаимно пересекающиеся края
ленты с открытым швом
«полиэтилен–алюминий»;

5 – то же с закрытым швом
«полиэтилен–полиэтилен»)

Алюминиевая лента не должна отслаиваться от полиэтиленовой оболочки: нормированное усилие отслаивания не менее 9,8 Н на 0,01 м длины оболочки.

Поливинилхлоридная оболочка, точнее оболочка из поливинилхлоридного пластика, применяется весьма ограниченно, а именно в кабелях с числом пар не более 100, прокладываемых в пожароопасных местах. В отличие от полиэтилена, поливинилхлорид не распространяет горения.

Поливинилхлоридный пластикат представляет собой переработанную смесь термопластичной смолы – поливинилхлорида с различными пластификаторами, стабилизаторами и наполнителями, повышающими эластичность поливинилхлорида и облегчающими процесс его экструдирования. Для изготовления оболочки применяется пластикат марки О-40 (буква О – от слова «оболочка», цифры характеризуют морозостойкость). Этой марке соответствуют рецептуры поливинилхлоридного пластика 288, 288/1, 239 и 239/1.

2.2.7. Несущий трос

Самонесущие кабели типа ТП, специально предназначенные для подвески на опорах, отличаются от других кабелей с полиэтиленовой изоляцией и оболочкой наличием в их конструкции стального несущего троса. Кабель с несущим тросом в сечении имеет форму,

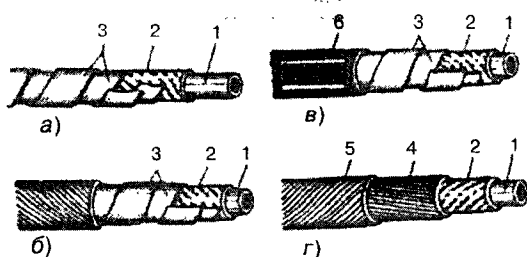
близкую к цифре «8». Наложение общей оболочки, состоящей из двух цилиндрических частей и перемычки между ними, на экранированный сердечник и несущий трос производится одновременно. В качестве несущего троса применяется стальной канат спиральный, скрученный из семи проволок (по системе 1 + 6) с временным сопротивлением разрыву не менее 1,4 ГПа (140 кгс/мм²). Тип каната ЛК-0, что означает «с линейным касанием проволок», марка его РВ-ЛС-Н: грузовой, из проволок высшего качества, оцинкованных, для легких условий работы, правой скрутки, нераскручивающийся».

2.2.8. Защитные покровы

В состав защитных покровов в общем случае входят три элемента (рис. 2.7) – подушка, броня, наружный покров: Б, К и ББШп.

Рис. 2.7
Защитные покровы городских телефонных кабелей типа: а – БГ; б – Б; в – ББШп; г – К

- 1 – оболочка кабеля;
- 2 – подушка под броню;
- 3 – броня из стальных лент;
- 4 – броня из стальных круглых проволок;
- 5 – наружный покров из кабельной пряжи;
- 6 – полиэтиленовый шланг



В пожароопасных местах применяется защитный покров без наружного элемента: его обозначение БГ. Поверх стальной оболочки, не требующей для своей механической защиты брони, накладывается только один элемент защитных покровов, а именно наружный покров в виде экструдированного полиэтиленового шланга (Шп).

Подушка

Подушка – внутренняя часть защитного покрова. Она накладывается на оболочку для предохранения последней от коррозии и от механических повреждений стальными бронелентами или бронепроволоками как в процессе бронирования кабелей, так и при их прокладке. Подушка представляет собой комбинированный элемент, состоящий преимущественно из чередующихся слоев крепированной бумаги и битума (табл. 2.8).

Крепированная кабельная бумага представляет собой два слоя основы – двухслойной водонепроницаемой бумаги, склеенных между собой битумом. Ее масса 200...260 г/м². Содержание битума в ней – не менее 50%, а нафтената меди – не менее 5%.

Так как пластмассовая оболочка не подвержена коррозии, а контактирование ее с битумом нежелательно из-за возможного ухудшения свойств (старения) пластмассы, то подушка в кабелях с пластмассовой оболочкой не содержит первого и второго слоев битума.

Броня

Стальная броня – центральный элемент защитного покрова – служит для защиты кабеля от механических воздействий.

Стальная лента изготавливается из низкоуглеродистой стали: с цинковым покрытием или без покрытия. Марка оцинкованной бронеленты Апл; буквы «пл» означают «плоская». Оцинкованная лента должна обязательно применяться для бронирования кабелей, не имеющих наружного покрова, т.е. защитным покровом типа БГ. Неоцинкованную ленту в зависимости от предельных отклонений по толщине подразделяют на два вида: РI и РII. Конструктивные параметры стальной ленты и допуски на них приведены в табл. 2.9.

Таблица 2.8. Конструкция подушки в защитных покровах городских телефонных кабелей

Покров типа	Последовательность слоев подушки	Толщина подушки, мм, не менее
Б; БГ; поверх оболочки: металлической	1. Битумный состав или битум 2. Крепированная бумага 3. Битумный состав или битум 4. Крепированная бумага 5. Битумный состав или битум	1,5
пластмассовой	1. Крепированная бумага 2. Битум	1,0
ББШп; поверх пластмассовой оболочки	1. Пластмассовые ленты (2–4)	0,3–0,5
К; поверх металлической или пластмассовой оболочки	1. Битумный состав или битум 2. Крепированная бумага 3. Битумный состав или битум 4. Пропитанная кабельная пряжа 5. Битумный состав или битум	2,0
<i>Примечание:</i> вместо крепированной допускается применение пропитанной кабельной бумаги		

Таблица 2.9. Конструктивные данные стальной брони

Диаметр кабеля по оболочке, мм	До 13	13–16	16–37	37–50	Свыше 50
Число и толщина бронелент, мм, в покровах:					
Б, БГ	2×0,3	2×0,5	2×0,5	2×0,5	2×0,8
ББШп	2×0,3	2×0,3	2×0,3	2×0,3	2×0,3
Диаметр бронепроволок, мм	–	–	4	4–6	6
<i>Примечание:</i> взамен брони из стальных лент толщиной 0,3 мм допускается применение брони из стальных лент толщиной 0,5 мм или из стальных оцинкованных проволок диаметром 1,4–1,8 мм					

Стальная оцинкованная круглая проволока также изготавливается из низкоуглеродной стали. В зависимости от назначения и поверхностной плотности цинкового покрытия стальная проволока разделяется на две группы: Ж и ОЖ для эксплуатации соответственно в жестких и особо жестких коррозионных условиях.

Стальные ленты накладываются с зазором 20...40% ширины ленты ($K_{н,ср} = 0,3$). Верхняя лента симметрично перекрывает зазор между витками нижней ленты. Средний для каждого диапазона диаметров кабелей угол наложения стальных лент α , лежит в пределах 45...25°, уменьшаясь по мере увеличения диаметра.

2.2.9. Наружный покров

Наружный покров является внешним элементом защитного покрова и служит главным образом для защиты стальной брони от коррозии. Как и подушка, наружный покров состоит из нескольких слоев.

В кабелях связи применяются три варианта наружного покрова (табл. 2.10).

Входящая в состав покровов типов Б и К кабельная пряжа разделяется на три группы: специальную, повышенную и обыкновенную. Специальная пряжа изготавливается из джута-

во-кенафного волокна, а пряжа двух других групп – из короткого льняного, пенькового и кенафного волокон. Нормированная влажность пряжи: специальной 14%, остальной 12%.

Разрывное усилие для пряжи, не менее, кгс:

специальной	14,2...18,6 (14,4...19,0);
повышенной	9,8...18,6 (10...19,0);
обыкновенной	9,3...17,6 (9,5...18,0).

Таблица 2.10. Состав наружного покрова

Тип защитного покрова	Последовательность слоев
Б, К	1. Битумный состав или битум 2. Пропитанная кабельная пряжа или стеклянная пряжа из штапельованного волокна 3. Битумный состав или битум 4. Покрытие, предохраняющее витки кабеля от слипания (обычно меловое)
ББШп	5. Вязкий подклеивающий (выпрессованный) полиэтиленовый защитный шланг 6. Экструдированная (выпрессованный) полиэтиленовый защитный шланг
Шп	7. Вязкий подклеивающий состав 8. Лента поливинилхлоридная, полиэтилен-терефталатная, полиамидная или другая равноценная 9. Экструдированный полиэтиленовый шланг

Минимальная толщина битумно-волоконного наружного покрова независимо от диаметра кабеля 2 мм. Толщина защитного полиэтиленового шланга указана в табл. 2.11. Предельное отклонение от минимальной толщины шланга минус 15%; плюсовой допуск не нормируется.

Таблица 2.11. Номинальная толщина полиэтиленового защитного шланга, мм

Тип защитного покрытия	Толщина шланга при диаметре кабеля по оболочке, мм							
	До 10	10–15	15–20	20–30	30–40	40–50	50–60	Свыше 60
ББШп (ГОСТ 22498-77)	1,5	2,0	2,3	2,6	3,0	3,3	3,3	3,3
Шп (ГОСТ 7006-72)	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	2,5	3,0

Для защитного шланга используется такой же полиэтилен высокого давления (низкой плотности), как и для оболочки.

Кабельную пряжу и кабельную бумагу для защитных покровов предварительно пропитывают противогнилостным составом на нефтяной основе с добавкой не менее 10% антисептика – нефтената меди так, чтобы содержание последнего было не менее 4% к массе пропитанной пряжи и соответственно бумаги.

Для поливочного состава применяются нефтяные битумы – строительные и дорожные, получаемые из окисленных и неокисленных продуктов прямой перегонки нефти.

Основные параметры битумов приведены в табл. 2.12.

Таблица 2.12. Основные параметры битумов

Параметр	Битум марки				
	БН 50/50	БН 70/30	БН 90/10	БНД 60/90	БНД 40/60
Температура размягчения по кольцу и шару, °С, не менее	50	70	90	47	51
Глубина проникновения иглы при 25 °С, 0,1 мм	41–60	21–40	5–20	61–90	40–60
Температура вспышки, °С, не ниже	220	230	240	220	220
Температура самовоспламенения, °С, не ниже			368		
Температура хрупкости, °С, не выше	Не нормирована			-15	-10

ГЛАВА 3

ОСНОВЫ ТЕОРИИ КАБЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

3.1. Первичные параметры цепи

Основными характеристиками, определяющими величину тока и напряжения в каждой точке симметричной или коаксиальной цепи, являются четыре первичных параметра передачи: активное электрическое сопротивление R , индуктивность L , емкость C и проводимость изоляции G . Эти параметры равномерно распределены по всей длине цепи. Следовательно, кабель связи представляет собой однородную линию с равномерно распределенными параметрами. В технике кабелей связи принято определять все параметры на 1 км длины цепи [1–7].

Активное электрическое сопротивление кабельной цепи складывается из сопротивлений двух токопроводящих жил и потерь, обусловленных влиянием электромагнитного поля рассматриваемой цепи на соседние проводники и другие металлические части конструкции кабеля (экран, металлическую оболочку и др.).

При расчете активного сопротивления кабельной цепи его удобно представлять в виде двух слагаемых: сопротивления постоянному току и сопротивления, вызванного изменением электромагнитного поля переменного тока.

Электрическое сопротивление цепи постоянному току, Ом/км, определяется по формуле:

$$R_0 = \rho \frac{l}{s} = \rho \frac{4l}{\pi d^2}, \quad (3.1)$$

где ρ – удельное сопротивление металла проводника, равное для меди 0,0175 Ом·мм²/м и для алюминия 0,0291 Ом·мм²/м; d – диаметр проводника, мм; l – длина проводника, км; s – площадь поперечного сечения проводника, мм².

Для определения активного сопротивления и индуктивности кабельной цепи при переменном токе расчетные формулы выводятся из основных уравнений электромагнитного поля.

Индуктивность кабельной цепи складывается из внутренней индуктивности каждого проводника и внешней индуктивности, обусловленной внешним магнитным потоком.

Емкость кабельной цепи аналогична емкости конденсатора, у которого роль обкладок выполняют токопроводящие жилы (проводники), а диэлектриком служит изолирующий их материал.

Емкость кабельной цепи в кабельной технике принято называть рабочей емкостью, в отличие от частичных емкостей, т.е. емкостей между любыми отдельными жилами и жилами и оболочкой кабеля.

Проводимость изоляции кабельной цепи складывается из проводимости изоляции постоянному току и проводимости изоляции переменному току. Проводимость изоляции по-

стоянному току весьма мала и составляет порядка $1 \cdot 10^{-10}$ МОм·км, поэтому ею обычно пренебрегают.

Проводимость изоляции переменному току зависит от проводимости изоляции по стоянному току, диэлектрических потерь и частоты тока.

Явление диэлектрических потерь в конденсаторе характеризуется тем, что ток опережает напряжение не на 90° а на угол $(90-\delta)$. Угол δ называется углом диэлектрических потерь. Проводимость, обусловленная диэлектрическими потерями, равна $G_1 = \omega C \operatorname{tg} \delta$, следовательно,

$$G = G_0 + G_1 = G_0 + \omega C \operatorname{tg} \delta. \quad (3.2)$$

Как указывалось выше, в кабельных линиях связи величина G_0 мала по сравнению с G_1 , поэтому ею можно пренебречь.

Для сложной комбинированной изоляции (диэлектрик плюс воздух) определяется эквивалентная величина $\operatorname{tg} \delta$, которая значительно меньше $\operatorname{tg} \delta$ сплошного диэлектрика.

Как правило, нормы на сопротивление изоляции (обратная величина проводимости изоляции) даются при температуре 20°C . С повышением температуры у всех видов изоляции сопротивление понижается.

Первичные параметры передачи цепи (R , L , C и G) зависят от диаметра и материала проводников, расстояния между ними, типа изоляции, температуры и частоты тока. Количественная и качественная характеристики этой зависимости для симметричных и коаксиальных пар несколько различные и будут рассмотрены ниже.

СХЕМА

3.2. Вторичные параметры цепи

При распространении электромагнитной энергии по длинной кабельной линии напряжение между проводниками и ток в проводниках не остаются постоянными, а меняются по абсолютному значению и по фазе. Отношения между током и напряжением в любой точке цепи и током и напряжением в начале цепи зависят от двух параметров – волнового сопротивления Z_B и коэффициента распространения γ , которые носят название вторичных параметров цепи. Они являются основными показателями, характеризующими электрические свойства цепи.

Волновое сопротивление определяется отношением напряжения к току в любой точке цепи и выражается через первичные параметры по формуле:

$$Z_B = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}}. \quad \text{Единица размерности – Ом.} \quad (3.3)$$

Активное сопротивление R выражено в Ом/км, индуктивность L – в Г/км, емкость C – в Ф/км и проводимость G – в См/км.

В общем виде волновое сопротивление является комплексной величиной. Для всех однородных цепей $R/L > G/C$, поэтому угол волнового сопротивления отрицателен.

При $R \leq \omega L$ и $G \leq \omega C$, т.е. для частот свыше $5 \dots 10$ кГц, волновое сопротивление определяется по следующей упрощенной формуле:

$$Z_B = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (3.4)$$

Коэффициент распространения γ характеризует изменение мощности электромагнитной волны при распространении ее по линии и изменение фазы напряжения и тока вдоль линии. Коэффициент распространения является комплексной величиной, причем

действительная составляющая α определяет затухание, т.е. уменьшение напряжения и тока на единицу длины цепи, а мнимая составляющая β характеризует величину изменения фазы напряжения и тока на единицу длины линии.

Коэффициент распространения через первичные параметры выражается формулой:

$$\gamma = \alpha + i\beta = \sqrt{(R + i\omega L) \cdot (G + i\omega C)}, \quad (3.5)$$

где α выражается в Нп/км (1 Нп = 8,69 дБ) и β – в рад/км.

Обычно коэффициент распространения γ определяют на 1 км цепи. Затухание цепи на 1 км (α) называют *коэффициентом затухания*, а сдвиг фазы на 1 км (β) – *коэффициентом фазы*.

Коэффициенты затухания и фазы зависят от частоты и от температуры. Для диапазонов высоких частот коэффициент затухания α , дБ/км, определяется по следующей упрощенной формуле:

$$\alpha = 8,69 \left[\frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \right]. \quad (3.6)$$

Коэффициент фазы β , рад/км, определяется по формуле:

$$\beta = \omega \sqrt{LC}. \quad (3.7)$$

Скорость распространения v , км/с, электромагнитных волн вдоль цепи определяется формулой:

$$v = \omega / \beta = \omega / \omega \sqrt{LC}. \quad (3.8)$$

Длина волны λ , км – расстояние между ближайшими точками цепи, в которых фазы напряжения или тока в любой момент времени отличаются на 2π , определяется по формуле:

$$\lambda = 2\pi / \beta = v / f, \quad (3.9)$$

где f – частота тока, Гц.

Вторичные параметры передачи цепей так же, как и первичные параметры, зависят от диаметра и материала проводников, типа изоляции, температуры и частоты тока. Количественная и качественная характеристики этой зависимости для симметричных и коаксиальных пар несколько различны и будут рассмотрены ниже.

3.3. Электромагнитные процессы в симметричных кабелях

Сопротивление и индуктивность цепи симметричного кабеля зависят от частоты тока. В большей степени зависит от частоты сопротивление жил. При прохождении по цепи тока высокой частоты внутри каждого проводника образуются вихревые токи, которые замыкаются в толще проводника по траекториям, похожим на эллипсы (рис. 3.1,а). Направление вихревых токов в проводнике всегда совпадает с направлением передаваемого на поверхности проводника тока. Таким образом, передаваемый ток вытесняется из центра проводника на его поверхность. Это явление называется *поверхностным эффектом*. Вследствие потерь на вихревые токи активное сопротивление проводника возрастает.

Кроме того, в близкорасположенном обратном проводнике возникают также вихревые токи, которые замыкаются в толще соседнего проводника (рис. 3.1,б). Направление вихревых токов такое же, как у вихревых токов прямого проводника, т.е. в удаленных точках со-

седнего проводника совпадает с направлением передаваемого тока и в более близких точках противоположно ему. Если по соседнему проводу передается ток противоположного направления (обратный ток), то вихревые токи совпадают по направлению с обратным передаваемым током в более близких точках соседнего проводника и противоположны направлены в удаленных точках. Таким образом, передаваемый в соседнем проводнике обратный ток фактически вытесняется на ближнюю часть цилиндрической поверхности. Это явление называется *эффектом близости (сближения)*.

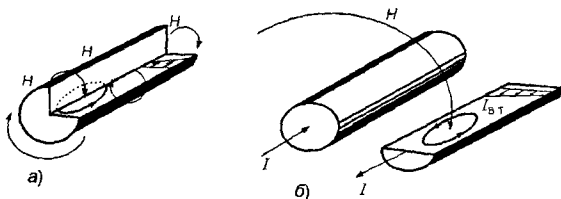


Рис. 3.1

Схема образования вихревых токов:
 а – при поверхностном эффекте;
 б – при эффекте близости
 (H – напряженность магнитного поля;
 I – рабочий ток;
 $I_{вт}$ – вихревой ток)

Вследствие потерь на вихревые токи в соседнем проводнике активное сопротивление цепи также возрастает.

С учетом всех этих потерь активное сопротивление цепи R , Ом/км, при высокой частоте определяется формулой:

$$R = R_0 \chi \left[1 + F + \frac{P G_I \left(\frac{d_0}{a} \right)^2}{1 - H \left(\frac{d_0}{a} \right)^2} \right] + \Delta R, \quad (3.10)$$

где R_0 – электрическое сопротивление цепи постоянному току; F – коэффициент, учитывающий потери в проводнике вследствие поверхностного эффекта; P – коэффициент, учитывающий потери в проводниках второй пары этой же четверки: для звездной скрутки $P = 5$, для двойной парной скрутки $P = 2$; G_I – коэффициент, учитывающий потери в проводнике вследствие эффекта близости; H – коэффициент, учитывающий потери в проводнике вследствие повторного действия эффекта близости; χ – коэффициент спиральности скрутки $\chi = 1,02$; ΔR – дополнительное сопротивление вследствие потерь на вихревые токи в соседних четверках и металлической оболочке.

Это дополнительное сопротивление определяется по приближенной формуле:

$$\Delta R = 0,085 \sqrt{\frac{f}{(n+2)}},$$

где f – частота, Гц; n – число четверок в кабеле.

Индуктивность цепи L , Г/км, при высокой частоте равна

$$L = (4 \ln \frac{2a - d_0}{d_0} + Q) \cdot 10^{-4}, \quad (3.11)$$

где Q – коэффициент, учитывающий вытеснение магнитного поля из проводника вследствие поверхностного эффекта; a – расстояние между центрами проводников, мм.

Коэффициенты F , G_I , H и Q определяются в зависимости от параметра X , который вычисляется по следующим формулам: $X = 0,0105 d_0 \sqrt{f}$ – для медных проводников;

$X = 0,081d_0\sqrt{f}$ — для алюминиевых проводников, где f — частота тока, Гц; d_0 — диаметр проводника, мм.

Значения коэффициентов F , G , H и Q в зависимости от X приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1
Значения коэффициентов
 F , G , H , Q

X	F	G	H	Q
0–0,49	0	$X^4/64$	0,0417	1,0
0,5	0,00326	0,000975	0,042	0,9998
1	0,00519	0,01519	0,053	0,997
2	0,0782	0,1724	0,169	0,961
3	0,318	0,405	0,348	0,845
4	0,678	0,584	0,466	0,686
5	1,042	0,755	0,530	0,556
10	2,799	1,641	0,643	0,282
более 10	$(\sqrt{2X-3}/4)$	$(\sqrt{2X-1}/8)$	0,750	$\sqrt{2/X}$

3.4. Первичные параметры передачи симметричных кабелей

Зависимость первичных параметров передачи от размера проводников

От диаметра проводников зависят параметры R , L и C , что видно из формул (3.1) и (3.11). Зависимость электрического сопротивления медных проводников постоянному току от диаметра представлена на рис. 3.2. Индуктивность цепи зависит от диаметра проводников d_0 и расстояния между ними α_0 .

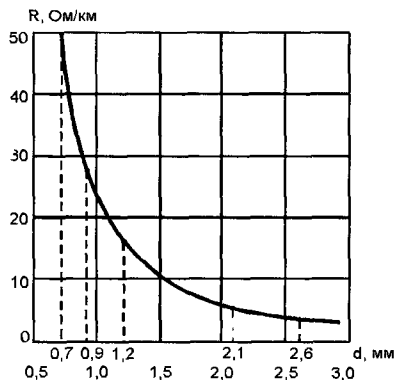


Рис. 3.2
Зависимость электрического сопротивления
медных проводников от диаметра

Рабочая емкость C , Ф/км, симметричной пары определяется по формуле:

$$C = \frac{k\epsilon_s 10^{-6}}{36 \ln \frac{\delta d_r}{d_0}}, \quad (3.12)$$

где ϵ_s — эквивалентная диэлектрическая проницаемость изоляции; k — коэффициент укрутки; d_0 — диаметр токопроводящей жилы, мм; d_r — диаметр группы жил, мм (для парной

скрутки $d_r = 1,65d_1$, а для звездной скрутки $d_r = 2,41d_1$; d_1 – диаметр изолированной жилы (мм); δ – поправочный коэффициент, равный 0,94 для парной скрутки и 0,75 для звездной скрутки.

Из формулы (3.12) видно, что рабочая емкость зависит от диаметра проводников и расстояния между ними и типа изоляции (ϵ_3). Эквивалентная диэлектрическая проницаемость изоляции ϵ_3 зависит от материала диэлектрика и типа изоляции и равна для симметричных пар:

- 1,2–1,3 – для кордельно-полистирольной изоляции;
- 1,3–1,4 – для пористо-полиэтиленовой;
- 1,8–2,0 – для сплошной полиэтиленовой;
- 1,35–1,45 – для кордельно-бумажной.

Зависимость первичных параметров передачи от материалов проводников

От материала проводников зависят параметры R и L . Материал проводников характеризуется удельным электрическим сопротивлением ρ и магнитной проницаемостью μ . Электрическое сопротивление проводника зависит от ρ , как это видно из формулы (3.1).

Величина магнитной проницаемости влияет на величину внутрипроводниковой индуктивности жил, изготовленных из магнитных материалов (стали, биметаллической сталь–медь). Как правило, проводники для кабелей связи изготавливаются в основном медные и в отдельных случаях алюминиевые, т.е. из диамагнитных материалов ($\mu = 1$).

Зависимость первичных параметров передачи от типа изоляции

От типа изоляции зависят параметры C и G . Рабочая емкость C прямо пропорциональна величине ϵ_3 , а G – тангенсу угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$ и C .

Зависимость первичных параметров передачи от частоты

От частоты тока зависят параметры R , L и G . Зависимость активного сопротивления и индуктивности L от частоты подробно рассмотрена в 3.3. Активное сопротивление цепи увеличивается с частотой примерно в $\sqrt{f}$ раз, а индуктивность цепи падает с ростом частоты и стремится к постоянной величине межпроводниковой индуктивности L_∞ , Г/км, равной

$$L_\infty = 4 \ln \frac{2a - d_0}{d_0} \cdot 10^{-4}, \quad (3.13)$$

зависящей только от диаметра проводника d_0 и расстояния между проводниками a . Проводимость изоляции увеличивается прямо пропорционально частоте тока f . Формула (3.2) представляет собой уравнение прямой при $\operatorname{tg} \delta = \text{const}$, что имеет место для симметричных кабелей в диапазоне частот до 550 кГц.

Зависимость первичных параметров передачи от температуры

Теоретически от температуры зависят все четыре первичных параметра, однако практически следует учитывать только влияние на величину активного сопротивления, так как изменение параметров L , C и G от температуры весьма незначительное (на один-два порядка ниже) и определяется температурными коэффициентами диэлектрика.

Температурная зависимость активного сопротивления определяется по формуле:

$$R_t = R_{20} [1 + \alpha_R (t - 20)], \quad (3.14)$$

где R_t – сопротивление цепи (проводника) при температуре t °C; R_{20} – сопротивление цепи (проводника) при температуре 20 °C; α_R – температурный коэффициент сопротивления, равный для медных проводников 0,004 и для алюминиевых проводников 0,0037.

Зависимость электрического сопротивления проводников от температуры представлена на графике рис. 3.3, из которого видно, что сопротивление проводников уменьшается при понижении температуры.

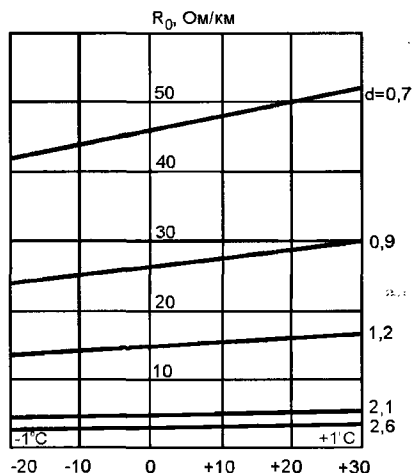


Рис. 3.3
Зависимость электрического сопротивления проводников от температуры

3.5. Вторичные параметры передачи симметричных кабелей

Вторичные параметры передачи симметричных пар Z_v , α , β , и v определяются по формулам (3.3)–(3.8). Так как вторичные параметры являются целиком функциями первичных параметров, то, следовательно, они зависят от тех же причин, что и первичные параметры, а именно от размеров и материала проводников, типа изоляции, температуры и частоты тока.

Коэффициент затухания α :

- увеличивается с уменьшением диаметра проводников;
- цепи с медными проводниками меньше, чем с алюминиевыми проводниками одного и того же диаметра;
- тем меньше, чем меньше эквивалентная величина диэлектрической проницаемости изоляции ϵ_s ; именно поэтому для современных кабелей применяется полиэтиленовая и полистирольная изоляции в виде корделя и тонких лент или пористая;
- увеличивается с частотой примерно в $\sqrt{f}$ раз;
- увеличивается с увеличением температуры.

Частотная зависимость затухания цепей существующих междугородных одночетверочных высокочастотных кабелей связи приведена в табл. 3.2.

Разница в затухании кабелей МКС и МКСА объясняется различием потерь энергии в свинцовой и алюминиевой оболочках, для которых удельное сопротивление соответственно равно 0,2 и 0,0295, т.е. потери в свинце примерно в 7 раз больше.

Таблица 3.2. Частотная зависимость затухания сетей

$f, \text{кГц}$	Значение параметров для кабелей типа									
	МКС 1×2		МКСА 1×4		ЗКПАШП 1×4 ЗКВ (п)		МКС 4×4		МКСА 4×4 МКСС 4×4	
	α , дБ/км	$ Z_B $, Ом	α , дБ/км	$ Z_B $, Ом	α , дБ/км	$ Z_B $, Ом	α , дБ/км	$ Z_B $, Ом	α , дБ/км	$ Z_B $, Ом
1	0,384	426	0,401	436	0,512	408	0,38	450	0,38	448
10	0,862	192	0,756	182	0,958	166	0,76	195	0,74	190
60	1,455	160	1,285	165	1,469	143	1,30	170	1,24	172
100	1,906	158	1,638	162	1,800	141	1,67	167	1,59	169
250	3,093	154	2,577	156	2,723	140	2,63	164	2,48	166
550	—	—	—	—	—	—	3,96	163	3,62	165

Частотная зависимость затухания цепей высокочастотных симметричных кабелей типов МКС; МКСА и МКСС емкостью $4 \times 4 \times 1,2$ приведена в той же табл. 3.2 и представлена на графике рис. 3.4.

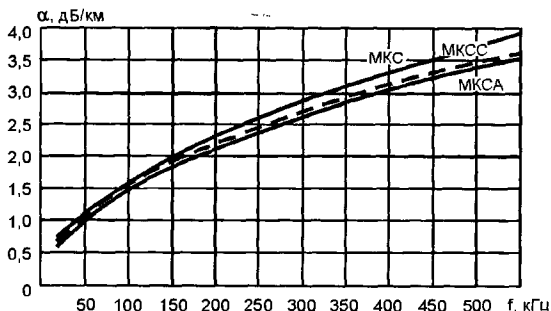


Рис. 3.4

Частотная зависимость коэффициента затухания кабелей $4 \times 4 \times 1,2$

Незначительная разница в затухании объясняется различными потерями энергии в свинцовой, алюминиевой и стальной гофрированной оболочках. Частотная зависимость коэффициента затухания НЧ кабелей типа ТЗБ показана на рис. 3.5.

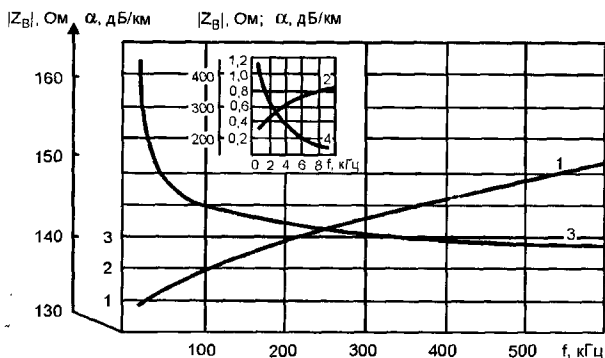


Рис. 3.5

Частотные зависимости коэффициента затухания α (кривые 1, 2) и модуля волнового сопротивления $|Z_B|$ (кривые 3, 4), кабелей ТЗБ $4 \times 4 \times 1,2$ и ТЗБ $7 \times 4 \times 1,2$

Коэффициент затухания α_t , дБ/км, зависит от температуры:

$$\alpha_t = \alpha_{20} [1 - \alpha_a (t - 20)], \tag{3.14}$$

где α_t – коэффициент затухания при температуре t °C; α_{20} – коэффициент затухания при температуре 20 °C; α_a – температурный коэффициент затухания.

Температурный коэффициент затухания α_a характеризует изменение затухания при изменении температуры на 1 °C и зависит от частоты тока. В диапазоне частот примерно до 10 кГц он возрастает, а затем уменьшается и стремится к величине $\alpha_R/2$ (α_R – температурный коэффициент сопротивления при постоянном токе). Характер зависимости α_a от частоты симметричных кабелей показан на рис. 3.6.

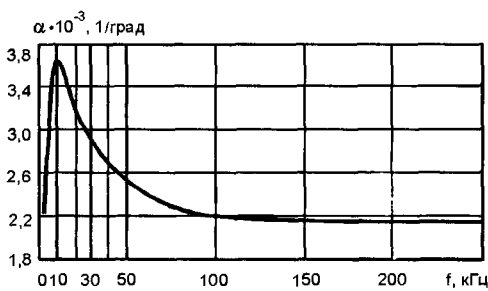


Рис. 3.6
Частотная зависимость температурного коэффициента затухания α_a кабелей типа МКСА

Волновое сопротивление цепи зависит в основном от первичных параметров L и C . Рабочая емкость цепи C для заданной конструкции пары (диаметр проводников, расстояние между ними и тип изоляции) является постоянной величиной, а индуктивность цепи L зависит от частоты.

Зависимость модуля волнового сопротивления симметричных пар от частоты приведена в табл. 3.2 и показана на графике рис. 3.7. Из этого графика видно, что, уже начиная с частоты 100 кГц, волновое сопротивление практически не зависит от частоты.

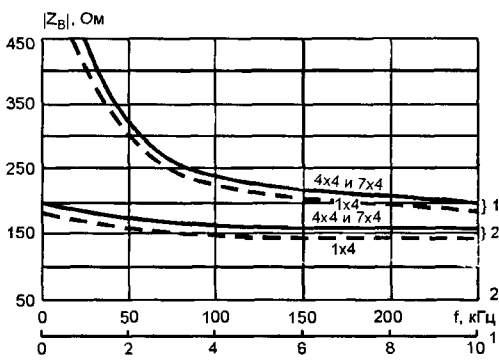


Рис. 3.7
Частотная зависимость модуля волнового сопротивления $|Z_B|$ симметричных кабелей связи

Волновое сопротивление кабелей емкостью $4 \times 4 \times 1,2$ и $7 \times 4 \times 1,2$ всех типов (МКС, МКСА и МКСС) практически одинаковое. Характер частотной зависимости волнового сопротивления одночетверочных кабелей тот же, а по величине на 10–15% меньше, чем у кабелей емкостью 4×4 и 7×4 .

Коэффициент фазы β зависит от первичных параметров L и C и прямо пропорционален частоте f .

Скорость распространения электромагнитной волны зависит от первичных параметров L , C и частоты тока. С увеличением частоты скорость увеличивается и в пределе (при бесконечно большой частоте) стремится к величине $v_{\max} = c/\sqrt{\epsilon_s}$, где $c = 300000$ км/с — скорость света; ϵ_s — эквивалентная величина диэлектрической проницаемости изоляции. При $\epsilon_s = 1,30$ (кордельно-полистирольная изоляция) $v_{\max} = 300000/\sqrt{1,30} = 262000$ км/с, а при $\epsilon_s = 2$ (сплошная полиэтиленовая изоляция) $v_{\max} = 212000$ км/с. Частотная зависимость скорости распространения электромагнитной энергии по симметричным парам представлена на графиках рис. 3.8, из которого видно, что скорость передачи по кабелям с кордельно-полистирольной изоляцией выше, чем у кабелей типов ЗКП(1В) и ЗКПАП со сплошной полиэтиленовой изоляцией, и на частотах свыше 100 кГц очень медленно увеличивается с ростом частоты.

Кривая зависимости максимального значения скорости от величины ϵ_s , представленная на графике рис. 3.9.

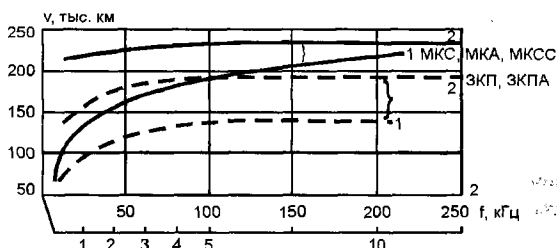


Рис. 3.8. Частотная зависимость скорости распространения электромагнитной энергии в симметричных кабелях связи

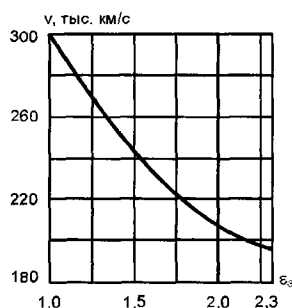


Рис. 3.9. Предельные значения скорости передачи энергии v от величины ϵ_s

3.6. Электромагнитные процессы в коаксиальных парах

При прохождении электрического тока по внутреннему проводнику в самом проводнике и вне его образуется магнитное поле, силовые линии которого замыкаются по окружности. В центре проводника напряженность магнитного поля равна нулю, а чем ближе к поверхности проводника, тем напряженность становится больше. На поверхности проводника она имеет наибольшую величину. Такая зависимость объясняется тем, что магнитная линия на поверхности проводника охватывает весь ток, протекающий по проводнику, а линия вблизи центра проводника охватывает лишь незначительную долю его. Так как напряженность поля пропорциональна току, протекающему внутри замкнутой силовой линии, то в центре проводника напряженность равна нулю, а на поверхности его — максимальной величине.

Напряженность магнитного поля определяется по закону Био-Савара: $H = I/2\pi r$, где I — ток, протекающий внутри окружности с радиусом r . Исходя из закона, следует, что на напряженность магнитного поля снаружи проводника убывает с ростом радиуса рассматриваемой окружности.

Зная указанные закономерности, можно построить диаграмму изменения напряженности магнитного поля при прохождении тока по обоим проводникам. На рис. 3.10 показано построение такой диаграммы, где H_a — напряженность поля, создаваемая током во внутреннем проводнике, H_b — напряженность поля, создаваемая током во внешнем проводнике. Ток во внешнем проводнике имеет обратное направление, следовательно, напряженность имеет отрицательный знак.

Из диаграммы видно, что магнитное поле H_Φ создаваемое обоими токами, сосредоточено, главным образом, между проводниками, а за пределами внешнего проводника оно практически отсутствует. При отсутствии магнитного поля отсутствуют потери в ближайших металлических массах (оболочке, броне).

Кроме того, переменные токи высокой частоты вследствие явления поверхностного эффекта вытесняются на поверхность внутреннего проводника, а с вытеснением тока вытесняется на поверхность проводника и магнитное поле. Во внешнем проводнике ток вытесняется на внутреннюю поверхность. Чем выше частота переменного тока, тем резче выражается эффект вытеснения токов и магнитных полей на взаимно обращенные поверхности проводников. Диаграмма распределения токов показана на рис. 3.11. Так, при частоте порядка 100 кГц ток протекает по эквивалентной толщине слоя медных проводников порядка 0,2 мм, а при частоте 100 МГц порядка 0,007 мм, т.е. 7 мк.

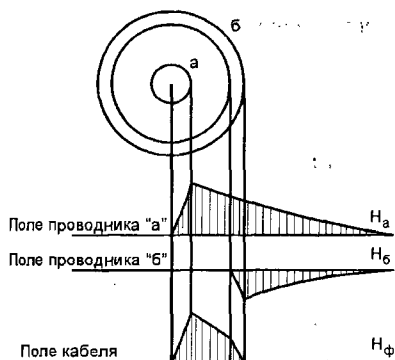


Рис. 3.10. Магнитное поле коаксиальной пары

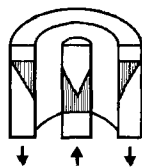


Рис. 3.11. Концентрация токов на взаимно обращенных друг к другу поверхностях проводников а и б

Эквивалентную толщину слоя, по которому протекает ток, иногда называют эквивалентной глубиной проникновения тока в толщу проводника.

Эквивалентная глубина проникновения тока в толщу медного проводника Θ , мм, определяется по формуле:

$$\Theta_M = 66,66 / \sqrt{f}, \quad (3.15)$$

где f — частота тока, Гц.

3.7. Первичные параметры передачи коаксиальных кабелей

Активное сопротивление коаксиальной пары R складывается из активного сопротивления внутреннего R_d и внешнего R_D проводников. Как указывалось в 3.6, при передаче по коак-

сиальной паре высоких частот вследствие эффекта близости ток во внутреннем проводнике смещается к внешней его поверхности, а во внешнем проводнике – к внутренней, плотность же тока в остальной части проводников становится незначительной. Вследствие этого активное сопротивление коаксиальной пары R , Ом/км, на частотах свыше 60 кГц практически не зависит от толщины внешнего проводника и определяется по формуле:

$$R = R_d + R_D = \sqrt{\mu_d \rho_d f} \frac{2}{\sqrt{10}} \frac{1}{d} + \sqrt{\mu_D \rho_D f} \frac{2}{\sqrt{10}} \frac{1}{D}, \quad (3.16)$$

где μ_d, μ_D – магнитная проницаемость поверхности соответственно внутреннего и внешнего проводников; ρ_d, ρ_D – их удельное сопротивление постоянному току, Ом·мм²/м; d – диаметр внутреннего проводника, мм; D – внутренний диаметр внешнего проводника, мм; f – частота, Гц.

Если материал проводников одинаковый, то активное сопротивление может быть определено по формуле:

$$R = A\sqrt{f}(1/d + 1/D), \text{ где } R = \sqrt{\mu\rho} 2/\sqrt{10}. \quad (3.17)$$

Для медных проводников $A_m = 0,0835$, а для алюминиевых $A_a = 0,108$.

Активное сопротивление коаксиальной пары зависит от диаметра и материала проводников, от частоты тока и температуры. Активное сопротивление прямо пропорционально корню квадратному из частоты и обратно пропорционально диаметру проводников.

Индуктивность коаксиальной пары L , Г/км, определяется суммой наружной межпроводниковой индуктивности L_n и внутренних индуктивностей обоих проводников L_d и L_D .

$$L = L_n + L_d + L_D = \left[2\ln \frac{D}{d} + \frac{B}{\sqrt{f}} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D} \right) \right] \cdot 10^{-4}. \quad (3.18)$$

Для медных проводников $B_m = 133,3$, а для алюминиевых $B_a = 102,5$.

Для области высоких частот (практически с 1 МГц) можно пользоваться упрощенной формулой:

$$L = L_n = 2\ln D/d \cdot 10^{-4}. \quad (3.19)$$

Емкость коаксиальной пары C , Ф/км, определяется по формуле:

$$C = \frac{\epsilon_s}{18\ln D/d} \cdot 10^{-6}. \quad (3.20)$$

Значения ϵ_s и C для существующих коаксиальных пар приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3. Значения ϵ_s и C для существующих коаксиальных пар

Тип коаксиальной пары	Тип изоляции	ϵ_s	C , иФ/км
1,2/4,6	Баллонная	1,22	51
2,6/9,4	Шайбовая	1,13	47
2,1/9,7	Пористо-полиэтиленовая	1,50	54

Как видно из формулы (3.20), емкость коаксиальной пары зависит только от размеров проводников (точнее, от отношения диаметров внешнего и внутреннего проводников) и от типа изоляции (ϵ_s).

Зависимость емкости от величин D/d и ϵ_s приведена на рис. 3.12.

Проводимость изоляции коаксиальной пары G определяется по формуле:

$$G = \omega C \operatorname{tg} \delta.$$

Типовая зависимость первичных параметров от частоты тока для симметричных и коаксиальных пар приведена на рис. 3.13, на котором числовые значения даны для коаксиальной пары типа 2,6/9,4 мм.

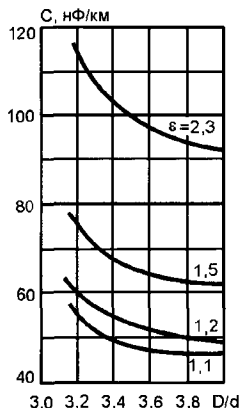


Рис. 3.12. Зависимость емкости коаксиальных пар от отношения D/d и ε_s

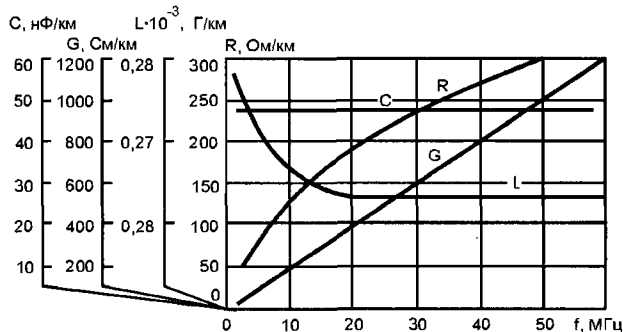


Рис. 3.13. Частотная зависимость первичных параметров передачи коаксиальной пары типа 2,6/9,4 мм

3.8. Вторичные параметры передачи коаксиальных кабелей

Коэффициент затухания характеризует потери энергии в металле и диэлектрике, т.е.

$$\alpha = \alpha_M + \alpha_d = R/2Z_B + GZ_B/2. \quad (3.21)$$

Затухание, характеризующее потери в металле (тепловые потери), определяется по формуле:

$$\alpha_M = \frac{R}{2Z_B} = \frac{1}{2} k \sqrt{f} \frac{\left(\frac{1}{d} + \frac{1}{D}\right)}{\ln \frac{D}{d} \cdot \frac{60}{\sqrt{\varepsilon_s}}} = A \sqrt{f}, \quad (3.22)$$

где k_M для медных проводников равно 0,0835, а для алюминиевых $k_a = 0,108$; f — частота, Гц.

Затухание, характеризующее потери в диэлектрике (диэлектрические потери), определяется по формуле:

$$\alpha_d = RZ_B/2 = 1/\omega C \operatorname{tg} \delta \cdot 60/\sqrt{\varepsilon_s} \ln D/d = Bf. \quad (3.23)$$

Следовательно, в общем виде коэффициент затухания α , дБ/км, с достаточной для практики точностью, определяется по упрощенной формуле:

$$\alpha = A \sqrt{f} + Bf, \text{ где } f \text{ — частота, МГц.} \quad (3.24)$$

Из этой формулы видно, что затухание, характеризующее потери в металле, прямо пропорционально корню квадратному из частоты, а потери в диэлектрике – частоте. Значения A и B для существующих стандартных пар приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4. Значения A и B

Коаксиальная пара	A	B
2,6/9,4	2,43	0,008
1,2/4,6	5,26	0,017
2,1/9,7	2,89	0,033

Как видно из формул (3.22) и (3.23), коэффициент затухания зависит от:

- размеров внутреннего d и внешнего D проводников коаксиальной пары;
- материала проводников;
- диэлектрической проницаемости изоляции ϵ_2 ;
- тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg}\delta$;
- рабочей емкости коаксиальной пары C ;
- частоты тока f .

Кроме того, коэффициент затухания зависит от температуры:

$$\alpha_t = \alpha_{20} [1 + \alpha_a (t - 20)], \quad (3.25)$$

где α_t – затухание при t °C, дБ/км; α_{20} – затухание при 20 °C, дБ/км; α_a – температурный коэффициент затухания.

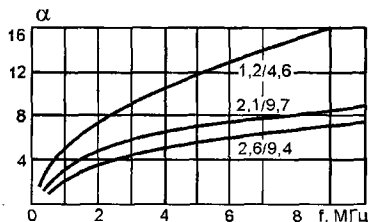
Значения коэффициентов затухания существующих типов коаксиальных пар при температуре +20 °C приведены в табл. 3.5 и представлены на рис. 3.14. Из таблицы и графика видно, что затухание увеличивается с частотой примерно в $\sqrt{f}$ раз и отношения коэффициентов затухания коаксиальных пар примерно обратно пропорциональны диаметрам внутренних проводников. Так, например, на частоте 10 МГц $16,87/7,856 \approx 2,6/1,2 = 2,17$.

Таблица 3.5. Значения коэффициентов затухания коаксиальных пар

f , МГц	Значения параметров для коаксиальной пары типа											
	2,6/9,4				1,2/4,6				2,1/9,7			
	α , дБ/км	Z_B , Ом	β , рад/км	V , тыс. км/с	α , дБ/км	Z_B , Ом	β , рад/км	V , тыс. км/с	α , дБ/км	Z_B , Ом	β , рад/км	V , тыс. км/с
0,06	0,596	77,5	1,38	273	1,589	80,0	1,50	250	0,762	77,8	1,64	231
0,30	1,353	75,7	6,85	276	2,974	76,7	7,17	264	1,607	75,8	8,96	231
0,50	1,755	75,4	11,36	277	3,755	75,9	11,83	266	2,058	75,3	13,19	231
1	2,477	75,0	22,6	278	5,342	75,0	23,4	269	2,953	75	26,2	240
2	3,499	74,7	45,0	279	7,545	74,0	46,8	270	4,09	74	52,4	240
5	5,538	74,5	112,24	280	11,908	73,4	115	274	6,48	73,5	131,0	240
10	7,856	74,3	224,13	280	16,870	73,2	329	275	9,15	73,3	262,0	238
15	9,652	74,3	336	280								
20	11,169	74,2	448	280								
25	12,521	74,2	560	280								
30	13,57	74,2	672	280								
40	15,71	74,1	896	280								
60	19,32	74,1	1344	280								

Рис. 3.14

Частотная зависимость коэффициента затухания существующих типов коаксиальных пар при +20 °С



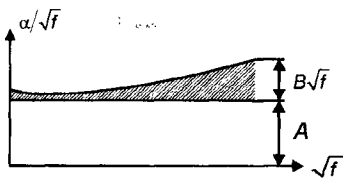
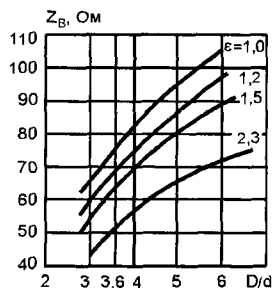
В табл. 3.5 значения α для коаксиальных пар 2,6/9,4 и 1,2/4,6 мм даны для медных проводников. Если внутренний проводник медный, а внешний алюминиевый, то данные таблицы должны быть увеличены на 6%, а для случая двух алюминиевых проводников — на 29%.

Для обеспечения высокого качества каналов аппаратуры уплотнения коаксиальных кабелей к характеристике затухания предъявляются высокие требования, а именно:

- высокая стабильность типовой кривой частотной зависимости затухания во времени и независимо от завода-изготовителя;
- отклонения от номинальных значений коэффициента затухания не должны превышать максимум $\pm 2\%$ во всем диапазоне частот.

С целью более точной оценки результатов измерения затухания коаксиальных пар принят новый графический метод построения кривой функции $\alpha/\sqrt{f}$, где f — частота, МГц (рис. 3.15). На этом графике наглядно видна заштрихованная часть общего затухания, обусловленная диэлектрическими потерями. Наклон кривой $\alpha/\sqrt{f}$ характеризуется величиной $\text{tg} \delta$ диэлектрика.

Волновое сопротивление коаксиальной пары Z_B определяется по формуле (3.4). Как видно из этой формулы, оно зависит от отношения диаметров проводов коаксиальной пары (d и D) и эквивалентной величины диэлектрической проницаемости изоляции $\sqrt{\epsilon_s}$. Такая зависимость представлена на графике рис. 3.16.

Рис. 3.15. Зависимость $\alpha/\sqrt{f}$ от частотыРис. 3.16. Зависимость волнового сопротивления $|Z_B|$ коаксиальной пары от ϵ и D/d

Средние значения волнового сопротивления можно с достаточной для практических целей точностью определять по следующей эмпирической формуле:

$$Z_B = Z_w + A_z / \sqrt{f}, \quad (3.26)$$

где $Z_B = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_s}} \ln \frac{D}{d}$ – волновое сопротивление при бесконечно большой частоте;

$$A_z = \frac{2(1/D - 1/d)}{\sqrt{\epsilon_s}} = \frac{\alpha_1}{54,5C}; \quad \alpha_1 - \text{коэффициент затухания на частоте 1 МГц, дБ/км; } C - \text{ра-}$$

бочая емкость коаксиальной пары, мФ/км; f – частота, МГц.

Для существующих типов коаксиальных пар ф-ла (3.26) примет вид:

– для коаксиальной пары 2,6/9,4 мм $Z_B = 74,05 + 0,95/\sqrt{f}$;

– для коаксиальной пары 1,2/4,6 мм $Z_B = 73,1 + 1,9/\sqrt{f}$;

– для коаксиальной пары 2,1/9,7 мм $Z_B = 73 + 2,0/\sqrt{f}$.

Значения Z_B для существующих коаксиальных пар приведены в табл. 3.5.

Волновое сопротивление является одним из важных параметров коаксиальной пары, и чем оно однороднее во всем диапазоне передаваемых частот, тем выше качество телефонной связи и особенно телевизионных передач. Однородность (или неоднородность) волнового сопротивления зависит от отклонения диаметров проводников (Δd и ΔD) и от отклонения диэлектрической проницаемости изоляции от среднего значения ($\Delta \epsilon_s$).

В технических условиях на коаксиальные пары нормируются:

- среднее значение волнового сопротивления Z_B ;
- максимальные отклонения от среднего значения $\pm Z_B$;
- разность концевых значений волнового сопротивления $Z_A - Z_B$;
- внутренние неоднородности, или коэффициент отражения в любой точке коаксиальной пары.

Конструкции коаксиальных пар выбираются такими, чтобы среднее значение волнового сопротивления было равно 75 Ом при частоте 1 или 2,5 МГц, как это рекомендовано МККТТ. Допустимые отклонения от средних значений зависят от систем передачи и диапазона передаваемых частот. Так, для коаксиальной пары 2,6/9,4 мм (система К-3600 до 17 МГц) допускается $\pm 0,65$ Ом, для коаксиальной пары 1,2/4,6 мм (система К-300 до 1,5 МГц) – не более $\pm 1,5$ Ом, а для коаксиальной пары 2,1/9,7 мм (система К-120 до 1,5 МГц) – не более ± 3 Ом.

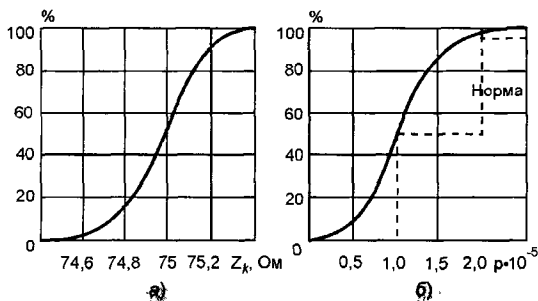
Волновое сопротивление коаксиальных пар измеряется не мостовыми методами, а импульсным с помощью импульсного прибора типа УИП-КС, нагрузочные контуры которого воспроизводят частотную характеристику волнового сопротивления. С помощью этого прибора с длительностью импульсов, имеющих форму $\sin^2 \alpha$, 60 и 120 нс, определяются концевые значения волнового сопротивления каждой коаксиальной пары с двух ее концов (Z_A и Z_B).

Качество коаксиальной пары характеризуется также внутренними неоднородностями, которые не должны превышать $3 \cdot 10^{-3}$ для коаксиальных пар 2,6/9,4 мм, $4 \cdot 10^{-3}$ для пар 1,2/4,6 мм и $8 \cdot 10^{-3}$ для пар 2,1/9,7 мм.

Для оценки качества коаксиальных кабелей по характеристикам волнового сопротивления составляются графики распределения концевых значений Z_k , разности концевых значений ΔZ_k и внутренних неоднородностей p . Кривые распределения этих величин составляются на основании статистической обработки результатов измерения не менее 50–100 строительных длин кабелей. В качестве примера на рис. 3.17 показаны графики распределения Z_k и p коаксиальных пар 2,6/9,4 мм.

Рис. 3.17

Процентное распределение:
 а — концевых значений волнового сопротивления;
 б — внутренних неоднородностей
 коаксиальной пары типа 2,6/9,4



Примеры импульсных характеристик для оценки величин внутренних неоднородностей по длине кабеля представлены на рис. 3.18, где также показаны градуировочные кривые, учитывающие степень затухания импульса по длине кабеля.

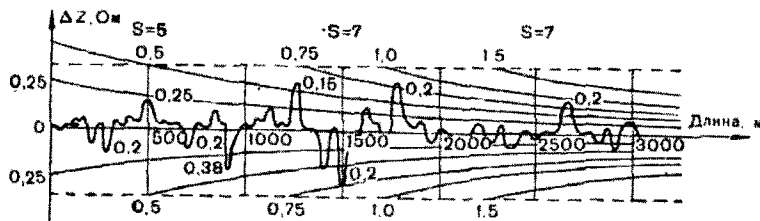


Рис. 3.18. Импульсная характеристика внутренних неоднородностей волнового сопротивления коаксиальной пары типа 2,6/9,4

Коэффициент фазы β , рад/км, характеризует изменение фаз векторов напряжения и токов при распространении электромагнитной волны вдоль линии. Для высоких частот

$$\beta = \omega \sqrt{LC} = \frac{\omega}{3} \sqrt{\epsilon_r} \cdot 10^{-5}. \quad (3.27)$$

Следовательно, формула (3.27) представляет собой уравнение прямой линии.

Коэффициент фазы характеризует фазовую скорость или скорость распространения электромагнитной волны V , км/с, в коаксиальной паре:

$$V = \omega / \beta = 1 / \sqrt{LC}. \quad (3.28)$$

На высоких частотах, при которых индуктивность не зависит от частоты, скорость распространения V постоянна и равна $300000 / \sqrt{\epsilon_r}$ км/с.

Итак, β и V зависят от среды, по которой распространяется электромагнитная энергия, т.е. от типа изоляции (ϵ_r). Скорость распространения электромагнитных волн по коаксиальным кабелям весьма близка к скорости света и достигает максимальных значений 280...285 тыс. км/с. Значения β и V коаксиальных пар существующего типа приведены в табл. 3.5.

3.9. Неоднородности в цепях связи

Одной из важных электрических характеристик цепей связи, определяющих качество телефонной связи и особенно телевизионных передач, является величина неоднородности

волнового сопротивления строительных длин или входного сопротивления на смонтированных усилительных участках. Эти неоднородности появляются в процессе изготовления кабелей вследствие возможной деформации в виде эксцентриситета в расположении проводников, нарушения размеров, формы и взаимного расположения проводников, а также вследствие неоднородности изоляции по длине цепи. Особо важное значение имеют неоднородности волнового сопротивления коаксиальных пар, которые используются в очень широком диапазоне частот – до 60 МГц и более.

Различают неоднородности *внутренние* – в пределах строительной длины кабеля – и *стыковые*, обусловленные различием характеристик волнового сопротивления сопрягаемых длин.

Неоднородности цепи учитываются через коэффициент отражения

$$\rho = \frac{Z'_B - Z''_B}{Z'_B + Z''_B} \approx \frac{\Delta Z_B}{2Z_B}, \quad (3.29)$$

где Z'_B и Z''_B – волновые сопротивления соседних неоднородных участков кабеля; Z_B – номинальное значение волнового сопротивления цепи. Соответственно величина отклонения волнового сопротивления определяется как $\Delta Z_B = 2\rho Z_B$.

Реальный кабель можно рассматривать как неоднородную цепь, составленную из отдельных однородных участков. Электромагнитная волна, распространяясь по такому кабелю и встречая на своем пути неоднородность, частично отражается от нее и возвращается к началу линии. При наличии нескольких неоднородных участков волна претерпевает серию частичных отражений.

Неоднородности в кабеле приводят к появлению двух дополнительных потоков энергии в цепи: *встречного (обратного) потока*, состоящего из суммы элементарных отраженных волн в местах неоднородностей и движущегося к началу цепи (рис. 3.19), и *попутного потока энергии*, возникающего из-за двойных отражений и движущегося к концу цепи вместе с основной энергией, передаваемой по кабелю, отставая по фазе. Попутный поток, распространяясь вместе с основным, искажает форму передаваемого сигнала и создаст помехи. Особенно неблагоприятно он сказывается на качестве телевизионной передачи, для которой фазовое соотношение передаваемых и принимаемых сигналов является решающим фактором. Для нормальной передачи телевизионных сигналов величина попутного потока должна составлять не более 1% от основного.

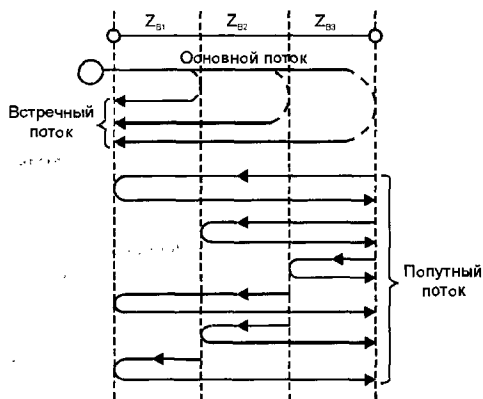


Рис. 3.19
Схемы возникновения встречного и попутного потоков

Попутный поток за счет внутренних неоднородностей прямо пропорционален длине кабельной линии, а за счет стыковых неоднородностей – числу строительных длин кабеля. Следовательно, попутный поток особенно проявляется на длинных кабельных линиях при уплотнении их системами с частотным распределением каналов (аналоговые системы).

Для цифровых систем передачи попутный поток имеет место только на длине регенерационного участка.

Величина входного сопротивления кабеля Z_{BX} колеблется за счет встречного потока, и характеристика его имеет волнообразный характер. Это затрудняет согласование кабеля с аппаратурой на концах линии и приводит к искажениям в цепи передачи.

Входное сопротивление линии, выраженное через величину эквивалентного коэффициента отражения, отнесенного к началу линии, т.е. через P , можно представить в виде

$$Z_{BX} = Z_B (1 + P) / (1 - P) \approx Z_{BX} (1 + 2P). \quad (3.30)$$

Для обеспечения высококачественной телефонной передачи необходимо отсутствие амплитудных искажений в цепи и, в первую очередь, постоянства Z_{BX} . Для этого техническими условиями на коаксиальные кабели нормируются внутренние неоднородности волнового сопротивления, а на высокочастотные симметричные кабели – величина максимального отклонения рабочей емкости цепи ΔC (не более 3%).

Для коаксиальных кабелей с парами 2,6/9,4 мм внутренние неоднородности не должны превышать $\pm 0,45$ Ом, что соответствует коэффициенту отражения $p = \Delta Z_B / 2Z_B = 0,45/2,75 = 0,003$, или 3%. Внутренние неоднородности зависят в основном от качества материалов, полуфабрикатов и производства кабелей связи.

С целью уменьшения влияния стыковых неоднородностей строительные длины *группируются*, т.е. устанавливается последовательность их прокладки на длине усилительного участка в соответствии со значениями волновых сопротивлений, указываемых в заводских паспортах кабельных барабанов для коаксиальных кабелей, со значениями рабочих емкостей – для ВЧ симметричных кабелей. Группирование строительных длин коаксиальных кабелей осуществляется таким образом, чтобы в месте стыка разность волновых сопротивлений максимально приближалась к внутренним неоднородностям. Строительные длины коаксиальных кабелей разделяются на пять групп в зависимости от средних значений волновых сопротивлений (табл. 3.6). Рядом расположенные строительные длины кабелей должны иметь одинаковые или смежные группы. На основании проведенного группирования составляется укладочная ведомость, фиксирующая последовательность прокладки строительных длин кабелей на каждом усилительном участке.

Таблица 3.6. Строительные длины групп коаксиальных кабелей

Группа кабеля	Значения Z_B строительной длины для коаксиальной пары			
	2,6/9,4		1,2/4,6	
	не менее	не более	не менее	не более
I	74,35	74,65	73,5	74,1
II	74,66	74,90	74,11	74,7
III	74,91	75,15	74,71	75,3
IV	75,16	75,40	75,31	75,9
V	75,41	75,65	75,91	76,5

Для снижения стыковых неоднородностей высокочастотных симметричных кабелей, как указывалось выше, производится группирование строительных длин по средней вели-

чине рабочих емкостей в строительных длинах. В ГОСТ 15125-76 на ВЧ симметричные кабели связи предусматривается восемь групп кабелей по средним величинам рабочих емкостей в пределах $25 \pm 0,8$ нФ/км, т.е. через каждые 0,2 нФ/км. Таким образом, при прокладке строительные длины кабеля должны укладываться в такой последовательности, чтобы средние рабочие емкости (определяются из паспортов на строительные длины как среднеарифметическое для всех цепей) смежных строительных длин отличались не более 0,2 нФ/км.

Неоднородности волнового сопротивления коаксиальных пар измеряются с помощью импульсов, посылаемых в коаксиальную пару. В соответствии с рекомендацией МККТТ в качестве зондирующего импульса принят импульс, форма которого приближается к функции квадрата синуса и длительность которого на половине высоты его амплитуды (ширина импульса) равна 60 и 120 нс для измерения строительных длин и 120, 400 нс для измерения кабеля на усилительном участке.

Неоднородность волнового сопротивления измеряют с обоих концов строительной длины и усилительного участка. Используемые у нас в стране импульсные приборы типа УИП-5 и УИП-КС позволяют с достаточной точностью оценивать неоднородности на строительных длинах и на смонтированных усилительных участках.

3.10. Причины и параметры взаимного влияния между симметричными цепями

Качество передачи сигналов связи по цепям кабельных линий во многом зависит от величины помех в этих цепях.

Помехами называют посторонние токи и напряжения в цепи, частотный спектр которых совпадает со спектром передаваемых по цепи полезных сигналов. Помехи, возникающие в результате электромагнитного влияния параллельных цепей, называют *линейными*. В случае передачи по параллельным цепям телефонного разговора линейные помехи называют *переходным разговором*.

Если в цепи, подверженной влиянию, прослушивается и может быть понят смысл разговора, передаваемого по влияющей цепи, то такой переходный разговор называют *внятным*. Если прослушиваемые в цепи, подверженной влиянию, звуки носят характер речи, но смысл ее распознать нельзя, то такой род влияния называют *невнятным переходным разговором* и его относят к шумам, которые могут возникать в цепи и в результате воздействия других причин, например переходов из других каналов данной системы передачи вследствие нелинейных элементов в цепи. К шумам относят также токи и напряжения, обусловленные влиянием внешних электромагнитных полей от линии сильного тока, радиостанций, источников электропитания, тепловыми явлениями в лампах, сопротивлениях и т.д.

Наличие шума в каналах при телефонном разговоре понижает разборчивость речи, а при передаче других видов сигналов приводит к искажению передаваемых по каналу сигналов или вообще делает невозможным передачу сигналов с необходимой верностью.

При телефонном разговоре по каналу связи особенно недопустимо появление внятного переходного разговора, так как он отвлекает внимание и нарушает секретность телефонной передачи.

Следует отметить, что ухо человека особенно чувствительно к внятному переходному разговору, поэтому допустимую величину влияния от параллельных цепей в кабеле устанавливают исходя из допустимой величины уровня внятного переходного разговора.

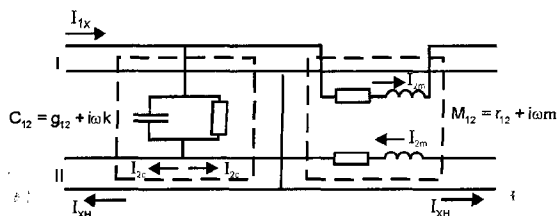


Рис. 3.21

Эквивалентная схема влияния между цепями на единице длины линии

На каждом таком элементарном участке длины линии в цепи II создаются токи, обусловленные электрической связью C_{12} и магнитной связью M_{12} . При этом ток I_{2XN} , направляющийся к началу линии с этого элементарного участка, равен сумме токов от электрического (I_{2C}) и магнитного (I_{2M}) влияния:

$$I_{2XN} = I_{2C} + I_{2M}, \quad (3.34)$$

а ток, направляющийся к концу линии I_{2XK} , равен разности этих токов:

$$I_{2XK} = I_{2C} - I_{2M}. \quad (3.35)$$

Общая величина тока помех в начале и конце цепи, подверженной влиянию, определяется суммой токов, пришедших со всех элементарных участков соответственно к началу и концу этой цепи. При суммировании токов учитывают изменение величины влияющего тока при распространении его от начала цепи до каждого элементарного участка, величину электрической и магнитной связи на каждом элементарном участке, а также изменение тока в цепи, подверженной влиянию на пути от элементарного участка при распространении его по этой цепи к ее началу и концу. Изменение токов в цепях, влияющих и подверженных влиянию, зависит от коэффициентов передачи этих цепей ($\gamma = \alpha + i\beta$), т.е. от коэффициентов затухания α и коэффициентов фазы β этих цепей, и длины пути токов. Схематически пути перехода токов на всей длине параллельного пробега цепей изображены на рис. 3.22.

Параметры взаимного влияния характеризуют степень ослабления токов влияния, переходящих с одной цепи на другую вследствие электромагнитной связи между ними.

В общем виде помехозащищенность цепей от взаимных влияний оценивается отношением мощности полезного сигнала P_1 , передаваемого во влияющей цепи I, к мощности мешающего сигнала (помехи) P_2 , перешедшего в цепь 2, подверженную влиянию (рис. 3.23).

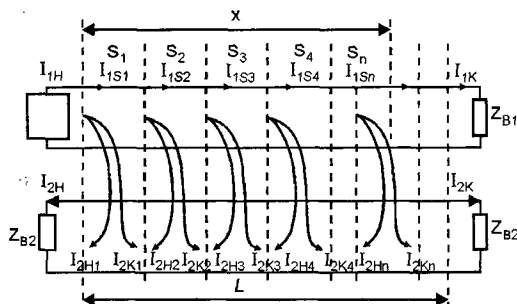


Рис. 3.22. Схема влияния между цепями на отдельных элементарных участках линии

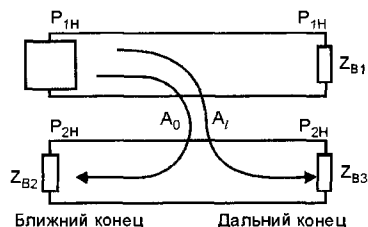


Рис. 3.23. К пояснению понятий переходных затуханий между цепями

Различают два понятия помехозащищенности – переходное затухание (A) и защищенность A_z . Первое определяется отношением мощности сигнала в начале влияющей цепи к мощности помехи в любой точке цепи, подверженной влиянию (P_{10} / P_{2k}), а второе – отношением мощности сигнала во влияющей цепи к мощности помехи в цепи, подверженной влиянию в любой точке, общей для обеих цепей (P_{1x} / P_{2x}).

На практике с целью унификации нормируется три параметра взаимного влияния, переходное затухание на ближнем и дальнем конце и защищенность на дальнем конце.

Влияние между цепями принято выражать величиной переходного затухания в децибелах (дБ). Величина переходного затухания на ближнем конце A_0 , дБ, (рис. 3.23) равна 10 десятичным логарифмам модуля отношения мощности передаваемого сигнала в начале влияющей цепи $P_{1н}$ к мощности помехи $P_{2н}$ в начале цепи, подверженной влиянию.

Величина переходного затухания на дальнем конце A_l , дБ, равна 10 десятичным логарифмам модуля отношения мощности сигнала в начале влияющей цепи $P_{1н}$ к мощности помехи $P_{2к}$ на дальнем конце цепи, подверженной влиянию.

Если входные сопротивления генератора и приемников равны величинам волновых сопротивлений цепей, в которые они включены, то математические выражения величин A_0 и A_l могут быть представлены в следующем виде:

$$\begin{aligned} A_0 &= 10 \lg \left| \frac{P_{1н}}{P_{2н}} \right| = 10 \lg \left| \frac{U_{1H} I_{1H}}{U_{2H} I_{2H}} \right| = 10 \lg \left| \frac{I_{1H}^2 Z_{B1}}{I_{2H}^2 Z_{B2}} \right| = 10 \lg \left| \frac{U_{1H}^2 Z_{B2}}{U_{2H}^2 Z_{B1}} \right| = \\ &= 20 \lg \left| \frac{I_{1H}}{I_{2H}} \right| + 10 \lg \left| \frac{Z_{B1}}{Z_{B2}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{1H}}{U_{2H}} \right| + 10 \lg \left| \frac{Z_{B2}}{Z_{B1}} \right|; \end{aligned} \quad (3.36)$$

$$\begin{aligned} A_l &= 10 \lg \left| \frac{P_{1н}}{P_{2к}} \right| = 10 \lg \left| \frac{U_{1H} I_{1H}}{U_{2к} I_{2к}} \right| = 10 \lg \left| \frac{I_{1H}^2 Z_{B1}}{I_{2к}^2 Z_{B2}} \right| = 10 \lg \left| \frac{U_{1H}^2 Z_{B2}}{U_{2к}^2 Z_{B1}} \right| = \\ &= 20 \lg \left| \frac{I_{1H}}{I_{2к}} \right| + 10 \lg \left| \frac{Z_{B1}}{Z_{B2}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{1H}}{U_{2к}} \right| + 10 \lg \left| \frac{Z_{B2}}{Z_{B1}} \right|. \end{aligned} \quad (3.37)$$

Если цепи, между которыми рассматривается влияние, одинаковы, т.е. $Z_{B1} = Z_{B2}$, то

$$A_0 = 10 \lg \left| \frac{P_{1н}}{P_{2н}} \right| = 20 \lg \left| \frac{I_{1H}}{I_{2H}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{1H}}{U_{2H}} \right|, \quad A_l = 10 \lg \left| \frac{P_{1н}}{P_{2к}} \right| = 20 \lg \left| \frac{I_{1H}}{I_{2к}} \right| = 20 \lg \left| \frac{U_{1H}}{U_{2к}} \right|.$$

Защищенность между цепями на дальнем конце определяется выражением

$$A_{zl} = 10 \lg \frac{P_{1к}}{P_{2к}}.$$

Различие между переходным затуханием и защищенностью на дальнем конце заключается в том, что в первом параметре фигурирует мощность передаваемого сигнала в начале, и во втором – в конце влияющей цепи.

Оба параметра связаны между собой следующим соотношением: $A_{zl} = A_l - \sigma$, где σ – коэффициент затухания влияющей цепи l , дБ/км, l – длина линии (км).

Все параметры определены для синусоидальных сигналов.

Формулы (3.36) и (3.37) дают возможность определить величины переходного затухания между цепями, если известны величины мощностей, напряжений и токов в начале влияющей цепи и соответственно в начале и конце цепи, подверженной влиянию. На линии или в отдельных строительных длинах указанные величины могут быть измерены.

Допустимая протяженность параллельного пробега цепей и качество связи при параллельных цепях в основном зависят от величины взаимного влияния между цепями. Уменьшение его до допустимых пределов является одной из основных задач в технике линейных сооружений связи.

Взаимные влияния между цепями обуславливаются наличием электрического и магнитного полей вокруг проводов цепи при передаче по ней электромагнитной энергии.

В технике связи применяют двухпроводные цепи. Схема влияния между двухпроводными цепями может быть понятна при рассмотрении рис. 3.20, на котором представлен поперечный разрез проводов двух параллельных цепей. Провода влияющей цепи обозначены цифрами 1 и 2, а провода цепи, подверженной влиянию, – 3 и 4. Сплошными линиями обозначены силовые линии магнитного поля, а пунктирными – линии электрического поля. Напряженность электрического и магнитного полей в точках расположения проводов 3 и 4 неодинакова. Следовательно, в этих проводах возникнут разные по величине электрические заряды и электродвижущие силы.

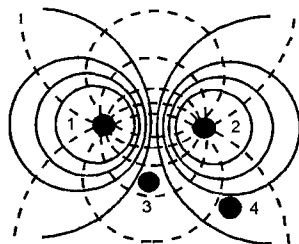


Рис. 3.20
Схема электромагнитного влияния

Если по концам цепи провода 3 и 4 подключены к приемнику (замкнуты между собой на его входное сопротивление), то в проводах цепи возникают уравнивающие токи, которые воспринимаются приемником как помехи на концах цепи, подверженной влиянию.

Влияние, обусловленное действием магнитного поля, называют *магнитным влиянием*, а величину, характеризующую магнитное влияние, – *магнитной связью* между цепями.

Величина магнитной связи M_{12} , Ом, определяется отношением наведенной ЭДС E_2 в цепи, подверженной влиянию, к току I_1 влияющей цепи с обратным знаком, т.е.

$$M_{12} = -E_2 / I_1. \quad (3.31)$$

Влияние, обусловленное действием электрического поля, называют *электрическим влиянием*, а величину, характеризующую это влияние, – *электрической связью*. Величина электрической связи C_{12} , Ом, определяется отношением наведенного тока I_2 в цепи, подверженной влиянию, к напряжению U_1 во влияющей цепи, т.е.

$$C_{12} = -I_2 / U_1. \quad (3.32)$$

В общем виде M_{12} и C_{12} являются комплексными величинами, состоящими из действительной и мнимой частей:

$$\left. \begin{aligned} M_{12} &= r_{12} + i\omega \cdot m \\ C_{12} &= g_{12} + i\omega \cdot k \end{aligned} \right\} \quad (3.33)$$

Здесь r_{12} – активная составляющая магнитной связи; m – взаимная индуктивность или индуктивная связь; g_{12} – активная составляющая электрической связи; k – емкостная связь.

Эквивалентная схема влияния цепи I (влияющей) на цепь II (подверженную влиянию) на единице длины линии s на расстоянии x от начала линии может быть представлена схемой рис. 3.21.

Однако существенный интерес представляет определение величин переходного затухания между цепями расчетным путем через параметры влияния, т.е. через параметры электрических и магнитных связей между цепями. Расчетные формулы влияния дают возможность установить взаимозависимости между параметрами влияния и конструктивными параметрами кабеля. Наличие таких зависимостей позволяет при создании кабелей по требуемым величинам переходного затухания между цепями установить требования к величинам электромагнитных связей. В свою очередь, уже исходя из допустимых величин электромагнитных связей, устанавливают требования к величинам отдельных коэффициентов связи в строительных длинах и требования к допускам на конструктивные отклонения отдельных элементов кабелей (диаметров жил, толщины слоя изоляции и др.), а также требования к материалам (однородность изоляции, допуски на отклонения величин диэлектрических потерь в изоляции и проводимости материала жил).

3.11. Электромагнитные связи между цепями в симметричных кабелях

В теории электромагнитное влияние между цепями принято рассматривать отдельно по его составляющим, а именно влияние, обусловленное емкостными связями, и влияние, обусловленное магнитными связями. Общее же результирующее влияние на ближний и дальний концы определяют путем сложения токов от емкостных и магнитных связей соответственно в нагрузках на ближнем и дальнем концах цепи, подверженной влиянию.

Электрические связи обычно измеряют в единицах проводимости (Сименсах), а магнитные – в единицах сопротивления (Омах). При определении совместного действия связей или при установлении соотношения между ними необходимо оба вида связей выражать в одинаковых единицах.

Так как при нагрузке цепей на волновые сопротивления $U_1 = I_1 Z_{B1}$ и $I_2 = U_2 / Z_{B2}$, то электрическая связь, определяемая (3.32) и (3.33), но в единицах сопротивления (Ом), равна

$$C_{12} = (g_{12} + i\omega k) Z_{B1} Z_{B2}, \quad (3.38)$$

а магнитная связь в единицах проводимости (См) определяется выражением

$$M_{12} = (r_{12} + i\omega m) Z_{B1} Z_{B2}. \quad (3.39)$$

Электрическая и магнитная связи могут быть выражены и в безразмерных величинах, а именно

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{12} = (g_{12} + i\omega k) \sqrt{Z_{B1} Z_{B2}} \\ M_{12} = (r_{12} + i\omega m) \frac{1}{\sqrt{Z_{B1} Z_{B2}}} \end{array} \right\}. \quad (3.40)$$

Общая электромагнитная связь между цепями на ближнем конце характеризуется коэффициентом электромагнитной связи на ближнем конце N_{12} и определяется суммой электрической и магнитной связей.

Электромагнитная связь между цепями на дальнем конце характеризуется коэффициентом электромагнитной связи на дальнем конце F_{12} и определяется разностью электрической и магнитной связей.

Коэффициенты N_{12} и F_{12} См, могут, например, быть определены по формулам:

$$N_{12} = C_{12} + \frac{M_{12}}{Z_{B1}Z_{B2}} = \left[(g_{12} + i\omega k) + \frac{r_{12} + i\omega m}{Z_{B1}Z_{B2}} \right], \quad (3.41)$$

$$F_{12} = C_{12} - \frac{M_{12}}{Z_{B1}Z_{B2}} = \left[(g_{12} + i\omega k) - \frac{r_{12} + i\omega m}{Z_{B1}Z_{B2}} \right]. \quad (3.42)$$

Для цепей воздушных линий связи расстояние между проводами велико по сравнению с размерами самих проводов, а диэлектрические потери в изоляции ничтожно малы, поэтому величинами активных составляющих магнитной и электрической связей можно было пренебречь. Для воздушных линий связи принято считать, что все магнитное влияние определяется величиной m , а электрическое влияние — величиной k . При этом величины m и k достаточно точно могут быть определены расчетным путем, так как они зависят лишь от величины диаметров проводов цепей, расстояний между проводами цепи и взаимного расположения проводов цепей, влияющей и подверженной влиянию.

На воздушных линиях связи величины электромагнитных связей между цепями остаются постоянными на всем протяжении параллельного пробега проводов — цепей для каждого профиля линии. Это обстоятельство позволяло за счет введения скрещивания проводов цепей (изменения взаимного расположения проводов) обеспечивать компенсацию связей одного участка связями последующего участка и таким образом за счет предварительного подбора схем скрещивания цепей получить снижение влияния между цепями до требуемых величин.

Характерной особенностью кабельных линий является то, что расчет коэффициентов электромагнитной связи между цепями практически невозможен. Это объясняется следующими обстоятельствами.

В кабелях расстояния между проводами соседних цепей весьма малы, соизмеримы (а иногда и меньше) с диаметрами проводов и определяются толщиной изоляции жил. Малейшее нарушение номинала толщины изоляции жил или изменение взаимного расположения жил в четверке, а также жил рассматриваемых цепей по отношению к проводам третьих цепей или относительно оболочки приводит к существенным изменениям величин электромагнитных связей. Предсказать заранее величины электромагнитных связей на любом из элементарных участков параллельного пробега цепей в кабелях не представляется возможным. К тому же, для кабельных линий приходится считаться не только с реактивными (ωm , ωk), но и с активными (r_{12} , g_{12}) составляющими связей.

Снижение величин электромагнитных связей до допустимых пределов в строительных длинах кабелей обеспечивается в процессе изготовления кабеля за счет высокой стабильности технологических процессов производства. Вводится жесткое нормирование допустимых отклонений диаметров жил, толщины изоляционного слоя или элементов конструкции изоляции жил (корделя, ленты). Существенное значение имеют равенство и стабильность величины натяжения жил при скрутке их в группы, чтобы сохранялось заданное расстояние между жилами в группе. Прельявляются высокие требования к однородности материала изоляции и обеспечению жесткости конструкции групп, чтобы при переметках кабеля не было их деформаций. Вводится скрутка жил в группы с разными шагами скрутки (это эквивалентно скрещиванию проводов цепей воздушных линий с очень малыми индексами). Однако уменьшить электромагнитные связи в строительных длинах до такой степени, чтобы на усилительных участках получить величины помех в допустимых пределах без дополнительных мероприятий при соединении строительных длин между собой, не удастся.

Пригодными для прокладки на линии считают те строительные длины, в которых между цепями остаточные электромагнитные связи не превышают допустимых норм в целом на всю строительную длину. Оценку величин остаточных связей в строительных длинах производят путем измерения их в каждой строительной длине между всеми параллельными цепями. (Проверяются связи каждой цепи по отношению к каждой, определяются величины влияния между цепями на ближний и дальний концы.)

В реальных кабелях жилы скручиваются в группы и повивы и располагаются в пространстве, по длине кабеля, не параллельно друг другу. Но шаг скрутки или повива во много раз больше, чем диаметры жил и расстояния между ними. Поэтому для выяснения причин возникновения связей в кабелях и их зависимости от конструкции кабелей принимают, что жилы в кабеле расположены внутри четверки (или пары) параллельно друг другу.

Чтобы понять причину появления и физическую сущность отдельных составляющих связей, рассмотрим эквивалентные схемы связей между цепями одной четверки.

Емкостные связи между цепями одной четверки определяются величинами частичных емкостей между проводами 1 и 2 первой основной (I) цепи и проводами 3 и 4 второй основной (II) цепи, как показано на рис. 3.24. Кроме того, в четверке существует фантомная цепь из проводов I и II цепей. Между каждой из основных и фантомной цепями также существуют емкостные связи. Величины емкостной связи между цепями принято определять коэффициентом емкостной связи k . При этом между цепями I и II

$$k_1 = (c_{13} + c_{24}) - (c_{14} + c_{23}), \quad (3.43)$$

между I и фантомной цепями

$$k_2 = (c_{13} + c_{14}) - (c_{24} + c_{23}) + e_1/2, \quad (3.43')$$

между II и фантомной цепями

$$k_3 = (c_{13} + c_{23}) - (c_{14} + c_{24}) + e_2/2. \quad (3.43'')$$

Здесь e_1 и e_2 представляют собой коэффициенты емкостной асимметрии цепей I и II относительно земли, а e_3 — фантомной цепи относительно земли и определяются соответственно выражениями:

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= c_{10} - c_{20} \\ e_2 &= c_{30} - c_{40} \\ e_3 &= (c_{10} - c_{20}) - (c_{30} - c_{40}) \end{aligned} \right\}. \quad (3.44)$$

При определении влияния между цепями разных четверок определяют коэффициенты емкостной связи k_9 , k_{10} , k_{11} и k_{12} , которые, как правило, меньше величин k_1 , k_2 , k_3 .

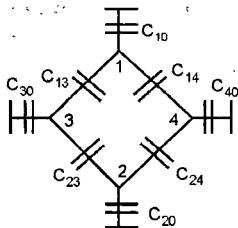


Рис. 3.24

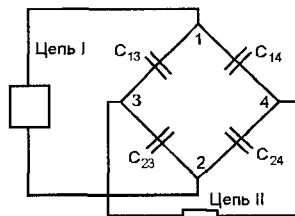
Частичные емкости между жилами четверки и между жилами и оболочкой

Схема влияния между цепями одной четверки, определяемого емкостными связями, может быть для наглядности представлена мостовой схемой (рис. 3.25). Если $c_{13} = c_{24}$ и $c_{14} = c_{23}$, то мост находится в уравновешенном состоянии (сбалансирован), $k_1 = 0$ и ем-

костное влияние между цепями I и II отсутствует. Если $c_{10} = c_{20} = c_{30} = c_{40}$, то k_2 и k_3 также равны нулю, т.е. не будет емкостного влияния и между основными и фантомными цепями.

Рис. 3.25

Схема емкостного влияния между цепями четверки



Таковыми же эквивалентными мостовыми схемами могут быть представлены и влияния, обусловленные частичными составляющими связей m_{12} , g_{12} и r_{12} . При этом частичные индуктивности между жилами могут быть представлены в виде трансформаторов в плечах моста.

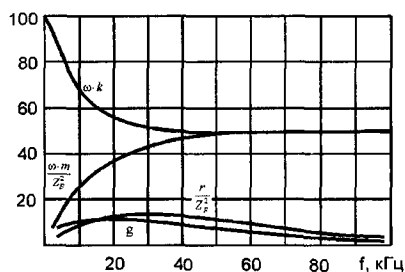
Активная составляющая электрической связи g_{12} обусловлена асимметрией потерь в диэлектрике. Она тем больше, чем больше разница диэлектрических потерь в изоляции жил цепи.

Активная составляющая магнитной связи r_{12} обусловлена асимметрией потерь вихревых токов в соседних жилах цепи, экране, оболочке из-за несимметричного расположения жил цепи относительно жил других цепей и оболочки, а также различием диаметров жил цепи.

Соотношение между электрической и магнитной связями зависят от конструкции кабеля и частоты. На низких частотах (до 10...15 кГц) влияние между цепями определяется в основном электрической связью (рис. 3.26). С ростом частоты увеличивается составляющая магнитного влияния. В диапазоне свыше 25...40 кГц электрическое и магнитное влияния становятся одинаковыми по величине.

Рис. 3.26

Соотношение составляющих связей внутри четверки



Во всем диапазоне частот между индуктивной и емкостной связями одинаковых цепей существует следующее соотношение:

$$m/k = Z_B^2, \quad (3.45)$$

где Z_B – волновое сопротивление цепей.

Активные составляющие электрической и магнитной связей на низких частотах близки к нулю. С ростом частоты их роль в общей величине связи возрастает. Так, $g_{12} \approx (0,1...0,15)\omega \cdot k$, а $r_{12} \approx (0,2...0,4)\omega \cdot m$.

Зависимость величин составляющих электромагнитной связи от частоты в реальных кабелях имеет весьма сложный характер. Это обусловлено тем, что из-за неравномерного,

случайного распределения связей по длине кабеля имеет место компенсация связей одного элементарного участка связями другого участка. Поскольку связи носят комплексный характер, то эффект компенсации связей зависит от частоты и длины линии. На рис. 3.27 для примера приведены величины составляющих электромагнитной связи при влиянии на дальний конец.

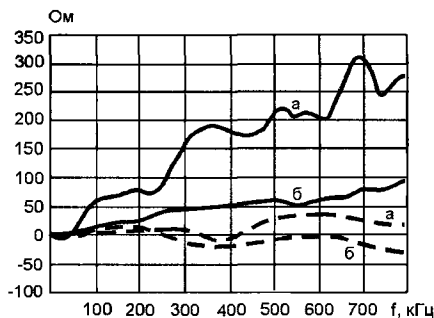


Рис. 3.27

Пример частотной зависимости активной (сплошная линия) и реактивной (пунктирная линия) составляющих электромагнитной связи при влиянии на дальний конец:
а — в одной строительной длине;
б — на усилительном участке

Для кабельных линий связи величины переходного затухания между цепями A_0 и A_1 при непосредственном влиянии могут быть выражены через величины электромагнитных связей в строительных длинах N_{12} и F_{12} , коэффициенты затухания цепей α_1 и α_2 и длину параллельного пробега цепей (длину участка влияния) l .

Для строительных длин протяженностью s (при одинаковых параметрах цепей, т.е. при $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ и $Z_{B1} = Z_{B2} = Z_B$

$$A_{0co} = 20 \lg \left| \frac{2}{N_{12} Z_B} \right|, \quad (3.46)$$

$$A_{ico} = 20 \lg \left| \frac{2}{F_{12} Z_B} \right| + \alpha l. \quad (3.47)$$

Для любой длины усилительного участка кабельной линии, состоящего из n строительных длин,

$$A_{0co} = A_{0co} + 10 \lg \left| \frac{4\alpha \cdot s}{1 - e^{-4\alpha \cdot ns}} \right|, \quad (3.48)$$

$$A_{lyy} = A_{ico} + 10 \lg n + \alpha(n-1)s. \quad (3.49)$$

По формулам (3.46)–(3.49) можно определить величины переходного затухания, если известны величины коэффициентов N_{12} и F_{12} в строительных длинах. По ним можно также определить допустимые величины коэффициентов электромагнитных связей в строительных длинах, чтобы обеспечить заданные величины переходного затухания между цепями на кабельной линии — на длине усилительного участка.

3.12. Косвенные влияния

Рассмотренный выше переход электромагнитной энергии из цепи влияющей в цепь, подверженную влиянию, как указывалось, обусловлен наличием электромагнитных связей между этими цепями на ближнем и дальнем концах. При этом считалось, что сами цепи

однородны по всей длине и имеют по концам нагрузки, равные волновым сопротивлениям цепей. Кроме того, принималось, что, помимо двух – влияющей и подверженной влиянию – цепей, нет никаких третьих цепей, параллельно им расположенных. Влияние между цепями в этих условиях называется *непосредственным влиянием*.

Однако в реальных условиях приходится учитывать следующие факторы. Во-первых, нагрузки на концах цепей всегда несколько отличаются от волновых сопротивлений цепей. Во-вторых, цепи по длине практически не абсолютно однородны, т.е. волновые сопротивления их в различных точках по длине цепи отличаются от номинального значения. В-третьих, параллельно цепям, влияющим и подверженным влиянию, всегда есть так называемые третьи цепи, например пикаровские, фантомные, соседние физические цепи, оболочки или экраны.

Указанные факторы могут быть причиной возникновения дополнительных путей перехода энергии из влияющей цепи в цепь, подверженную влиянию, т.е. так называемого косвенного влияния между цепями. При этом доля косвенного влияния может быть весьма существенной, а иногда оно может оказаться решающим, значительно превышающим величину непосредственного влияния. Особенно велика роль косвенных путей перехода энергии на дальний конец цепи, подверженной влиянию, поскольку непосредственное влияние между цепями на дальний конец весьма мало.

К наиболее существенным путем косвенного влияния, с которыми приходится считаться на практике, следует отнести:

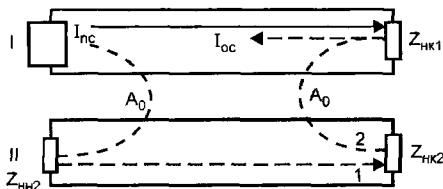
- влияние из-за несогласованности нагрузочных сопротивлений на концах цепей;
- влияние, обусловленное неоднородностью волновых сопротивлений цепей по длине;
- влияние через третьи цепи.

Рассмотрим физическую трактовку появления этих косвенных путей влияния.

Схема косвенного влияния, обусловленного несогласованностью нагрузок на концах цепей, показана на рис. 3.28. При распространении по цепи *I* полезного сигнала $I_{пс}$ от начала к концу цепи (сплошная линия) из-за непосредственного влияния на ближний конец к началу цепи *II*, подверженной влиянию, поступает ток помех. Если сопротивление нагрузки $Z_{н2}$ в начале цепи *II* не равно волновому сопротивлению $Z_{в2}$ этой цепи, то часть тока помех отразится и направится к концу цепи *II* (штрих-пунктирная линия 1). Кроме того, если сопротивление нагрузки в конце цепи *I* не равно волновому сопротивлению $Z_{в1}$ этой цепи, то часть тока $I_{ос}$ полезного сигнала, отразившись от конца цепи *I*, направится к началу данной цепи, создавая при этом влияние на цепь *II*, обусловленное электромагнитными связями между цепями на ближнем конце, и ток помех, возникающий в результате этого в цепи *II*, будет поступать также к концу цепи *II* (штрих-пунктирная линия 2). Таким образом, токи помех по путям 1 и 2 поступают в нагрузку $Z_{н2}$ и суммируются.

Рис. 3.28

Схема косвенного влияния между цепями из-за несогласованности нагрузок



Чтобы исключить или уменьшить до допустимых пределов токи помех по этим косвенным путям влияния, нагрузочные сопротивления на концах цепей должны быть равны

или весьма близки к волновым сопротивлениям цепей. Влияния между цепями по указанным путям будут также тем меньше, чем больше переходное затухание между этими цепями на ближнем конце.

Косвенное влияние через третьи цепи схематически показано на рис. 3.29. Под цепями *III* имеют в виду любые цепи, параллельные *I* и *II* цепям, например пикаровские и фантомные цепи, экраны и оболочки кабелей, все физические жилы в кабеле.

При распространении полезного сигнала по влияющей цепи *I* вследствие электромагнитных связей между *I* и *III* цепями в цепи *III* будут наводиться токи помех, направляющиеся к ее ближнему концу, т.е. к началу цепи *III*. Эти токи, проходящие по цепи *III*, вследствие электромагнитных связей между цепями *III* и *II* будут создавать переходные токи в цепи *II*, которые направляются к концу данной цепи и создают в нагрузке на конце цепи *II* токи помех.

Влияние между цепями *I* и *II* на дальний конец цепи *II* по этому косвенному пути будет тем меньше, чем больше величины переходного затухания на ближнем конце между цепями *I*, *III* (A_{013}) и *III*, *II* (A_{032}).

Косвенное влияние из-за неоднородностей волновых сопротивлений цепей схематически показано на рис. 3.30.

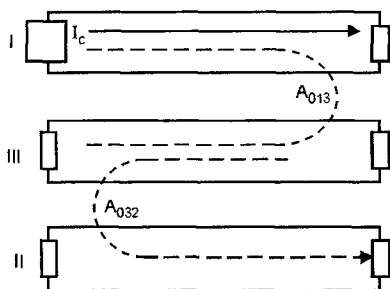


Рис. 3.29. Схема косвенного влияния через третьи цепи

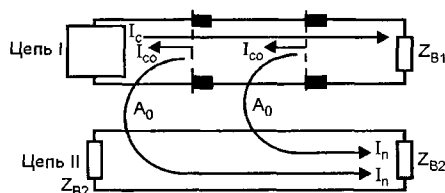


Рис. 3.30. Схема косвенного влияния между цепями из-за неоднородности волнового сопротивления влияющей цепи

При распространении сигнала по цепи *I* (обозначено сплошной линией) в местах изменения волнового сопротивления в цепи *I* он будет отражаться. Отраженная часть тока указанного сигнала (обозначена пунктиром) будет направляться к началу цепи *I*, создавая при этом в цепи *II* переходные токи помех, направляющиеся к дальнему концу данной цепи.

Токи помех в конце цепи *II* по этому косвенному пути будут тем меньше, чем однороднее цепь *I*, т.е. чем меньше мест и чем меньше величины изменения волнового сопротивления по длине цепи *I*, а также чем выше величина переходного затухания на ближнем конце между цепями, влияющей и подверженной влиянию.

В практике строительства линий связи принимаются меры по ограничению перехода энергии по косвенным путям. Основными мерами являются согласования волновых сопротивлений цепей и входных сопротивлений оборудования. Кроме того, повышают однородности цепей на всем протяжении усилительного участка за счет нормирования величины волнового сопротивления строительных длин (нормируются величины рабочих емкостей цепей) и группирования строительных длин при прокладке кабелей (чтобы цепи смежных строительных длин возможно меньше отличались величинами волновых сопротивлений или рабочих емкостей).

3.13. Принципы нормирования величин переходного затухания

В технике междугородной связи применяют многопарные кабели, рассчитанные на одновременную работу нескольких, как правило, одинаковых, многоканальных систем передачи по параллельным цепям. Нормальная работа этих систем возможна при условии, когда обеспечиваются требуемые величины переходного затухания между цепями, значения которых зависят от условий работы систем передачи.

Необходимые величины переходного затухания между цепями устанавливаются исходя из того, чтобы в каждой цепи с учетом работы по ним систем передачи обеспечивалась требуемая величина защищенности от помех в любой точке цепи.

Защищенностью цепи A_z называют величину разности уровней полезного сигнала ρ_c и сигнала помехи ρ_n в рассматриваемой точке цепи, т.е.

$$A_z = \rho_c - \rho_n. \quad (3.50)$$

Различают защищенность от помех (шума) и защищенность от внятного переходного разговора. При рассмотрении влияния между параллельными цепями наиболее сложной задачей является обеспечение защищенности от внятного переходного разговора, который имеет место при работе одинаковых систем по параллельным цепям. Малая величина защищенности цепи приводит к ухудшению качества связи или к полному нарушению связи. Обеспечение очень высокой величины защищенности цепи связано с необходимостью повышения стоимости линии и со значительными техническими трудностями по уменьшению электромагнитных связей между цепями, повышению степени согласования нагрузочных сопротивлений с волновыми сопротивлениями цепей, повышению однородности цепей. Поэтому за норму величины защищенности цепей принимают такую величину, при которой было бы хорошее качество передачи речевых сигналов и в то же время не требовалось значительного увеличения стоимости сооружений связи. Защищенность в любой точке цепи должна быть не ниже величины, принятой за норму.

В настоящее время для симметричных кабельных линий принято 50% нормы мощности шумов кабельного тракта отводить на шумы от переходных разговоров и по 25% соответственно на тепловые и нелинейные шумы. Напряжения шумов, создаваемые различными источниками, складываются квадратично. Средняя величина защищенности цепей на усилительном участке для кабелей с 8 и 14 парами должна составлять не ниже 78,3 и 79,2 дБ (на переприемном участке 2500 км) соответственно.

Минимальные величины защищенности на любой частоте рабочего диапазона, принятые в качестве норм, в настоящее время для усилительных участков следующие:

- для кабеля 4×4 – 71,2 дБ (90% комбинаций цепей не менее 73,7 дБ и 65% – не менее 78,2 дБ);
- для кабеля 7×4 – 73,0 дБ (90% комбинаций не менее 74,7 дБ и 65% – не менее 78,2 дБ);
- для одночетверочного кабеля – не менее 75,6 дБ.

Минимальная величина переходного затухания на ближнем конце между цепями кабеля на усилительном участке допускается для всех кабелей не менее 59,1 дБ, причем для 90% комбинаций – не менее 60,8 дБ.

В технике высокочастотной связи обычно принято передачу и прием вести по разным цепям в одном и том же диапазоне частот.

Рассмотрим требования к величинам переходного затухания между цепями, которые необходимы исходя из обеспечения заданных величин защищенности цепей.

В цепи минимальная защищенность имеет место в точке, где уровень полезного сигнала наименьший. Представляет интерес рассмотрение условий влияния между цепями при одинаковых и различных (встречных) направлениях передачи сигналов по параллельным цепям. Схемы влияния между цепями представлены на рис. 3.31.

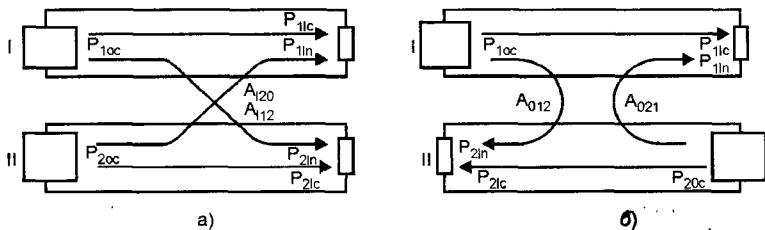


Рис. 3.31. Схемы основных путей влияния между цепями:
а — при одинаковых направлениях передачи по параллельным цепям;
б — при встречных направлениях передачи по параллельным цепям

На рис. 3.31,а представлена схема влияния между цепями при передаче полезных сигналов в одном направлении. Стрелки показывают направления передачи полезных сигналов. Уровни полезных сигналов в начале и конце цепей I и II обозначены соответственно через ρ_{10c} , ρ_{11c} и ρ_{20c} , ρ_{21c} . Изогнутыми стрелками показаны пути влияния на дальний конец с первой цепи на вторую и со второй на первую, величины A_{112} и A_{121} соответственно обозначают величины переходного затухания на дальний конец при влиянии с первой цепи на вторую и со второй на первую. Через ρ_{11n} и ρ_{21n} обозначают уровни помех на дальнем конце в цепях I и II.

Из рис. 3.31,а можно видеть, что [по определению согласно формуле (3.50)] защищенность $A_{3/2}$, дБ, на дальнем конце цепи II равна

$$A_{3/2} = \rho_{21c} - \rho_{21n} \quad (3.51)$$

Поскольку $\rho_{21c} = \rho_{20c} - \alpha_2 l$ и $\rho_{21n} = \rho_{10c} - \rho_{112}$ (здесь α_2 — коэффициент затухания цепи II, дБ/км; l — длина линии, км), то

$$A_{3/2} = (\rho_{20c} - \rho_{10c}) + A_{112} - \alpha_2 l \quad (3.52)$$

Аналогично для величины защищенности $A_{3/1}$, дБ, в конце цепи I от помех, обусловленных влиянием цепи II, получим

$$A_{3/1} = (\rho_{10c} - \rho_{20c}) + A_{211} - \alpha_1 l \quad (3.53)$$

Из формул (3.52) и (3.53) можно видеть, что при $A_{112} = A_{211}$ защищенность лучше будет в той цепи, в которой выше уровень передачи и в которой меньше затухание.

Поскольку необходимо иметь все цепи защищенными от влияний соседних цепей, то уровни передачи устанавливают одинаковыми во всех параллельных цепях ($\rho_{10c} = \rho_{20c}$). С этой же целью одинаковыми делают цепи и по затуханию, т.е. $\alpha_1 l = \alpha_2 l = \alpha l$.

В этих условиях

$$A_{3/1} = A_{112} - \alpha l, \quad A_{3/2} = A_{211} - \alpha l \quad (3.54), (3.55)$$

На рис. 3.31,б приведена схема влияния между цепями при встречной передаче по ним.

Если передача по параллельным цепям осуществляется в разных направлениях, то наименьший уровень полезного сигнала ρ_{21c} будет иметь место на ближнем конце цепи II

(с левой стороны рис. 3.31,б) и ρ_{1lc} для цепи I . При этом защищенность A_{302} , дБ, на ближнем конце цепи II будет равна:

$$A_{302} = \rho_{2lc} - \rho_{20l} \quad (3.56)$$

Поскольку $\rho_{2lc} = \rho_{20c} - \alpha_{2l}$ и $\rho_{2ln} = \rho_{10c} - A_{012}$, то защищенность цепи II в точке наименьшего полезного уровня в ней

$$A_{302} = (\rho_{20c} - \rho_{10c}) + A_{012} - \alpha_2 l \quad (3.57)$$

Защищенность цепи I на ее приемном конце, где полезный уровень в ней наименьший,

$$A_{301} = (\rho_{10c} - \rho_{20c}) + A_{021} - \alpha_1 l \quad (3.58)$$

При одинаковых затуханиях цепей I , II и одинаковых уровнях передачи на их входе защищенность на ближнем конце этих цепей будет равна:

$$A_{301} = A_{021} - \alpha l, \quad A_{302} = A_{012} - \alpha l \quad (3.59), (3.60)$$

Отсюда можно видеть, что величины переходного затухания на ближнем конце должны быть не менее величин $A_{012} = A_{302} + \alpha l$ и $A_{021} = A_{301} + \alpha l$ или в общем виде должно быть обеспечено переходное затухание не менее

$$A_0 \geq A_3 + \alpha l \quad (3.61)$$

Так как требуемая защищенность на усилительном участке допускается не менее 78,3 дБ (в худшем случае не менее 71,2 дБ), а затухание цепи на длине усилительного участка (для системы К-60) на верхней частоте линейного спектра 252 кГц может составлять величину до 60 дБ, то для обеспечения требуемой защищенности в цепях при передаче по ним в разных направлениях (встречная передача) необходимо иметь переходное затухание между этими цепями на ближнем конце не менее $A_0 = A_3 + \alpha l = 131,2$ дБ.

Такой величины между симметричными цепями внутри одного кабеля практически добиться нельзя. Поэтому на линиях симметричного кабеля применяют двухкабельную систему, т.е. прокладывают два кабеля параллельно. По всем цепям одного кабеля обеспечивают передачу в одном направлении, а по всем цепям другого кабеля ведется передача обратного направления. Требуемая же величина переходного затухания на ближнем конце между цепями разного направления передачи при расположении их в разных кабелях достигается за счет экранирующего действия оболочек кабелей.

Переходное затухание между коаксиальными парами внутри одного кабеля достаточно велико и без взаимных помех по параллельным коаксиальным парам можно осуществлять встречную передачу. Поэтому коаксиальные магистрали строятся однокабельными.

3.14. Взаимное влияние между коаксиальными парами

В отличие от симметричных кабелей, коаксиальные пары не имеют внешних поперечных электромагнитных полей типов E_r , E_ϕ и H_r , H_ϕ . Поэтому при идеальной конструкции коаксиальных пар взаимное влияние между ними отсутствует. В реальных же условиях, когда внешние проводники имеют продольную щель и толщина проводника небольшая (0,1...0,3 мм), коаксиальные пары подвержены взаимным и внешним помехам, обусловленным продольной составляющей электрического поля E_z , направленной вдоль оси коаксиальной пары.

Влияние между двумя коаксиальными парами цепей *I* и *II* осуществляется через третью промежуточную цепь *III*, образованную из внешних проводников этих пар (рис. 3.32). Физическую сущность взаимного влияния можно объяснить следующим образом. По внешнему проводнику (цепь *I*) влияющей коаксиальной пары течет ток, в связи с чем на ее внешней поверхности создается падение напряжения и действует продольная составляющая электрического поля E_z . Она вызывает ток на поверхности внешнего проводника (цепь *II*) коаксиальной пары, подверженной влиянию. Это обусловлено тем, что из двух внешних проводников коаксиальных пар создается промежуточная цепь, в которой действует ЭДС, равная E_z , на внешней поверхности внешнего проводника влияющей коаксиальной пары. Ток, протекающий во внешнем проводнике подверженной влиянию коаксиальной пары, вызывает падение напряжения в нагрузках цепи *II*, создающее помехи.

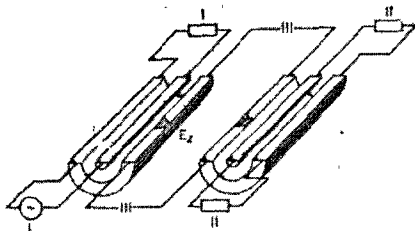


Рис. 3.32

Схема влияния между коаксиальными парами

Как и в симметричных цепях, влияние между коаксиальными парами выражается и нормируется величинами переходных затуханий на ближнем A_0 и дальнем A_1 концах и защищенности A_3 . В качестве первичного параметра влияния принимают сопротивление связи Z_{12} , величина которого зависит от конструкции внешнего проводника коаксиальной пары.

Сопротивление связи, или взаимное сопротивление, Z_{12} представляет собой отношение напряжения U_c , возбуждаемого на внешней поверхности внешнего проводника коаксиальной пары, к току I , протекающему в проводниках коаксиальной пары. Напряжение U_c соответствует продольной составляющей электрического поля E_z . Итак, чем больше Z_{12} , тем больше E_z и тем больше мешающее влияние. Указанное сопротивление связи Z_{12} относится к случаю, когда коаксиальная пара является источником помех. В случае, если коаксиальная пара подвержена влиянию, следует считаться с сопротивлением связи Z_{21} , причем $Z_{21} = Z_{12}$.

Величина Z_{12} , Ом/км, определяется по следующей формуле:

$$Z_{12} = Z_{21} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\epsilon_1\epsilon_2}} N. \quad (3.62)$$

Здесь r_1 – внутренний радиус внешнего проводника, мм; r_2 – внешний радиус внешнего проводника, мм; значения N , Ом/км, при различных частотах для различных толщин t медного проводника в виде сплошной трубки приведены в табл. 3.7.

Переходное затухание между коаксиальными парами на ближнем конце A_0 , дБ, защищенность на дальнем конце A_3 , дБ, и переходное затухание на дальнем конце A_1 , дБ, определяются по следующим формулам:

для коротких линий при $\alpha l < 4,3$ дБ

$$A_0 = A_3 = 20 \lg \left| \frac{2Z_B Z_3}{Z_{12}^2 l} \right|, \quad (3.63)$$

Таблица 3.7. Значения N , Ом/км, при различных частотах

Частота, кГц	Значения $ N $ при толщине медного проводника t , мм				
	0,1	0,15	0,20	0,25	0,3
<i>Медь</i>					
10	181	120	87	69	56
100	176	115	85	66	53
200	175	114	81	56	44
500	168	99	59	35	19
<i>Алюминий</i>					
10	297	197	147	118	98
100	295	196	146	116	95
200	294	194	145	111	87
500	292	187	128	87	59

для длинных линий при $\alpha l > 13$ дБ

$$A_0 = 20 \lg \left| \frac{4Z_B Z_3 \gamma}{Z_{12}^2} \right|, \quad A_0 = 20 \lg \left| \frac{2Z_B Z_3}{Z_{12}^2 l} \right|, \quad A_l = A_3 + \alpha \cdot l. \quad (3.64)$$

Здесь Z_B – волновое сопротивление коаксиальной пары, Ом; $\gamma = \alpha + i\beta$ – коэффициент распространения коаксиальной пары; l – длина кабеля, км; Z_{12} – сопротивление связи, Ом/км; Z_3 – полное сопротивление третьей цепи, состоящее из собственных сопротивлений внешних проводников $Z_{вн}$ обеих коаксиальных пар и индуктивного сопротивления $i\omega L_3$ цепи, обусловленного индуктивностью между проводниками. Следовательно,

$$Z_3 = 2Z_{вн} + i\omega L_3 \approx i\omega L_3. \quad (3.65)$$

Если коаксиальные пары экранированы стальными лентами, то величина Z_3 , Ом/км, может быть определена по формуле:

$$Z_3 = 80 \mu_{ст} \lg \frac{r_c + t_c}{r_c} 10^{-4}. \quad (3.66)$$

Здесь $\mu_{ст}$ – магнитная проницаемость стального экрана (100...200); t_c – толщина стального экрана, мм; r_c – внешний радиус внешнего проводника, мм.

Проанализируем теперь формулы (3.63) и (3.64). Подставив в них значение Z_3 из формулы (3.65), получим

$$A_0 = 20 \lg \left| \frac{4Z_B \gamma i\omega L_3}{Z_{12}^2} \right|, \quad A_3 = 20 \lg \left| \frac{4Z_B i\omega L_3}{Z_{12}^2 l} \right| \quad (A_0 \text{ и } A_3, \text{ дБ}). \quad (3.67)$$

На основании изложенного и анализа этих формул можно сделать следующие основные выводы.

1. Значения A_0 и A_3 зависят от частоты ($\omega = 2\pi f$). На рис. 3.33 приведены характерные графики частотной зависимости переходного затухания на ближнем конце (A_0) и защищенности на дальнем конце A_3 . Тут же для сравнения показаны частотные зависимости A_0 и A_3 для симметричных пар.

Из графиков видно, что частотные зависимости A_0 и A_3 в коаксиальных и симметричных кабелях принципиально различные. В симметричных кабелях с ростом частоты переходное затухание и защищенность от помех на дальнем конце уменьшаются, а для коаксиальных пар – растут, так как возрастает экранирующий эффект внешних проводников коаксиальных пар. Причем в отличие от симметричных кабелей, у которых $A_3 > A_0$, у коак-

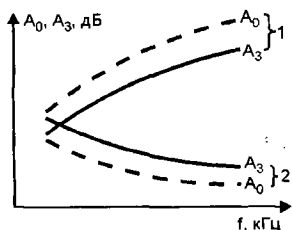


Рис. 3.33

Частотная зависимость A_0 и A_3 между коаксиальными (1) и симметричными (2) парами

сиальных кабелей, наоборот, $A_0 > A_3$, поэтому для смонтированных усилительных участков нормируется величина A_3 , а для строительных длин — A_0 .

2. Значения A_0 и A_3 зависят от величины сопротивления связи Z_{12} , т.е. от конструкции внешних проводников коаксиальных пар (материала, толщины, наличия щели, наличия экранов). Чем больше размер коаксиальной пары, тем толще внешний проводник и, следовательно, тем больше величины A_0 и A_3 , что наглядно видно из графиков на рис. 3.34, на котором представлены частотные зависимости A_3 между коаксиальными парами типов 2,6/9,4 мм (кривая 1); 1,2/4,6 мм (кривая 2) и 0,7/2,9 мм (кривая 3).

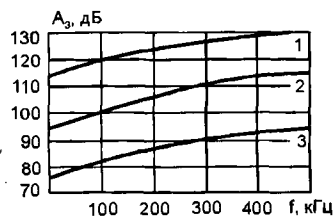


Рис. 3.34

Частотная зависимость A_3 между коаксиальными парами разного диаметра

Частотные зависимости сопротивления связи Z_{12} для внешнего проводника из сплошной трубки без зазоров (кривая 1) и для обычной конструкции коаксиальной пары — медная трубка с продольным зазором и две стальные экранные ленты, наложенные по спирали (кривая 2), представлены на рис. 3.35.

3. Значения A_0 и A_3 зависят от длины кабеля l , что видно из формул (3.63) и (3.64). На рис. 3.36 показана зависимость A_0 и A_3 между коаксиальными парами типов 2,6/9,4 мм и 1,2/4,6 мм для длин участков 0,5...6 км. Переходное затухание на ближнем конце A_0 с увеличением длины линии l вначале уменьшается, а затем стабилизируется, а защищенность от взаимных помех A_3 с увеличением длины уменьшается по закону $20\lg(l/l_1)$.

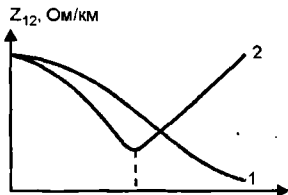


Рис. 3.35 Частотная зависимость сопротивления связи Z_{12} сплошного внешнего проводника (1) и проводника с продольным зазором (2)

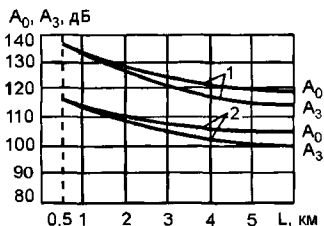


Рис. 3.36. Зависимость A_0 и A_3 от длины кабеля L на частоте 100 кГц между коаксиальными парами разного диаметра

Физическая трактовка этого иллюстрируется рис. 3.37.

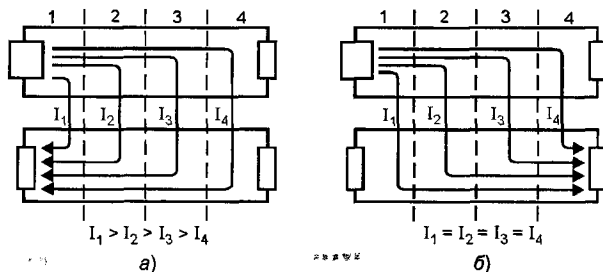


Рис. 3.37. Характер сложения токов помех с различных участков линии при влиянии между коаксиальными парами:
а – при влиянии на ближний конец; б – при влиянии на дальний конец

Физически это объясняется тем, что каждый участок линии вносит одинаковое влияние на дальний конец, т.е. токи помех, которые приходят к дальнему концу с каждого участка одной протяженности в одинаковой фазе, арифметически складываются, а на ближний конец, начиная с определенной длины линии, токи помех с отдаленных участков приходят настолько ослабленными, что практически не увеличивают взаимного влияния между цепями и величина A_0 остается постоянной.

ГЛАВА 4

КАБЕЛИ МАГИСТРАЛЬНЫХ И ЗОНОВЫХ СЕТЕЙ

4.1. Основные положения

В соответствии с основными положениями ЕАСС и ВСС РФ, изложенными в гл. 1, магистральные и зональные сети строились с применением кордельно-стерафлексной (типа МКС) и с полиэтиленовой изоляцией жил (типа ЗК).

Кабельные линии, построенные из указанных кабелей, уплотняются в основном системами передачи с частотным разделением каналов типа К-60, «КАМА». В последнее десятилетие эти кабели использовались для уплотнения цифровыми системами передачи ИКМ-120, ИКМ-480.

Диапазон частот систем передачи, применяемых на линиях междугородной и зональной связи, приведен в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Системы передачи по ВЧ симметричным кабелям связи

Система передачи	Диапазон частот. Скорость передачи
К-12+12	12–120 кГц
К-60	12–252 кГц
VLT-120	12–552 кГц
К-1020	312–4636 кГц
ИКМ-120 (ИКМ-120Р, ИКМ-120У)	8448 кбит/с
ИКМ-480 (LS 34S)	34368 кбит/с
<i>Примечание:</i> под обозначением К-60 следует понимать системы передачи: К-60, К-60П, К-60П-4, К-60П-4М, V-60, V-60S, V-60E.	

В настоящей главе приводятся сведения по конструктивным и электрическим характеристикам кабелей магистральной и зональной связи [1–5].

4.2. Кабели с кордельно-полистирольной изоляцией

Общая характеристика

1. Симметричные ВЧ-кабели связи с кордельно-полистирольной изоляцией, как отмечалось выше, предназначены для линий, уплотняемых системами К-60 в диапазоне частот до 252 кГц, ВЦСП – в диапазоне частот до 8448 кГц (двухкабельные системы) и КРР-30 в диапазоне частот до 552 кГц (однокабельная система).

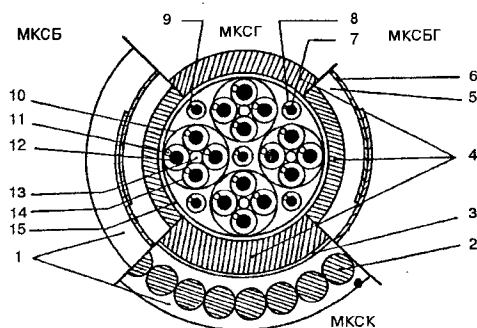
2. Кабели изготавливаются в свинцовой (тип МКС), алюминиевой (тип МКСА) или стальной гофрированной оболочках (тип МКСС).

Кабели в свинцовой оболочке по желанию потребителя могут иметь медные сигнальные жилы диаметром 0,9 мм. Конструкция кабеля приведена на рис. 4.1.

Рис. 4.1

Симметричный ВЧ-кабель типа МКС 4×4×1,2

- 1 – наружный покров (джут);
- 2 – бронепроволока;
- 3 – две ленты крепированной бумаги;
- 4 – свинцовая оболочка;
- 5 – подушка;
- 6 – две бронеленты;
- 7 – медная проволока $\varnothing 0,9$ мм;
- 8 – полистирольная лента;
- 9 – кордель $\varnothing 0,8$ мм;
- 10 – цветная х/б пряжа;
- 11 – кордель $\varnothing 0,4$ мм;
- 12 – токопроводящая жила $\varnothing 1,2$ мм;
- 13 – центрирующий кордель $\varnothing 1,1$ мм;
- 14 – полистирольная лента;
- 15 – поясная изоляция



3. Сердечник кабелей состоит из стандартизованных звездных четверок с медными жилами диаметром 1,2 мм.

Конструктивные характеристики соответствующих звездных четверок у кабелей различных марок одинаковы.

4. Кабели выпускаются емкостью четыре и семь четверок, кроме того, изготавливаются. одночетверочные кабели в алюминиевой оболочке.

5. Две жилы в четверке, расположенные по диагонали, образуют рабочую пару. Изоляция жил первой пары четверки имеет красный и желтый цвета, второй пары – синий и зеленый.

6. Конец кабеля, у которого цвета изоляции жил в четверке в направлении движения часовой стрелки чередуются в следующем порядке: красный, зеленый, желтый, синий, называется концом А. На барабане он является верхним.

7. Внешне четверки отличаются расцветкой хлопчатобумажной или синтетической пряжи или ленты из синтетического материала, наложенных поверх четверки открытой спиралью.

Цвет пряжи или ленты четверок соответственно их порядковым номерам указан в табл. 4.2.

Таблица 4.2. Цвет ленты линий четверок

Четырехчетверочный кабель		Семичетверочный кабель	
Четверка	Цвет	Четверка	Цвет
Первая (счетная)	красный	Первая (центральная)	желтый
Вторая (четверка направления счета)	зеленый	Вторая (счетная)	красный
Третья	синий	Третья (четверка направления счета)	зеленый
Четвертая	желтый	Четвертая	белый
		Пятая	коричневый
		Шестая	черный
		Седьмая	синий

8. Под или между лентами поясной изоляции проложена мерная лента из кабельной бумаги, на которой не более чем через 200 мм нанесен товарный знак предприятия-изго-

товителя, год изготовления кабеля и деления с цифрами, указывающими длину кабеля с погрешностью не более $\pm 0,5\%$.

9. Кабели могут прокладываться ручным и механизированным способами при температуре не ниже минус $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и не выше плюс $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

10. По кабелям допускается передача электроэнергии дистанционного питания, напряжение которого не должно превышать величин, указанных в табл. 4.3.

Таблица 4.3. Напряжение дистанционного питания

Кабели	Напряжение, В	
	Переменный ток 50 Гц	Постоянный ток
1. В свинцовой оболочке (кроме одночетверочного):		
– основные жилы	690	950
– сигнальные жилы	250	350
2. В алюминиевой или стальной гофрированной оболочках	690	100

Примечания:

1. Допустимое напряжение дистанционного питания у одночетверочного кабеля в свинцовой оболочке 450 В постоянного тока.
2. Кабели в алюминиевой и стальной гофрированной оболочках с сигнальными жилами не выпускаются.

11. Кабели выпускаются и должны транспортироваться и храниться под избыточным давлением воздуха или инертного газа внутри кабеля от 0,6 до 1,1 кгс/см².

12. Температура транспортирования и хранения должна быть:

- транспортирования – не ниже минус $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ и не выше плюс $40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- хранения – не ниже минус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и не выше плюс $40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

13. Четырех- и семичетверочные кабели должны эксплуатироваться под избыточным давлением воздуха или инертного газа внутри кабеля от 0,5 до 0,6 кгс/см² при относительной влажности воздуха или газа не более 15% и при температуре плюс $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

14. Кабели поставляются потребителям на деревянных барабанах, изготавливаемых по ГОСТ 5151-71.

15. Строительные длины высокочастотных симметричных кабелей приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Строительные длины симметричных кабелей

Тип кабеля	Емкость кабеля	Номинальная стр. длина, м	Допуск, м
МКС	1×4	650	±6
	4×4	825	±6
	7×4	825	±6
МКСА	1×4	830	±6
	4×4	825	±6
	7×4	825	±6
МКСС	4×4	825	±6
	7×4	825	±6

Электрические характеристики высокочастотных кабелей их строительных длин приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5. Нормы на электрические характеристики строительных длин кабелей при $t = 20^\circ\text{C}$

Наименование характеристики	МКС 1×4	МКС		ЗКП / ЗКПАШп	МКСС		МКСА		МКСА 1×4
		4×4	7×4		4×4	7×4	4×4	7×4	
Постоянный ток: Электрическое сопротивление жилы, Ом/км, не более для жил диаметром 1,2 мм 0,9 мм	15,95 —	15,85 28,5		15,95 —	15,85 —		15,8 —		15,85 —
Коэффициент пересчета нормы, $L/1000$									
Омическая асимметрия жил в ра- бочей паре в Ом, не более на длине 500 м 825 м 1000 м	0,15 —	— 0,19 —		— — 0,21	— 0,19 —		— 0,19 —		— 0,19 —
Коэффициент пересчета нормы $\sqrt{L/l_{\text{ср}}}$									
Сопротивление изоляции жил от- носительно других жил, соеди- ненных с оболочкой в МОм-км, не менее	10000	12000		20000	12000		12000		12000
Коэффициент пересчета нормы, $1000/L$									
Сопротивление изоляции между алюминиевой или стальной оболочкой и водой, броней и водой, алюминиевой оболочкой и броней в МОм-км	—	—		— 10 — — — 10	20 — —		20 20 20 20 20 20		20 20 20
Коэффициент пересчета нормы, $1000/L$									
Сопротивление изоляции обо- лочки между экраном и водой, МОм-км, не менее для полиэтиленовой оболочки для оболочки из поливинил- хлоридного пластиката	— —	— —		10 — 0,05 —	— —		— — — —		— —
Коэффициент пересчета нормы, $1000/L$									
Электрическое сопротивление алюминиевой оболочки постоян- ному току, МОм-км, не более	—	—		— 1,0	—				
Коэффициент пересчета нормы, $L/1000$									
Электрическое сопротивление параллельно соединенных экрана и стальной оболочки, Ом/км, не более	—	—		—	2,8; 1,8		— —		—

Продолжение таблицы 4.5

Наименование характеристики	МКС 1×4	МКС		ЗКП / ЗКПАШп	МКСС		МКСА		МКСА 1×4
		4×4	7×4		4×4	7×4	4×4	7×4	
Коэффициент пересчета нормы, 1000/L									
Испытательное напряжение в течение 2 минут между жилами и между жилами и алюминиевой оболочкой	—	—		4000	—		—		—
Ток частотой 0,05 кГц: Испытательное напряжение в течение 2 минут, В:									
между жилами в четверках,	1500	1500		3000	1500		1500		1500
между всеми жилами и оболочкой	1800	2000		3000	2000		2000		2000
Коэффициент защитного действия для металлических покровов кабеля при продольных ЭДС в состоянии поставки для бронированных кабелей:									
40...250 В/км	—	0,7		—	0,7; 0,65		—		—
40...150 В/км	—	—		0,085; 0,3	—		—		—
для небронированных кабелей	—	—		0,13; 0,65	—		—		—
Ток частотой 0,8 кГц: Номинальная рабочая емкость рабочих пар в нФ/км	26,0	24,5; 24,0		36,3/26,9	24,5		24,5; 24,0		25,6
Номинальная рабочая емкость рабочих пар в кабеле с сигнальными жилами в нФ/км		25,0; 24,5							
Отклонение величины рабочей емкости от номинального значения в нФ/км	±0,8	±0,8 для МКСК, МКСКв ±1,0		±0,8	±0,8		±0,8 для МКСАКпШп ±1,0		±0,8
Распределение емкостных связей $K_{2,3}$ емкостной асимметрии $E_{1,2}$ в партии 40 (для МКС), 25 (для МКСС и МКСА) и 100 (для МКСА 1×4) строительных длин, пФ, не более									
для 100% измеренных величин	—	570 ^{xxx}		—	570		570		580
для 90% измеренных величин	—	230 ^{xxx}		—	230		230		230
Коэффициент пересчета нормы, $L/l_{стр}$									
В диапазоне частот до 252 кГц. Переходное затухание на ближнем конце внутри и между четверками в строительной длине в дБ, не менее									
для 90% измеренных величин	62,5	62,5		62,5	62,5		62,5		62,5
для 100% измеренных величин	59,0	59,0		57,3	59,0		59,0		59,0

Окончание таблицы 4.5

Наименование характеристики	МКС 1×4	МКС		ЗКП / ЗКПАШп	МКСС		МКСА		МКСА 1×4
		4×4	7×4		4×4	7×4	4×4	7×4	
Коэффициент пересчета нормы, $-1/2\ln(L/l_{стр})$ Защищенность между цепями на дальнем конце и между четвер- ками в строительной длине дБ, не менее для 100% измеренных величин для 90% измеренных величин Коэффициент пересчета нормы, $-1/2\ln(L/l_{стр})$									
	67,7 71,2	67,7 73,8		65,7 71,2	67,7 73,8		67,7 73,8		67,7 73,8
Распределение величин симмет- рируемости внутричетверочных комбинаций в партии не менее 40 (для МКС), 25 (для МКСС и МКСА) и 100 (для МКСА 1×4) строительных длин в дБ, не ме- нее для 100% измеренных величин для 90% измеренных величин Коэффициент пересчета нормы, $-1/2\ln(L/l_{стр})$	— — —	80,8 85,1		— —	80,8 85,1		80,8 85,1		80,8 85,1
Примечания: $L_{стр}$ — строительная длина кабеля в м. Для строительной длины менее 200 м при пересчете норм длину принимают равной 200 м									
х) Допускается испытание напряжением постоянного тока между жилами и оболочкой, равным 2800 В, между жилами в четверке — 2100 В.									
хх) Для 3% измеренных величин допускается значение емкостной асимметрии $e_{1,2}$ не более 700 нФ.									
ххх) Для одночетверочных кабелей 80% измеренных величин емкостной асимметрии $e_{1,2}$ должно быть не более 23 нФ									

Кабели типа МКС

1. Симметричные ВЧ-кабели с кордельно-полистирольной изоляцией жил в свинцовой оболочке выпускаются по ГОСТ 5.2221-74 с числом четверок четыре и семь. Кабелям присвоен государственный Знак Качества. Кабели предназначены для магистральных, внутризональных и местных линий связи. Одночетверочный кабель в свинцовой оболочке выпускался до 1969 г. по ТУ МГ 054-60. С 1969 г. выпуск этого кабеля прекращен. Учитывая большое количество одночетверочного кабеля в свинцовой оболочке, проложенного на кабельной сети Министерства связи, в нормативных данных приведены его конструктивные и электрические характеристики.

2. По желанию потребителя кабели могут изготавливаться с сигнальными медными жилами диаметром 0,9 мм. Изоляция сигнальных жил полистирольная.

Количество сигнальных жил составляет:

четырехчетверочный кабель — 5 жил;

семичетверочный кабель — 6 жил.

3. При прокладке кабели допускают не более двух двойных изгибов по дуге окружности, радиус которой должен быть не менее 12,5-кратного диаметра кабеля по свинцовой оболочке.

4. Марки кабелей и области их применения:

МКСТГ – симметричные ВЧ-кабели в свинцовой оболочке без защитного покрова применяются для прокладки в телефонной канализации, коллекторах и тоннелях, на вводах в помещения усилительных станций.

МКСБ – то же, бронированные стальными лентами, с наружным покровом, применяются для прокладки в грунтах всех категорий и при пересечении несудоходных, несплавных рек с незаболоченными и устойчивыми пологими берегами и спокойным течением воды.

МКСБГ – то же, бронированные стальными лентами, без наружного покрова, применяются для прокладки в коллекторах, тоннелях, шахтах и телефонной канализации (в случае необходимости).

МКСБв – то же, с усиленной подушкой, бронированные стальными лентами, с наружным покровом, прокладываются в грунтах и водах, агрессивных по отношению к свинцовой оболочке.

МКСК – то же, бронированные круглыми стальными оцинкованными проволоками, с наружным покровом, прокладываются при пересечении горных рек, судоходных и сплавных рек (включая заболоченные поймы этих рек), несудоходных, несплавных рек с заболоченными неустойчивыми берегами или деформированным руслом, при пересечении болот глубиной более 2 м и водосмов, а также прокладываются в грунтах, подверженные мерзлотным деформациям (выпучивание, морозобойные трещины и т.п.), на крутых склонах и др.

МКСКв – то же, с усиленной подушкой, бронированные круглыми стальными оцинкованными проволоками, с наружным покровом, прокладываются в грунтах и водах, агрессивных по отношению к свинцовой оболочке.

Кабели, имеющие дополнительные пластиковые покрытия поверх брони, прокладываются в грунтах и водах, агрессивных по отношению к стальной броне кабеля, при необходимости ее сохранения для постоянства экранирующего действия кабеля.

В табл. 4.6–4.10 приведены конструктивные и электрические характеристики основной модификации кабеля МКС 4×4×1,2.

Таблица 4.6. Размеры и масса элементов сердечника симметричных кабелей типа МКС

Конструктивные элементы	Размеры, мм		Масса, кг/км	
	толщина	диаметр	элементов	изделий
Токопроводящая жила 1×4×1,2	–	1,2	10,2	–
Проволока медная марки ММ	–	0,8	0,75	–
Полестирильный кордель	2×0,045	–	0,6	–
2 полестирильные ленты 12 мм	–	2,94	11,55	–
Размер и общая масса	–	–	–	–
Центрирующий полестирильный кордель	–	1,1	1,0	–
Сигнальная жила 1×0,9	–	0,9	5,8	–
Жила медная марки ММ	–	0,4	0,15	–
Полестирильный кордель	2×0,45	–	0,60	–
2 полестирильные ленты 12 мм	–	1,84	6,55	–
Размер и общая масса	–	–	–	–
Сердечники кабелей 1×4×1,2	–	7,06	–	46,2
Поясная изоляция из 4 лент бумаги К-И20	0,5	–	8,9	–
Размер и общая масса	–	8,06	–	55,1

Окончание таблицы 4.6

Конструктивные элементы	Размеры, мм		Масса, кг/км	
	толщина	диаметр	элементов	изделий
4×4×1,2	0,5	14,9	—	191,0
Поясная изоляция из 4 лент бумаги К-120	0,5	0,5	17,6	—
Мерная лента из бумаги К-120	—	—	1,3	—
Размер и общая масса	—	15,9	—	210
7×4×1,2:	—	19,8	—	335,5
Поясная изоляция из 4 лент бумаги К-120	0,5	—	23,2	—
Мерная лента из бумаги К-120	—	—	1,3	—
Размер и общая масса	—	20,8	—	360
4×4×1,2 + 5×0,9:	—	15,6	—	233,3
Поясная изоляция из 4 лент бумаги К-120	0,5	—	18,4	—
Мерная лента из бумаги К-120	—	—	1,3	—
Размер и общая масса	—	16,6	—	243
7×4×1,2 + 6×0,9	—	20	—	374,2
Поясная изоляция из 4 лент бумаги К-120	0,5	—	23,5	—
Мерная лента из бумаги К-120	—	—	1,3	—
Размер и общая масса	—	21	—	399

Таблица 4.7. Размер и масса защитных покровов кабелей типа МКС 1×4×1,2

Конструктивные элементы	МКСТ		МКСБ	
	размер, мм	масса, кг/км	размер, мм	масса, кг/км
Свинцовая оболочка	1,2	435	1,1	395
Подушка: 6 лент кабельной бумаги	—	—	1,5	27,9
Броня: 2 стальные ленты по 0,3 мм	—	—	0,6	162
Наружный покров: кабельная пряжа	—	—	2	69
Битумный состав	—	—	—	126,4
Мел	—	—	—	17
Диаметр и масса кабеля в оболочке	10,9	488	10,7	450
Диаметр и общая масса кабеля	10,9	488	18,9	852

Таблица 4.8. Вторичные параметры основных пар кабеля МКС 1×4×1,2

$f, \text{кГц}$	$\alpha, \text{дБ/км}$	$\beta, \text{рад/км}$	$ Z_B , \text{Ом}$	$-\varphi^\circ$	$\alpha_a \cdot 10^{-3}, \text{1/град}$
0,3	0,228	0,028	783,9	43,30	2,90
0,5	0,282	0,037	606,6	42,10	2,91
1,0	0,384	0,054	426,5	39,50	2,93
1,5	0,451	0,069	353,3	37,30	2,96
2,0	0,504	0,083	309,0	35,20	2,99
2,5	0,547	0,097	284,0	33,30	—
3,0	0,585	0,110	266,0	31,50	3,03
3,5	0,616	0,113	252,0	30,00	—
4,0	0,645	0,137	240,0	28,60	—
5,0	0,695	0,164	223,6	26,10	3,13
6,0	0,737	0,189	213,0	24,10	—

Окончание таблицы 4.8

f , кГц	α , дБ/км	β , рад/км	$ Z_B $, Ом	$-\varphi^\circ$	$\alpha_a \cdot 10^{-3}$, 1/град
7,0	0,774	0,216	205,0	22,40	—
8,0	0,806	0,243	198,0	20,90	3,26
9,0	0,835	0,268	194,0	19,70	—
10,0	0,862	0,295	191,0	18,56	3,33
20	1,033	0,552	173,0	12,20	3,13
30	1,168	0,803	166,0	9,50	2,87
40	1,285	1,053	163,0	8,00	2,69
50	1,382	1,299	161,0	7,06	2,55
60	1,495	1,558	159,8	6,35	2,45
70	1,606	1,824	159,2	5,80	2,37
80	1,709	2,085	158,7	5,40	2,30
90	1,811	2,336	158,2	5,10	—
100	1,906	2,562	158,0	4,90	2,20
120	2,09	3,062	157,2	4,50	2,12
140	2,263	3,557	156,5	4,20	2,08
150	2,345	3,826	156,3	4,05	2,06
160	2,426	4,077	156,0	3,94	2,04
180	2,583	4,558	155,5	3,75	2,03
200	2,735	5,035	155,0	3,60	2,01
220	2,880	5,536	154,5	3,45	2,01
240	3,024	6,040	154,1	3,30	2,00
250	3,093	6,294	154,0	3,25	2,00
260	3,164	6,535	153,7	3,20	2,00
280	3,300	7,040	153,3	3,10	2,00
300	3,431	7,534	153,0	3,00	2,00
Отклонение коэффициента затухания не более $\pm 0,043$ дБ/км.					
Отклонение волнового сопротивления $\pm 5\%$.					

Таблица 4.9. Вторичные параметры фантомных цепей кабеля МКС 1×4×1,2

f , кГц	α , дБ/км	β , рад/км	$ Z_B $, Ом	$-\varphi^\circ$	$\alpha_a \cdot 10^{-3}$, 1/град
0,3	0,262	0,031	348,3	44,0	2,86
0,5	0,327	0,041	271,2	43,2	2,87
1,0	0,455	0,060	192,7	41,5	2,88
1,5	0,550	0,076	158,2	39,8	2,89
2,0	0,620	0,091	139,0	38,2	2,90
2,5	0,676	0,104	124,0	36,6	—
3,0	0,719	0,117	113,0	35,2	2,92
3,5	0,754	0,130	106,0	33,8	—
4,0	0,786	0,143	101,0	32,4	—
5,0	0,837	0,169	93,0	30,0	2,96
6,0	0,876	0,195	88,0	27,8	—

Окончание таблицы 4.9

f , кГц	α , дБ/км	β , рад/км	$ Z_B $, Ом	$-\varphi^\circ$	$\alpha_a \cdot 10^{-3}$, 1/град
7,0	0,908	0,221	84,0	25,9	—
8,0	0,935	0,246	80,5	24,0	3,00
9,0	0,956	0,272	78,0	22,3	—
10,0	0,976	0,297	76,0	20,8	3,06
Отклонение коэффициента затухания не более $\pm 0,043$ дБ/км.					
Отклонение волнового сопротивления $\pm 5\%$.					

Таблица 4.10. Размер (мм) и масса (кг/км) защитных покровов кабелей типа МКС 4×4×1,2

Конструктивные элементы	МКСГ		МКСБ		МКСБГ		МКСБл		МКСК		МКСКл	
	разм.	масса	разм.	масса	разм.	масса	разм.	масса	разм.	масса	разм.	масса
Свинцовая оболочка	1,4	903	1,25	798	1,25	798	1,25	798	1,9	1273	1,9	1273
Подушка: Поливинилхлоридная лента	—	—	—	—	—	—	—	49,7	—	—	—	53,5
Крепированная бумага	—	—	—	60,3	—	60,3	—	64,3	—	22,3	—	24,2
Кабельная пряжа	—	—	—	—	—	—	—	—	—	60,7	—	64,2
Броня: 2 стальные ленты по 0,5 мм	—	—	1,06	429	—	—	1,0	452	—	—	—	—
2 стальные оцинкованные ленты по 0,53 мм	—	—	—	—	1,06	456	—	—	—	—	—	—
Круглые стальные оцинкованные проволоки 4 мм	—	—	—	—	—	—	—	—	22×4	22×2	23×4	23×5
Наружный покров: Кабельная пряжа	—	—	—	93,3	—	—	—	97,7	—	122	—	124
Битумный состав	—	—	—	178,7	—	70,7	—	187,9	—	238,1	—	249,4
Пропиточный состав	—	—	—	46,7	—	—	—	48,8	—	—	—	95,6
Мел	—	—	—	26,1	—	—	—	27,3	—	33,7	—	34,9
Диаметр и масса кабеля в оболочке	18,7	1113	18,4	1008	18,4	1008	18,4	1008	19,9	1483	19,9	1483
Диаметр и общая масса кабеля	18,7	1113	29,0	1842	25,1	1595	30,3	1936	37,4	4294	38,8	4467

4.3. Кабели с полиэтиленовой изоляцией

Общие характеристики

1. Симметричные ВЧ-кабели связи с полиэтиленовой изоляцией предназначены для линий зонной связи уплотняемых системами К-60П-4 в диапазоне частот до 252 кГц (двухкабельная система).

2. Симметричные ВЧ-кабели связи с полиэтиленовой изоляцией изготавливаются в поливинилхлоридной, полиэтиленовой и алюминиевой оболочках. Конструкции приведены на рис. 4.2 и 4.3.

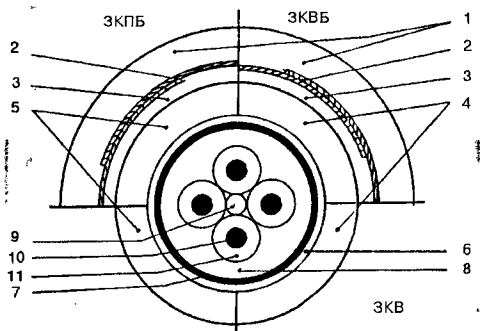


Рис. 4.2. Симметричный ВЧ-кабель типа ЗКП 1x4x1,2

- 1 — наружный покров;
- 2 — броня из двух стальных лент; 3 — подушка;
- 4 — наружная оболочка из поливинилхлоридного пластиката;
- 5 — наружная оболочка из светостабилизированного полиэтилена; 6 — вязкий подклеивающий слой;
- 7 — экран из двух лент алюминиевой фольги;
- 8 — заполнение из композиции; 9 — полиэтиленовый кордець; 10 — токопроводящая жила;
- 11 — полиэтиленовая изоляция

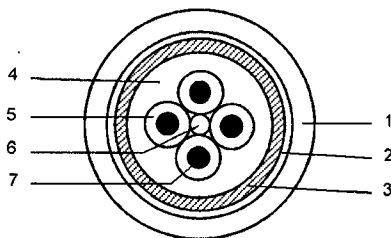


Рис. 4.3. Симметричный ВЧ-кабель типа ЗКПАШП

- 1 — полиэтиленовый шпанг;
- 2 — спой битумного состава;
- 3 — алюминиевая оболочка;
- 4 — заполнение из композиции на основе полиэтилена;
- 5 — полиэтиленовая изоляция;
- 6 — центрирующий кордець;
- 7 — токопроводящая жила

3. Сердечник кабелей состоит из одной звездной четверки с медными жилами диаметром 1,2 мм с заполнением из композиции полиэтилена с бутадилачуком.

4. Кабели могут прокладываться ручным и механизированным способом при температуре воздуха не ниже минус 10 °С.

5. Кабели поставляются на деревянных барабанах, изготавливаемых по ГОСТ 5151-71.

6. Температура транспортирования и хранения кабелей, как в пластмассовых, так и в алюминиевых оболочках, должна быть:

- транспортирования — не ниже минус 30 °С и не выше плюс 40 °С;
- хранения:
 - в пластмассовых оболочках — не ниже минус 40 °С и не выше плюс 50 °С;
 - в алюминиевой оболочке — не ниже минус 50 °С и не выше плюс 40 °С.

7. Допустимое рабочее напряжение дистанционного питания 690 В переменного тока промышленной частоты или 1000 В постоянного тока.

Таблица 4.11. Размеры и масса элементов сердечника симметричных кабелей типа ЗК 1×4×1,2

Конструктивные элементы	Размеры, мм		Масса, кг/км	
	толщина	диаметр	элементов	изделий
Токоведущая жила 1×1,2				
Проволока медная марки ММ	—	1,2	10,1	
Изоляция из полиэтилена	1,1	3,4	7,9	—
Центрирующий полиэтиленовый кордель	—	1,3	1,3	
Сердечник 1×4				
Звездная четверка с шагом 160 мм	—	8,2	—	73,3
Заполнение из композиции	—	11,4	62,6	
Размер и общая масса	—	11,4	—	135,5

Таблица 4.12. Размер (мм) и масса (кг/км) защитных покровов кабелей типа ЗК 1×4×1,2

Конструктивные элементы	ЗКВ		ЗКВБ		ЗКП		ЗКПБ		ЗКПАШп	
	разм.	масса	разм.	масса	разм.	масса	разм.	масса	разм.	масса
Алюминиевая оболочка	—	—	—	—	—	—	—	—	1,0	129
Алюминиевый/медный экран	0,3/ 0,2	31,2/ 60,3	0,3/ 0,2	31,2/ 60,3	0,3/ 0,2	31,2/ 60,3	0,3/ 0,2	31,2/ 60,3	—	—
Битумный состав	0,25	9,6/ 9,45	0,25	9,6/ 9,45	0,25	9,6/ 9,45	0,25	9,6/ 9,45	0,25	10,7
Поливинилхлоридная оболочка	2,2	137/ 134	2,2	137 134	—	—	—	—	—	—
Полиэтиленовая оболочка	—	—	—	—	2,2	93,5 /92	2,2	93,5 /92	2,5	125
Подушка из 6 лент бумаги	—		1,0	31,4			1,0	31,4		
Броня из 2 стальных лент			0,6	210/ 207			0,6	210/ 207		
Наружный покров: Кабельная пряжа			2,0	90,85			20,	90,85		
Поливочный состав				108/ 103				108/ 103		
Пропиточный состав				61/52				61/52		
Мел				22				22		
Диаметр и общая масса кабеля	16,9/ 16,7	313/ 339	24,1/ 23,9	836/ 839	16,9/ 16,7	270/ 297	24,1/ 23,9	790/ 797	18,9	400
Примечание: В числителе приведены данные для кабелей с экраном из алюминиевой фольги и двух медных проволок, а в знаменателе — для кабелей с экраном из медной фольги										

Кабели типа ЗКБ и ЗКП 1×4×1,2

Прокладка механизированным способом (с помощью кабелеукладчика) допускается при растягивающем усилии не более 50 кгс при отсутствии рынков. Допустимый радиус изгиба кабеля при прокладке должен быть не менее 20 диаметров кабеля.

На барабане должна быть намотана одна строительная длина кабеля.

Транспортирование кабелей может производиться на барабанах любыми видами транспорта. Кабели должны храниться на барабанах при условии защиты от прямого воздействия солнечных лучей и отсутствия в окружающем воздухе паров кислот, щелочей и других агрессивных химических, вредно действующих на кабель.

Марки кабелей и преимущественные области их применения

ЗКВ – кабель зонной связи с медными жилами с полиэтиленовой изоляцией в заполнении из композиции полиэтилена с бутилкаучуком и оболочке из поливинилхлоридного пластика. Применяется в телефонной канализации, коллекторах, тоннелях, шахтах, по мостам и в устойчивых грунтах I–III категории без каменных включений (при прокладке кабеля кабелеукладчиками), без плавучих и не в районах вечной мерзлоты и т.п., в районах, не характеризующихся повышенным электромагнитным влиянием и опасностью повреждения грызунами.

ЗКВБ – то же, бронированный стальными лентами с защитным наружным покровом. Применяется в грунтах всех категорий, в районах, характеризующихся опасностью повреждения грызунами, в районах незначительных электромагнитных влияний, для пересечения несудоходных и несплавных рек с незаболоченными пологими берегами и спокойным течением воды. В районах вечной мерзлоты не применим.

ЗКВК – то же, бронированный круглыми стальными лентами с защитным наружным покровом. Применяется для прокладки через горные, судоходные и сплавные реки, затопляемые и заболоченные поймы, болота глубиной более двух метров.

ЗКП – кабель зонной связи с медными жилами с полиэтиленовой изоляцией в заполнении из композиции полиэтилена с бутилкаучуком и оболочке из светостабилизированного полиэтилена. Применяется в телефонной канализации, коллекторах, тоннелях, шахтах, по мостам и в устойчивых грунтах I–III категории без каменных включений (при прокладке кабеля кабелеукладчиками), без плавучих и не в районах вечной мерзлоты и т.п., в районах, не характеризующихся повышенным электромагнитным влиянием и опасностью повреждения грызунами.

ЗКПБ – то же, бронированный стальными лентами с защитным и наружным покровом. Применяется в грунтах всех категорий, в районах, характеризующихся опасностью повреждения грызунами, в районах незначительных электромагнитных влияний, для пересечения несудоходных рек с незаболоченными пологими берегами и спокойным течением воды. В районах вечной мерзлоты не применим.

ЗКПК – то же, бронированный круглыми стальными оцинкованными проволоками с защитным наружным покровом. Применяется для прокладки через горные, судоходные и сплавные реки, затопляемые и заболоченные поймы, болота глубиной более двух метров.

Таблица 4.13. Вторичные параметры основных пар кабеля ЗКП 1×4×1,2

$f, \text{кГц}$	$\alpha, \text{дБ/км}$	$\beta, \text{рад/км}$	$ Z_B , \text{Ом}$	$-\varphi, ^\circ$	$\alpha \cdot 10^{-3}, \text{1/град}$
0,3	0,301	0,030	666	44,0	2,65
0,5	0,378	0,045	535	42,4	3,80
1,0	0,512	0,065	408	39,6	2,90
1,5	0,592	0,085	330	37,3	3,03
2,0	0,653	0,103	280	35,3	3,10
2,5	0,697	0,120	249	33,4	–
3,0	0,736	0,135	228	31,6	3,20

Окончание таблицы 4.13

$f, \text{кГц}$	$\alpha, \text{дБ/км}$	$\beta, \text{рад/км}$	$ Z_B , \text{Ом}$	$-\varphi^\circ$	$\alpha_a \cdot 10^{-3}, \text{1/град}$
3,5	0,765	0,151	207	30,0	—
4,0	0,793	0,166	205	28,3	3,25
5,0	0,836	0,198	191	25,4	3,31
6,0	0,872	0,229	182	23,0	3,35
7,0	0,899	0,260	176	20,9	—
8,0	0,922	0,291	171	19,2	3,37
9,0	0,939	0,322	168	17,6	3,39
10,0	0,958	0,352	166	16,2	3,39
Отклонение: коэффициента затухания $\pm 3\%$ волнового сопротивления $\pm 5\%$					

Таблица 4.14. Вторичные параметры основных пар кабеля ЗКП 1×4×1,2

$f, \text{кГц}$	$\alpha, \text{дБ/км}$	$\beta, \text{рад/км}$	$ Z_B , \text{Ом}$	$-\varphi^\circ$	$\alpha_a \cdot 10^{-3}, \text{1/град}$ экран алюминиевый	$\alpha_a \cdot 10^{-3}, \text{1/град}$ экран медный
10	0,958	0,35	166,0	16,2	3,39	3,34
20	1,091	0,69	151,3	10,3	3,06	3,03
30	1,091	1,00	147,8	8,0	2,82	2,80
40	1,282	1,33	145,9	6,6	2,64	2,61
50	1,380	1,66	144,5	5,6	2,49	2,46
60	1,469	2,00	143,4	5,0	2,39	2,35
70	1,558	2,30	142,7	4,5	2,31	2,27
80	1,644	2,63	142,0	4,2	2,26	2,22
90	1,724	2,95	141,6	3,8	2,22	2,18
100	1,800	3,28	141,1	3,6	2,20	2,16
120	1,945	3,93	140,5	3,1	2,16	2,10
140	2,085	4,55	140,2	2,75	2,14	2,07
150	2,152	4,90	140,1	2,6	2,13	2,05
160	2,216	5,23	140,1		2,12	2,03
180	2,340	5,86			2,11	2,02
200	2,454	6,50	139,9	2,1	2,10	2,00
220	2,563	7,15			2,09	1,99
240	2,671	7,80			2,08	1,98
250	2,723	8,12	139,8	1,6	2,08	1,98
Отклонение: коэффициента затухания $\pm 3\%$ волнового сопротивления $\pm 5\%$						

Таблица 4.15. Вторичные параметры фантомной цепи кабеля ЗКП 1×1×1,2

$f, \text{кГц}$	$\alpha, \text{дБ/км}$	$\beta, \text{рад/км}$	$ Z_B , \text{Ом}$	$-\varphi^\circ$	$\alpha_a \cdot 10^{-3}, \text{1/град}$
0,3	0,345	0,038	320,0	44,1	2,46
0,5	0,430	0,049	228,0	43,1	2,49
1,0	0,570	0,072	159,0	40,8	2,55
1,5	0,664	0,092	130,5	38,8	2,60

Окончание таблицы 4.15

f , кГц	α , дБ/км	β , рад/км	$ Z_B $, Ом	$-\varphi$ °	$\alpha \cdot 10^{-3}$, 1/град
2,0	0,734	0,110	115,0	36,9	2,65
2,5	0,792	0,126	104,0	35,3	2,70
3,0	0,838	0,142	96,0	33,7	2,74
3,5	0,877	0,158	90,0	32,2	2,77
4,0	0,914	0,174	85,5	30,8	2,81
5,0	0,970	0,207	79,0	27,1	2,81
6,0	1,011	0,230	74,3	25,8	2,93
7,0	1,045	0,272	71,0	23,7	2,98
8,0	1,074	0,305	69,0	21,8	3,03
9,0	1,098	0,337	67,0	20,1	3,07
10,0	1,118	0,370	65,0	18,5	3,10

Отклонение коэффициента затухания $\pm 3\%$

4.4. Коаксиальные кабели

Общие характеристики

Коаксиальные кабели связи содержат стандартные коаксиальные пары 2,58/9,4; 1,2/4,6 и 2,14/9,7 мм независимо от типа и марки кабеля. Конструкции кабелей приведены на рис. 4.4–4.6.

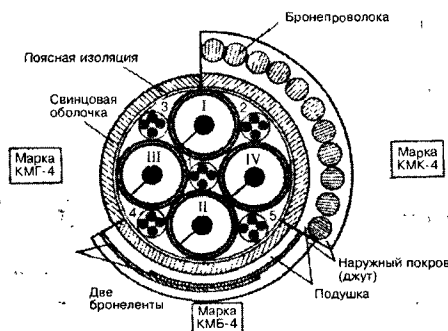


Рис. 4.4. Коаксиальный кабель типа КМ-4
Расцветка симметричных четверок с конца А:
1 – желтая; 2 – красная; 3 – синяя;
4 – белая; 5 – коричневая

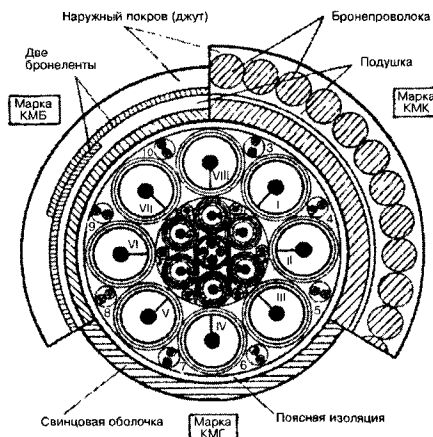


Рис. 4.5. Комбинированный коаксиальный кабель типа КМ-8/6
Расцветка с конца А:
контрольных симметричных пар:
3 – красная–белая; 4 – зеленая–белая;
контрольных одиночных жил:
1 – красная; 2 – зеленая

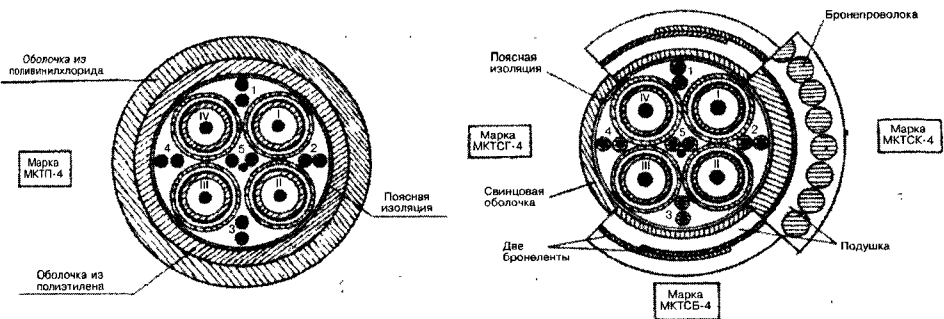


Рис. 4.6. Малогабаритные коаксиальные кабели типа МКТ-4

Расцветка симметричных пар с конца А:

1 – красная–белая; 2 – зеленая–белая; 3 – синяя–белая; 4 – синяя–белая; 5 – синяя–белая

Конструктивные и электрические характеристики коаксиальных пар 2,58/9,4 мм в кабелях типа КМ-4 и КМ-8/6 и пар 1,2/4,6 мм в кабелях типа КМ-8/6 и МКТ-4 одинаковы.

Прокладка кабелей может производиться ручным и механизированным способом без предварительного прогрева при температуре не ниже минус 10 °С.

Кабели поставляются на деревянных барабанах с улиткой (кроме кабелей типа БКПАП) по ГОСТ 5151-71.

Кабели должны отпускаться, транспортироваться и храниться при избыточном давлении воздуха или инертного газа от 0,5 до 1,1 кгс/см³, (кроме кабелей типа БКПАП).

Таблица 4.16
Температура транспортирования, хранения и прокладки кабелей

Условия	Тип кабеля	t, °C	
		минус	плюс
транспортирования	КМ-8/6	30	40
	КМ-4	40	40
	МКТ-4	30	50
	ВКПАП(т)	50	50
хранения	КМ-8/6	50	40
	КМ-4	50	40
	МКТ-4	40	50
	ВКПАП(т)	40	50
прокладки	Все типы	10	40

Таблица 4.17. Допустимое рабочее напряжение коаксиальных и симметричных пар

Тип пары	Тип кабеля	Рабочее напряжение, В	
		Переменного тока	Постоянного тока
Коаксиальная пара 2,6/9,4	КМБ-8/6; КМБ-4	1000	1400
Коаксиальная пара 2,1/9,7	ВКПАП	1000	—
Коаксиальная пара 1,2/4,6	КМБ-8/6	660	1000
	МКТ-4		
Симметричная пара d = 0,9 мм	КМБ-8/6	300	450
Симметричная пара в четверке d = 0,9 мм с полиэтиленовой изоляцией	КМБ-8/6	250	350
Симметричная пара d = 0,7 мм с полиэтиленовой изоляцией	МКТ-4	350	500

Кабели типа КМ-4

Кабели предназначены для многоканальной связи и телевидения с уплотнением в диапазоне частот до 60 МГц с применением систем связи К-1920, К-3600 и К-10800.

Кабели типа КМ-4 выпускаются по ГОСТ 10971-71.

Радиус изгиба при прокладке не должен превышать 15 диаметров по свинцовой оболочке для кабелей марок КМЭБ-4 и КМЭБп-4 и 12,5 диаметров по свинцовой оболочке для всех других марок кабелей. Допустимые натяжения при прокладке не должны превышать 400 кгс.

Нумерация коаксиальных пар принята следующая:

- коаксиальная пара I — между красной и синей (зеленой) четверками;
- коаксиальная пара II — между белой и коричневой (черной) четверками;
- коаксиальная пара III — между синей (зеленой) и белой четверками;
- коаксиальная пара IV — между коричневой (черной) и красной четверками.

Строительная длина кабелей:

- с ленточной броней — не менее 600 м,
- небронированных и с круглой броней — не менее 200 м.

Кабели типа КМБ-4 поставляются на деревянных барабанах номер 18 с улиткой (диаметр щеки 1800 мм, диаметр шейки — 1120 мм, длина шейки 900 мм, масса барабана с обшивкой — 485 кг).

Таблица 4.18. Марки и области применения кабелей

Марка	Наименование	Область применения
КМГ-4	Кабель коаксиальный магистральный с четырьмя коаксиальными парами в свинцовой оболочке	Для прокладки в канализациях
КМБ-4	То же, бронированный двумя стальными лентами с защитным наружным покровом	Для прокладки в земле
КМБГ-4	То же, бронированный двумя стальными лентами с противокоррозионной защитой	Для прокладки в коллекторах
КМБл-4	То же, со слоем поливинилхлоридного пластика, бронированный двумя стальными лентами с защитным наружным покровом	Для прокладки в земле в агрессивных грунтах
КМБШп-4	То же, бронированный двумя стальными лентами с выпресованным полиэтиленовым шлангом поверх брони	Для прокладки в земле в агрессивных грунтах, где необходимо защитить стальные ленты
КМК-4	То же, бронированный круглыми стальными оцинкованными проволоками с защитным наружным покровом	Для речных переходов
КМКл-4	То же, со слоем поливинилхлоридного пластика по оболочке	То же, в агрессивных грунтах дна реки, озера
КМЭБ-4	Кабель коаксиальный магистральный с четырьмя коаксиальными парами в алюминиевой и свинцовой оболочках бронированный двумя стальными лентами, с защитным наружным покровом	Для прокладки в земле в районах высокой грозодеятельности на участках, сближения с электрифицированными ж.д. и ЛЭП в условиях повышенных влияний
КМЭБл-4	То же, с выпресованным поливинилхлоридным шлангом по оболочке	То же, в агрессивных грунтах

Таблица 4.19. Размеры и масса элементов сердечника кабелей типа КМ-4

Конструктивные элементы	Размеры, мм		Масса, кг/км	
	толщина	диаметр	элементов	изделий
Коаксиальная пара 2,58/9,4				
Проволока медная	—	2,58	46,5	190,0
Шайбы полиэтиленовые с шагом наложения 30,3 мм	—	9,4	4,1	17,0
Лента медная	0,26	9,92	70,1	286,0
Экран из двух стальных лент	0,30	10,7	61,6	251,0
Ленты бумажные К-120	0,30	11,3	7,7	31,0
Общая масса	—	—	190,0	775,0
Симметричная четверка центральная 1х4х0,9				
Провод марки ПЭЛ-0,9	—	0,96	24,0	24,0
Трубчато-бумажные изделия из двух лент	0,17	2,2	5,7	5,7
Общая масса	—	—	29,7	29,7
Симметричные четверки 1х4х0,9				
Проволока медная	—	0,9	23,1	92,0
Трубчато-бумажные изделия из двух лент	0,17	2,2	5,9	23,4
Общая масса	—	—	29,0	115,4
Сердечник				
Центр: 1х4х0,9	—	4,6	—	29,7
Повив: 4х2,6/9,4+4х4х0,9	—	27,0	—	890,7
Обмотка 4—6 лентами из кабельной бумаги и мерная лента	0,6	28,2	—	42,0
Общая масса сердечника	—	—	—	962,0

Таблица 4.20. Характеристики кабелей типа КМ-4

Конструктивные элементы	КМГ-4		КМБ-4		КМБГ-4		КМБл-4		КМК-4		КМКл-4	
	разм. мм	масса кг/км	разм. мм	масса кг/км	разм. мм	масса кг/км	разм. мм	масса кг/км	разм. мм	масса кг/км	разм. мм	масса кг/км
Диаметр сердечника	28,2	—	28,2	—	28,2	—	28,2	—	28,2	—	28,2	—
Свинцовая оболочка	1,8	2012	1,5	1675	1,5	1675	1,5	1675	2,1	2408	2,1	2406
Диаметр по свинцу	31,8	—	31,2	—	31,2	—	31,2	—	32,6	—	32,6	—
Полушка:	—	—	1,5	—	1,5	—	2,0	—	2,0	—	2,5	—
Поливинилхлоридная лента	—	—	—	—	—	—	—	72	—	—	—	90
Бумага	—	—	—	109	—	109	—	12	—	33	—	12
Кабельная пряжа	—	—	—	—	—	—	—	93	—	98	—	124
Битум	—	—	—	109	—	131	—	104	—	130	—	136
Пропиточный состав	—	—	—	—	—	—	—	52	—	65	—	82
Броня: 2 стальные ленты по 0,5 мм	—	—	1,0	630	1,0	630	1,0	647	—	—	—	—
Стальная проволока	—	—	—	—	—	—	—	—	4,0	3146	4,0	3248

Окончание таблицы 4.20

Конструктивные элементы	КМГ-4		КМБ-4		КМБГ-4		КМБЛ-4		КМК-4		КМКЛ-4	
	разм. мм	масса кг/км	разм. мм	масса кг/км	разм. мм	масса кг/км	разм. мм	масса кг/км	разм. мм	масса кг/км	разм. мм	масса кг/км
Наружный покров:	—	—	2,0	—	0,5	—	2,0	—	2,0	—	2,0	—
Кабельная пряжа	—	—	—	144	—	—	—	148	—	176	—	179
Битум	—	—	—	144	—	58	—	148	—	176	—	179
Пропиточный состав	—	—	—	72	—	—	—	74	—	88	—	110
Мел	—	—	—	36	—	34	—	37	—	44	—	45
Наружный диаметр и общая масса кабеля	31,8	2974	40,2	3881	37,2	3599	41,2	4024	48,6	7328	49,6	7575

Таблица 4.21. Электрические характеристики кабеля типа КМ-4 при температуре 20 °С по ГОСТ 10971-71

Наименование характеристики	Частота, кГц	Нормы	Коэффициент пересчета нормы
Коаксиальная пара 2,58/9,4			
Электрическое сопротивление внутреннего проводника, Ом·км, не более	Постоянный ток	3,7	$L/1000$
Электрическое сопротивление изоляции между внутренним и внешним проводниками, МОм·км, не менее	То же	1000	$1000/L$
Номинальное значение волнового сопротивления, Ом:	1000 2500		
а) максимальная величина отклонения волнового сопротивления, измеренная на входе и выходе коаксиальной пары, Ом, не более	импульс длительн. 0,06 или 0,12 мкс		
для 100% значений		$\pm 0,65$	—
для 95% значений		$\pm 0,5$	—
для 50% значений		$\pm 0,3$	—
б) разность волновых сопротивлений измеренная на входе и выходе каждой коаксиальной пары, Ом, не более	То же		
для 100% значений		0,6	—
для 95% значений		0,4	—
для 50% значений		0,2	—
в) внутренняя неоднородность каждой коаксиальной пары, не более	То же		
для 100% значений		3×10^{-3}	—
для 95% значений		2×10^{-3}	—
для 50% значений		1×10^{-3}	—
г) среднее арифметическое трех наибольших неоднородностей в каждой коаксиальной паре любой строительной длины, не более	То же	$1,8 \times 10^{-3}$	—
Переходное затухание между любыми коаксиальными парами, дБ, не менее	300	122 (44)	$-10 \ln(L/600)$

Окончание таблицы 4.21

Наименование характеристики	Частота, кГц	Нормы	Коэффициент пересчета нормы
Коэффициент затухания коаксиальной пары должен соответствовать типовой характеристике (табл. 4.22)			$L/1000$
Испытательное напряжение в течение 2 мин, В			
а) между внутренним и внешним проводниками коаксиальной пары	Постоянный ток	3700	—
б) между экранами коаксиальной пары	То же	430	—
	0,05	300	—
Симметричные четверки			
Электрическое сопротивление пары жил, Ом·км, не более	Постоянный ток	57	$L/1000$
Разность электрических сопротивлений жил в рабочей паре на длине 600 м·Ом не более	То же	0,6	$\sqrt{L/600}$
Электрическое сопротивление изоляции каждой жилы относительно всех других жил соединенных с экранами и оболочкой, МОм·км, не менее	То же	3000	$1000/L$
Рабочая емкость пар четверок, нФ/км:			
а) номинальное значение	0,78	32	$L/1000$
б) отклонение от номинального значения для 100% значений	0,8	± 5	
для 90% значений	0,8	± 4	
Испытательное напряжение в течение 2 мин., В	Постоянный ток	1000	—
а) между каждой жилой относительно всех других жил и внешних проводников, соединенных с оболочкой	0,05	700	—
б) между жилами симметричных четверок и внешними проводниками коаксиальных пар, соединенных вместе, по отношению к оболочке	Постоянный ток	2500	—
	0,05	2000	
Коэффициент защитного действия металлических покровов кабеля с ленточной броней при продольных ЭДС 20...150 В/км в состоянии поставки, не более	0,05	0,5	—

Таблица 4.22. Параметры коаксиальных пар 2,58/9,4 кабелей типа КМ-4 и КМ-8/6 при температуре 20 °С

f , МГц	α , дБ/км	$ Z_B $, Ом	$-\varphi$ °	β , рад/км	v , тыс.км/с
0,01	0,326	80,5	6°20'	0,25	250
0,02	0,390	79,1	4°20'	0,49	258
0,03	0,457	78,6	3°50'	0,71	266
0,04	0,508	78,1	3°20'	0,93	270
0,05	0,553	77,8	3°10'	1,15	272

Продолжение таблицы 4.22

f , МГц	α , дБ/км	$ Z_B $, Ом	$-\varphi$ °	β , рад/км	v , тыс.км/с
0,06	0,596	77,5	3°00'	1,38	273
0,08	0,737	77,1	2°30'	1,83	274
0,10	0,800	76,8	2°20'	2,31	274
0,20	1,099	76,1	1°40'	4,58	275
0,30	1,353	75,7	1°20'	6,85	276
0,40	1,568	75,5	1°10'	9,10	277
0,50	1,755	75,4	1°00'	11,36	277
0,60	1,922	75,3	0°50'	13,60	277
0,70	2,076	75,2	0°50'	15,86	277
0,80	2,218	75,1	0°50'	18,12	278
0,90	2,351	75,0	0°40'	20,37	278
1,00	2,477	75,0	0°40'	22,6	278
1,10	2,597	75,0	0°40'	24,86	278
1,20	2,712	74,9	0°40'	27,09	278
1,30	2,822	74,9	0°40'	29,34	278
1,40	2,982	74,8	0°30'	31,58	278
1,50	3,031	74,8	0°30'	33,82	278
1,80	3,318	74,7	0°30'	40,56	279
2,0	3,499	74,7		45,0	279
2,5	3,912	74,6		56,25	279
3,0	4,286	74,6		67,46	279
4,0	4,951	74,5		89,85	280
5,0	5,538	74,5		112,24	280
6,0	6,070	74,4		134,63	280
7,0	6,560	74,4		157,01	280
8,0	7,017	74,4		179,38	280
8,6	7,278	74,4		192,64	280
9,0	7,447	74,4		201,64	280
10,0	7,856	74,3		224,13	280
11,0	8,244	74,3		246,00	280
12,0	8,616	74,3		269,00	280
13,0	8,974	74,3		291,00	280
14,0	9,318	74,25		314,00	280
15,0	9,652	74,25		336,00	280
16,0	9,974	74,25		357,00	280
17,0	10,287	74,25		381,00	280
18,0	10,584	74,25		403,00	280
19,0	10,880	74,25		426,00	280
20,0	11,169	74,2		448,00	280
21,0	11,452	74,2		470,00	280
22,0	11,727	74,2		493,00	280

Продолжение таблицы 4.22

f , МГц	α , дБ/км	$ Z_B $, Ом	$-\varphi$ °	β , рад/км	v , тыс. км/с
0,06	0,596	77,5	3°00'	1,38	273
0,08	0,737	77,1	2°30'	1,83	274
0,10	0,800	76,8	2°20'	2,31	274
0,20	1,099	76,1	1°40'	4,58	275
0,30	1,353	75,7	1°20'	6,85	276
0,40	1,568	75,5	1°10'	9,10	277
0,50	1,755	75,4	1°00'	11,36	277
0,60	1,922	75,3	0°50'	13,60	277
0,70	2,076	75,2	0°50'	15,86	277
0,80	2,218	75,1	0°50'	18,12	278
0,90	2,351	75,0	0°40'	20,37	278
1,00	2,477	75,0	0°40'	22,6	278
1,10	2,597	75,0	0°40'	24,86	278
1,20	2,712	74,9	0°40'	27,09	278
1,30	2,822	74,9	0°40'	29,34	278
1,40	2,982	74,8	0°30'	31,58	278
1,50	3,031	74,8	0°30'	33,82	278
1,80	3,318	74,7	0°30'	40,56	279
2,0	3,499	74,7		45,0	279
2,5	3,912	74,6		56,25	279
3,0	4,286	74,6		67,46	279
4,0	4,951	74,5		89,85	280
5,0	5,538	74,5		112,24	280
6,0	6,070	74,4		134,63	280
7,0	6,560	74,4		157,01	280
8,0	7,017	74,4		179,38	280
8,6	7,278	74,4		192,64	280
9,0	7,447	74,4		201,64	280
10,0	7,856	74,3		224,13	280
11,0	8,244	74,3		246,00	280
12,0	8,616	74,3		269,00	280
13,0	8,974	74,3		291,00	280
14,0	9,318	74,25		314,00	280
15,0	9,652	74,25		336,00	280
16,0	9,974	74,25		357,00	280
17,0	10,287	74,25		381,00	280
18,0	10,584	74,25		403,00	280
19,0	10,880	74,25		426,00	280
20,0	11,169	74,2		448,00	280
21,0	11,452	74,2		470,00	280
22,0	11,727	74,2		493,00	280

Окончание таблицы 4.22

f , МГц	α , дБ/км	$ Z_B $, Ом	$-\varphi^\circ$	β , рад/км	v , тыс.км/с
23,0	11,997	74,2		515,00	280
24,0	12,262	74,2		538,00	280
25,0	12,521	74,2		560,00	280

Отклонение коэффициента затухания не более $\pm 2,0\%$ Таблица 4.23. Температурный коэффициент затухания α_a коаксиальных пар кабелей типов КМ-4, КМ-8/6 и МКТ-4

f, МГц	$\alpha_n \cdot 10^{-3}$		f, МГц	$\alpha_n \cdot 10^{-3}$	
	коаксиальные пары типа			коаксиальные пары типа	
	2,6/9,5	1,2/4,4		2,6/9,5	1,2/4,4
0,06	2,4000	2,8000	2,50	1,9980	1,9693
0,10	2,3000	2,5000	3,00	1,9845	1,9675
0,15	—	2,3440	3,50	1,9815	1,9662
0,20	2,1900	2,2500	4,00	1,9790	1,9650
0,25	—	2,1900	4,50	1,9765	1,9640
0,30	2,1300	2,1460	5,00	1,9745	1,9633
0,35	—	2,1080	5,50	1,9720	1,9625
0,40	2,0900	2,0800	6,00	1,9700	1,9623
0,45	—	2,0560	6,50	1,9685	1,9615
0,50	2,0650	2,0360	7,00	1,9670	1,9612
0,55	—	2,0200	7,50	1,9655	1,9608
0,60	2,0450	2,0080	8,00	1,9640	1,9606
0,65	—	2,0000	8,50	1,9625	1,9604
0,70	2,0300	1,9940	9,00	1,9620	1,9603
0,75	—	1,9880	9,50	1,9610	1,9601
0,80	2,0180	1,9840	10,0	1,9600	1,9600
0,85	—	1,9820	11,0	1,9590	—
0,90	2,0100	1,9800	12,0	1,9580	—
0,95	—	1,9795	13,0	1,9570	—
1,00	2,0050	1,9790	14,0	1,9565	—
1,05	—	1,9785	15,0	1,9560	—
1,10	2,0000	1,9780	16,0	1,9555	—
1,15	—	1,9775	17,0	1,9550	—
1,20	1,9980	1,9770	18,0	1,9545	—
1,25	—	1,9765	19,0	1,9540	—
1,30	1,9950	1,9760	20,0	1,9535	—
1,35	—	1,9755	21,0	1,9530	—
1,40	1,9940	1,9750	22,0	1,9525	—
1,45	—	1,9745	23,0	1,9520	—
1,50	1,9930	1,9740	24,0	1,9515	—
2,00	1,9910	1,9715	25,0	1,9510	—

Таблица 4.24. Параметры симметричных пар с воздушно-бумажной изоляцией, диаметром жил 0,9 мм кабелей типа КМ-4 в диапазоне частот 0,3–3,5 кГц при температуре 20 °С

f , кГц	α , дБ/км	$ Z_B $, Ом	β , рад/км	$-\varphi^\circ$
0,3	0,360	932	0,041	43°18'
0,5	0,448	722	0,051	42°48'
0,8	0,588	573	0,064	42°00'
1,0	0,618	513	0,072	41°25'
2,0	0,825	366	0,093	38°45'
3,0	0,950	304	0,110	36°15'
3,5	1,001	286	0,160	35°04'
Отклонение коэффициента затухания $\pm 5\%$, волнового сопротивления $\pm 10\%$				

Таблица 4.25. Параметры симметричных пар с воздушно бумажной изоляцией, диаметром жил 0,9 мм кабелей типа КМ-4, при температуре +20 °С

f , кГц	α , дБ/км	$ Z_B $, Ом	$-\varphi^\circ$
10	1,301	195,0	21°48'
20	1,480	177,0	12°50'
30	1,659	169,8	9°24'
40	1,839	166,2	7°15'
50	2,018	164,3	5°50'
60	2,197	163,0	4°48'
70	2,376	162,0	4°15'
80	2,555	161,2	3°45'
90	2,734	160,4	3°20'
100	2,913	159,8	3°10'
110	3,092	159,4	3°00'
Отклонение коэффициента затухания $\pm 5\%$, волнового сопротивления $\pm 10\%$			

Таблица 4.26. Параметры пупинизированной цепи коаксиальных кабелей КМ-4 и КМ-8/6

Показатели	Нормы	
Шаг пупинизации, м	1700	1000; 1200
Допустимое отклонение шага пупинизации, м	± 50	± 100
Индуктивность катушки, мГ	100	100
Частота пропускания, Гц	2600	2600
Расстояние между ОУП-ОУП, км	186	186

Исходные данные для расчетов параметров цепи пупинизации:

Электрическое сопротивление шлейфа симметричной пары – 54,5 Ом·км

Рабочая емкость симметричной пары – 32 нФ/км

Индуктивность симметричной пары – 0,7 мГ/км

Тангенс угла диэлектрических потерь цепи – $2,5 \times 10^{-3}$

Индуктивность катушки – 100 мГ

Рабочая емкость катушки – 2,5 нФ

Тангенс угла диэлектрических потерь катушки – 15×10^{-3}

Электрическое сопротивление катушки:

$f, \text{кГц}$	0,3	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,4	2,6	3,0	3,5
$R, \text{Ом}$	7,0	7,3	8,0	8,5	10,0	12,0	14,0	1,0	17,2	19,1

Таблица 4.27. Электрические параметры пупинизированной цепи

Показатели	Шаг пупинизации, м		
	1000	1200	1700
Номинальные значения коэффициента затухания, мНп/км на частотах:			
0,3 кГц	17,84	19,12	22,20
0,5 кГц	18,30	19,45	22,60
0,8 кГц	18,67	19,74	23,10
1,0 кГц	18,96	20,10	23,40
1,5 кГц	19,73	20,74	24,27
2,0 кГц	20,73	21,58	25,30
2,4 кГц	21,71	22,48	26,20
2,6 кГц	22,28	23,00	26,50
3,0 кГц	23,56	24,27	28,30
3,5 кГц	25,31	26,19	32,50
Номинальные значения модуля характеристического сопротивления, Ом, на частотах:			
0,3 кГц	1758	1652	1450
0,5 кГц	1733	1595	1410
0,8 кГц	1734	1590	1390
1,0 кГц	1743	1603	1390
1,5 кГц	1779	1649	1448
2,0 кГц	1840	1717	1540
2,4 кГц	1907	1795	1645
2,6 кГц	1950	1845	1712
3,0 кГц	2054	1973	1910
3,5 кГц	2243	2217	2390
Отклонение коэффициента затухания $\pm 10\%$			
Отклонение характеристического сопротивления $\pm 15\%$			

Таблица 4.28. Температурный коэффициент затухания $\alpha_a \cdot 10^{-3}$ симметричных пар диаметром жил 0,9 мм кабелей типов КМ-4 и КМ-8/6

$f, \text{кГц}$	Тип изоляции	
	Воздушно-бумажная, кордельно-бумажная	Воздушно-полиэтиленовая
0,3	2,46	2,46
0,5	2,52	2,52
0,8	2,62	2,62
1,0	2,68	2,68
2,0	2,94	2,94
3,0	3,13	3,13
3,5	3,21	3,21
10	3,56	3,65
20	2,95	3,36
30	2,38	3,12
40	1,88	2,92

Окончание таблицы 4.28

f, кгц	Тип изоляции	
	Воздушно-бумажная, кордельно-бумажная	Воздушно-полиэтиленовая
50	1,59	2,75
60	1,41	2,61
70	1,28	2,49
80	1,18	2,40
90	1,10	2,33
100	1,04	2,27
110	1,00	2,22

Глава 5

КАБЕЛИ ГОРОДСКИХ ТЕЛЕФОННЫХ СЕТЕЙ

5.1. Требования, предъявляемые к современным многопарным кабелям ГТС

Широкое развитие городских телефонных сетей за последние годы привело не только к увеличению номерной емкости АТС и объема линейно-кабельных сооружений, но и предъявило новые, более высокие требования к многопарным кабелям ГТС. К числу основных требований, прежде всего, относится создание и применение на ГТС таких кабелей, которые, обладая высокими надежностью, электрическими и физико-механическими характеристиками, позволили бы решить весьма важную задачу снижения их материало-емкости, особенно в части экономии таких дефицитных металлов, как свинец и медь. Помимо этого по современным кабелям ГТС должна обеспечиваться низкочастотная телефонная связь с передачей сигналов взаимодействия и управления между АТС, передача сигналов телеграфной, фототелеграфной связи; передача программ вещания, дискретной информации со средними и высокими скоростями, а также возможность использования части цепей для уплотнения высокочастотными каналами аналоговых и цифровых систем передачи.

Применение новой коммутационной техники, новых, более совершенных оконечных абонентских устройств, с одновременным улучшением технологии строительства линий ГТС и повышением культуры эксплуатации линейно-кабельных сооружений позволили при конструировании современных типов кабелей не только использовать новые синтетические материалы и передовую технологию, но и заменить свинцовые оболочки пластмассовыми и стальными. Кроме того, конструктивные и электрические характеристики этих кабелей должны быть максимально унифицированы [1–6].

5.2. Кабели ГТС с воздушно-бумажной изоляцией жил в свинцовой оболочке

Городские симметричные телефонные кабели с медными жилами в свинцовой оболочке изготавливаются по ГОСТ 20802-75 и различаются по трем признакам: диаметру токопроводящих жил, количеству элементарных групп (пар) и типу защитных покровов. Конструкция кабелей приведена на рис. 5.1.

Токопроводящие жилы кабелей изготавливаются из медной проволоки диаметром 0,4; 0,5 и 0,7 мм. Жилы изолируются сплошным слоем бумажной массы (пористо-бумажная изоляция) или лентой телефонной бумаги, наложенной по спирали с перекрытием не менее 20% (трубчато-бумажная изоляция). Оба типа изоляции являются разновидностями так называемой воздушно-бумажной изоляции.

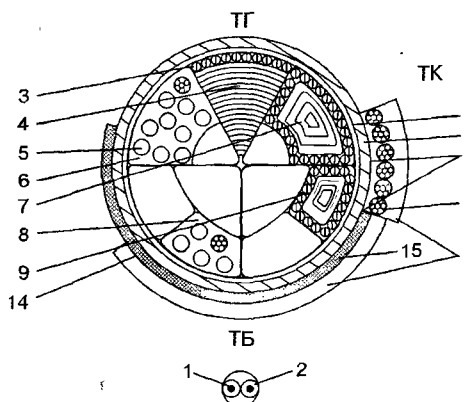


Рис. 5.1

Конструкция кабелей ГТС с воздушно-бумажной изоляцией в свинцовой оболочке:

- 1 – токопроводящая жила;
- 2 – изоляция жилы;
- 3 – пара;
- 4 – повивы;
- 5 – элементарный пучок 10×2;
- 6 – главный пучок 10×(10×2);
- 7 – главный пучок (100×2);
- 8 – главный пучок 5×(10×2);
- 9 – главный пучок 50×2;
- 10 – поясная изоляция;
- 11 – свинцовая оболочка;
- 12 – подушка; 13 – броня;
- 14 – броня из стальных оцинкованных лент;
- 15 – наружный покров;
- 16 – наружный волокнистый покров

По типу защитных покровов установлены следующие четыре марки кабелей:

ТГ в свинцовой оболочке для прокладки в кабельной канализации, по стенам зданий и для подвески на опорах воздушных линий связи;

ТБ в свинцовой оболочке, с плоской стальной броней и защитным наружным слоем для прокладки в земле;

ТБГ в свинцовой оболочке, с плоской стальной броней, с противокоррозионной защитой для прокладки внутри помещений, в коллекторах и тоннелях;

ТК в свинцовой оболочке, с броней из круглых стальных, оцинкованных проволок, с защитным наружным покрытием для прокладки под водой, в грунтах, подверженных смещению и вертикальной прокладке.

Скрутка изолированных жил в группы – парная, скрутка сердечника – как повивная, так и пучковая.

Таблица 5.1. Количество пар в кабелях в зависимости от диаметра токопроводящих жил и рода защитных покровов

Марка кабеля	Диаметр токопроводящих жил, мм		
	0,4	0,5	0,7
ТГ	10–1600	10–1400	10–600
ТБ, ТБГ	10–600	10–600	10–600
ТК	20–600	20–600	20–600

Изолированные жилы скручиваются в пары с шагом не более 250 мм. Пары обматываются по открытой спирали хлопчатобумажной пряжей с шагом не более 100 мм. В каждой паре изолированные жилы (*а* и *б*) различаются расцветкой их изоляции: для пористо-бумажной изоляции жила *а* натурального цвета, жила *б* – красного или синего цвета (или с красной или синей полосой); для трубчато-бумажной изоляции жила *а* натурального цвета или с определенной группой колец, жила *б* – натурального цвета с определенной группой колец. Для этого вида изоляции допускается также применение жилы *а* натурального цвета, жилы *б* – с красной или синей полосой.

У кабелей повивной скрутки жила *а* не имеет маркировочных колец, жила *б* первой пары имеет одно кольцо синего цвета, а второй и всех последующих пар в повиве – одно кольцо красного цвета.

Цвет и число маркирующих колец кабелей пучковой (десятипарный пучок) скрутки приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2. Число маркирующих колец и их цвет в парах пучка

Номер пары в элементарном пучке	Жила а		Жила б	
	Цвет кольца	Число колец	Цвет кольца	Число колец
1	—	—	Красный	1
2	—	—	Синий	2
3	—	—	Красный	3
4	—	—	Синий	4
5	Красный	1	Синий	2
6	Красный	1	Красный	3
7	Красный	1	Синий	4
8	Синий	2	Красный	3
9	Синий	2	Синий	4
10	Красный	3	Синий	4

При повивной скрутке с целью более легкого разделения повивов друг от друга и увеличения взаимозащищенности между цепями соседних повивов смежные повивы имеют взаимно противоположные направления скрутки. Кабели с числом пар более 1200 скручиваются только по системе пучковой скрутки.

При пучковой скрутке сердечники кабелей до 100 пар включительно скручиваются из элементарных пучков 10×2, свыше 10×2 — из главных пучков 50×2 или 100×2.

Главные пучки могут быть скручены из элементарных пучков 10×2 или по системе повивной скрутки.

Дополнительные пары в кабелях при повивной скрутке сердечника размещены по повивам, а при пучковой располагаются между элементарными и главными пучками.

В каждом повиве имеется одна счетная и одна направляющая пары, у которой цвет жил, отличный от всех остальных пар в повиве. Кроме того, в каждом повиве сердечника или главного пучка расположены один счетный пучок и один направляющий элементарный или главный пучок, отличающиеся от остальных пучков цветом скрепляющей нити или бумажной ленты. Счетный элементарный или главный пучок отличается скрепляющей нитью или бумажной лентой красного цвета, направляющий — синего цвета.

Сердечник кабеля обматывается бумажными или хлопчатобумажными лентами с перекрытием. Под свинцовой оболочкой прокладывается мерная лента или нитка присвоенного предприятию-изготовителю цвета, либо через каждый метр на поверхности поясной изоляции указывается название предприятия-изготовителя и год изготовления кабеля.

Толщина свинцовой оболочки кабелей в зависимости от диаметра по поясной изоляции и типа защитных покровов приведена в ГОСТ 20802-75.

Кабели поставляются под избыточным внутренним начальным давлением воздуха $(2,94 \dots 7,80) \cdot 10^4$ Н/м² на деревянных барабанах, с доступными для испытаний концами. Кабели с числом пар 100 и выше поставляются с вмонтированными вентилями.

Электрические характеристики кабелей типа Т при температуре +20 °С приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3. Электрические характеристики кабелей типа Т

Характеристика	Ед. измер.	Частота, кГц	Нормы для кабелей		Коэффициент пересчета нормы на другую длину
			1-й категории	с государственным Знаком качества	
Электрическое сопротивление не более, токопроводящей жилы диаметром, мм: 0,4 0,5 0,7	Ом/км	Постоянный ток	139±9 90+5 45+3		$L/1000$
Электрическое сопротивление изоляции жил, не менее: трубчатобумажной пористобумажной	МОм·км	Постоянный ток	5000 4000	8000 5000	$1000/L$
Рабочая емкость жилы диаметром, мм: 0,4 и 0,5 0,7	нФ/км	0,8	50^{+5}_{-12} 45^{+5}_{-7}	50^{+5}_{-10} 45^{+5}_{-7}	$L/1000$
Испытательное напряжение (в течение 2 мин.) между жилами и оболочкой	В	0,05 Постоянный ток	500 750	500 750	

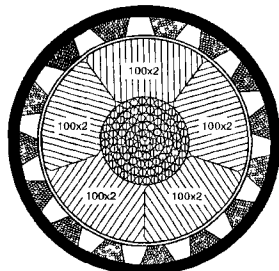
Примечание. В табл. L – строительная длина, м.

5.3. Кабели ГТС с воздушно-бумажной изоляцией жил в стальной гофрированной оболочке

Эти кабели типа ТСтШп (рис. 5.2) в полиэтиленовом шланге предназначены для прокладки в канализации при температуре окружающей среды от -40 до $+50$ °С. Кабели могут выпускаться с токопроводящими жилами из медной проволоки диаметром 0,4; 0,5 и 0,7 мм и изолируются бумажными лентами, наложенными по спирали с перекрытием не менее 20%.

Рис. 5.2

Поперечное сечение кабеля марки ТСтШп 600×2×0,5, скрученного из главных пучков 100×2, каждый из которых скручен по системе повивной скрутки



Номинальное количество пар и максимальный наружный диаметр кабелей типа ТСтШп приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4. Номинальное количество пар и максимальный наружный диаметр кабелей типа ТСтШп

Номинальное количество пар	Максимальный наружный диаметр кабеля, мм, с диаметром жилы, мм			Номинальное количество пар	Максимальный наружный диаметр кабеля, мм, с диаметром жилы, мм		
	0,4	0,5	0,7		0,4	0,5	0,7
100	28	32	41	500	54	62,5	—
150	33	36	52	600	57	66	—
200	36	41,5	56	700	60	72	—
300	42	52	69	800	64	76	—
400	48	56	78				

Конструктивные размеры сердечника и электрические характеристики пар у кабелей этого типа аналогичны кабелям типа Т.

На скрученный сердечник накладывается поясная изоляция либо из двух лент кабельной бумаги с перекрытием 40%, либо из трех лент с перекрытием 20...25%. Поверх этой изоляции имеется стальная гофрированная оболочка, номинальная толщина которой указана в табл. 5.5.

Таблица 5.5
Номинальная толщина гофрированной оболочки кабеля

Диаметр кабеля под оболочкой, мм	Толщина оболочки, мм
До 26	0,3
До 48	0,4
До 76	0,5

Защитное покрытие у этих кабелей такое же, как и у кабелей типа ТППБШп.

5.4. Кабели ГТС с полиэтиленовой изоляцией жил в пластмассовой оболочке

Городские телефонные кабели с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке до 1.07.2000 г. изготавливались по ГОСТ 22498-77 и предназначались для распределительных и магистральных линий ГТС при эксплуатации их при температуре среды от -50 до +50 °С для кабелей в полиэтиленовой оболочке и от -40 до +50 °С для кабелей в поливинилхлоридной оболочке. Конструкция кабелей приведена на рис. 5.3.

Кабели выпускались следующих марок:

ТПП в полиэтиленовой оболочке для прокладки в телефонной канализации, по стенам зданий и подвески на опорах воздушных линий связи;

ТППэп с влагонепроницаемым барьером из алюмополиэтиленовой пленки, в полиэтиленовой оболочке. Назначение кабелей то же, что и ТПП;

ТППБ в полиэтиленовой оболочке, бронированный стальными плоскими лентами; для прокладки в грунтах всех категорий, не характеризующихся повышенной коррозионной опасностью по отношению к стальной броне;

ТППБГ то же, что и ТППБ, но с противокоррозионным покрытием для прокладки в коллекторах, тоннелях и шахтах;

ТППБШп то же, что и ТППБ, с наружным защитным шлангом из полиэтилена;

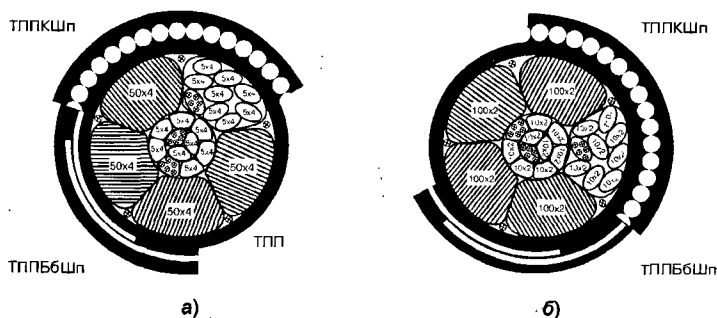


Рис. 5.3
Поперечное сечение кабелей

а – марки
ТПП 300×4×0,5;
б – марки
ТПП 600×2×0,5

ТППт в полиэтиленовой оболочке со встроенным тросом для подвески на опорах воздушных линий связи (рис. 5.4);

ТПВ в поливинилхлоридной оболочке для прокладки по наружным и внутренним стенам здания и внутри помещения;

ТПВБГ то же, что и ТПВ, бронированный плоскими стальными лентами с противокоррозийным покрытием;

ТППКШп то же, что и ТПП, бронированный круглыми стальными, оцинкованными проволоками, с наружным защитным шлангом из полиэтилена для подводной прокладки.

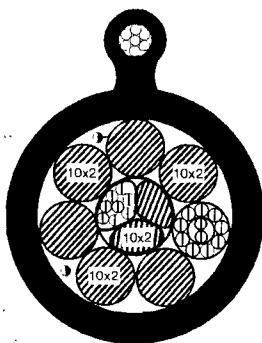


Рис. 5.4

Поперечное сечение подвесного кабеля марки ТППт 100×2×0,7

Токопроводящие жилы кабелей изготавливаются из медной проволоки диаметром 0,32; 0,4; 0,5 и 0,7 мм (для кабеля марки ТППт – диаметром 0,5 и 0,7 мм) и изолируются сплошным полиэтиленом. Изолированные жилы могут быть скручены в пары или четверки с шагом не более 100 мм, причем в четверке две жилы, расположенные по диагонали, образуют рабочую пару.

Изолированные жилы имеют расцветку, указанную в табл. 5.6.

В табл. 5.7 приводятся данные о количестве пар в кабелях этого типа, причем кабели с жилой диаметром 0,7 мм и кабели марок ТППБ, ТППБГ, ТППБ6Шп предусмотрены для выпуска с числом пар до 600 включительно, а кабели марок ТПВ, ТПВБГ и ТППт – с числом пар до 100 включительно.

Изолированные группы (пары или четверки) скручиваются в сердечник, который для кабелей с числом пар до 100 (50×4) включительно может скручиваться как по системе повивной, так и пучковой скрутки. Сердечники кабелей с числом пар выше 100 скручиваются из 50×2 или 100×2 (соответственно 25×4 или 50×4) главных пучков, состоящих соответ-

Таблица 5.6. Расцветка изолированных жил кабелей ГТС

Номер пары	Обозначение и расцветка жилы в паре		Номер четвертки	Расцветка жил в четверке
	а	б		
1	Красная	Зеленая	1	Черная, красная,
2	Синяя	Натуральная		натуральная, коричневая
3	Черная	Натуральная	2	Зеленая, красная,
4	Красная	Коричневая		натуральная, коричневая
5	Зеленая	Натуральная	3	Синяя, красная,
6	Красная	Синяя		натуральная, коричневая
7	Зеленая	Натуральная	4	Зеленая, красная,
8	Красная	Синяя		натуральная, коричневая
9	Зеленая	Натуральная	5	Синяя, красная,
10	Красная	Синяя		натуральная, коричневая

Таблица 5.7. Число пар в кабелях ГТС

Число пар		Число четверок		Число пар		Число четверок	
Номинальное	Фактическое	Номинальное	Фактическое	Номинальное	Фактическое	Номинальное	Фактическое
5	5	—	—	400	402	200	201
10	10	5	5	500	503	250	252
20	20	10	10	600	603	300	302
30	30	15	15	700	704	350	352
50	50	25	25	800	804	400	402
100	101	50	51	900	905	450	453
150	151	75	76	1000	1005	500	503
200	201	100	101	1200	1206	600	603
300	302	150	151				

венно из пяти или десяти элементарных (10×2 или 5×4) пучков (скрученных по системе пучковой скрутки).

В каждом повиве имеется одна счетная и одна направляющая пары, имеющие цвет жил, отличный от всех остальных пар в повиве. Кроме того, в каждом повиве сердечника имеется также один счетный и один направляющий элементарные пучки, отличающиеся от остальных пучков цветом скрепляющей нити. Счетный элементарный пучок обматывается скрепляющей нитью красного цвета, направляющий — скрепляющей нитью синего цвета.

Поверх скрученного сердечника накладывается поясная изоляция из полиэтиленовых или поливинилхлоридных, или полиамидных, или полнэтилентерефталатных лент, наложенных с перекрытием 20–25%. Поверх поясной изоляции накладывается продольно или спирально с перекрытием не менее 10% экран из алюминиевой ленты или из алюминиевой ленты с полиэтиленовым подслоем. Толщина алюминиевой ленты 0,1–0,2 мм.

На экран накладывается оболочка и защитные покровы, соответствующие марке кабеля. Под оболочкой прокладывается мерная лента или нить присвоенного предприятия-изготовителя цвета. Кроме того, на оболочку может быть нанесена маркировка предприятия-изготовителя.

Электрические характеристики кабелей с пластмассовой изоляцией и оболочкой при температуре +20 °С приведены в табл. 5.8.

Таблица 5.8. Электрические характеристики кабелей ГТС

Характеристика	Ед. измер.	Частота, кГц	Нормы для кабелей		Коэффициент пересчета нормы на другую длину
			1-й категории качества	С государственным Знаком качества	
Электрическое сопротивление токопроводящих жил диаметром, мм: 0,32 0,4 0,5 0,7	Ом/км	Постоянный ток	216±13 139±9 90±5 45±3	216±13 139±9 90±5 45±3	$L/1000$
Электрическое сопротивление изоляции жил, не менее: для 100% значений для 80% значений	МОм·км	Постоянный ток	5000	6000 8000	$1000/L$
Испытательное напряжение (в течение 1 мин): между жилами рабочих пар между всеми жилами и экраном	В	0,05 Постоянный ток	1000 1500 500 750	1000 1500 500 750	
Рабочая емкость, не более	нФ/км	0,8	45 ⁺⁵ ₋₈	45±5	$L/1000$
Коэффициент емкостной связи k_1 в кабелях четверочной скрутки на строительную длину, нФ, не более: для 100% значений для 97% значений для 95% значений			600 300 250	300 — 250	$L/1000$
Примечание. В табл. L — фактическая длина кабеля, м					

Максимальные наружные диаметры кабелей зависят от конструкции и категории качества, присвоенного изделию. Так, например, для кабелей с гофрированным экраном наружные размеры увеличиваются на 15%, а для кабелей, выпускаемых со знаком качества, наружные размеры уменьшаются на 5%.

Кабели остальных марок в основе своей содержат сердечник кабеля ТПП и отличаются только типом и конструкцией защитных покровов.

Кабели марки ТППэп в отличие от кабелей ТПП имеют поверх поясной изоляции вместо экрана из алюминиевой ленты экран из алюминиевой ленты с полиэтиленовым подслоем (металлом внутрь).

Кабели марки ТППт (рис. 5.4) содержат помимо рабочих пар пары (или жилы), предназначенные для контроля за состоянием кабеля в процессе эксплуатации. Эти контрольные пары расположены между пучками под оболочкой. Жилы такой пары покрыты либо бумажной, либо прерывистой полиэтиленовой изоляцией.

Максимальные наружные размеры кабелей марки ТППт со встроенным тросом приведены в табл. 5.9 (d – диаметр изолированного троса, D – диаметр кабеля, H – высота кабеля с тросом). Конструктивные данные стального троса приведены в табл. 5.10.

Таблица 5.9. Максимальные наружные размеры кабелей марки ТППт со встроенным тросом

Номинальное число пар	Диаметр жилы, мм					
	0,5			0,7		
	d	D	H	d	D	H
10	8,5	11,0	25,0	8,5	13,6	27,3
20	8,5	14,0	29,0	8,5	18,3	32,0
30	8,5	17,2	30,9	8,5	22,8	36,5
50	8,5	22,0	35,5	8,5	29,2	43,0
100	9,5	29,8	45,5	9,5	38,1	52,8

Таблица 5.10. Конструктивные данные стального троса

Диаметр кабеля под оболочкой, мм	Количество проволок	Диаметр, мм		Разрывная прочность, Н/см ²
		проволок	троса	
До 20	7	1,0	3,0	5886
От 20 до 30	7	1,2	3,7	8535

5.5. Низкочастотные герметизированные кабели местной связи

Основными критериями возможности использования кабелей связи являются их надежность и стабильность электрических характеристик цепей при длительной эксплуатации. С этой точки зрения внедрение пластмассовых конструктивных элементов потребовало решения ряда проблем, среди которых одной из центральных явилась проблема защиты кабеля от проникновения влаги из окружающей среды.

Существующие конструкции пластмассовых кабелей имеют в сердечнике значительный свободный объем, например, в кабеле ТПП $50 \times 4 \times 0,4 - 100$ см³·м. При определенных условиях в процессе изготовления кабелей, строительстве и эксплуатации линий в этом объеме может накапливаться и распространяться проникающая в кабель влага и ее пары.

Возможны два пути проникновения влаги внутрь кабеля:

1. Диффузия паров влаги через пластмассовую оболочку из окружающей среды;
2. Повреждение оболочки кабеля или муфты, а также отсутствие герметизации концов кабеля в оконечных устройствах.

При попадании влаги в кабель в местах повреждения она распространяется в сердечник на значительные расстояния и может вызвать снижение величины сопротивления изоляции или короткое замыкание между жилами. Кроме того, это приводит к увеличению рабочей емкости цепи и, следовательно, к ухудшению параметров передачи и влияния между цепями. Для многопарных кабелей ТПП, имеющих большой свободный объем и, как правило, тонкую изоляцию жил, изменение электрических характеристик из-за проникновения влаги в сердечник может быть весьма большим (электрическая емкость цепей увеличивается в 2,5 раза, а коэффициент затухания на 55% в диапазоне звуковых частот и 75% на высоких частотах).

В настоящее время принято считать, что наиболее простым и эффективным решением проблемы влагозащиты кабелей связи является заполнение сердечника гидрофобными пастообразными компаундами на основе высокомолекулярных соединений углеводородов. Эти вещества обладают водоотталкивающими (гидрофобными) свойствами и не поглощают влагу. Благодаря пластичности таких заполнителей введение их в сердечник может осуществляться при нормальной или слегка повышенной температуре.

У нас в стране разработаны и в семидесятых, восьмидесятых годах применялись на сетях местной связи низкочастотные телефонные кабели с медными жилами с полиэтиленовой изоляцией и гидрофобным заполнением сердечника. Техническими условиями ТУ 16.505.691-75 предусмотрены кабели следующих марок:

ТПЭПЗ – телефонный, с полиэтиленовой изоляцией, экраном из алюминиевой ленты, гидрофобным заполнением сердечника, в полиэтиленовой оболочке;

ТПЭЗПБ – телефонный, с полиэтиленовой изоляцией, гидрофобным заполнением сердечника, в полиэтиленовой оболочке, бронированный одной стальной лентой, в полиэтиленовом защитном шлаге;

ТПЭЗБП – телефонный, с полиэтиленовой изоляцией, гидрофобным заполнением сердечника, экраном из алюминиевой ленты, в полиэтиленовой оболочке, бронированный двумя стальными лентами в полиэтиленовом защитном шлаге.

Токопроводящие жилы кабелей изготавливались из мягкой медной проволоки марки ММ диаметром 0,4; 0,5 и 0,7 мм и изолированные сплошным слоем полиэтилена с такой же толщиной, как в незаполненных (ТПП) кабелях. Две или четыре жилы различного цвета скручиваются в элементарную группу – пару или четверку с шагом не более 100 мм.

Сердечник кабелей емкостью до 30 пар (15 четверок) скручиваются по системе повивной скрутки, а емкостью 50 и 100 пар (25 и 50 четверок) – по системе пучковой скрутки из элементарных десятипарных $(2+8) \times 2$ или пятичетверочных (5×4) пучков. Свободное пространство сердечника заполнено гидрофобным компаундом. Поверх скрученного и заполненного сердечника накладывается поясная изоляция из полиэтиленовой или поливинилхлоридной ленты с перекрытием 20...25%. При изготовлении кабеля процессы скрутки сердечника, заполнения свободного объема и наложения поясной изоляции объединяются в одну технологическую операцию.

В кабелях марок ТПЭПЗ и ТПЭЗБП на поясную изоляцию последовательно накладываются слой гидрофобного заполнителя толщиной около 0,1...0,15 мм и экран из алюминиевой ленты толщиной 0,1...0,2 мм с перекрытием не менее 10%. Сверху экрана в кабелях марки ТПЭЗБП поясная изоляция покрывается оболочкой из светостабилизированного полиэтилена. На оболочку накладываются последовательно защитные покрытия: две

поливинилхлоридные ленты с перекрытием 20%; две (в ТПЭПЗБП) или одна (в ТППЗБП) стальные, ленты толщиной 0,1...0,3 мм с антикоррозионным покрытием; защитный шланг из светостабилизированного полиэтилена. Полиэтиленовая оболочка и шланг герметичны и обладают следующими физико-механическими характеристиками: усадка – не более 3%, относительное удлинение при разрыве – не менее 250%.

Допустимый радиус изгиба составляет для небронированных кабелей не менее десяти диаметров по оболочке, а для бронированных – не менее 12 диаметров. Кабели предназначены для эксплуатации при температуре среды от -50 до +50.

Электрические характеристики телефонных герметизированных кабелей типа ТПЭПЗ приведены в табл. 5.11.

Таблица 5.11. Электрические характеристики телефонных герметизированных кабелей типа ТПЭПЗ

Характеристика	Ед. измер.	Частота, кГц	Норма	Коэффициент пересчета на другую длину, м
Электрическое сопротивление токопроводящей жилы диаметром, мм: 0,4 0,5 0,7	Ом/км	Постоянный ток	139±9 90±6 45±3	$L/1000$
Сопротивление изоляции жил, не менее: для 100% значений для 80% значений	МОм·км	Постоянный ток	6000 8000	$1000/L$
Испытательное напряжение (в течение 2 мин) между: жилами рабочих пар жилами и экраном экраном и броней	В	0,05	1000 500 2000	
Рабочая емкость	нФ/км	0,8	50±5	$L/1000$
Коэффициент емкостной связи k_c в кабелях четверочной скрутки, не более: для 100% значений для 96% значений	пФ/300 м	0,8	500 300	$L/300$

5.6. Параметры передачи и влияния кабелей ГТС в высокочастотном диапазоне

В пп. 5.2–5.5 дана исчерпывающая характеристика многопарных кабелей ГТС, применяемых для организации связи в низкочастотном диапазоне. Постановка задачи создания сети абонентского доступа на «медных» кабелях требует оценки электрических характеристик в широком диапазоне частот, используемых для технологии xDSL.

Приведем экспериментальные данные, полученные путем испытаний строительных длин кабелей в диапазоне до 2048 кГц (табл. 5.12 и 5.13).

Таблица 5.12. Параметры передачи строительных длин кабелей типа Т с парной скруткой жил при $t = 20^\circ\text{C}$

Частота, кГц	Изоляция воздушно-бумажная $d_0 = 0,5$ мм; парный; $R_0 = 168$ Ом/км; $C_p = 41$ нФ/км				Изоляция пористо-бумажная $d_0 = 0,5$ мм; четверочный; $R_0 = 190$ Ом/км; $C_p = 50$ нФ/км				Изоляция воздушно-бумажная $d_0 = 0,7$ мм; парный; $R_0 = 90,5$ Ом/км; $C_p = 40$ нФ/км			
	$ Z_B $, Ом	$-Q_B$	α , дБ/км	β , рад/км	$ Z_B $, Ом	$-Q_B$	α , дБ/км	β , рад/км	$ Z_B $, Ом	$-Q_B$	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	38°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	140,0	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	132,0	3°24'	6,05	8,30
300,0	122,5	5°45'	10,44	9,46	109,0	7°00'	11,14	10,25	130,6	2°55'	6,70	9,55
400,0	122,5	5°09'	12,18	12,5	108,0	6°06'	13,05	13,30	130,0	2°21'	7,83	13,0
500,0	122,0	4°50'	13,66	15,6	107,1	5°38'	14,96	16,75	129,8	2°00'	8,92	16,3
600,0	121,5	4°36'	15,01	18,7	107,0	5°22'	16,53	20,00	129,0	1°48'	10,01	19,6
700,0	121,0	4°24'	16,36	22,0	106,9	5°10'	18,27	23,2	128,8	1°40'	10,88	22,5
800,00	121,0	4°15'	17,40	25,0	106,8	4°57'	20,01	26,5	128,5	1°35'	11,75	25,6
900,0	121,0	4°06'	18,44	28,0	106,2	4°48'	21,32	30,00	128,4	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	45,5	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 $\pm 10\%$; $|Z_B| \pm 6\%$

Таблица 5.13. Параметры передачи строительных длин кабелей типа ТПП пучковой скрутки при t = 20 °С

Частота, кГц	Кабели со сплошной полиэтиленовой изоляцией											
	$d_0 = 0,5$ мм; парный; $R_0 = 180$ Ом/км; $Cp = 45$ нФ/км; $L = 5,84 \cdot 10^{-4}$ Г/км				$d_0 = 0,5$ мм; четверочный; $R_0 = 180$ Ом/км; $Cp = 40$ нФ/км; $L = 7,14 \cdot 10^{-4}$ Г/км				$d_0 = 0,7$ мм; парный; $R_0 = 92$ Ом/км; $Cp = 45$ нФ/км; $L = 5,78 \cdot 10^{-4}$ Г/км			
	$ Z_B $, Ом	α , дБ/км	β , рад/км	γ , рад/км	$ Z_B $, Ом	α , дБ/км	β , рад/км	γ , рад/км	$ Z_B $, Ом	α , дБ/км	β , рад/км	γ , 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	272,0	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	11,5	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	19,1	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
800,00	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'	15,70	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	45,100	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'	17,50	59,885

Примечание. Разброс значений во всем диапазоне частот $\alpha \pm 5\%$, $|Z_B| \pm 5\%$

Количественная оценка взаимных влияний на строительных длинах кабелей ТПП приведена в табл. 5.14 – 5.17.

Таблица 5.14. Переходное затухание между цепями на ближнем конце:
кабель ТПП 10×2×0,4; L = 285 м; f = 256 кГц

Цепь влияющая	Подверженная влиянию									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		59	59	58	61	58	63	67	61	66
2	59		58	62	58	77	70	62	63	65
3	59	58		74	60	75	57	74	66	69
4	58	61	73		62	56	63	58	64	67
5	61	57	60	61		71	75	61	80	66
6	58	79	74	56	70		74	65	64	63
7	64	69	57	62	75	74		66	59	70
8	67	62	73	58	61	66	66		63	64
9	62	64	67	65	80	66	61	65		59
10	66	65	68	66	68	69	69	63	57	

Таблица 5.15. Переходное затухание между цепями на ближнем конце:
кабель ТПП 10×2×0,4; L = 285 м; f = 512 кГц

Цепь влияющая	Подверженная влиянию									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		61	58	60	63	60	65	68	63	68
2	61		60	64	62	70	72	64	65	67
3	60	62		65	67	73	66	67	68	66
4	62	65	62		70	70	72	70	71	69
5	65	65	65	66		74	72	73	71	70
6	63	75	72	72	75		74	70	71	72
7	67	73	70	74	73	73		72	70	71
8	70	65	68	72	74	70	72		69	68
9	65	67	70	73	74	72	70	71		70
10	70	69	68	71	73	68	68	70	71	

Таблица 5.16. Переходное затухание между цепями на ближнем конце:
кабель ТПП 10×2×0,4; L = 285 м; f = 1024 кГц

Цепь влияющая	Подверженная влиянию									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		57	50	49	49	59	60	62	48	47
2	56		62	57	61	52	55	59	52	55
3	50	63		60	46	51	50	65	59	56
4	48	55	58		53	50	58	54	55	63
5	49	61	46	55		50	50	63	54	59
6	59	52	51	52	49		65	63	44	58
7	59	56	50	60	50	65		65	52	45

Окончание таблицы 5.16

Цепь влияющая	Подверженная влиянию									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	61	59	62	57	62	63	67		64	63
9	49	52	59	58	55	45	55	65		47
10	47	55	55	65	59	58	47	66	46	

Таблица 5.17. Переходное затухание между цепями на ближнем конце:

кабель ТПП 10×2×0,4; L = 285 м; f = 2048 кГц

Цепь влияющая	Подверженная влиянию									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10.
1		47	44	42	47	49	55	48	44	45
2	48		54	49	48	51	54	56	46	47
3	43	53		49	41	49	47	47	56	46
4	43	49	50		41	43	41	47	54	50
5	47	47	42	42		58	56	53	43	45
6	47	51	52	42	57		59	45	51	54
7	54	57	47	42	57	58		47	47	42
8	50	53	45	46	49	46	56		56	48
9	45	46	55	55	44	53	44	54		39
10	47	47	44	48	45	55	44	48	38	

5.7. Новый стандарт на пластмассовые кабели местной связи

Последнее десятилетие большое внимание уделялось совершенствованию конструкции и технологии многопарных кабелей местной связи. Появилось целое семейство новых конструкций кабелей с полиэтиленовой изоляцией жил и полиэтиленовой оболочкой. Значительно расширилась номенклатура кабелей с гидрофобным заполнением сердечника, улучшилась технология их изготовления, обеспечивающая полную влагозащиту кабеля. Разработана и внедряется конструкция кабеля с пленко-пористой изоляцией жил с гидрофобным заполнением. Расширена номенклатура кабелей для прокладки внутри АТС и зданий, обладающих пониженной горючестью.

Значительное внимание уделено конструкциям кабеля для прокладки непосредственно в грунт, с различными бронепокровками. Предусмотрена конструкция кабелей для применения в условиях, характеризующихся повышенным электромагнитным влиянием. С 01.07.2000 г. введен в действие новый Государственный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 51311-99 «Кабели телефонные с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке». Марки, наименование и преимущественные области применения кабелей приведены в табл. 5.18.

Строительная длина кабеля марки ТППЭпт с числом пар до 30 включительно должна быть не менее 300 м, кабеля с числом пар 50 и 100 – не менее 250 м.

В партии, направляемой в один адрес, для кабелей с числом пар до 100 включительно допускается 15% маломерных отрезков длиной не менее 100 м; для кабелей с числом пар более 100 по согласованию с потребителем допускается 15% маломерных отрезков длиной не менее 100 м.

Таблица 5.18. Марки, наименование и преимущественные области применения кабелей

Марка кабеля	Наименование кабеля	Преимущественная область применения
ТППэп	Кабель телефонный со сплошной полиэтиленовой изоляцией жил, с экраном из алюмополимерной ленты, в полиэтиленовой оболочке	Для прокладки в телефонной канализации, в коллекторах, шахтах, по стенам зданий и подвески на воздушных линиях связи
ТППэпЗ	То же, с гидрофобным заполнением	То же, в условиях повышенной влажности
ТПппЗП	Кабель телефонный с пленко-пористой полиэтиленовой изоляцией жил, с экраном из алюмополимерной ленты, в полиэтиленовой оболочке, с гидрофобным заполнением	То же
ТППэпБ	Кабель телефонный со сплошной полиэтиленовой изоляцией жил, с экраном из алюмополимерной ленты, в полиэтиленовой оболочке, бронированный стальными лентами, с наружным защитным покровом	Для прокладки в грунтах всех категорий, не характеризующихся повышенной коррозионной активностью по отношению к стальной броне, не подверженных мерзлотным деформациям
ТППэпЗБ	То же, с гидрофобным заполнением	То же, в условиях повышенной влажности
ТППэпБГ	Кабель телефонный со сплошной полиэтиленовой изоляцией жил, с экраном из алюмополимерной ленты, в полиэтиленовой оболочке, бронированный стальными лентами с противокоррозионным покрытием	Для прокладки в коллекторах, тоннелях, шахтах
ТППэпБ6Г	То же, с броней, наложенной «взамок»	То же
ТППэпБ6Шп	Кабель телефонный со сплошной полиэтиленовой изоляцией жил, с экраном из алюмополимерной ленты, в полиэтиленовой оболочке, бронированный стальными лентами, с наружным защитным шлангом из полиэтилена	Для прокладки в грунтах всех категорий (кроме механизированной – в скальных грунтах), не подверженных мерзлотным деформациям
ТППэпЗБ6Шп	То же, с гидрофобным наполнением	То же, в условиях повышенной влажности
ТППэпт	Кабель телефонный со сплошной полиэтиленовой изоляцией жил, с экраном из алюмополимерной ленты в полиэтиленовой оболочке, со встроенным тросом	Для подвески на опорах
ТПВ	Кабель телефонный со сплошной полиэтиленовой изоляцией жил, с экраном из алюминиевой или алюмополимерной ленты, в оболочке из поливинилхлоридного (ПВХ) пластиката	Для прокладки по внутренним стенам зданий и внутри помещений
ТПВнг	То же, в оболочке из ПВХ пластиката пониженной горючести	То же, и для прокладки в пучках

Окончание таблицы 5.18

Марка кабеля	Наименование кабеля	Преимущественная область применения
ТПВБГ	Кабель телефонный со сплошной полиэтиленовой изоляцией жил, с экраном из алюминиевой или алюмополимерной ленты, в оболочке из поливинилхлоридного пластиката, бронированный стальными лентами с противокоррозионным покрытием	Для прокладки внутри помещений, в сухих тоннелях
СТПАПП	Кабель специальный телефонный со сплошной полиэтиленовой изоляцией жил, в алюминиевой и полиэтиленовой оболочках	Для прокладки в канализации, коллекторах и в грунтах всех категорий (кроме механизированной – в скальных грунтах), не подверженных мерзлотным деформациям, если кабель не подвергается большим растягивающим усилиям, в условиях, характеризующихся повышенным электромагнитным влиянием
СТПАПБ	То же, бронированный двумя стальными лентами, с наружным защитным покрытием	То же, в грунтах, не характеризующихся повышенной коррозионной активностью по отношению к стальной броне
СТПАПБГ	То же, бронированный двумя стальными лентами с противокоррозионным покрытием	Для прокладки в коллекторах, тоннелях, в условиях, характеризующихся повышенным электромагнитным влиянием
СТПАВ	Кабель специальный телефонный со сплошной полиэтиленовой изоляцией жил, в алюминиевой или поливинилхлоридной оболочках	То же, для прокладки внутри помещений и по стенам зданий
СТПАПБП	Кабель специальный телефонный со сплошной полиэтиленовой изоляцией жил, в алюминиевой и полиэтиленовой оболочках, бронированный двумя стальными лентами, с наружным защитным шлангом из полиэтилена	Для прокладки в грунтах всех категорий (кроме механизированной – в скальных грунтах), не подверженных мерзлотным деформациям, в условиях, характеризующихся повышенным электромагнитным влиянием

Примеры условных обозначений

Кабель марки ТППЭп с числом пар 300, с токопроводящими жилами номинальным диаметром 0,32 мм, на напряжение до 315 В постоянного тока:

Кабель ТППЭп 300×2×0,32 – 315 ГОСТ Р 51311-99.

Кабель марки ТППЭпЗ с числом пар 200, с токопроводящими жилами номинальным диаметром 0,4 мм, с четырьмя сигнальными жилами, на напряжение до 200 В постоянного тока:

Кабель ТППЭпЗ 200×2×0,4+2×2×0,4 – 200 ГОСТ Р 51311-99.

То же, в тропическом исполнении:

Кабель ТППЭпЗ-Т 200×2×0,4+2×2×0,4 – 200 ГОСТ Р 51311-99.

Технические требования

Кабели должны соответствовать требованиям стандарта, конструкторской документации разработчика и изготавливаться по технологической документации. Кабели изготавливают в климатическом исполнении УХЛ, категорий размещения 1, 2 по ГОСТ 15150. Кабели марок ТППЭп, ТППЭпБ, ТППЭпБГ, ТППЭпББГ изготавливают также в климатическом исполнении ТС, кабели марок ТППЭпЗ, ТПппЗП, ТППЭпББШп, ТППЭпЗББШП – в климатическом исполнении Т.

Характеристики

Требования к конструкции. Токопроводящие, в том числе сигнальные, жилы должны быть однопроволочными – из медной мягкой круглой проволоки. На токопроводящую жилу должна быть наложена изоляция из полиэтилена в виде концентрического слоя. Изоляция должна быть герметичной, без посторонних включений. Толщина изоляции жил кабелей должна соответствовать указанной в табл. 5.19.

Таблица 5.19. Толщина изоляции жил кабелей

Номи- нальный диаметр жил, мм	Толщина изоляции жил кабелей, мм					
	Сплошная изоляция				Пленко-пористая изоля- ция кабеля с гидрофоб- ным заполнением	
	кабеля без гидрофобного заполнения		кабеля с гидрофобным заполнением			
	Номи- нальная	Предельное отклонение	Номи- нальная	Предельное отклонение	Номи- нальная	Предельное отклонение
0,32	0,18	±0,03	0,20	±0,05	—	—
0,40	0,20	±0,05	0,25		0,20	±0,05
0,50	0,25		0,30		0,25	
0,64	0,30		0,35		0,30	
0,70	0,35		0,40			

На наружной поверхности изоляции не должно быть вмятин, пузырей и трещин, выводящих толщину изоляции за предельные отклонения.

Номинальное число пар в кабелях должно соответствовать указанному в табл. 5.20.

Дополнительные пары и сигнальные жилы

Пары, составляющие разность между фактическим и номинальным числом, располагают между элементарными пучками – при пучковой скрутке и в последнем повиве – при повивной скрутке.

При наличии в повиве (пучке) поврежденных пар их компенсируют дополнительными парами, расположенными при повивной скрутке – в последнем повиве, при пучковой скрутке – между пучками; число дополнительных пар сверх фактического – не более 3% от номинального числа пар в кабелях с числом пар 50 и 100, не более 2% в кабелях с числом пар до 600 включительно и не более 1% в кабелях с числом пар 700 и более.

В кабелях с номинальным числом пар от 10 до 100 включительно по согласованию с потребителем в центре сердечника размещают две сигнальные жилы, скрученные в пару, имеющие изоляцию натурального цвета.

В кабелях марок ТППЭпЗ, ТПппЗП, ТППЭпЗБ, ТППЭпЗББШп с номинальным числом пар 100 и более по согласованию с потребителем в центре сердечника размещают четыре сигнальные жилы, скрученные в пары, имеющие изоляцию одинаковой расцветки.

Таблица 5.20. Номинальное число пар в кабелях

Марка кабеля	Номинальное число пар в зависимости от номинального диаметра жил, мм				
	0,32	0,40	0,50	0,64	0,70
ТППЭп	5-2400	5-1200	5-1200	5-600	5-600
ТППЭпЭ	5-1200	5-1200	5-900	5-500	5-500
ТПлЗП	—	10-600	10-600	10-300	10-200
ТППЭпБ	—	10-600	10-600	10-500	10-500
ТППЭпЗБ	10-300	10-300	10-300	10-100	10-100
ТППЭпБГ	—	10-600	10-600	10-500	10-500
ТППЭпББГ	—	10-600	10-600	10-500	10-500
ТППЭпББШп	10-600	10-600	10-600	10-500	10-500
ТППЭпЗББШп	10-300	10-300	10-300	—	—
ТППЭпт	—	—	10-100	10-100	10-100
ТПВ	—	10-100	10-100	10-100	—
ТПВнг	—	10-100	10-100	10-100	—
ТПВБГ	—	10-100	10-100	10-100	—
СТПАПП	—	—	10-200	—	—
СТПАПБ	—	—	10-200	—	—
СТПАПБГ	—	—	10-200	—	—
СТПАВ	—	—	10-200	—	—
СТПАПБП	—	—	10-200	—	—

Строительная длина кабелей всех марок, кроме ТППЭпт, должна соответствовать указанной в табл. 5.21.

Таблица 5.21 Строительная длина кабелей	Номинальное число пар	Строительная длина, м, не менее
	До 20 включительно	500
	Св. 20 до 50 включительно	400
	50...150	300
	150...300	250
	300...600	200
	600...1200	120
	1200...2400	125

Две изолированные жилы (а и б), резко отличающиеся по цвету, скручивают в пару однонаправленной или разнонаправленной скруткой.

При однонаправленной скрутке шаг – не более 100 мм.

При разнонаправленной скрутке средний шаг на одном периоде скрутки – не более 100 мм, переходные прямолинейные участки – не более 500 мм.

Пары скручивают в элементарные пучки (пяти- и десятипарные) или сердечник (пяти- или десятипарного кабеля) однонаправленной или разнонаправленной скруткой из пар, скрученных однонаправленной или разнонаправленной скруткой; или по методу волновой системы скрутки из пар скрученных однонаправленной скруткой.

При однонаправленной скрутке шаг – не более 600 мм.

При разнонаправленной скрутке средний шаг на одном периоде – не более 600 мм, переходные прямолинейные участки – не более 800 мм.

Пары в элементарном десятипарном пучке и десятипарном сердечнике должны иметь различную расцветку.

Пары в элементарном пятипарном пучке или пятипарном сердечнике должны иметь расцветку первых или вторых пяти пар десятипарного элементарного пучка.

На элементарный пучок должна быть наложена по открытой спирали скрепляющая обмотка из синтетических или хлопчатобумажных нитей или синтетических лент.

Элементарные пучки скручивают в сердечники или главные 50- или 100-парные пучки однонаправленной или разнонаправленной скруткой, а сердечники кабелей с числом пар до 50 включительно – однонаправленной или разнонаправленной скруткой или методом волновой скрутки.

При однонаправленной скрутке средний шаг – не более 75 диаметров по скрутке сердечника или главного пучка. При разнонаправленной скрутке средний шаг на одном периоде скрутки – не более 75 диаметров по скрутке сердечника или главного пучка, переходные прямолинейные участки – не более 2000 мм.

Допускается маркировка при помощи счетного и направляющего элементарных пучков в каждом повиве сердечника или главного пучка, отличающихся от остальных пучков цветом скрепляющей нити или ленты.

Счетный элементарный пучок обматывают скрепляющей синтетической или хлопчатобумажной нитью или синтетической лентой красного цвета, направляющий – нитью или лентой зеленого цвета (допускается обмотка нитью или лентой синего цвета).

Допускается обмотка шелком, капроном, синтетическими нитями или лентами с одновременной продольной прокладкой цветной синтетической или хлопчатобумажной нити или синтетической ленты.

На главные пучки должна быть наложена по открытой спирали скрепляющая обмотка из синтетических или хлопчатобумажных нитей или синтетических лент.

Допускается скрутка сердечника кабелей с числом пар до 100 включительно по системе повивной скрутки.

Повивы с взаимно противоположным направлением скрутки обматывают синтетической или хлопчатобумажной нитью или синтетической лентой.

При совмещенной технологии изготовления сердечника и наложения поясной изоляции допускается внешний повив сердечника не обматывать скрепляющей нитью или лентой.

В каждом повиве должна быть одна счетная и одна направляющая пары, имеющие сочетание жил с изоляцией определенной расцветки, отличной от всех остальных пар в повиве и между собой.

Пары, расположенные в центре, допускается не скручивать между собой и не отделять синтетической или хлопчатобумажной нитью или синтетической лентой от смежного повива.

Шаг скрутки внешних повивов – не более 35 диаметров по скрутке.

Главные 50- и 100-парные пучки скручивают в сердечник кабеля однонаправленной или разнонаправленной скруткой.

При однонаправленной скрутке шаг – не более 75 диаметров по скрутке сердечника. При разнонаправленной скрутке средний шаг на одном периоде скрутки – не более 75 диаметров по скрутке сердечника; длину переходного прямолинейного участка не нормируют.

Счетный 50- или 100-парный пучок обматывают скрепляющей синтетической или хлопчатобумажной нитью или синтетической лентой красного цвета, направляющий – нитью или лентой зеленого цвета (допускается обмотка нитью или лентой синего цвета).

Допускается обмотка счетных и направляющих главных пучков шелком, капроном, синтетическими лентами или нитями с одновременной продольной прокладкой цветной синтетической или хлопчатобумажной нити или синтетической ленты.

На сердечники кабелей должна быть наложена на открытой спирали скрепляющая обмотка из синтетических или хлопчатобумажных нитей или синтетических лент. При совмещенной технологии изготовления сердечника и наложения поясной изоляции и/или экрана, и/или оболочки допускается сердечник кабеля не обматывать скрепляющей нитью или лентой.

В кабелях марок ТППЭпЗ, ТППЭпЗБ, ТППЭпЗБ6Шп, ТППпЭП свободное пространство сердечника на протяжении всей строительной длины должно быть заполнено гидрофобным наполнителем.

Сердечник заполненного кабеля должен быть влагонепроницаемым.

Гидрофобный наполнитель не должен затемнять расцветки изоляции, иметь неприятный запах, а также быть токсичным и вредным для кожного покрова. Гидрофобный наполнитель должен быть совместим с изоляцией жил с учетом выполнения следующих требований:

- относительное удлинение при разрыве изоляции жил после теплового воздействия в контакте с гидрофобным наполнителем должно быть не менее 200% — для сплошной изоляции, не менее 100% — для пленко-пористой изоляции;
- изменение массы изоляции жил после теплового воздействия в контакте с гидрофобным наполнителем не должно быть более 15%;
- изоляция жил должна сохранять свой цвет после теплового воздействия в контакте с гидрофобным наполнителем;
- изоляция жил не должна иметь трещин после теплового воздействия.

Поверх скрученного и скрученного заполненного сердечника (для кабелей с гидрофобным заполнением) накладывают с перекрытием поясную изоляцию из полиамидных, полиэтиленовых или полиэтилентерефталатных лент.

Для кабелей без гидрофобного заполнения допускается поясная изоляция из поливинилхлоридных лент. Для кабелей с гидрофобным заполнением допускается поясная изоляция из бумажно-полиэтиленовых лент или экструдированная оболочка из полиэтилена толщиной не более 1 мм.

В кабелях на напряжение до 200 В постоянного тока накладывают поясную изоляцию не менее чем из одной ленты, а на напряжение до 315 В — не менее чем из двух лент. В кабелях с гидрофобным заполнением на напряжение до 315 В постоянного тока допускается накладывать одну ленту.

В кабелях марок СТПАПБ, СТПАПБГ, СТПАПБЦ, СТПАПШ, СТПАВ поясную изоляцию накладывают из пластмассовых и бумажных лент радиальной толщиной не менее 1,32 мм.

Поверх поясной изоляции кабелей с заполненным сердечником должен быть проложен слой гидрофобного наполнителя, который совместно с заполненным сердечником должен обеспечивать влагонепроницаемость кабеля. В кабелях марок ТППЭп, ТППЭпЗ, ТППпЭЦ, ТППЭпБ, ТППЭпЗБ, ТППЭпБГ, ТППЭпББГ, ТППЭпББШп, ТППЭпЗББШп, ТППЭпТ поверх поясной изоляции продольно накладывают экран из алюмополимерной ленты.

В кабелях марок ТПВ, ТПВнг, ТПВБГ поверх поясной изоляции продольно или спирально накладывают экран из алюминиевой или алюмополимерной ленты с алюминиевым слоем номинальной толщиной не менее 0,10 мм с перекрытием не менее 15% для кабелей с

диаметром под оболочкой до 20 мм включительно и не менее 10 мм – для кабелей с диаметром под оболочкой более 20 мм.

Алюмополимерную ленту накладывают на кабель металлом внутрь.

Под экраном должна быть проложена медная луженая контактная проволока номинальным диаметром 0,4–0,5 мм. Допускается по согласованию с потребителем применение проволоки номинальным диаметром 0,32 мм для кабелей с жилами номинальным диаметром 0,32 мм.

В кабелях марок СТПАП, СТПАВ, СТПАПБ, СТПАПБГ, СТПАПБП поверх поясной изоляции должна быть наложена алюминиевая оболочка, соответствующая требованиям ГОСТ 24641.

Поверх экрана кабелей марок ТППЭп, ТППЭпЗ, ТППЭпБ, ТППЭпЗБ, ТППЭпБГ, ТППЭпБГ, ТППЭпБШп, ТППЭпЗБШп, ТППЭпТ должна быть наложена оболочка из полиэтилена, кабелей марок ТПВ, ТПВБГ – из поливинилхлоридного пластика, кабеля марки ТПВнг – из поливинилхлоридного пластика пониженной горючести.

В кабеле марки ТППЭпТ оболочку накладывают одновременно на сердечник кабеля и трос из стальных проволок. По согласованию с потребителем допускается изготовление кабеля с тросом из стальных оцинкованных проволок.

Номинальный диаметр троса кабеля с диаметром под оболочкой до 20 мм включительно – 3,1 мм, с диаметром более 20 мм – 3,7 мм.

Номинальный размер соединительной перемычки 4×4 мм, предельные отклонения ±1 мм.

Номинальная толщина полиэтиленовой оболочки троса – 2,5 мм, минимальная толщина – 2,0 мм.

Толщина пластмассовой оболочки кабелей должна соответствовать указанной в табл. 5.22. Максимальную толщину оболочки не нормируют.

Таблица 5.22. Толщина пластмассовой оболочки кабелей

Диаметр кабеля под оболочкой	Толщина оболочки кабелей марок, мм			
	ТППЭп, ТППЭпБ, ТППЭпБГ, ТППЭпБГ, ТПВ, ТППЭпТ, ТПВБГ, ТПВнг, ТППЭпБШп		ТППЭпЗ, ТППЭпЗБ, ТППЭпЗБШп, ТППЭпЗП	
	Минимальная	Номинальная	Минимальная	Номинальная
До 10 включ.	1,4	1,7	1,2	1,5
Св. 10 до 15 включ.	1,7	2,0	1,3	1,6
Св. 15 до 20 включ.	2,1	2,5	1,5	1,8
Св. 20 до 30 включ.	2,5	3,0	1,7	2,0
Св. 30 до 40 включ.	2,9	3,5	2,1	2,5
Св. 40 до 50 включ.	3,4	4,0	2,1	2,5
Св. 50	3,5	4,2	2,1	2,5

На поверхности оболочки не должно быть вмятин, трещин, рисок, выводящих толщину оболочки за минимальное значение.

Оболочка должна быть герметичной.

Поверх алюминиевой оболочки кабелей марок СТПАП, СТПАПБ, СТПАПБГ, СТПАПБП накладывают противокоррозионный слой битума толщиной не менее 0,25 мм (толщина слоя приведена в качестве справочной) и полиэтиленовую оболочку. В кабелях марок СТПАП, СТПАПБ, СТПАПБГ оболочку накладывают в один или два прохода.

В кабеле марки СТПАВ поверх алюминиевой оболочки накладывают последовательно противокоррозионный слой битума толщиной не менее 0,25 мм (толщина слоя приведена в качестве справочной), полиэтиленовую, полиэтилентерефталатную или бумажную ленту с перекрытием и оболочку из поливинилхлоридного пластика.

В кабелях марок СТПАП, СТПАПБ, СТПАПБГ, СТПАПБП полиэтиленовая оболочка, марки СТПАВ – поливинилхлоридная оболочка должны быть герметичны.

Толщина оболочки должна соответствовать указанной в табл. 5.23. Максимальную толщину оболочки не нормируют.

Таблица 5.23. Толщина оболочки кабелей

Номинальное число пар	Толщина оболочки кабелей, мм, марок					
	СТПАП, СТПАПБ, СТПАПБГ		СТПАПБП		СТПАВ	
	Мини- мальная	Номи- нальная	Мини- мальная	Номи- нальная	Мини- мальная	Номи- нальная
10	2,5	3,0	2,1	2,5	1,7	2,0
20					2,1	2,5
30						
50						
100	3,4	4,0	2,5	3,0	2,1	2,5
200						

На поверхности оболочки не должно быть вмятин, трещин и рисок, выводящих толщину оболочки за минимальное значение.

В кабелях марок ТППЭББШп, ТППЭпББШп, ТППЭпЗББШп поверх оболочки должны быть наложены пластмассовые ленты или ленты крепированной бумаги или полотна нетканого клееного общей толщиной не менее 0,3 мм.

В кабелях марок ТППЭпБ, ТППЭпЗБ, ТППЭпБГ, ТППЭпББГ, ТПВБГ, ТППЭпББШп, ТППЭпЗББШп, СТПАПБ, СТПАПБГ должны быть наложены защитные покровы по ГОСТ 7006 типов:

- Б – для кабелей марок ТППЭпБ, ТППЭпЗБ, СТПАПБ;
- БГ – для кабелей марок ТППЭпБГ, ТПВБГ, СТПАПБГ;
- ББГ – для кабеля марки ТППЭпББГ;
- ББШп (без наложения синтетических лент в наружном покрове) – для кабелей марок ТППЭпББШп, ТППЭпЗББШп.

Ленточная броня кабелей с 0,3 мм для кабелей с защитными покровами типов БГ, ББГ должна быть с предварительно нанесенным цинковым покрытием.

Для кабелей с защитными покровами типов Б, БГ с диаметром по оболочке от 13 до 20 мм включительно допускается применение брони из двух стальных лент номинальной толщиной, покровом типа ББШп с числом пар до 30 включительно допускается продольное наложение стальной гофрированной брони номинальной толщиной 0,1 мм с перекрытием без сварки, для кабелей с числом пар более 30 – стальной гофрированной брони номинальной толщиной 0,3 мм; кромки лент сваривают. При этом не требуется наложения пластмассовых лент в качестве подслоя.

В кабелях марок ТППЭпБ, ТППЭпЗБ тропического исполнения наружная поверхность для предохранения витков от слипания должна быть покрыта слюдяной чешуйкой или смесью слюдяной чешуйки с тальком.

Толщина защитного шланга кабелей марок ТППЭпБШп, ТППЭпЗБШп должна соответствовать указанной в табл. 5.24. Максимальную толщину шланга не нормируют.

Таблица 5.24

Толщина
защитного шланга кабелей

Диаметр кабеля под оболочкой	Толщина шланга, мм	
	Минимальная	Номинальная
До 10 включ.	1,2	1,5
Св. 10 до 15 включ.	1,7	2,0
Св. 15 до 20 включ.	1,9	2,3
Св. 20 до 30 включ.	2,2	2,6
Св. 30 до 40 включ.	2,5	3,0
Св. 40	2,8	3,3

Защитные покровы кабеля марки СТПАПБП должны быть наложены в следующей последовательности:

- пластмассовые ленты общей радиальной толщиной не более 1,2 мм;
- броня из двух стальных лент номинальной толщиной 0,3 мм (верхняя лента перекрывает зазоры между витками нижней ленты);
- противокоррозионный слой битума радиальной толщиной не менее 0,25 мм (толщина слоя приведена в качестве справочной);
- защитный шланг из светостабилизированного полиэтилена;
- защитный шланг должен быть герметичным.

Толщина защитного шланга кабеля марки СТПАПБП должна соответствовать указанной в табл. 5.25. Максимальную толщину шланга не нормируют.

Таблица 5.25

Толщина защитного шланга
кабеля марки СТПАПБП

Номинальное число пар	Толщина шланга, мм	
	Минимальная	Номинальная
10	1,2	1,5
20	1,7	2,0
30		
50		
100	2,5	3,0
200		

На наружной поверхности защитного шланга не должно быть вмятин, трещин и рисок, выводящих толщину шланга за минимальное значение.

В кабелях не должно быть обрывов жил, контактной проволоки, экрана, троса; контактов между жилами, между жилами и экраном в пределах фактического числа пар, между экраном и броней.

Требования к электрическим параметрам

Электрические параметры кабелей должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 5.26.

Идеальный коэффициент защитного действия металлических покровов кабелей марок СТПАП, СТПАПГ, СТПАПБП, СТПАВ при наведении продольной ЭДС (30 ± 5 В) при частоте 50 Гц на длине 1 км должен быть не более 0,8.

Таблица 5.26. Электрические параметры кабелей

Параметры	Частота тока, кГц	Норма	Коэффициент пересчета нормы на длину
Электрическое сопротивление токопроводящей жилы постоянному току, пересчитанное на 1 км длины при температуре 20 °С, Ом, для диаметров жил, мм: 0,32 0,40 0,50 0,64 0,70	Постоянный ток	216±13 139±9 90 ^{+5,0} _{-6,0} 55±3 45±3	$L/1000$
Электрическое сопротивление изоляции токопроводящих жил на 1 км, МОм, не менее для кабелей без гидрофобного заполнения: для 100% значений для 80% значений для кабелей с гидрофобным заполнением		6500 8000 5000	$1000/L$
Испытательное напряжение в течение 1 мин, В, приложенное: между жилами рабочих пар между жилами и экраном: для кабелей на напряжение до 315 В постоянного тока для кабелей на напряжение до 200 В постоянного тока между жилами и алюминиевой оболочкой между алюминиевой оболочкой и броней и между алюминиевой оболочкой и водой для кабелей марки СТПАП между алюминиевой оболочкой и водой для кабеля марки СТПАВ	0,05. Постоянный ток то же то же то же то же то же	1000 1500 2000 3000 500 750 5000 7500 5000 7500 1000 1500	
Рабочая емкость, пересчитанная на 1 км длины, нФ: для кабелей без гидрофобного заполнения для кабелей с гидрофобным заполнением	0,8 или 1,0	45±5 50±5	$L/1000$

Значения коэффициента затухания переходного затухания на ближнем конце, коэффициент защитного действия металлопокроов кабелей и электрическое сопротивление наружной оболочки и шланга приведены в табл. 5.27 и 5.28.

Таблица 5.27. Значения коэффициента затухания

Номинальный диаметр жилы, мм	Частота тока, кГц	Коэффициент затухания, дБ/км	
		кабелей без гидрофобного заполнения	кабелей с гидрофобным заполнением
0,32	1,0	2,4	2,5
0,40		1,9	2,0
0,50		1,5	1,6

Окончание таблицы 5.27

Номинальный диаметр жилы, мм	Частота тока, кГц	Коэффициент затухания, дБ/км	
		кабелей без гидрофобного заполнения	кабелей с гидрофобным заполнением
0,64	1,0	1,2	1,3
0,70		1,1	1,2
0,40	512	19,5	20,8
0,50		16,7	18,0
0,40	1024	272	29,1
0,50		23,4	25,2

Таблица 5.28. Параметры наружной оболочки и шланга

Параметры	Частота тока, кГц	Значения параметров
Переходное затухание в ближнем конце между парами на длине 300 м, дБ, не менее	1,0	70,0
Идеальный коэффициент защитного действия металлопокровов кабелей без алюминиевой оболочки при наведенной продольной ЭДС от 30 до 50 В на длине 1 км, не более: для небронированных кабелей для бронированных кабелей	0,05	0,995 0,98
Электрическое сопротивление наружной оболочки (шланга), пересчитанное на 1 км, МОм, не менее	Постоянный ток	5,0

ГЛАВА 6

КАБЕЛИ СЕЛЬСКОЙ СВЯЗИ

6.1. Высокочастотные кабели

На сельских телефонных сетях в настоящее время применяются пластмассовые одночетверочные высокочастотные кабели КСПП, КСПЗП, многопарные пластмассовые кабели ТПП и ТППЗ, кабели с алюмомедными жилами ТСПЗПб, однопарные – ПРППМ, станционные кабели и провода [1–4]. Основные типы кабелей СТС и область применения приведены в табл. 6.1; допустимые температуры эксплуатации и прокладки даны в табл. 6.2.

Таблица 6.1. Основные типы и область применения кабелей СТС

Марка кабеля	ГОСТ, ТУ	Назначение	Условия прокладки
Высокочастотные одночетверочные кабели СТС			
КСПП КСПЗП	ОСТ 16.0.505.002-78 То же	Соединительные линии	В телефонной канализации, коллекторах, тоннелях, шахтах, по мостам и в устойчивых грунтах I–III категории без каменистых включений (при прокладке кабелей кабелеукладчиками), без плывунов и вечной мерзлоты, в районах, не характеризующихся повышенным электромагнитным влиянием и опасностью повреждения грызунами, подвеска на опорах воздушных линий связи (ВЛС)
КСППб КСПЗПб	То же То же	То же	То же, что кабель КСПП, в районах, зараженных грызунами, и подвеска на опорах в зонах повышенного влияния электромагнитных высококачественных полей
КСППК	То же	То же	Для прокладки через горы, судоходные и славные реки, затопляемые и заливные поймы, болота глубиной до 2 м, а также в грунтах, подверженных мерзлотным деформациям (выпучивание, морозобойные трещины) и при наличии больших растягивающих усилий
КСПЗПт	То же	То же	Подвеска на опорах ВЛС, в том числе в районах, где затруднена прокладка подземного кабеля (скальный грунт, сильно пересеченный рельеф трассы и т.д.)
КСПЗПбт	То же	То же	То же, что и кабель КСПЗПт в зонах повышенного влияния электромагнитных высокочастотных полей

Окончание таблицы 6.1

Марка кабеля	ГОСТ, ТУ	Назначение	Условия прокладки
Многопарные кабели местной связи			
ТПП ТППЭп	ГОСТ 22498-77	Абонентские и соединительные линии	В телефонной канализации, в коллекторах, шахтах, по стенам зданий и опорам воздушных линий связи
ТППБ	То же		В грунтах всех категорий, не характеризующихся повышенной коррозионной опасностью по отношению к стальной броне
ТППБГ	То же	То же	В коллекторах, шахтах, тоннелях
ТППБбшп	То же	То же	В грунтах всех категорий
ТППт	То же	То же	Подвеска на опорах ВЛС, в том числе в районах, где затруднена прокладка подземного кабеля (скальный грунт, сильно-пересеченный рельеф)
ТПВ	ТУ 16.505.691-83	Абонентские линии местной связи	Внутри помещений, в сухих тоннелях
ТППЗ, ТППЗЭп		Абонентские и соединительные линии	В телефонной канализации, в коллекторах, шахтах, по стенам зданий и подвеска на опорах ВЛС
ТППЗБ, ТППЗЭпБ	То же		В грунтах всех категорий, не характеризующихся повышенной коррозионной опасностью по отношению к стальной броне
ТППЗББШп ТППЗЭпББШп	То же	То же	В грунтах всех категорий
Однопарные кабели сельской связи и радиотелефонии			
ПРППМ ПРВППМ ПТПЖ ПТВЖ	ТУ 16.505.755-80 То же ГОСТ 10254-75 То же	Абонентские СТС	То же, что кабели КСПП, прокладка на стенах и внутри зданий
ТРП ТРВ АТРП АТРВ	ГОСТ 20575-75 То же То же То же		

Таблица 6.2. Допустимые температуры эксплуатации и прокладки кабелей СТС

Марка кабеля	Допустимая температура эксплуатации, °С		Допустимая минимальная температура прокладки, °С
	минимальная	максимальная	
КСПП, КСПЗП	-50	+50	-10
Т, ТП, ТПЭПЗ	-50	+50	-5
ПРППМ	-40	+60	-10
ПРВППМ	-30	+45	-5
ПТПЖ, ПТВЖ	-40	+50	-10
ТРП, ТРВ	-40	+50	-5

Одночетверочные симметричные кабели сельской связи с медными жилами, полиэтиленовой изоляцией и оболочкой являются основными для соединительных линий СТС. Промышленностью освоен выпуск кабелей с жилами диаметром 0,9 и 1,2 мм, негерметизированных и герметизированных, с гидрофобным заполнением следующих марок (рис. 6.1):

КСПП-1×4×0,9, КСПП-1×4×1,2 – кабель сельской связи с полиэтиленовой изоляцией и оболочкой;

КСПЗП-1×4×0,9, КСПЗП-1×4×1,2 – то же, с гидрофобным заполнением;

КСППБ-1×4×0,9, КСППБ-1×4×1,2 – кабель сельской связи с полиэтиленовой изоляцией, бронированный стальной лентой, в полиэтиленовом защитном шланге;

СПЗПБ-1×4×0,9; КСПЗПБ-1×4×1,2 – то же с гидрофобным заполнением;

КСППК-1×4×0,9, КСППК-1×4×1,2 – кабель сельской связи с полиэтиленовой изоляцией, бронированный круглыми стальными проволоками, в полиэтиленовом защитном шланге;

КСПЗПК-1×4×0,9, КСПЗПК-1×4×1,2 – то же, с гидрофобным заполнением;

КСППт-1×4×0,9, КСППт-1×4×1,2, КСППБт-1×4×0,9, КСППБт-1×4×1,2 – кабели сельской связи с полиэтиленовой изоляцией, небронированные и бронированные стальной лентой, со встроенным несущим тросом;

КСПЗПт-1×4×0,9, КСПЗПт-1×4×1,2, КСПЗПБт-1×4×0,9, КСПЗПБт-1×4×1,2 – то же, с гидрофобным заполнением.

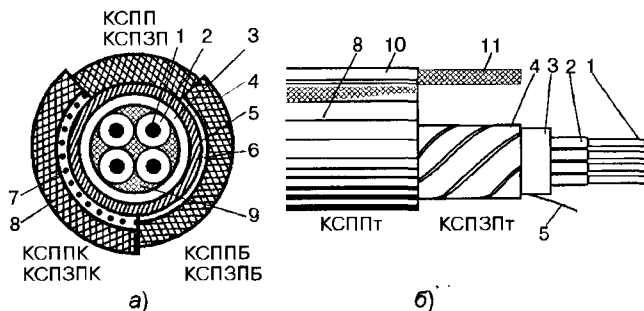


Рис. 6.1. Конструкция одночетверочных высокочастотных кабелей сельской связи типа КСПП (КСПЗП): а – подземного; б – подвешенного

1 – токопроводящая жила; 2 – изоляция; 3 – поясная изоляция; 4 – алюминиевый экран; 5 – экранная медная проводка; 6 – стальная ленточная броня; 7 – стальная проволоочная броня; 8 – полиэтиленовая оболочка в небронированных или защитный шланг в бронированных конструкциях; 9 – гидрофобный наполнитель (в кабеле КСПЗП); 10 – защитный шланг на несущем тросе; 11 – несущий трос

Кабели типа КСПП-1×4 предназначены для уплотнения системами передачи с амплитудной модуляцией и частотным разделением каналов в спектре частот до 550 кГц (аппаратура КНК-6Т, КНК-12, КАМА) и с временным разделением каналов и импульсно-кодовой модуляцией ИКМ в спектре до 2048 кГц и напряжении дистанционного питания до 350 В постоянного тока. Кабели допускается прокладывать в грунте, телефонной канализации, подвешивать на опорах воздушных линий связи и производить монтаж при температурах в соответствии с табл. 6.2 и минимальном радиусе изгиба, равном 15-кратному диаметру кабеля.

Конструктивные параметры соответствующих марок герметизированных и негерметизированных кабелей унифицированы. Кабели содержат четыре медные жилы со сплош-

ной полиэтиленовой изоляцией, скрученные в звездную четверку с шагом не более 150 мм (при диаметре жил 0,9 мм) и 170 мм (при диаметре жил 1,2 мм). В четверке две жилы, расположенные по диагонали, образуют пару. Изоляция обеих жил первой пары имеет натуральный цвет, второй пары – синий цвет. Поверх скрученного сердечника накладываются последовательно поясная изоляция в виде трубки из полиэтилена и экран из алюминиевой отожженной ленты с перекрытием не менее 10%. Под экраном должна быть проложена продольно медная луженая проволока диаметром 0,3–0,4 мм. Свободный объем под поясной изоляцией герметизированных кабелей заполнен гидрофобным компаундом, который вводится в сердечник одновременно с наложением поясной изоляции. Поверх экрана накладываются: в небронированных кабелях – трубчатая полиэтиленовая оболочка, в бронированных – КСППБ – броня из стальной ленты с битумным покрытием, в кабелях КСППК – ПВХ лента, оцинкованные круглые стальные проволоки и защитный полиэтиленовый шланг. Самонесущие кабели имеют встроенный несущий трос в общей оболочке с сердечником, образующий конструкцию «восьмерка».

Технические требования к конструктивным размерам одночетверочных высокочастотных кабелей сельской связи приведены в табл. 6.3, а к электрическим характеристикам цепей кабелей – в табл. 6.4.

Таблица 6.3. Конструктивные размеры кабелей КСПП и КСПЗП

Характеристика	Диаметр жил, мм	
	0,9	1,2
Диаметр медной жилы, мм	0,9	1,2
Радиальная толщина изоляции жил, мм	0,7+0,1	0,8+0,1
Радиальная толщина поясной изоляции, мм	0,8+0,1	0,8+0,1
Шаг скрутки в четверку, мм	150	170
Радиальная толщина алюминиевой экранной ленты, мм	0,1–0,15	
Толщина ПВХ ленты для кабеля КСППК, КСПЗПК, мм	0,2–0,3	
Толщина брони для стальной ленты кабелей КСППБ, КСПЗПБ, мм	0,1	
Диаметр стальных оцинкованных проволок брони кабелей КСППК, КСПЗПК, мм	1,2	
Радиальная толщина оболочки (шланга), мм	1,8±0,3	
Разрывная прочность подземных кабелей (кроме КСППК и КСПЗПК), Н	588	882
Разрывная прочность кабелей КСППК и КСПЗПК, Н	1960	
Разрывная прочность несущего троса (кабели КСПЗПт), Н	4000	
Радиальная толщина защитной оболочки троса кабелей КСПЗПт, мм	1,0	
Максимальный наружный диаметр кабелей, мм:		
КСПП, КСПЗП	12,0	14,0
КСППБ, КСПЗПБ	13,5	16,0
КСППК, КСПЗПК	16,4	17,0
КСППт, КСПЗПт	14,0×25,0	
Максимальная масса кабелей, кг/км:		
КСПП	106	131
КСПЗП	140	181
КСПЗПБ	190	229
КСППК	210	265
КСПЗПБт	250	
Строительная длина, не менее, м	750	

Таблица 6.4. Электрические характеристики кабелей КСПП и КСПЗП

Характеристика	Диаметр жил, мм	
	0,9	1,2
Сопротивление цепи постоянному току, не более, Ом/км	56,8	31,6
Асимметрия сопротивления жил постоянному току, не более, Ом/стр.дл:		
для 100% значений	0,5	0,5
для 95 % значений	0,3	0,3
Сопротивление изоляции каждой жилы относительно других, соединенных друг с другом и экраном, не менее, МОм·км	15000	15000
Испытательное напряжение между жилами, а также между жилами и экраном в течение 2 мин, В:		
на частоте 0,05 кГц	2000	
при постоянном токе	3000	
Электрическое сопротивление экрана постоянному току, не более, Ом·км	15	
Электрическое сопротивление изоляции оболочки и защитного шланга (экран – земля), не менее, МОм·км	5	
Рабочая емкость цепей на частоте 0,8 кГц, нФ/км	38±3	43,5±3
Переходное затухание на ближнем конце, не менее, дБ/стр. дл.:		
в спектре частот до 350 кГц:		
для 100% значений	56	
для 80% значений	61	
в спектре частот до 550 кГц:		
для 100% значений	53	
для 80% значений	58	
Защищенность между цепями кабеля на дальнем конце, не менее, дБ/стр. дл.:		
в спектре частот до 120 кГц:		
для 100% значений		67,7
для 90% значений		69,4
в спектре частот до 550 кГц:		
для 100% значений		66
для 90% значений		67,7
Коэффициент затухания, дБ/км, на частоте:		
120 кГц	3,28±0,26	3,0±0,26
350 кГц	5,01±0,37	4,73±0,37
550 кГц	6,34±0,43	5,64±0,43
700 кГц	7,03±0,43	6,16±0,43
Волновое сопротивление, Ом, на частоте:		
120 кГц	136±6	119±5
350 кГц	132±5	115±5
550 кГц	130±5	113±5
700 кГц	129±5	113±5
Коэффициент защитного действия при наведенной продольной ЭДС 30 В/км на частоте 0,05 кГц	0,99	

Частотные характеристики параметров передачи кабелей КСПП и КСПЗП приведены в табл. 6.5. Эти данные получены путем статистической обработки результатов массовых измерений строительных длин кабеля и являются усредненными. Практически наблюдает-

ся различие характеристик как разных марок кабелей – бронированных и небронированных, герметизированных и негерметизированных, так и отдельных строительных длин кабелей одной марки. Отклонения измеренных величин конструктивных характеристик кабелей КСПЗП и КСПП от среднего значения имеют следующие значения: диаметра неизолированной жилы $\pm 0,015$ мм, изолированной жилы – 0,12 мм, радиальной толщины поясной изоляции – 0,1 мм. Вследствие этого разброс значений коэффициента затухания может достигать $\pm 10\%$.

Таблица 6.5. Параметры передачи одночетверочных кабелей типа КСПП и КСПЗП при температуре 20 °С

f , кГц	1×4×0,9					1×4×1,2				
	α , дБ/км	β , рад/км	$ Z_B $, Ом	$-\varphi^\circ$	$\alpha_a \cdot 10^{-3}$, 1/град	α , дБ/км	β , рад/км	$ Z_B $, Ом	$-\varphi^\circ$	$\alpha_a \cdot 10^{-3}$, 1/град
0,8	0,6	0,1	536	42	—	0,5	0,1	375	41	—
6,0	1,4	0,2	211	30	3,4	1,0	0,2	169	24	3,4
10	1,6	0,4	183	24	3,5	1,1	0,4	152	18	3,5
20	2,0	0,7	156	17	3,3	1,5	0,7	138	14	3,5
30	2,2	1,0	147	14	2,8	1,7	1,0	131	11	3,4
40	2,4	1,3	143	11	—	1,9	1,3	129	9	—
60	2,7	2,0	136	8	3,0	2,3	2,0	125	8	2,9
76	2,9	2,5	135	7	—	2,5	2,5	124	7	—
120	3,4	3,9	130	6	2,4	3,1	3,9	121	6	2,7
250	4,6	10,6	128	5	2,3	4,1	7,9	117	4	2,6
350	5,4	12,3	125	3	—	4,7	11,0	116	2	—
550	6,8	17,2	124	2	2,1	5,8	17,3	114	1,3	2,4
700	7,7	20,7	123	2	—	6,5	21,7	113	1	—
1000	9,1	31,0	121	1,5	—	7,8	20,8	111	1	—
2000	12,9	62	117	0,8	—	10,9	57,8	107	0,5	—

Примечание. Пересчет данных таблицы на другую температуру осуществляется с использованием температурного коэффициента, значения которого приведены в табл. 6.5.

Фантомные цепи высокочастотных кабелей образуются двумя цепями четверки и могут использоваться для служебной связи и передачи программ вещания. Вторичные параметры передачи фантомных цепей кабелей КСПП-1×4 приведены в табл. 6.6. Минимальные значения переходного затухания на ближнем конце и защищенности на дальнем конце между основной и фантомной цепями составляют 60...65 дБ/стр.дл. на частоте 800 Гц и 43...46 дБ/стр.дл. на частоте 35 кГц.

В 1990 г. взамен ОСТ 16.0.505.002-76 введены новые технические условия на кабели местной связи высокочастотные ТУ 16.К71-061-89, в которых учтены новые разработки и усовершенствования конструкций кабелей.

Здесь дана единая конструкция унифицированных одночетверочных кабелей. В 1985–1987 г.г. проведена разработка кабелей КСПЗП 1×4×0,9 с медными жилами диаметром 0,9 мм, коэффициент затухания которых соответствует кабелям КСПЗП 1×4×1,2. Это достигнуто благодаря оптимальному выбору конструктивных размеров элементов кабеля. В частности радиальная толщина изоляции медных жил составляет 0,9 мм вместо 0,7 мм, как это было принято в конструкции кабеля, выпускаемого по ОСТ 16.0.505.002-78.

Таблица 6.6. Параметры передачи фантомных цепей кабелей КСПП-1×4

f, кГц	КСПП-1×4×0,9				КСПП-1×4×1,2			
	α, дБ/км	β, рад/км	Z _B , Ом	-φ °	α, дБ/км	β, рад/км	Z _B , Ом	-φ °
0,8	0,7	0,08	235	43	0,5	0,07	166	42
1,5	0,9	0,12	173	42	0,7	0,10	123	40
3,4	1,3	0,19	116	38	1,0	0,16	83	34
6,0	1,6	0,28	89	33	1,1	0,24	69	28
10	1,8	0,39	73	27	1,2	0,37	57	21
20	2,1	0,73	63	18	1,4	0,70	51	13
30	2,3	1,02	59	14	1,6	1,03	51	10

Одночетверочным кабелям типа КСПЗП 1×4×0,9 присвоен статус «Цифровых» кабелей, т.е. кабелей, предназначенных для систем передачи с импульсно-кодовой модуляцией ИКМ-15 и ИКМ-30С в диапазоне частот до 1024 и 2048 кГц соответственно.

В технические условия введены параметры, определяемые на частотах соответствующих полутактовой частоте скорости передачи (512 и 1024 кГц) и на цифровом сигнале в виде псевдослучайной последовательности (ПСП).

В новых ТУ введена новая конструкция одночетверочных кабелей для абонентских цифровых сетей КСПЗП 1×4×0,64. Эти кабели имеют диаметр жил 0,64 мм.

Конструктивные и электрические характеристики выпускаемых по ТУ 16.К71-061-89 кабелей приведены в табл. 6.7 и 6.8, а их масса – в табл. 6.9.

Коэффициент затухания и волновое сопротивление цепей кабеля КСПЗП 1×4×0,64 на частоте 512 кГц составляет 8,0 дБ/км и 130 Ом соответственно.

Таблица 6.7. Конструктивные характеристики кабелей ЦСП по ТУ 16.К71-061-89

Марка кабеля	Размеры, мм			
	Номинальный диаметр токопроводящей жилы	Номинальная толщина изоляции	Максимальный наружный диаметр (размер) кабеля	
			одночетверочного	двухчетверочного
КСПЗП	0,64	0,70	10,6	—
КСПП, КСПЗП	0,9	0,95	14,0	—
КСППБ, КСПЗПБ	0,9	0,95	14,5	14,5–26,6
КСППт, КСПЗПт	0,9	0,95	14–25,7	—
КСППБвт	0,9	0,95	14,5–26,3	—
КСПЗПК	0,9	0,95	16,9	—

Таблица 6.8. Требования к электрическим характеристикам по ТУ 16.К71-061-89

Наименование параметра	Частота, кГц	Норма	Коэффициент пересчета нормы на другую длину
1	2	3	4
Электрическое сопротивление токопроводящих жил, пересчитанное на 1 км длины и температуру 20 °С, не более, Ом, для жил диаметром: 0,64 мм 0,9 мм	Постоянный ток	58,0 28,4	L/1000

Продолжение таблицы 6.8

1	2	3	4
Омическая асимметрия, Ом, не более, пересчитанная на длину 750 м и температуру 20 °С для жил диаметром: 0,64 мм для 100% значений для 95% значений для 90% значений 0,9 мм для 100% значений для 95% значений для 90% значений	Постоянный ток	2,0 1,0 0,7 1,0 0,5 0,3	$L/750$
Электрическое сопротивление изоляции, жил МОм, пересчитанное на 1 км длины и температуру 20 °С, не менее		15000	$1000/L$
Испытательное напряжение между жилами и между жилами и экраном в течение 2 мин, В	0,05 Постоянный ток	2000 3000	
Рабочая емкость, пересчитанная на 1 км длины, нФ, для жил диаметром: 0,64 мм 0,9 мм	0,8 или 1,0	35 ± 3 38 ± 3	$L/1000$
Электрическое сопротивление изоляций оболочки МОм, пересчитанное на 1 км длины и температуру 20 °С, не менее	Постоянный ток	5	
Электрическое сопротивление экрана Ом, пересчитанное на 1 км длины и температуру 20 °С, не более	Постоянный ток	15	$L/1000$
Переходное затухание между цепями кабеля на ближнем конце дБ, пересчитанное на длину 750 м при цифровом влияющем сигнале в виде псевдо-случайной последовательности (ПСП), не менее: при скорости передачи 1024 кбит/с для жилы диаметром: 0,64 мм для 100% значений для 80% значений 0,9 мм для 100 % значений для 80 % значений при скорости передачи 2048 кбит/с для жилы диаметром: 0,64 мм для 100% значений для 80% значений 0,9 мм для 100 % значений для 80 % значений		59 61 64 67 58 60 59 62	$-4,34 \ln(L/750)$
Защищенность между цепями кабеля на дальнем конце дБ, пересчитанная на длину 750 м, при цифровом влияющем сигнале вида ПСП, не менее: при скорости передачи 1024 кбит/с 2048 кбит/с		45 45	$-4,34 \ln(L/750)$

Окончание таблицы 6.8

1	2	3	4
Волновое сопротивление кабеля, Ом, с диаметром жилы: 0,64 мм 0,9 мм	512 512 1024	130 143 141	
Коэффициент затухания, пересчитанный на 1 км длины, дБ, не более: с диаметром жилы 0,64 мм 0,9 мм	512 512 1024	8 6,9 7,5	
Примечание: L – фактическая длина кабеля в м			

Таблица 6.9. Масса кабелей по ТУ 16.К71-061-89

Марка кабеля	Масса кабеля, кг		
	одночетверочного с жилой диаметром		двухчетверочного
	0,64 мм	0,9 мм	0,9 мм
КСПП	–	136,0	–
КСПЗБ	94,0	148,0	–
КСППБ	–	165,0	310
КСПЗПБ	–	176,0	326
КСППт	–	215,0	–
КСПЗПт	–	249,0	–
КСПЗПК	–	437,0	–
КСППБт	–	238,0	–

6.2. Абонентские малопарные кабели с алюмомедными жилами

Для абонентских участков сетей сельской телефонной связи были разработаны малопарные кабели с алюмомедными жилами и гидрофобным заполнением (ТУ 16.705.112-79). Кабели предназначены для организации связи в тональном спектре частот. Их конструкция позволяет осуществлять прокладку непосредственно в грунте, телефонной канализации подвеску на опорах воздушных линий связи. Такие кабели изготавливались марки ТСПЗПБ (телефонный, местной связи с полиэтиленовой изоляцией и оболочкой с гидрофобным заполнением с жилами из биметалла) и ТСПЗПБб – то же бронированный одной стальной лентой с наружным защитным шлангом.

Токопроводящие жилы изготовлены из биметаллической (алюмомедной) проволоки диаметром 0,9 мм. Токопроводящие жилы изолированы сплошным полиэтиленом радиальной толщиной 0,4 мм для жил диаметром 0,5 мм и 0,8 мм для жил диаметром 0,9 мм (предельное отклонение составляет $\pm 0,1$ мм). Две изолированные жилы, отличающиеся по цвету, скручены в пару с шагом не более 100 мм. Пары скручены в сердечник по системе повивной скрутки. В каждом повиве должна быть счетная пара, отличающаяся по цвету от всех остальных пар в повиве. Свободное пространство сердечника заполнено гидрофобной массой. Сердечник кабеля влагонепроницаем. Поверх скрученного сердечника наложена поясная изоляция из выпрессованного полиэтилена с номинальной толщиной 0,8 мм. Поверх поясной изоляции спирально наложен экран из алюминиевой ленты толщиной 0,1 мм.

Под экраном продольно размещается медная луженая проволока диаметром 0,3–0,4 мм. В кабелях марки ТСПЗПб поверх экрана имеется оболочка из полиэтилена, а в марке ТСПЗПбб – броня из стальной ленты толщиной 0,1 мм с битумным покрытием, наложенная с зазором 3 мм, и защитный шланг из полиэтилена.

Конструкция кабеля ТСПЗПб дана на рис. 6.2, а в табл. 6.10 – его конструктивные данные.

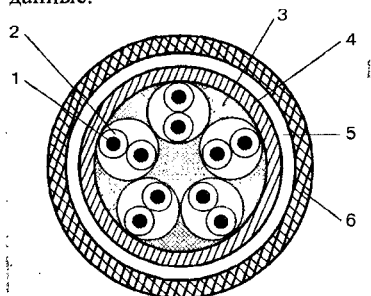


Рис. 6.2. Конструкция кабеля ТСПЗПб 5х2х0,9

- 1 – алюминиевая токопроводящая жила;
- 2 – полиэтиленовая изоляция жил;
- 3 – гидрофобный наполнитель;
- 4 – поясная полиэтиленовая изоляция;
- 5 – алюминиевый экран;
- 6 – полиэтиленовая оболочка

Таблица 6.10. Конструктивные данные кабеля ТСПЗПб

Диаметр токопроводящей жилы, мм	Число пар	Максимальный наружный диаметр кабеля, мм	Расчетная масса 1 км кабеля, кг, не более
0,5	5	13	110
	10	16	155
	20	19	260
0,9	5	19	240
	10	24	370

Строительная длина кабеля не менее 300 м. Допускается сдача маломерных отрезков длиной не менее 100 м в количестве не более 25% от общей длины сдаваемой партии кабеля. Механическая прочность кабеля – не менее 490 Н; срок службы – не менее 15 лет.

Техническими условиями регламентированы следующие электрические характеристики кабеля: сопротивление токопроводящих жил на постоянном токе для диаметров 0,9 мм – не более 46 Ом/км соответственно; рабочая емкость – не более 50 нФ/км; электрическое сопротивление изоляции жил – не менее 5000 МОм·км; испытательное напряжение переменного тока частотой 50 Гц между жилами – 1000 В, между жилами и экраном – 500 В; электрическое сопротивление изоляции оболочки – не менее 5,0 МОм·км.

На частоте 800 Гц для кабеля ТСПЗПб 5х2х0,9 – $\alpha = 0,7$ дБ/км, $|Z_B| = 640$ Ом и $A_0 = 85...120$ дБ.

6.3. Абонентские кабели с медными жилами

Перспективные сельские АТС соединяются с оконечными устройствами физическими низкочастотными, высокочастотными цифровыми абонентскими линиями.

Для низкочастотных линий применяются многопарные кабели с гидрофобным наполнением ТППЗ 10-100х2х0,5; 10-100х2х0,4 (ГОСТ 22498-88), малопарные КТПЗБШп 3х2х0,64; 5х2х0,64; 10х2х0,64 (ТУ 16.К71-006-87). Для линий между АТС и линейным блоком цифрового концентратора или мультиплексора используются одноплетенные

кабели с гидрофобным заполнением КСПЗП $1 \times 4 \times 0,64$; КСПЗП $1 \times 4 \times 0,9$ и КСПЗПБ $1 \times 4 \times 0,9$ по однокабельному варианту (ТУ 16.К71-007-87). Цифровые тракты между АТС и линейным блоком концентратора или мультиплексора могут быть организованы по низкочастотным кабелям ТППЗ и КТПЗБШп. Для внутридомовых АЛ следует применять однопарный распределительный провод ТРП и кабель со скрученными парами ТПВ АД $1 \times 2 \times 0,5$; $3 \times 2 \times 0,5$; $5 \times 2 \times 0,5$ цилиндрической конструкции и ТПВП АД $3 \times 2 \times 0,5$ и $5 \times 2 \times 0,5$ ленточной конструкции.

Дальнейшее развитие абонентских линий СТС должно идти по пути внедрения высоконадежных малопарных «цифровых» кабелей с экранированными группами, имеющих высокое переходное затухание. Следующий этап совершенствования СТС – создание широкополосной сети оптических кабелей, обеспечивающих услуги сетей доступа. Конфигурация линейных сооружений должна совпадать с построением существующей сети сельской связи. Для организации линий могут быть использованы типовые конструкции оптических кабелей.

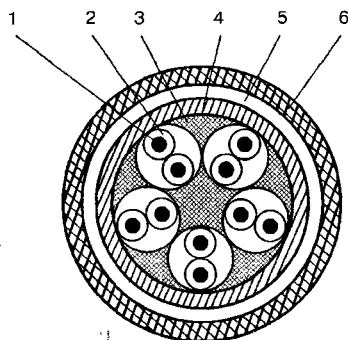
Многopapные кабели местной связи с гидрофобным заполнением ТППЗ выпускались отечественной промышленностью по ГОСТ 22498-88 с числом пар 10...100, с медными жилами диаметром 0,4; 0,5 мм, изолированными сплошным полиэтиленом. Группа пар, скрученная в пучок, экранируется тонкой алюминиевой (или алюмополиэтиленовой) фольгой, поверх которой размещается защитная полиэтиленовая оболочка. Кабель предназначен для использования в низкочастотном диапазоне.

Электрические характеристики кабеля ТППЗ: сопротивление токопроводящей жилы диаметром 0,4 и 0,5 мм по постоянному току – 139 ± 9 и 90 ± 6 Ом/км соответственно, электрическая рабочая емкость – не более 50 нФ/км, сопротивление изоляции жил относительно экрана – не менее 5000 МОм·км. Коэффициент затухания на частоте 1000 Гц – 1,63 и 1,3 дБ/км соответственно, переходное затухание между цепями на ближнем конце не менее 69,5 дБ. С 1 июля 2000 г. кабели изготавливаются по ГОСТ Р 51.1311-99.

Малопарные кабели для СТС КТПЗБШп (рис. 6.3) выпускаются по ТУ 16.К71-007-87 с медными жилами диаметром 0,64 мм с полиэтиленовой изоляцией, гидрофобным заполнением, с экструдированной поясной изоляцией в виде трубки, бронированной стальной гофрированной лентой с битумным покрытием в полиэтиленовом шланге. Номенклатура кабелей КТПЗБШп $3 \times 2 \times 0,64$, $5 \times 2 \times 0,64$, $10 \times 2 \times 0,64$.

Рис. 6.3
Конструкция кабеля КТПЗБШп $5 \times 2 \times 0,64$

- 1 – медная токопроводящая жила;
- 2 – полиэтиленовая изоляция жил;
- 3 – гидрофобный заполнитель;
- 4 – поясная полиэтиленовая изоляция;
- 5 – стальная ленточная броня с битумным покрытием;
- 6 – полиэтиленовая оболочка



Электрические характеристики кабеля КТПЗБШп: сопротивление токопроводящей жилы постоянному току – в пределах 55 ± 3 Ом/км, сопротивление изоляции жил – не менее

5000 МОм·км, рабочая емкость – 45 ± 5 нФ/км, коэффициент затухания на частоте 1000 Гц – не более 0,9 дБ/км, переходное затухание между цепями на ближнем конце – не менее 75 дБ.

Одночетверочные высокочастотные кабели КСПЗП $1 \times 4 \times 0,64$ (ТУ 16. К71-061-089) аналогичны конструкции кабеля КСПЗП $1 \times 4 \times 0,9$: диаметр медных жил – 0,64 мм, радиальная толщина изоляции – 0,7 мм. Электрические характеристики кабеля КСПЗП $1 \times 4 \times 0,64$: сопротивление жилы постоянному току – не более 58 Ом/км, рабочая емкость – 39 ± 3 нФ/км, коэффициент затухания на частоте 512 кГц – 8,0 дБ/км. Переходное затухание между цепями на ближнем конце на сигнале ПСП при скорости передачи 1024 кбит/с – 61 дБ на строительную длину.

Создание экономичных, высоконадежных абонентских цифровых сетей должно идти по пути внедрения технических решений, обеспечивающих уменьшение капитальных затрат и сокращение эксплуатационных расходов. Выбор оптимальных технико-экономических решений заключается, в первую очередь, в сравнении параметров цифровых систем передачи и характеристик среды передачи. Как показал опыт внедрения на СЛ двухчетверочных кабелей, КСПЗП $2 \times 4 \times 0,9$ (конструкция из двух параллельных четверок) обеспечивает высокое переходное затухание на ближнем конце (100...110 дБ) между цепями различных групп и возможность создания линейного тракта ЦСП с усилительной способностью до 60 дБ.

В основу конструкции кабелей для абонентских цифровых сетей принята концепция создания «двуствольных» малопарных кабелей с экранированными группами. По линиям из таких кабелей может работать цифровая сельская аппаратура с усилительной способностью линейного тракта 50 дБ.

Разработаны абонентские кабели для ЦСП с повышенным переходным затуханием следующих конструкций:

- двухчетверочные с экранированными группами и гидрофобным заполнением КСПЗП $2 \times 4 \times 0,64$ (рис. 6.4);
- малопарные с экранированными группами и гидрофобным заполнением КЦПЗШп $2 (3 \times 2 \times 0,64)$; $2 (5 \times 2 \times 0,64)$ и $2 (10 \times 2 \times 0,64)$ (рис. 6.4).

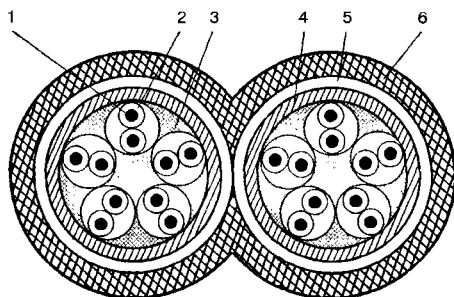


Рис. 6.4

Конструкция кабеля КЦПЗБШп 2 ($5 \times 2 \times 0,64$):

- 1 – медная токопроводная жила;
- 2 – полиэтиленовая изоляция;
- 3 – поясная изоляция;
- 4 – алюминиевый экран;
- 5 – стальная ленточная броня с битумным покрытием;
- 6 – общий защитный шланг на две экранированные группы

Первичные параметры передачи цепей внутри экранированных групп этих кабелей соответствуют ТУ 16.К71-061-89 на одночетверочные кабели КСПЗП $1 \times 4 \times 0,64$. Коэффициент затухания на частотах 128; 512 и 1024 кГц составляет величину не более 5,0; 7,5; 11,0 дБ/км соответственно. Переходное затухание между цепями на ближнем конце различных экранированных групп для указанных частот – не менее 90 дБ, защищенность на дальнем конце – не менее 70 дБ на строительную длину. Внедрение этих кабелей совместно с цифровыми

концентраторами и мультиплексорами позволит организовать высоконадежные сельские абонентские сети с возможностью применения оборудования технологии xDSL.

На внутрипроизводственных сельских сетях и линиях к фермерским хозяйствам также должны применяться перечисленные малопарные кабели с гидрофобным заполнением. Высокая надежность их конструкций и стабильность электрических характеристик полностью обеспечат функционирование всех видов связи и ход технологических процессов сельскохозяйственного производства.

Возможность применения низкочастотных кабелей для цифровых систем передачи определяется его частотными характеристиками вторичных параметров передач и параметров влияния в диапазоне частот используемого оборудования.

В табл. 6.11 приведены усредненные значения коэффициентов затухания фазы, волнового сопротивления для кабеля КТПЗБ6Шп в диапазоне частот до 2048 кГц.

Таблица 6.11. Усредненные значения параметров передачи цепей кабеля КТПЗБ6Шп

Параметр	Значение при частоте, кГц													
	1,0	2	4	8	16	32	64	128	160	256	352	512	1024	2048
α , дБ/км	0,9	1,5	2,0	2,7	3,2	3,8	4,3	5,0	6,0	6,9	8,2	10	11	14,6
$ Z_B $, Ом	728	463	330	239	182	153	141	138	136	135	133	132	131,5	129
$-\varphi^\circ$, град.	44,0	42,0	40	35,5	27,9	18,5	10,8	6,6	6,0	4,5	3,7	2,3	1,7	1,5
β , рад/км	0,06	0,1	0,17	0,33	0,74	1,3	2,5	4,7	6,3	9,0	12,6	18,0	35,6	69,9

В табл. 6.12 представлены среднестатистические значения переходного затухания, защищенности между цепями на фиксированных частотах по результатам измерений на линиях, находящихся в эксплуатации.

Таблица 6.12. Усредненные значения параметров влияния между цепями в кабеле КТПЗБ6Шп

Параметр	Значение при частоте, кГц													
	1,0	2	4	8	16	32	64	128	160	256	312	512	1024	2048
A_0 , дБ	99	97,0	93,0	91,0	86,7	81,5	76,8	69,3	66,0	64,2	61,9	62,8	56,4	54
σ , дБ	7,0	7,0	7,0	6,4	6,1	4,3	7,5	5,2	5,0	4,8	5,6	4,6	5,0	4,3
A_1 , дБ	99,0	97,9	95,0	94,0	90,8	86,3	84,1	82,6	81,0	80,6	80,0	77,0	72	70
σ , дБ	5,7	5,0	4,9	4,0	4,4	5,3	7,5	7,2	6,2	5,8	6,3	6,1	6,0	6,0

Параметры передачи и влияния кабелей КСПЗП 1×4×0,64 в диапазоне частот до 2048 кГц, полученные по результатам статистических измерений, приведены в таблицах 6.13 и 6.14.

Таблица 6.13. Усредненные значения параметров передачи цепей кабеля КСПЗП 1×4×0,64

Параметр	Значение при частоте, кГц													
	1,0	2	4	8	16	32	64	128	160	256	312	512	1024	2048
α , дБ/км	0,8	1,4	1,8	2,4	3,0	3,4	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	12
$ Z_B $, Ом	720	450	320	225	175	148	139	130	129	128	127	126	125	124
$-\varphi^\circ$, град.	42,0	41,0	40	35,0	28	18,0	10	6,0	5,5	4,0	3,5	2,3	1,6	1,4
β , рад/км	0,06	0,1	0,16	0,32	0,73	1,2	2,3	4,4	6,2	8,9	12,0	17,0	35,0	68

Таблица 6.14. Усредненные значения параметров влияния между цепями в кабеле КСПЗП 1×4×0,64

Параметр	Значение при частоте, кГц													
	1,0	2	4	8	16	32	64	128	160	256	312	512	1024	2048
A ₀ , дБ	85	83	80	78	74	72	70	66	64	62	58	60,0	57	50
σ, дБ	5	5	5	4,8	4,8	4,6	4,4	4,4	4,3	4,2	4,2	4,2	4,0	4,8
A ₁ , дБ	80	78	76	75	74	73	70	47	65	62	58	55	52	48
σ, дБ	5,7	5,0	4,6	4,5	4,4	4,8	5,0	5,1	5,2	5,4	5,6	5,8	6,0	6,0

6.4. Однопарные кабели

Конструктивные и электрические характеристики однопарных кабелей и проводов СТС (рис. 6.5) приведены в табл. 6.15 и 6.16. Наибольшее распространение на СТС получили однопарные кабели типа ПРППМ (ТУ 16.505.755-80) с полиэтиленовой изоляцией жил, поверх которой наложена оболочка из светостабилизированного (2% сажи) шлангового полиэтилена. Техническими условиями предусмотрен выпуск однопарных кабелей марки ПРПВМ, отличающихся от ПРППМ наличием поливинилхлоридной оболочки. Строительная длина кабеля 500 м.

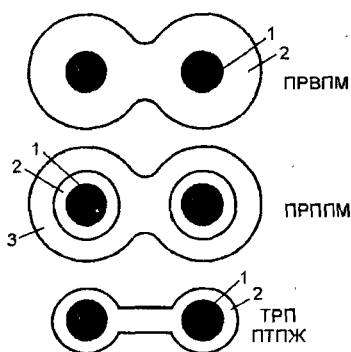


Рис. 6.5. Конструкция однопарных кабелей

- 1 — проводник;
- 2 — изоляция;
- 3 — оболочка

Некоторое применение на СТС находят кабели типа ПРППА (ТУ 16.505.235-71) с жилами из неотожженного алюминия диаметром 1,6 мм, аналогичные по конструкции и электрическим характеристикам кабелям ПРППМ. Условия использования проводов ПРППА аналогичны условиям, указанным для кабелей ПРППМ (ПРВММ). Провода ТРП (ТРВ) и АТРП (АТРВ) используются, главным образом, для прокладки по стенам зданий при выполнении абонентской проводки. При этом провода с изоляцией из полиэтилена черного цвета и из поливинилхлорида черного, синего, голубого и зеленого цветов используются для прокладки на открытом воздухе, а других цветов, в том числе, натурального, — для прокладки внутри помещений.

Параметры передачи по линиям из кабелей ПРППМ на частоте 800 Гц приведены в табл. 6.17. На практике наблюдается значительный разброс параметров проводов и кабелей, а также зависимость параметров неэкранированных проводов и кабелей от условий прокладки и эксплуатации линий и характеристики окружающей среды. Поэтому техническими условиями нормируются максимальные значения электрической емкости цепей.

Таблица 6.15. Конструктивные характеристики однопарных кабелей и проводов СТС

Марка кабеля	Жилы		Изоляция		Наружные размеры, мм	Масса, кг/км
	материал	диаметр, мм	материал	радиальная толщина, мм		
ПРППМ	Медь (ММ)	0,8	ПЭ	0,5+0,1	3,6×7,2	29,0
		0,9		0,5+0,1	3,9×7,8	36,0
		1,2		0,6+0,1	4,6×9,2	43,8
ПРВПМ	Медь (ММ)	0,8	ПВХ	1,0+0,2	3,2×6,7	24,2
		1,0		1,2+0,2	3,8×8,1	36,4
		1,2		1,4+0,2	4,4×9,3	51,0
ПТПЖ	Сталь	0,6	ПЭ	0,6+0,1	2,0×6,0	8,6
		1,2		0,7+0,1	2,8×7,6	25,3
		1,8		0,8+0,1	3,6×9,2	51,7
ТРП	Медь (ММ)	0,5	ПЭ	0,7+0,1	2,3×6,6	10,0
АТРП	Алюминий, (АМ)	0,7	ПЭ	0,7+0,1	2,5×7,0	9,4
Примечания:						
1. Кабели ПРВПМ отличаются от кабелей ПРППМ наличием ПВХ оболочки.						
2. Провода ПТВЖ отличаются от проводов ПТПЖ наличием ПВХ изоляции той же радиальной толщины.						
3. Провода ТРВ и АТРВ отличаются от проводов ТРП и АТРП наличием ПВХ изоляции той же радиальной толщины.						

Таблица 6.16. Электрические характеристики однопарных кабелей и проводов СТС

Марка кабеля	Диаметр жил, мм	Сопротивление цепи, Ом/км	Электрическая емкость, иФ/км	Сопротивление изоляции, МОм·км	Рабочее напряжение, В
ПРППМ	1,2	32,0	56	6000	380
	0,9	56,8	51	6000	380
	0,8	72,0	50	6000	380
ПРВПМ	1,2	33,4	116	10	360
	1,0	47,8	114	10	360
	0,8	75,2	111	10	360
ПТПЖ	1,8	140,0	—	60	500
	1,2	280,0	—	60	500
	0,6	1200,0	—	60	500
ТРП	0,5	190,0	—	100	500
Примечания:					
1. Кабели ПТВЖ отличаются от ПТПЖ более низким сопротивлением изоляции 10 МОм·км.					
2. Кабели ТРВ имеют более низкое, чем ТРП сопротивление изоляции 25 МОм·км.					

Таблица 6.17
Параметры передачи по линиям
из однопарных кабелей ПРППМ

Параметр	Диаметры жил, мм		
	0,8	0,9	1,2
α , дБ/км	0,73	0,68	0,62
$ Z_B $, Ом	552	448	345

Поскольку существующими правилами разрешается параллельная прокладка нескольких однопарных кабелей в одной траншее, необходимо знание параметров взаимных влияний между такими кабелями. Экспериментально установлено, что при прокладке нескольких однопарных кабелей в одной траншее переходное затухание на ближнем конце A_0 и защищенность на дальнем конце A_z на частоте 800 Гц составляет величину порядка 85–100 дБ при параллельном пробеге до 5 км, что удовлетворяет требованию исключения переходного разговора с соседних кабелей, проложенных в одной траншее.

ГЛАВА 7

КАБЕЛИ ПРОВОДНОГО ВЕЩАНИЯ

7.1. Конструктивные характеристики

Для сетей проводного вещания в сельской местности применяются однопарные кабели с пластмассовой изоляцией и оболочкой [1–4]. Эти кабели используются в качестве магистральных, распределительных фидеров и абонентских линий. Однопарные кабели проводного вещания марок ПРППМ и ПРПВМ предназначены для распределительных фидеров и абонентских линий проводного вещания с рабочим напряжением не более 340 В. Область применения кабелей: прокладка в грунтах I–III категорий без каменистых включений, плывунов, вечной мерзлоты и в районах, не характеризующихся опасностью повреждения грызунами, а также подвеска на опорах воздушных линий.

Однопарные кабели ПРППМ и ПРПВМ изготавливают по ТУ 16.505.755-80 с медными жилами диаметром 0,8; 0,9 и 1,2 мм и полиэтиленовой изоляцией. Эти кабели широко используются для сельской телефонной связи. Конструктивные и электрические характеристики приведены в гл. 6.

Таблица 7.1. Конструктивные характеристики кабелей проводного вещания

Марка кабеля	Жилы		Изоляция		Наружные размеры, мм	Масса, кг/км	Примечание
	Материал	Диаметр, мм	Материал	Диаметр, мм			
МРМВ	*	1,2	ППЭ	2,6	10×16,5	135	Провода ПТВЖ отличаются от проводов ПТПЖ оболочкой из ПВХ той же величины
МРМП	*	1,2	ППЭ	2,6	10×16,8	110	
МРМПЭ	*	1,2	ППЭ	2,4	13×18	215	
МРМПЭБ	*	1,2	ППЭ	2,4	14×19	299	
ПТПЖ	сталь	0,6	ПЭ	0,6±0,1	2,0×6,0	3,6	ПТПЖ из ПВХ той же величины
ПТПЖ	*	1,2	ПЭ	0,7±0,1	2,8×7,6	25,3	
ПТПЖ	*	1,8	ПЭ	0,8±0,1	3,6×9,2	51,7	
КРВПМ	медь	0,6	ПВХ	0,3±0,1	7,3	26,0	
КРППМ	*	0,5	ПЭ	0,3±0,1	7,3	26,0	
КРВПС	сталь	0,6	ПВХ	0,3±0,1	7,7	30	
КРВПП	*	0,6	ПЭ	0,3±0,1	7,7	30	

Однопарные кабели МРМВ, МРМП, МРМПЭ и МРМПЭБ предназначены для магистральных фидерных линий с напряжением 960 В. Область применения кабелей: МРМВ, МРМП – для прокладки в грунте, технических подпольях, коллекторах, по стенам зданий, на опорах воздушных линий связи при подвеске на тросах; МРМПЭ – то же и в телефонной канализации; МРМПЭБ – то же и для прокладки в заболоченных и зараженных грызунами участках местности.

Конструкция однопарных кабелей. Однопарные кабели МРМВ, МРМП, МРМПЭ и МРМПЭБ (ТУ 16.505.230-77) содержат медные жилы, изолированные пористым полиэтиленом. Поверх изолированных параллельно уложенных медных жил диаметром 1,2 мм накладывают оболочку из ПВХ пластика для кабеля МРМВ и светостабилизированного полиэтилена для кабелей МРМП толщиной 1,5 мм.

Для магистральных фидерных линий ПВ изготавливают экранированные кабели МРМПЭ и МРМПЭБ. В конструкции кабеля МРМПЭ поверх параллельно уложенных изолированных пористым полиэтиленом жил накладывается поясная изоляция из сплошного полиэтилена толщиной 0,7 мм, затем медная луженая проволока диаметром 0,4...0,5 мм и продольный экран из алюминиевой ленты толщиной 0,15...0,20 мм. Поверх экрана размещается оболочка из светостабилизированного полиэтилена толщиной 1,7 мм.

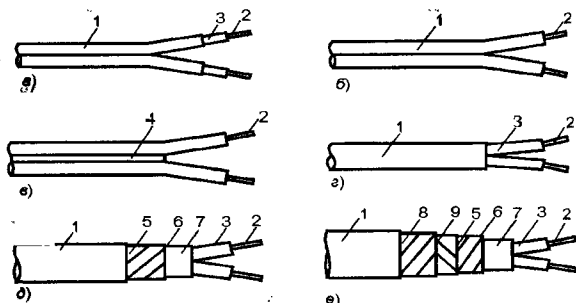
Кабель МРМПЭБ отличается от МРМПЭ наличием бронепокрова. Поверх экрана размещена подушка из пластмассовой пленки толщиной 0,15...0,30 мм, затем стальная лента толщиной 0,1...0,15 мм с антикоррозионным покрытием, наложенная спирально, и оболочка из полиэтилена номинальной толщиной 1,7 мм (рис. 7.1, а, б, е).

Рис 7.1

Конструкции кабелей
проводного вещания:

- а – ПРППМ;
- б – ПРВПМ;
- в – ПТПЖ, ПТВЖ;
- г – МРМВ, МРМП;
- д – МРМПЭ;
- е – МРМПЭБ

- 1 – оболочка;
- 2 – жила;
- 3 – изоляция;
- 4 – перемычка;
- 5 – алюминиевый экран;
- 6 – экранирующая проволока;
- 7 – поясная изоляция;
- 8 – стальная лента;
- 9 – пластмассовая лента



Строительная длина кабеля МРМВ, МРМП не менее 1000 м, МРМПЭ не менее 500 м. Допускается поставка маломерными длинами не менее 250 м для марок МРМВ и МРМП и не менее 100 м для марок МРМПЭ и МРМПЭБ в количестве не более 10% от партии, отгружаемой в один адрес.

Срок службы кабелей, гарантированный техническими условиями, при соблюдении условий транспортировки, хранения, прокладки, монтажа и эксплуатации составляет 12 лет.

7.2. Электрические параметры

Электрические характеристики кабелей МРМВ, МРМП, МРМПЭ и МРМПЭБ, регламентированные техническими условиями ТУ 16.505.230-77, приведены в табл. 7.2. Рабочая емкость кабелей ПРППМ, ПРВМ, МРМП, МРМВ и ПТПЖ определена для строительных длин в бухтах, помещенных в воду на 3...6 ч.

В табл. 7.2 приведены нормы на электрические характеристики кабелей ПВ.

Таблица 7.2. Нормы на электрические параметры кабелей проводного вещания

Марка кабеля	Диаметр жил, мм	Сопротивление цепи, Ом/км	Электрическая емкость, нФ/км	Сопротивление изоляции жил, МОм·км	Рабочее напряжение, В
МРМВ,	1,2	31,6	25	6000	2000
МРМП,	1,2	140,0	—	6000	500
МРМПЭ,	1,2	280,0	—	6000	500
МРМПЭБ,	1,2	1200,0	—	6000	500
ПТПЖ	0,6	1200,0	—	6000	500
КРВПМ, КРППМ,	0,5	180	—	2000	500
КРППС, КРВПС	0,6	900	—	2000	500

Примечания.

- Коэффициент затухания кабелей на частоте 800 Гц равен, дБ/км: ПРППМ 2×0,8 – 0,95; ПРППМ 2×0,9 – 0,75; ПРВПМ 2×1,2 – 0,85; ПРВПМ 2×1,0 – 1,0; ПРВПМ 2×0,8 – 1,3; КРВПМ – 1,74; КРППС – 3,48.
- Для кабелей МРМПЭ и МРМПЭБ сопротивление изоляции между экраном и землей не менее 5 МОм·км
- Кабели ПТВЖ отличаются от ПТПЖ более низким сопротивлением изоляции равным 10 МОм·км
- Испытательное напряжение между жилами на частоте 0,05 кГц для кабелей КРВПМ, КРППМ, КРППС и КРВПС равно 500 В.
- Электрическая емкость кабелей ПРВПМ 2×1,2 – 88,0; ПРВПМ 2×0,9 – 87,0 и ПРВПМ 2×0,8 – 86 нФ/км.

Вторичные параметры передачи (коэффициент затухания, фазы и волновое сопротивление) однопарных кабелей ПРППМ, ПРВПМ, МРМП (МРМВ), МРМПЭ и МРМПЭБ в диапазоне частот до 120 кГц приведены в таб. 7.3–7.5.

Таблица 7.3. Вторичные параметры передачи однопарных кабелей ПРППМ и ПРВПМ 2×1,2

f, кГц	ПРППМ				ПРВПМ			
	α, дБ/км	β, рад/км	Z _B , Ом	-φ°	α, дБ/км	β, рад/км	Z _B , Ом	-φ°
0,1	0,226	0,026	845	-44°32'	0,33	0,035	635,0	-41°09'
0,15	0,278	0,032	690	-44°18'	0,40	0,042	521,0	-41°02'
0,4	0,443	0,054	424	-43°15'	0,61	0,068	337,5	-40°10'
0,8	0,608	0,078	299	-41°18'	0,85	0,098	242,0	-38°36'
1,0	0,660	0,089	270	-40°38'	0,95	0,11	218,5	-37°48'
1,5	0,710	0,115	200	-38°05'	1,04	0,14	182,0	-35°30'
2,0	0,868	0,127	193	-36°00'	1,12	0,16	162,0	-33°46'
3,0	1,000	0,183	162	-32°05'	1,30	0,22	137,5	-29°52'
4,0	1,070	0,226	146	-28°30'	1,39	0,26	123,0	-26°30'
5,0	1,110	0,269	135	-25°30'	1,47	0,31	114,5	-23°34'
6,0	1,140	0,312	129	-22°55'	1,56	0,37	102,0	-21°00'
78,0	2,080	3,6	105	-3°50'	3,65	4,20	91,0	-2°20'
120,0	2,510	5,5	105	-3°10'	4,5	6,30	91,0	-1°40'

Таблица 7.4. Вторичные параметры передачи однопарных кабелей МРМП и МРМВ 2×1,2

f , кГц	α , дБ/км	β , рад/км	$ Z_B $, Ом	$-\varphi^\circ$
0,06	0,104	0,011	1900	-43°00'
0,1	0,131	0,014	1480	-42°45'
0,4	0,252	0,030	738	-41°00'
1,0	0,384	0,051	470	-37°15'
2,0	0,486	0,079	342	-32°15'
4,0	0,600	0,134	265	-23°50'
6,0	0,650	0,190	238	-18°00'
10,0	0,702	0,308	222	-11°35'
78,0	1,04	2,4	212	-3°00'
120,0	1,39	3,6	207	-2°15'

Таблица 7.5. Вторичные параметры передачи однопарных экранированных кабелей МРМПЭ и МРМПЭБ 2×1,2

f , кГц	МРМПЭ 2×1,2				МРМПЭБ 2×1,2			
	α , дБ/км	β , рад/км	$ Z_B $, Ом	$-\varphi^\circ$	α , дБ/км	β , рад/км	$ Z_B $, Ом	$-\varphi^\circ$
0,05	0,11	0,012	1800	-44°39'	0,11	0,011	1770	-42°28'
0,1	0,13	0,017	1380	-44°23'	0,13	0,015	1380	-42°11'
0,2	0,19	0,022	985	-42°41'	0,19	0,022	985	-42°37'
0,4	0,26	0,032	698	-42°35'	0,26	0,034	680	-42°12'
1,0	0,41	0,054	452	-39°00'	0,42	0,055	452	-38°26'
2,0	0,50	0,087	340	-33°48'	0,52	0,089	335	-33°32'
4,0	0,63	0,143	260	-26°19'	0,68	0,151	260	-27°25'
6,0	0,69	0,205	231	-21°42'	0,76	0,205	224	-22°58'
8,0	0,76	0,258	217	-18°17'	0,84	0,260	213	-19°54'
10,0	0,79	0,315	212	-16°14'	0,85	0,315	203	-17°28'
78,0	1,35	2,250	186	-3°50'	1,41	2,250	173	-4°24'
20,0	1,63	3,440	179	-1°52'	1,69	3,440	171	-3°42'

Линии, построенные из однопарных кабелей без экрана, имеют нестабильные во времени электрические характеристики. Это объясняется тем, что электрическое поле между проводами пронизывает не только материал изоляции, но и окружающую кабель среду. Поэтому параметры такого кабеля, в основном электрическая емкость C и проводимость изоляции G , в отличие от кабеля с металлическим экраном, в значительной степени зависят от физических постоянных среды, в которой проложен кабель.

В зависимости от степени влажности почвы значения C и G однопарных кабелей без экрана могут изменяться. Параметры линии после прокладки кабеля устанавливаются не сразу. Значения C , измеренные непосредственно после прокладки, примерно на 30%, а G — на 50% меньше, чем у того же кабеля, пролежавшего в земле 6 месяцев.

В табл. 7.6 приведены значения электрической емкости и проводимости кабеля ПРВПМ 2×1,2, находящегося в воздухе, сразу после прокладки в грунт и после шестимесячной эксплуатации.

Таблица 7.6. Первичные параметры однопарных кабелей ПРВПМ

$f, \text{Гц}$	Кабель перед прокладкой		Кабель непосредственно после прокладки		Кабель, пролежавший в грунте 6 мес.	
	$C, \text{мкФ/км}$	$G, \text{мкСм/км}$	$C, \text{мкФ/км}$	$G, \text{мкСм/км}$	$C, \text{мкФ/км}$	$G, \text{мкСм/км}$
400	0,053	11,7	0,087	21,3	0,114	32,0
1000	0,050	25,0	0,084	47,2	0,110	70,8
4000	0,047	87,2	0,077	162,0	0,101	243,0

Увеличение емкости и проводимости с течением времени объясняется тем, что у вновь построенной линии почва еще не плотно облегает кабель. При прокладке механизированным способом земля в течение значительного времени сохраняет след ножа. Затем она осыпается и облегает кабель. Кроме того, емкость и проводимость повышаются вследствие влияния влаги и изменения диэлектрической проницаемости окружающей среды.

Для коротких абонентских подземных линий проводного вещания и вводов применяют однопарные кабели (провода) со стальными жилами диаметром 0,6; 1,2 и 1,8 мм марок ПТВЖ и ПТПЖ (ГОСТ 10254-75). Конструктивно (рис. 7.1,в) кабель состоит из двух параллельно уложенных оцинкованных стальных жил, изолированных ПВХ пластиком или сплошным полиэтиленом так, чтобы они разделялись между собой плоской перемычкой. Конструкция и электрические характеристики кабелей ПТВЖ и ПТПЖ приведены в табл. 7.1 и 7.2.

Для междомовых и домовых линий трехпрограммного вещания при рабочем напряжении 30 В выпускаются трехпарные кабели КРВПМ и КРППМ с медными жилами диаметром 0,5 мм и КРВПС и КРППС с жилами из оцинкованной стальной проволоки диаметром 0,6 мм (ТУ 16.505.183-77). Токопроводящие жилы изолируют цветным полиэтиленом и скручивают в пары с шагом не более 80 мм. Пары скручивают в сердечник с шагом не более 110–120 мм. Жилы каждой пары различны по расцветке. Поверх сердечника в кабелях КРВПМ и КРВПС накладывают оболочку из ПВХ пластика, в КРППМ и КРППС – из светостабилизированного полиэтилена. Конструктивные и электрические характеристики приведены в табл. 7.1 и 7.2. Строительная длина кабеля 150 м. Кабели проводного вещания рассчитаны на определенные условия строительства и эксплуатации. В табл. 7.7 приведена температура окружающего воздуха, допустимая при прокладке и эксплуатации кабелей ПВ.

Таблица 7.7. Допустимая температура воздуха при прокладке и эксплуатации кабелей

Марка кабеля	Допустимая температура, °С	
	эксплуатации	прокладки (минимальная)
ПРППМ	-40...+50	-10
ПРВПМ	-30...+45	-5
ПТПЖ, ПТВЖ	-40...+50	-10
МРМП, МРМПЭ, МРМПЭВ,	-60...+60	-10
КРВПМ, КРВПС, КРППМ, КРППС	-40...+60	-10

ГЛАВА 8

КАБЕЛИ ДЛЯ «ПОСЛЕДНЕЙ МИЛИ»

Сети абонентского доступа, получившего сленговое наименование «последней мили» местных телефонных сетей, потребовали создания нового класса кабелей – высокочастотных (цифровых) кабелей, обеспечивающих применение современных технологий xDSL [1–5].

8.1. Высокочастотные (цифровые) абонентские кабели местной связи

Основным критерием, определяющим возможность использования кабелей на участке абонентского доступа при его уплотнении оборудованием технологии xDSL, является электромагнитная совместимость цепей, по которым работают устройства с различными кодами НДВ-3, 2В1Q, CAP, TC-PAM и др.

В конечном итоге главным фактором является оценка кабелей по переходному затуханию между цепями.

В последнее время ряд кабельных предприятий («ЭЛИКС-КАБЕЛЬ», «Электрокабель» и Самарская кабельная компания) разработали конструкции высокочастотных кабелей емкостью 100 пар. Этим кабелям присвоена марка КВППЭпЗ – кабель высокочастотный с полиэтиленовой изоляцией, с алюмополиэтиленовым экраном, заполненный гидрофобным составом в полиэтиленовой оболочке.

По своим электрическим характеристикам кабель обеспечивает уплотнение оборудованием xDSL с информационной скоростью до 2048 кбит/с и аналоговой аппаратурой в диапазоне частот до 552 кГц при дистанционном питании напряжения до 225 В переменного и до 315 В постоянного тока.

Конструктивно кабель имеет несколько модификаций: для прокладки в телефонной канализации, в коллекторах, по стенам зданий и подвески на опорах воздушных линий связи.

Предусмотрены конструкции кабелей для прокладки в грунт (КВППЭпЗБШп), обеспечивающие защиту от повреждения сердечника грызунами. Здесь применена легкая броня из гофрированной продольной ленты с антикоррозийным покрытием. Для прокладки внутри зданий применяют кабели в оболочке из негорючих материалов.

Номенклатура кабелей:

диаметр медных жил – 0,5 и 0,64 мм;

число пар в кабеле 10...100.

Электрические характеристики кабелей приведены в табл. 8.1.

Срок службы кабелей 25 лет.

Таблица 8.1. Электрические характеристики кабелей

Параметры	Частота тока, кГц	Норма
Электрическое сопротивление токопроводящей жилы, пересчитанная на 1 км длины и температура 20 °С, Ом для диаметров жил, мм: 0,5 0,64	Постоянный ток	$90^{+5,9}_{-6,0}$ 55±3
Электрическое сопротивление изоляции токопроводящих жил, МОм·км, не менее	Постоянный ток	5000
Рабочая емкость, нФ/км	0,8 или 1,0	45±5
Омическая асимметрия жил в паре, в %, не более	Постоянный ток	1,0
Переходные затухания между цепями на ближнем конце не менее, дБ/стр.дл. На частотах 40, 80 и 160 кГц: 50% комбинаций 40% комбинаций 10% комбинаций На частотах 512 и 1024 кГц: 50% комбинаций 40% комбинаций 10% комбинаций	Переменный ток	70 65 60 65 60 58
Защищенность между цепями на дальнем конце не менее, дБ/стр.дл. На частотах 40, 80 и 160 кГц: для 40% комбинаций для 60% комбинаций На частотах 512 и 1024 кГц: 40% комбинаций 60% комбинаций		65 60 55 50
Испытательное напряжение в течение 1 мин., В: Приложенное Между жилами рабочих пар	0,05 постоянный ток 0,05 постоянный ток	1000 1500 2000 3000
Электрическое сопротивление изоляции наружной оболочки (шланга) кабелей, МОм·км	Постоянный ток	5,0

8.2. Кабели для последних метров «последней мили»

В статье «Экология среды передачи сигналов» («Вестник связи»), № 3, 1997 г.), рассматриваются причины, препятствующие массовому использованию абонентских линий («последней мили») для цифровых систем передачи.

Рассмотрим еще один из «подводных камней» цифровой реки тракта передачи с неожиданными мелями, загрязненными потоками помех и неоднородностями волновых сопротивлений... Речь пойдет об обычной абонентской проводке. Да! Да! Обычной внутренней сети, выполненной телефонным распределительным проводом ТРП.

Вот эти «последние метры» «последней мили» могут сыграть решающую роль во внедрении цифровых сетей передачи.

Вероятно, зачастую вас «привлекают» параллельные пучки этих «кабелей», украшающих стены прекрасных офисов, промышленных предприятий, учреждений. Следуя влечению времени, на этих сетях стоят телефоны, факсы, автоответчики, работает телесигнализация и даже персональные компьютеры с выходом в Интернет.

Нужно отметить, что пока... работают.

Известны всем явления взаимных влияний между цепями из параллельных проводов. Опять таки, пока была низкочастотная телефонная связь, конфигурация сетей обеспечивала необходимую взаимозащищенность цепей в пучке проводов: переходное затухание на ближнем конце на частоте 800 Гц не менее 69,5 дБ.

Ну, а теперь, когда по этим линиям идет высокоскоростная цифровая информация, на эти линии устанавливаются малоканальные цифровые системы передачи, высокоскоростные модемы, планируется организация сетей ЦСИС, необходимо дать фактическую оценку взаимных влияний между параллельными цепями из проводов ТРП.

Абонентские линии из пучков параллельных проводов ТРП имеют низкое переходное затухание, что особенно проявляется на высоких частотах (40...50 дБ). Эти линии слабо защищены от внешних электромагнитных воздействий.

Да! Еще не настал век «сплошной» цифровизации местных сетей – «последние метры» «последней мили» еще обеспечивают ее функционирование.

Однако, уже в ближайшем будущем местные сети превратятся в транспортную систему цифровых потоков. А в этом случае необходимо выполнять условия «сосуществования в ансамбле цепей различного назначения».

Стандартом ОСТ 45.81-97 определены условия, обеспечивающие функционирование: 1) систем телефонной связи; 2) систем телеграфной связи, включающих службы телеграфной связи общего пользования, абонентского телеграфа, телекса; 3) телематических служб, включающих факсимильную связь, видеотекста, электронной почты, обработки сообщений; 4) системы передачи данных; 5) систем распределения программ звукового вещания; 6) цифровых систем с интеграцией обслуживания ЦСИО (ЦСИС).

В свете изложенного необходимо изменить концепцию строительства внутридомных сетей электросвязи.

Предлагается целый комплекс кабелей, сконструированных на базе основного элемента «скрученной пары».

Разработаны кабели внутридомовой сети электросвязи для прокладки на участке от распределительной коробки до розетки, внутришкафных соединений между плитами боксов распределительных шкафов. Конструкция кабелей предусматривает включение их в оконечные устройства с планками со щелевыми контактами.

Кабелям присвоена марка ТПВ АД – телефонный (Т), полиэтиленовая изоляция жил (П), поливинилхлоридная оболочка (В), для сетей абонентского доступа (АД) (табл. 8.2).

Марка экранированных кабелей – ТПВЭ АД.

Область применения кабелей

Сети абонентского доступа:

- неэкранированные – до 200 кГц;
- экранированные – до 2048 кГц.

Конструкция: кабели выполнены в виде цилиндрической или плоской (ленточной) формы.

Сердечник кабелей состоит из одной, двух, трех, четырех и пяти пар медных жил диаметром 0,5 мм, изолированных сплошным полиэтиленом. Скрутка пар однонаправленная с шагом 20–40 мм.

Таблица 8.2. Область применения и условия прокладки кабелей

Марка кабеля	Область применения и условия прокладки
ТПВ АД 1×2×0,5; 2×2×0,5; 3×2×0,5; 4×2×0,5; 5×2×0,5	Кабели с цилиндрическим сердечником для передачи сигналов до 200 кГц. Прокладка внутри зданий, внутришкафной монтаж
ТПВП АД 2×2×0,5; 4×2×0,5	То же, в плоском (ленточном) исполнении
ТПВЭ АД 1×2×0,5; 2×2×0,5; 4×2×0,5	Кабели с цилиндрическим экранированным сердечником для прокладки в зданиях в условиях повышенных электромагнитных влияний
ТПВЭ АД 2(1×2×0,5) 2 (2×2×0,5); 2 (4×2×0,5)	Кабели с двумя параллельно уложенными экранированными группами для передачи сигналов в диапазоне частот до 2048 кГц для прокладки внутри зданий.

Поверх скрученного сердечника наложена оболочка из поливинилхлорида.

Предусмотрена конструкция кабеля с экранированием сердечника фольгированной пленкой.

В кабелях плоской конструкции изолированные полиэтиленом пары уложены параллельно в поливинилхлоридную плоскую оболочку.

В кабелях, предназначенных для работы в диапазоне до 2048 кГц, предусмотрена конструкция с двумя параллельно уложенными экранированными группами («сиамские близнецы»).

Электрические характеристики кабелей:

- сопротивление токопроводящих жил при температуре 20 °С должно быть не более 90 Ом/км;
- рабочая емкость – не более 50 нФ/км;
- сопротивление изоляции между жилами цепи не менее 5000 МОм·км;
- испытательное напряжение между жилами цепи, не менее 1000 В на частоте 50 Гц или 1500 В на постоянном токе.

Конструкция кабелей обеспечивает переходное затухание между цепями на ближнем конце в строительной длине на частотах 1,0; 100; 200 кГц – 100, 80, 70 дБ соответственно.

Параметры передачи приведены в табл. 8.3

Таблица 8.3

Параметры передачи кабелей АД

Частота, кГц	1,0	100	200
α , дБ/км	1,25	7,2	8,6
$ Z_B $, Ом	890	115	112

Кабели с параллельными экранированными группами обладают следующими электрическими параметрами на частоте 1024 кГц:

- коэффициент затухания не более 18 дБ/км;
- волновое сопротивление 110 Ом;
- переходное затухание на ближнем конце между цепями, размещенными в различных экранированных группах, не менее 90 дБ.

Для выполнения требований электромагнитной совместимости цепей дискретной и аналоговой информации при внедрении оборудования ЦСИС, цифровых систем уплотнения, массового использования xDSL, на участке сети абонентского доступа от коробки до терминала, необходимо применять конструкции кабеля, в основе которой лежит «витая пара». Это решает проблемы «последних метров» «последней мили».

8.3. Новый высоконадежный высокочастотный однопарный кабель

Грызунам не по зубам

На линиях сельской связи на абонентских участках большое распространение получили однопарные кабели типа ПРППМ (ТУ 16.505.755-80) с медными жилами с полиэтиленовой изоляцией, поверх которой наложена оболочка из светостабилизированного шлангового полиэтилена.

Конструктивно этот кабель выполнен в виде «восьмерки» – жилы расположены параллельно (рис. 8.1).

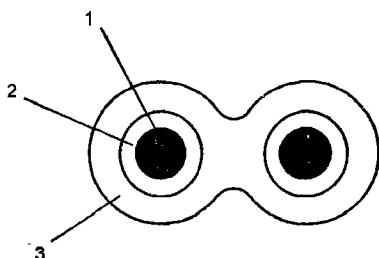


Рис. 8.1. Конструкция кабеля ПРППМ

- 1 – проводник;
- 2 – изоляция;
- 3 – оболочка

Кабель изготавливается с диаметром медных жил 0,8; 0,9 и 1,2 мм.

Область использования: сети проводного вещания и абонентские телефонные линии.

Электрические характеристики кабелей приведены в табл. 8.4.

Таблица 8.4. Электрические характеристики кабелей

Марка кабеля	Диаметр жил, мм	Сопротивление цепи, Ом/км	Электрическая емкость, пФ/км	Сопротивление изоляции, МОм·км	Рабочее затухание на частоте 800 Гц	Волновое сопротивление, Ом
ПРППМ	1,2	32,0	56	6000	0,62 дБ	345
	0,9	56,8	51	6000	0,68 дБ	448
	0,8	72,0	50	6000	0,73 дБ	552

По своим техническим параметрам кабель предназначен для использования на телефонных сетях в низкочастотном диапазоне.

В соответствии с нормами ЕАСС (ВСС РФ) длина абонентской линии определяется величиной рабочего затухания на частоте 800 (1000 Гц) – 4,5 дБ не должна превышать для кабелей ПРППМ с диаметром жил 1,2; 0,9 и 0,8 мм 7,2; 6,6 и 6,1 км соответственно.

Оценка надежности линий из кабелей ПРППМ, показала, что причинами, выводящими линии из строя, являются механические повреждения сторонними организациями, нарушение технологии монтажа и повреждения оболочки и изоляции жил грызунами.

Указанные повреждения приводят к ухудшению электрических характеристик, их нестабильности и невозможности уплотнения высокочастотными каналами.

На современном этапе развития местных телефонных сетей, требующих повышения надежности линий и возможности их уплотнения абонентскими цифровыми устройствами, необходимы кабели новых конструкций.

Одним из путей, обеспечивающих уменьшения повреждаемости линий грызунами, является применение конструкции кабеля, имеющего броню из тонкой стальной ленты. Например, одночетверочные кабели КСППБ. Статические исследования надежности линии сельской связи показывают, что плотность повреждений грызунами на линиях из небронированных кабелей КСПП в 5 раз больше, чем бронированных. Следовательно, доказано, что основным средством, обеспечивающим уменьшение повреждаемости линий, является применение защитных слоев оболочки в виде стальной брони.

Попытка разработки бронированного однопарного кабеля на базе ПРППМ не увенчалась успехом.

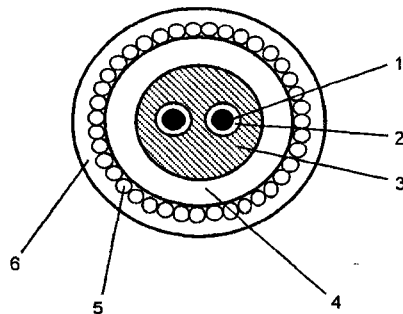
На геометрически малую конструкцию кабеля ПРППМ не удавалось «одеть» броню из «стальной рубашки». Очень мал диаметр.

Поэтому предлагается иной подход к указанной проблеме.

Ее основная идея: поверх сердечника кабеля наложить редкую оплетку из стальных оцинкованных проволок, которая будет служить от воздействия грызунов и одновременно является решетчатым экраном, уменьшающим влияние внешних электромагнитных полей. На рис. 8.2 приведена конструкция кабеля.

Рис. 8.2
Конструкция однопарного высокочастотного кабеля КАПЗоп

- 1 – токопроводящая медная жила;
- 2 – полиэтиленовая изоляция жилы;
- 3 – гидрофобный заполненный сердечник;
- 4 – поясная изоляция;
- 5 – оплетка из оцинкованных проволок;
- 6 – внешняя полиэтиленовая оболочка



Две изолированные жилы, отличающиеся друг от друга по цвету, скручиваются в пару однонаправленной скрутки. Поверх этой группы размещается внутренняя выпрессованная из полиэтилена трубка (поясная изоляция), сердечник заполняется гидрофобной массой. Поверх поясной изоляции накладывается оплетка из стальных оцинкованных проволок. Далее размещают защитную внешнюю оболочку из полиэтилена.

Такие кабели могут быть использованы для организации низкочастотной телефонной связи на абонентском участке линий и для передачи цифровых сигналов на скоростях до 1024 Мбит/с при номинальном напряжении дистанционного питания до 315 В постоянного тока. Кабелям присвоено марка КАПЗоп – кабель абонентский с полиэтиленовой изоляцией жил, с гидрофобным заполнением сердечника, в оплетке из оцинкованных проволок и полиэтиленовом шланге.

Электрические характеристики кабелей на постоянном и переменном токе приведены в табл. 8.5 и 8.6.

Таблица 8.5. Электрические нормы строительных длин кабеля КАПЗон

Параметры	Частота тока, кГц	Норма	Коэффициент при пересчете нормы на другую длину
Электрическое сопротивление токопроводящих жил, пересчитанное на 1 км длины и температуру 20 °С, Ом, не более, для жил диаметром: 0,5 мм 0,64 мм 0,90 мм	Постоянный ток	96,0 58,0 28,4	$L/1000$
Электрическое сопротивление изоляции токопроводящих жил, пересчитанное на 1 км длины и экраном, МОм, не менее	Постоянный ток	5000	$1000/L$
Электрическое сопротивление полиэтиленовой изоляции оболочки, пересчитанное на 2 км длины и температуру 20 °С, МОм, не менее	Постоянный ток	5	$1000/L$
Рабочая емкость, пересчитанная на 1 км длины, нФ, не более	0,8 или 1,0	50	$L/1000$
Испытательное напряжение между жилами и экраном в течение 1 мин, В, —	0,05 Постоянный ток	2000 3000	
Примечание: L – фактическая длина кабеля, м			

Таблица 8.6. Высоочастотные характеристики кабелей КАПЗон

Частота, кГц	Диаметр жил, мм					
	0,5		0,64		0,9	
	$ Z_B $, Ом	α , дБ/км	$ Z_B $, Ом	α , дБ/км	$ Z_B $, Ом	α , дБ/км
1,0	8,90	1,25	728	0,9	540	0,7
8,0	280	3,5	239	2,7	200	1,5
16	210	4,8	182	3,2	160	1,8
32	190	5,9	153	3,8	150	2,2
64	142	6,8	141	4,3	135	2,7
128	114	7,4	138	5,0	130	3,5
160	116,5	7,8	136	6,0	129	4,0
256	115	9,3	135	6,9	128	4,6
512	112	12,7	132	8,9	124	6,5
1024	110	17,5	131,5	11	121	9,1
2048	107	23,8	129	14,6	117	12,9

Кабель может быть использован на низкочастотных абонентских линиях вместо кабеля ПРППМ. При норме затухания 4,5 дБ на частоте 800 (1000 Гц) максимально допустимые протяженности низкочастотных абонентских линий СТС из кабелей КАПЗон с диаметром жил 0,9; 0,64 и 0,5 мм соответственно составляют 6,4; 5,0 и 3,6 км соответ-

венно. Кабель ПРППМ 2×0,9 позволяет организовать только одну низкочастотную линию, протяженностью 6,6 км. Линия не имеет достаточной надежности, подвержена повреждаемости грызунами, не обеспечивает стабильных электрических характеристик.

Рассмотрим использование предлагаемого кабеля КАПЗоп для цифрового абонентского уплотнения на примере оборудования FlexGain PCM 4/5 «НТЦ НАТЕКС». Стандартное оборудование PCM 4/5 имеет 5 цифровых 64 кбит/с каналов при кодировании 2В1Q. Нормируемое рабочее затухание 44 дБ на частоте 63 кГц.

Длина абонентской линии на 5 каналах по кабелю КАПЗоп приведена в табл. 8.7.

Таблица 8.7. Область использования кабелей КАПЗоп совместно с оборудованием FlexGain PCM 4/5

Тип кабеля	КАПЗоп 2×0,9	КАПЗоп 2×0,64	КАПЗоп 2×0,5
Коэффициент затухания, дБ/км	2,7	4,3	6,8
Длина линии, км	16,3	10,2	6,5

Использование предлагаемого кабеля для уплотнения на примере FlexGain PCM 11/12 «НТЦ НАТЕКС» имеет 11 цифровых каналов по 64 кбит/с при кодировании 2В1Q. Нормируемое рабочее затухание 31 дБ на частоте 150 кГц.

Длина абонентской линии на 11 каналов, организованных на кабелях КАПЗоп, приведена в табл. 8.8.

Таблица 8.8. Область использования кабелей КАПЗоп совместно с оборудованием FlexGain PCM 11/12

Тип кабеля	КАПЗоп 2×0,9	КАПЗоп 2×0,64	КАПЗоп 2×0,5
Коэффициент затухания, дБ/км	3,8	5,8	7,5
Длина линии, км	8,0	5,3	4,0

В табл. 8.9 приведена сравнительная оценка применения однопарных кабелей ПРППМ и КАПЗом на линиях сельской связи.

Таблица 8.9. Сравнительная таблица применения однопарных кабелей на линиях сельской связи

Марка кабеля	ПРППМ 2×0,9	КАПЗоп 2×0,9	КАПЗоп 2×0,64	КАПЗоп 2×0,5
Область применения	НЧ-телефон. 1 канал	PCM 4/5 5 каналов ЦСП PCM 11/12 11 каналов ЦСП	PCM 4/5 5 каналов ЦСП PCM 11/12 11 каналов ЦСП	PCM 4/5 5 каналов ЦСП PCM 11/12 11 каналов ЦСП
Протяженность линии, км	7,2	PCM 4/5 16,3 PCM 11/12 8,0	PCM 4/5 10,2 PCM 11/12 5,3	PCM 4/5 6,5 PCM 11/12 4,0
Стабильность электрических характеристик	Не обеспечивает	Обеспечивает	Обеспечивает	Обеспечивает
Защита от повреждения грызунами	Нет	Имеется	Имеется	Имеется
Экранирующие свойства	Нет	Есть	Есть	Есть

Выводы:

Предлагаемый кабель КАПЗоп:

1. Позволяет организовать 5 и 11 цифровых каналов на одной линии.
2. Обеспечивает стабильность электрических характеристик.
3. Имеет повышенную защищенность от повреждения грызунами.
4. Конструкция кабеля обладает улучшенным коэффициентом защитного действия от внешних помех.

Кабель освоен ОАО «Беларускабель» и выпускается по ТУ РБ 4000833286.048-2003.

ГЛАВА 9

НОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

9.1. Электрические нормы на магистральные и зоновые кабельные линии

9.1.1. Электрические нормы на линии ЧРК

На линиях магистральных и зоновых сетей ВСС РФ в настоящее время еще эксплуатируются многие системы передачи с частотным делением каналов типа К-60 и КАМА. В данной главе приведены требования к электрическим характеристикам линий из кабелей МКС и ЗКП, регламентированные отраслевым стандартом ОСТ 45.01-76(86).

Для номинальных длин усилительных участков с допустимыми отклонениями от них, принятыми для различных систем передачи, установлены нормы на электрические параметры симметричных ВЧ-кабелей на постоянном токе.

Таблица 9.1. Нормы на электрические параметры симметричных ВЧ-кабелей на постоянном токе

Параметр	Норма
Электрическое сопротивление изоляции между каждой жилой и остальными жилами, соединенными с заземленной металлической оболочкой (экраном) при температуре +20 °С, МОм·км, не менее	10000
Электрическое сопротивление изоляции любого полиэтиленового защитного шлангового покрова кабеля, МОм·км, не менее	5
Электрическое сопротивление изоляции поливинилхлоридного шлангового покрова кабеля 1×4×1,2 между экраном и землей, МОм·км, не менее	50
Электрическое сопротивление цепи (шлейфа жил) диаметром 1,2 мм рабочей пары при температуре, +20 °С, МОм·км, не менее	32
Разность электрических сопротивлений жил диаметром 1,2 (асимметрия) в рабочей паре ВЧ-кабелей, не более	$0,16\sqrt{l}$
Испытательное напряжение ВЧ кабелей, В: между всеми жилами четверок, соединёнными в пучок и заземленной металлической оболочкой (экраном) между каждой жилой и остальными жилами четверок, соединенными в пучок, и с заземленной металлической оболочкой	2000 1500
Примечание: 1. При наличии в кабеле давления воздуха (азота) испытательное напряжение повышается на 60 В на каждую 0,01 МПа. 2. Для кабелей, проложенных в высокогорных районах, норма испытательного напряжения уменьшается на 30 В на каждые 500 м высоты. 3. l – длина усилительного участка, км.	

Нормы параметров влияния цепей симметричных кабелей, оборудованных аппаратурой К-60 и КАМА, приведены в табл. 9.2 и 9.3 соответственно.

Таблица 9.2. Нормы параметров влияния цепей К-60

Параметр	Число комбинаций	Норма, дБ		
		100%	90%	65%
Распределение значений переходного затухания на ближнем конце, не менее: Кабель емкостью 4×4 Кабель емкостью 7×4 Кабель емкостью 1×4	28 91 1	59	60	—
Распределение значений защищенности цепей на дальнем конце, не менее: Кабель емкостью 4×4 Кабель емкостью 7×4 Кабель емкостью 1×4	56 182 2	71 73 71	74 75 76	78 78 —
<i>Примечание:</i> При определении фактического распределения значений переходного затухания и защищенности между цепями в кабеле 1×4 за 100% комбинации применяется число комбинаций взаимного влияния на участках одного направления передачи на участке ОУП-ОУП.				

Таблица 9.3. Нормы параметров влияния цепей КАМА

Параметр	Число комбинаций	Норма, дБ		
		100%	90%	80%
Распределение значений переходного затухания на ближнем конце, не менее: Кабель емкостью 4×4 Кабель емкостью 7×4	28 91	54	56	59
Распределение значений защищенности цепей на дальнем конце, не менее: Кабель емкостью 4×4 Кабель емкостью 7×4	56 182	65	68	69

В соответствии с требованиями, изложенными в табл. 9.2 и 9.3, измеряются наименьшее значение частотных характеристик переходного затухания на ближнем и защищенности на дальнем концах данной комбинации взаимодействующих пар. Частотные характеристики параметров влияния измеряются прибором ВИЗ-600 или ИКС-600 в диапазоне частот 12–250 кГц для систем передачи К-60 и в диапазоне 12–550 кГц для аппаратуры КАМА. Нормирование по наименьшему значению частотной характеристики влияния связано с особенностями аналоговых систем передачи с амплитудной модуляцией и частотным разделением каналов. При амплитудной модуляции эффективно передаваемая полоса частот одного канала ТЧ составляет 0,3...3,4 кГц. Поэтому узкополосные провалы характеристик влияний могут существенно увеличить в каком-либо канале переходной разговор.

При организации двухкабельной системы передачи требующее значение переходного затухания на ближнем конце усилительного участка между цепями встречных направлений передачи определяется по формуле:

$$A_{02} \geq A_{30} + \alpha l_{\max} + 10 \lg \left(\frac{L}{l} \right),$$

где $A_{30} = 55$ дБ – защищенность переходного разговора между разными направлениями передачи одного и того же канала ТЧ, $\alpha_{l_{\max}} = 54,7$ дБ – наибольшее допустимое затухание усилительного участка, $L = 2500$ км – длина номинального участка.

В соответствии с этими длинами $A_{02} \geq 55 + 54,7 + 21,4 = 131,1$ дБ.

С учетом того, что переход энергии с точки высокого уровня (выход усилителя) на точку низкого уровня (вход усилителя) осуществляется также через распределительные кабели межстоечного монтажа, рекомендуемое наименьшее значение переходного затухания между цепями магистральных кабелей встречных направлений передачи принято равным 140 дБ.

9.1.2. Электрические нормы на линии ЦСП

В современных цифровых системах передачи (ЦСП), используемых на магистральных и зонавых линиях связи, основным видом аналого-цифрового преобразования служит получение ИКМ сигнала из сообщения передаваемого по типовому каналу ТЧ с эффективной полосой частот от 0,3 до 3,4 кГц.

Для этого случая оптимальным с точки зрения минимизации затрат на аппаратуру при допустимом уровне шумов квантования являются следующие параметры аналого-цифрового преобразования: верхняя частота спектра Фурье передаваемых по каналу ТЧ аналоговых сигналов $f_e = 4$ кГц; длительность цикла АИМ сигнала $\Delta T = 125$ мкс. При этих параметрах спектр Фурье сигнала ИКМ $\Delta F_{ИКМ}$ простирается до 64 кГц. Этот диапазон частот получается из соотношения $\Delta F_{ИКМ} = 2 f_e n$, где $n - 2$ коэффициент Котельникова.

Особенность сигнала ИКМ предопределяет структуру многоканальных ЦСП как систем с временным делением каналов. При этом системы других каналов передаются в свободном отрезке времени.

В настоящее время ЦСП образуют совокупность систем (иерархию) со взаимно-согласованными скоростями передач: Первичную, Вторичную, Третичную и Четвертичную системы передач.

Основные технические характеристики ЦСП приведены в табл. 9.4.

Таблица 9.4. Технические характеристики ЦСП

Система передачи	Скорость передачи, кбит/с	Тактовая частота, МГц	Полутактовая частота, МГц	Тактовый интервал, нс	Ширина элементарного импульса, нс	Число каналов
Первичная (ПЦСП)	2048	2,048	1,024	488	240	30
Вторичная (ВЦСП)	8448	8,448	4,224	118	60	120
Третичная (ТЦСП)	34368	34,368	17,184	29	15	480
Четвертичная (ЧЦСП)	139264	139,264	69,632	7	4	11920

Линии из кабелей МКС и ЗКП в настоящее время уплотнены вторичными ЦСП.

ОСТ 45.07-77 «Нормы электрические на смонтированные усилительные участки вторичной цифровой системы передачи» определяет условия применения магистральных линий для аппаратуры ИКМ-120.

Основным элементом цифрового тракта является регенерационный участок. Длины регенерационных участков, на которые нормируются электрические характеристики, приведены в табл. 9.5.

Таблица 9.5
Длины
регенерационных участков

Марка кабеля	Длина регенерационного участка, км		
	номинальная	наибольшая	наименьшая
МКС	4,8	5,2	4,0
МКСА	5,2	5,5	4,0
МКССт	5,1	5,5	4,0
ЗКП	5,0	5,4	4,0

Номинальная длина регенерационного участка определяется номинальным усилением корректирующего усилителя (55 дБ) и номинальным затуханием данного типа кабеля на полутактовой частоте (4224 кГц), а наибольшая и наименьшая – пределами АРУ и температурными и допустимыми разбросами затухания кабелей. Электрические нормы при переменном токе в диапазоне частот 20–550 кГц, предъявляемые к кабельным парам, оборудованных аппаратурой ВЦСП: защищенность между цепями на дальнем конце – не менее 52 дБ; переходное затухание на ближнем на менее 48 дБ.

9.1.3. Новый стандарт на электрические характеристики магистральных и зонавых кабельных линий

В 1998 году взамен стандарта 45.01.86 был введен новый откорректированный ОСТ 45.01-98: «СЕТЬ ПЕРВИЧНАЯ ВЗАИМОУВЯЗАННОЙ СЕТИ СВЯЗИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. Участки кабельные элементарные и секции кабельных линий передачи. Нормы электрические» [1].

Прокомментируем основные положения этого документа.

Область применения

Стандарт ОСТ 45.01-98 распространяется на элементарные кабельные участки (ЭКУ) и кабельные секции (КС) линий передачи магистральных и внутризонавых первичных сетей ВСС РФ. Стандарт устанавливает нормы на электрические параметры цепей на постоянном и переменном токах, смонтированных ЭКУ и КС аналоговых и цифровых систем передачи.

В стандарте приняты следующие определения:

Линия передачи – совокупность физических цепей и (или) линейных трактов систем передачи, имеющие общие линейные сооружения, устройства их обслуживания, а также среду распространения (ГОСТ 22348).

Элементарный кабельный участок (ЭКУ) – участок кабельной линии совместно со смонтированными оконечными кабельными устройствами.

Кабельная секция (КС) – совокупность электрических цепей, соединенных последовательно на нескольких соседних ЭКУ для нескольких систем передачи с одинаковыми расстояниями между регенераторами (усилителями), но с большим, чем длина ЭКУ данной линии.

Регенерационный участок – совокупность цепи ЭКУ или КС с примыкавшим к ним регенератором.

ОСТ 45.01-98 распространяется на ЭКУ и КС, состоящие:

- из коаксиальных кабелей с парами, имеющими шайбовую, баллонную или пористо-полиэтиленовую изоляцию (кабелей типов КМ-4, КМА-4, КМЭ-4, КМ-8/6, МКТ-4, МКТА-4 и ВКПАП);

– из симметричных ВЧ-кабелей с кордельно-полистирольной или полиэтиленовой изоляцией (кабели типов МКС, МКСА, МКССт, ЗКП).

Коаксиальные и симметричные ВЧ-кабельные линии передачи могут применяться для аналоговых и цифровых систем на различные диапазоны передаваемых частот и различные скорости передачи (табл. 9.6, 9.7)

Таблица 9.6. Системы передачи по коаксиальным кабелям связи

Система передачи	Диапазон частот – скорость передач	Тип коаксиальной пары
К-120	60–1304 кГц	2,1/9,7
К-300	60–1364 кГц	1,2/4,6 (1,2/4,4)
К-420	0,3–4,6 МГц	2,1/9,7
К-1920П	0,3–8,5 МГц	2,6/9,4 (2,6/9,5)
К-3600	0,8–17,6 МГц	2,6/9,4 (2,6/9,5)
К-5400	4,3–31,0 МГц	
К-10800	4,3–59,7 МГц	
VLT-1920	0,3–8,5 МГц	
БК-300	60–1364 кГц	1,2/4,6 (1,2/4,4)
БК-960-2	60–4287 кГц	
ИКМ-480 (LS34CX)	34,368 Мбит/с	
ИКМ-480x2	51,480 Мбит/с	
ИКМ-1920	139,264 Мбит/с	2,6/9,7 (2,6/9,5)

Таблица 9.7. Системы передачи по коаксиальным и симметричным кабелям связи

Система передачи	Диапазон частот – скорость передач
К-12+12	12–120 кГц
К-60	12–252 кГц
VLT-120	12–552 кГц
К-1020С	312–4636 кГц
ИКМ-120 (ИКМ-120А, ИКМ-120У)	8448 кбит/с
ИКМ-480 (LS34S)	34368 кбит/с
Примечание: под обозначением К-60 следует понимать системы передачи: К-60, К-60П, К-60П-4М, V-60, V-60S, V-60F	

9.2. Электрические нормы на линии местной связи

9.2.1. Общие положения

Электрические характеристики смонтированных кабельных линий местной связи должны удовлетворять требованиям, приведенным в отраслевых стандартах:

ОСТ 45.82-96. Сеть телефонная городская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные.

ОСТ 45.83-96. Сеть телефонная сельская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные.

ОСТы введены в действие с 01.01.98 года.

Стандарты распространяются на абонентские кабельные линии с металлическими жилами городских телефонных сетей (АЛ ГТС): электронных цифровых АТС; квазиэлектронных АТС; координатных АТС; декадно-шаговых АТС.

Стандарт устанавливает нормы электрических параметров цепей АЛ ГТС, СТС и их элементов, обеспечивающих функционирование: 1) систем телефонной связи; 2) систем телеграфной связи, включающих службы телеграфной связи общего пользования, абонентского телеграфа, телекса; 3) телематических служб, включающих службы факсимильной связи, видеотекса, электронной почты, обработки сообщений; 4) систем передачи данных; 5) систем распределения программ звукового вещания; 6) цифровых систем с интеграцией обслуживания.

Требования стандартов должны учитываться при эксплуатации, проектировании, строительстве новых и реконструкции существующих линий городских телефонных сетей, а также при сертификационных испытаниях.

9.2.2. Нормы электрические на кабельные линии ГТС

Структура АЛ ГТС электронных (ЭАТС-90, МТ-20), координатных (АТСК, АТСКУ) и декадно-шаговых (АТС-49, АТС-54) станций включает: магистральный участок; распределительный участок; абонентскую проводку.

На АЛ ГТС применяют кабели типа ТПП с медными жилами диаметром 0,32; 0,4 и 0,5; 0,64; 0,7 мм с полиэтиленовой изоляцией и в полиэтиленовой оболочке и кабели типа ТГ с медными жилами диаметром 0,4 и 0,5 мм с бумажной изоляцией и в свинцовой оболочке.

Для абонентской проводки применяют провода – телефонные распределительные однопарные с медными жилами диаметром 0,4 и 0,5 мм с полиэтиленовой и поливинилхлоридной изоляцией соответственно.

Соединения в кроссах и распределительных шкафах выполняются кроссировочными проводами марки ПКСВ с диаметром медных жил 0,4 и 0,5 мм.

К цифровым абонентским линиям относятся:

- линии, соединяющие электронные АТС с групповыми абонентскими установками (цифровыми концентраторами, мультиплексорами);
- линии, соединяющие электронные АТС с цифровыми абонентскими установками;
- линии, соединяющие групповые абонентские установки с оконечными цифровыми абонентскими установками;
- линии из кабеля типа ТПП с диаметром жил 0,4; 0,5 и 0,64 мм при двухкабельной схеме организации связи;
- линии из кабелей для цифровых систем передачи типа ТППЗЦ с диаметром жил 0,4 и 0,5 мм и типа ТППэл-2Э с диаметром жил 0,64 мм при однокабельной схеме организации связи.

На АЛЦ для участка от групповой абонентской установке до РК применяют кабели типа ТПП. Для абонентской проводки используют специализированные кабели.

Нормы электрические для абонентских линий городских телефонных сетей

Электрическое сопротивление 1 км цепей абонентских кабельных линий постоянно-му току при температуре окружающей среды 20 °С, в зависимости от применяемого кабеля, приведено в табл. 9.8.

Значение асимметрии сопротивлений жил АЛ ГТС постоянному току должно быть не более 0,5% от сопротивления цепи.

Таблица 9.8. Электрическое сопротивление сетей абонентских кабельных линий

Марка кабеля для АЛ ГТС	Диаметр жилы, мм	Электрическое сопротивление 1 км цепи, Ом, не более
ТПП, ТППЭп, ТППЗ, ТППЗЭп, ТППБ, ТППЭпБ, ТППЗБ, ТППБГ, ТППЭпБГ, ТППБ6Шп, ТППЭпБ6Еп, ТППЗБ6Шп, ТППЗЭпБ6Шп, ТППт	0,32	458,0
	0,40	296,0
	0,50	192,0
	0,64	116,0
	0,70	96,0
ТПВ, ТПЗБГ	0,32	453,0
	0,40	296,0
	0,50	192,0
	0,64	116,0
	0,70	96,0
ТГ, ТБ, ТБГ, ТК	0,40	296,0
	0,50	192,0
	0,64	116,0
	0,70	96,0
ТСтШп, ТАШп	0,50	192,0
	0,70	96,0
ТС	0,40	296,0
	0,50	192,0

Электрическое сопротивление изоляции 1 км жил АЛ ГТС при нормальных климатических условиях в зависимости от марки кабеля должно соответствовать требованиям, приведенным в табл. 9.9.

Таблица 9.9. Электрическое сопротивление изоляции 1 км жил АЛ ГТС

Марка кабеля для АЛ ГТС	Электрическое сопротивление изоляции 1 км жил, МОм, не менее			
	Срок эксплуатации линии			
	ввод в эксплуатацию*	до 5 лет	до 10 лет	св. 15 лет
ТПП, ТППЭп, ТППБ, ТППЭпБ, ТППБГ, ТППЭпБГ, ТППБ6Шп,	5000	1000	500	300
ТППЗ, ТППЗБ, ТППЗЭпБ	5000	1000	800	500
ТГ, ТБ, ТБГ, ТК для жил с изоляцией:				
трубчато-бумажной	5000	1000	400	200
пористо-бумажной	4000	1000	400	200
* нормы установлены для линий без оконечных устройств				
Примечание. Значения параметров линий длиной менее 1 км должны соответствовать значениям параметров, приведенным в табл. 3.2.				

Значение затухания цепей АЛ ГТС на частоте 1000 Гц должно быть не более:

- 6,0 дБ – для кабелей с диаметром жил 0,4 и 0,5; 0,64 мм;
- 5,0 дБ – для кабелей с диаметром жил 0,32 мм.

Значение переходного затухания между цепями АЛ ГТС на ближнем конце на частоте 1000 Гц должно быть не менее 69,5 дБ.

Нормы на сопротивления заземлений

Значения сопротивлений заземлений металлических экранов и оболочек кабелей в зависимости от удельного сопротивления грунта приведены в табл. 9.10.

Таблица 9.10. Нормы на сопротивление заземлений

Удельное сопротивление грунта, Ом·м	До 100 включительно	Свыше 100 до 300 включительно	Свыше 300 до 500 включительно	Свыше 500 до 1000 включительно	Свыше 1000
Сопротивление заземлений, Ом, не более	20	30	35	45	55

9.3. Нормы электрические на линии сельских сетей электросвязи

Нормы электрические на линии СТС из однопроволочных кабелей связи

Электрическое сопротивление 1 км цепи СТС постоянному току при температуре 20 °С в зависимости от марки применяемого кабеля приведено в табл. 9.11. Значение асимметрии сопротивлений жил постоянному току цепи кабельной СТС должна быть не более 0,5% сопротивления цепи. Рабочая электрическая емкость 1 км цепи должна быть не более:

35 нФ – для КСПЗП 1×4×0,64;

38 нФ – для КСПЗП (КСПП) 1×4×0,64.

Таблица 9.11. Электрическое сопротивление цепи СТС

Марка кабеля	Диаметр жилы, мм	Электрическое сопротивление 1 км цепи, Ом
КСПЗП	0,64	116,0
КСПП, КСПЗП, КСППБ, КСПЗПБ, КСППГ, КСПЗПК	0,90	56,8

Электрическое сопротивление изоляции 1 км жил кабельной АЛ СТС в зависимости от марки кабеля и срока эксплуатации приведены в табл. 9.12. Электрическое сопротивление изоляции (оболочки, шланга) 1 км экрана пластмассового кабеля относительно земли в течение всего срока эксплуатации должно быть не менее 1,0 МОм.

Таблица 9.12. Электрическое сопротивление изоляции 1 км жил кабельной АЛ СТС

Марка	Сопротивление изоляции 1 км цепи, МОм, не менее				
	При приемке АЛ в эксплуатацию	При эксплуатации линии сроком, лет			
		До 5	До 10	До 15	Свыше 15
КСПП, КСППБ	10000	10000	8000	5000	3000
КСПЗП, КТПЗШп, КСПЗПБ, КСПЗПГ, КСПЗЫШп	10000	10000	10000	10000	8000

Нормы электрические цифровых абонентских линий сельских СТС

АЛЦ СТС строятся с применением малокабельной цифровой аппаратуры, состоящей из мультиплексора, концентратора и оборудования xDSL. Для АЛЦ могут быть использованы цепи существующих линий из кабелей ТПП с отбором пар по переходному затуханию на ближнем конце. АЛЦ с применением концентратора могут строиться с использованием кабелей типов КСПЗП 1×4×0,64; КСПЗП 1×4×0,9 и малопарных кабелей КТПЗШп 3×2×0,64 и 5×2×0,64.

На АЛЦ могут применяться 30-канальные цифровые системы передачи (мультиплексоры), работающие по цепям кабелей КСПЗП 1×4×0,9 по однокабельному варианту. Применение цифровых тридцатиканальных систем передачи на существующих АЛ из кабелей ТПП по однокабельной схеме организации связи не допускается. На абонентском участке от концентратора (мультиплексора) до телефонного аппарата применяются линии из однопарных кабелей ПРППМ, а также проводов абонентской проводки типов ТРП и ТРВ.

Электрические характеристики АЛЦ (АЛ цифровые) СТС из малопарных кабелей КТПЗШп

Параметры АЛЦ СТС из многопарных кабелей на постоянном токе должны удовлетворять требованиям, приведенным выше.

Переходное затухание между цепями на ближнем конце (A_0) линий из многопарных кабелей, используемых для цифровых систем передачи абонентского уплотнения и цифровых концентраторов по однокабельному варианту, на полутактовой частоте передачи или сигнале псевдослучайной последовательности (ПСП) определяют по формуле:

$$A_0 \geq 10 \lg N + \alpha l + 24,7 \text{ (дБ)},$$

где: N – число работающих систем ЦСП; α – коэффициент затухания на полутактовой частоте передачи сигнала ЦСП; l – длина линии, используемой ЦСП; 24,7 – величина защищенности в дБ, учитывающая необходимое соотношение сигнал/шум и запас устойчивости системы.

Параметры цепей АЛ СТС из однопарных кабелей

Электрическое сопротивление 1 км цепей линий постоянному току при температуре 20 °С линии, смонтированной из кабелей ПРППМ, должно быть не более:

56,8 Ом – для кабелей с жилами диаметром 0,9 мм;

31,6 Ом – для кабелей с жилами диаметром 1,2 мм.

Электрическое сопротивление изоляции 1 км жил кабеля ПРППМ должно быть не менее:

75 МОм – для линий, находящихся в эксплуатации от 1 до 5 лет;

10 МОм – для линий, находящихся в эксплуатации свыше 10 лет.

Переходное затухание между цепями параллельных линий, проложенных из однопарных кабелей ПРППМ, на ближнем конце на частоте 1000 Гц должно быть не менее 69,5 дБ.

Нормы на сопротивление заземления

Значения сопротивлений заземлений металлических экранов и оболочек кабелей в зависимости от удельного сопротивления грунта приведены в табл. 9.13, величина сопротивления заземлений кабельных ящиков в зависимости от сопротивления грунта – в табл. 9.14, значения сопротивлений заземлений абонентских защитных устройств в зависимости от удельного сопротивления грунта – в табл. 9.15.

Таблица 9.13. Значения сопротивлений заземлений металлических экранов и оболочек кабелей

Удельное сопротивление грунта, Ом/м	До 100 включительно	Свыше 100 до 300 включительно	Свыше 300 до 500 включительно	Свыше 500 до 1000 включительно	Свыше 1000
Сопротивление заземлений, Ом, не более	20	30	35	45	55

Таблица 9.14. Величина сопротивления заземлений кабельных ящиков

Удельное сопротивление грунта, Ом/м	До 100 включительно	Свыше 100 до 300 включительно	Свыше 300 до 500 включительно	Свыше 500 до 1000 включительно
Сопротивление заземлений, Ом, не более	10	15	20	25

Таблица 9.15. Значения сопротивлений заземлений абонентских защитных устройств

Удельное сопротивление грунта, Ом/м	До 100 включительно	Свыше 100 до 300 включительно	Свыше 300 до 500 включительно	Свыше 500 до 1000 включительно	Свыше 1000
Сопротивление заземлений, Ом, не более	30	45	55	65	75

9.4. Нормы на электрические параметры сетей ПВ

9.4.1. Параметры низкочастотных сетей однопрограммного проводного вещания

Качественные показатели радиовещательных трактов установлены государственным стандартом. Для сельских сетей ПВ предусмотрен II класс качества. Качественные показатели тракта ПВ приведены в табл. 9.16.

В зависимости от номинального напряжения линии ПВ могут быть двух классов: I класс – фидерные линии с номинальным напряжением свыше 340 В; II класс – фидерные линии с номинальным напряжением до 340 В и абонентские линии с напряжением 15 и 30 В.

Номинальным является действующее напряжение синусоидального сигнала с частотой 1000 Гц, при котором обеспечивается типовой режим работы устройства. Для вновь проектируемых и реконструируемых радиотрансляционных узлов устанавливаются следующие типовые номинальные напряжения: на абонентских цепях 30 В; на воздушных распределительных фидерах 120, 240, 340, 480, 680 и 960 В; на подземных распределительных фидерах 60, 85, 120, 170, 240 и 340 В; на воздушных и подземных магистральных фидерах 480, 680 и 960 В.

Для каждого длинного фидера (распределительного и магистрального) типовое номинальное напряжение зависит от длины и нагрузки фидера. При этом напряжение должно быть по возможности минимальным, чтобы затухание напряжения в линии не превышало допустимого.

Одним из основных параметров, характеризующих линейный тракт сети ПВ, является его рабочее затухание на частоте 1000 Гц. Для сетей проводного вещания, строящихся по

Таблица 9.16. Параметры трактов сети проводного вещания

Тракт	Номинальный диапазон частот, Гц	Допустимые отклонения АЧХ, дБ, не более		Коэффициент гармоник, %, не более, на частотах, Гц			Защищенность, дБ		
		ΔS_1	ΔS_2	До 100	От 100 до 200	Свыше 200	От интегральной помехи	От психометрического шума	От вынужденной помехи
I класс качества: Вход ЦСПВ (СПВ) – абонентская розетка	50-10000	+1,0 -5,0	± 10	6,0	3,5	2,5	54	54	70
Вход ЦСПВ (СПВ) – вход линейного тракта	50-10000	+1,0 -1,5	± 6	–	–	–	–	–	–
Вход СПВ (ОУС) – абонентская розетка	50-10000	+1,0 -4,0	± 6	–	–	–	–	–	–
II класс качества: Вход ЦСПВ (СПВ) – абонентская розетка	100-6300	+1,5 -4,5	$\pm 1,5$	–	6.0	4.0	49	52	60
Вход ЦСПВ (СПВ) – вход линейного тракта	100-6300	+1,0 -1,5	$\pm 1,0$	–	–	–	–	–	–
Вход СПВ (ОУС) – абонентская розетка	100-6300	+1,0 -4,5	$\pm 1,0$	–	–	–	–	–	–
<i>Примечание:</i> Полосы частот для определения допустимого отклонения АЧХ трактах I класса для ΔS_1 50-70 и 7000-1000 Гц; II класса для ΔS_1 100-140 и 5000-6300 Гц; для ΔS_2 200-4000 Гц.									

городскому принципу, суммарное рабочее затухание напряжения трехзвенной и двухзвенной сетей на указанной частоте при максимально допустимых нагрузках не должно превышать 4 дБ. При этом затухание напряжения по отдельным звеньям распределяется следующим образом: для абонентской линии, подключенной к первой половине РФ, до 2-х дБ; для абонентской линии, подключенной к второй половине РФ, 1–2 дБ; для домовых сетей до 1 дБ; для РФ 2–3 дБ; для МФ до 2-х дБ (оно должно быть скомпенсировано снижением коэффициента трансформации фидерного понижающего трансформатора на трансформаторной подстанции).

Допускается и некомпенсированное затухание в МФ до 1 дБ. В этом случае суммарное затухание на остальных участках тракта РФ и АЛ (или домово́й сети) не должно превышать 3 дБ.

Затухание тракта ПВ с длинными линиями распределяется следующим образом. Затухание абонентской линии при однозвенной сети не должно превышать 4 дБ. На долю каждой наиболее удаленной от станции ПВ абонентской линии двухзвенной или трехзвенной сети следует предусмотреть затухание 1–2 дБ. Затухание подземного непупинизированного РФ не превышает 3 и 6 дБ в зависимости от типа кабеля и протяженности линии. Затухание подземных пупинизированных РФ определяется из расчета 3 дБ на 5 км длины линии. Допустимое затухание МФ составляет 1 или 3 дБ в зависимости от материала проводов (жил) линии.

Таблица 9.17

Напряжения
и затухания системы ТПВ

Тип сети	$U_{пер}, В$	$\alpha_{дон}, дБ$
Трехзвенная	120	53,6
Двухзвенная воздушная	60	47,6
Двухзвенная кабельная	30	41,6

Для сети ТПВ нормируется затухание абонентских и домовых сетей на частоте 120 кГц. Затухание абонентских линий в зависимости от их длины не должны превышать 3 дБ для линий – до 0,3 км, 5 дБ – до 0,6 км и 10 дБ – свыше 0,6 км.

Глава 10

КАБЕЛИ СТРУКТУРИРОВАННЫХ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

10.1. Основные положения

СКС – структурированная кабельная система является элементом информационного пространства и неотъемлемой частью любого современного общественного здания, а ее отсутствие снижает рыночную стоимость его как объекта недвижимости [1].

СКС ориентированы в первую очередь на офисные здания или его часть, основная площадь которых предназначена для организации рабочих мест, оборудованных современными информационными системами.

На базе СКС создаются локальные вычислительные сети (ЛВС).

Применение СКС позволяет:

- при относительно высоких начальных вложениях обеспечить существенную экономию полных затрат за счет длительного срока эксплуатации и низких эксплуатационных расходов;
- обеспечить надежность кабельной системы;
- менять конфигурацию и производить наращивание комплекса информационно-вычислительных систем офисного здания без влияния на существующую проводку;
- одновременно использовать различные сетевые протоколы и сетевые архитектуры в одной системе;
- устранить путаницу проводов в кабельных трассах;
- создать единую службу эксплуатации;
- обеспечить средой передачи информации основную массу действующего и перспективного сетевого оборудования различных классов за счет наличия стандартизованного интерфейса;
- обеспечить быструю локализацию неисправности, восстановление связи или переход на резервирование линии за счет модульного принципа построения.

ЛВС строится на базе оборудования цифровых систем передачи. Для этой цели применяются различные типы кодов, обеспечивающие высокую вероятность передачи информации. К линейным кодам предъявляется ряд требований, основные из которых могут быть сформулированы в следующем виде:

- энергетический спектр линейного кода должен иметь минимальное содержание ВЧ и НЧ составляющих. При этом желательно, чтобы основная доля энергетического спектра было сосредоточена в относительно узком частотном диапазоне, так как это обеспечивает уменьшение искажений сигнала при ограниченной ширине полосы пропускания линейного тракта;
- статистические характеристики сигнала должны обеспечивать устойчивую работу приемных устройств, а также возможность контроля ошибок;

- код не должен налагать ограничений на передаваемое сообщение и обязан обеспечить передачу любой последовательности нулей и единиц исходного сообщения;
- устройства кодирования и декодирования линейного сигнала, а также схемы выделения тактовой частоты должны иметь максимально простую конструкцию.

В оборудовании СКС применяют различные виды кодирования исходных сигналов:

- без возврата к нулю по уровню (NRZ);
- без возврата к нулю с инверсией на единицах (NRZI);
- с возвратом к нулю (RZ);
- манчестерский;
- дифференциальный манчестерский;
- блочный код 4B5B+ NRZI.

Подробное описание кодов приведено в [1].

Применение указанных кодов в оборудовании СКС требует широкого спектра частот сред передач. Так, например, манчестерское кодирование используется во всех разновидностях интерфейсов сети Ethernet со скоростями передач данных 10 Мбит/с. Для них тактовая частота линейного сигнала составляет 20 МГц.

Высокочастотные сетевые устройства ЛВС используют интерфейсы со скоростями передач 100 и 1000 Мбит/с. Типы кодирования некоторых сетевых интерфейсов приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1. Параметры среды передачи ЛВС

Приложение (оборудование)	Скорость передачи данных, Мбит/с	Вид кодирования	Тактовая частота линейного сигнала, МГц
Token Ring	4	Манчестерский	8
Ethernet	10	Манчестерский	20
Token Ring	16	Манчестерский	32
TP-PMD	100	NRZI+4B5B	125
TP-PMD	100	MLT-3+4B5B	62,5
100Base-T4	100	8B6T	125
ATM	155	MLT-3+4B5B	96,88
1000Base-T	1000	PAM-5	125

Таким образом среда передачи ЛВС должна обеспечить высокую вероятность передачи в широком диапазоне частот.

Строительство и развитие СКС осуществляется в соответствии с американским стандартом TIA/EIA-568 и его аналогом – международным стандартом ISO/IEC 11801, а также европейским EN 50173.

В состав СКС входит оборудование (приложения), кабели и разъемы.

Перечисленными стандартами определены виды *Приложений* (оборудования), которые могут обмениваться данными по тракту передачи СКС. Предусмотрено 4 класса линий и приложений А, В, С и D (табл. 10.2).

Классификация кабелей, применительно к классам приложений по ISO/IEC 11801, приведена в табл. 10.3. Здесь принята терминология «категория кабелей».

В настоящее время для строительства внутриобъектовых локальных сетей нашло широкое применение оборудование (приложение) классов С и D. Для указанных объектов применяются кабели и разъемы категории 3, 5 и 5е соответственно (табл. 10.4).

Ведутся работы по созданию СКС классов Е и F (кабели 6 и 7 категорий).

Таблица 10.2. Классификация СКС

Класс линий	Область применения
A	Телефонные каналы ЦСП и низкочастотный обмен данными. Максимальная частота сигнала – 100 кГц
B	Устройства ЦСП со средней скоростью обмена данными. Максимальная частота сигнала – 1 МГц
C	Устройства с высокой скоростью обмена. Максимальная частота сигнала – 16 МГц
D	Устройства с очень высокой скоростью обмена. Максимальная частота сигнала – 100 МГц

Таблица 10.3. Стандарты СКС

TIA/EIA-562-A	ISO/IEC 11801	EN 50173	ISO/IEC 11801
Кабели и соединители			Приложения
–	–	–	A
–	–	–	B
Категория 3	Категория 3	Категория 3	C
Категория 4	Категория 4	–	–
Категория 5	Категория 5	Категория 5	D
–	Категория 6	–	E
–	Категория 7	–	F

Таблица 10.4. Область применения кабелей СКС

Категория кабелей и разъемов	Максимальная частота сигнала, МГц	Область применения
Категория 3	до 16	ЛВС, низкочастотные телефонные каналы
Категория 5, 5e	до 100	ЛВС со скоростью передачи до 100 Мбит/с
Категория 6	до 250	ЛВС со скоростью передачи до 155 Мбит/с
Категория 7	до 600	ЛВС со скоростью передачи до 1000 Мбит/с

10.2. Структура СКС

В основу любой структурированной кабельной системы положена древовидная топология. Обобщенная структурная схема СКС изображена на рис. 10.1. Узлами структуры являются технические помещения (кроссовые и аппаратные), которые соединяются друг с другом и с рабочими местами электрическими или оптическими кабелями.

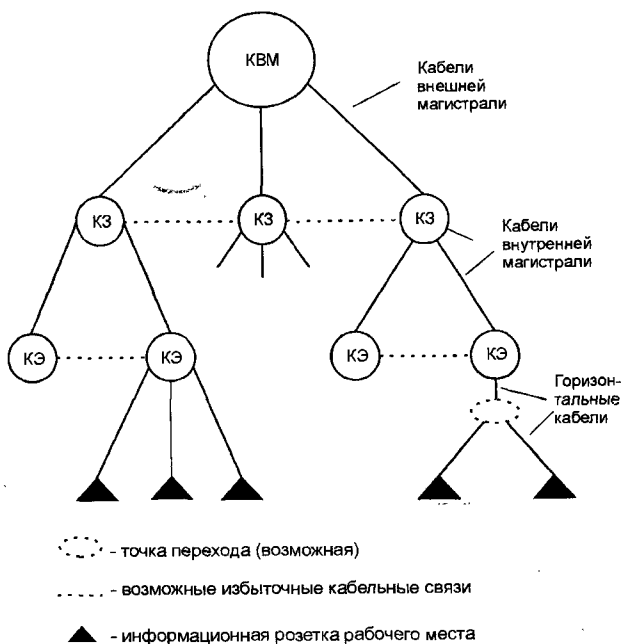
Все кабели, входящие в технические помещения, обязательно заводятся на коммутационное оборудование, на котором осуществляются переключения в процессе текущей эксплуатации кабельной системы. Это обеспечивает гибкость СКС, возможность легкой переконфигурации и адаптируемости под конкретные приложения.

Для построения СКС и информационной системы предприятия необходимы технические помещения двух видов: аппаратные и кроссовые.

Аппаратная служит для размещения сетевого оборудования коллективного пользования (АТС, серверы, концентраторы).

Кроссовая представляет собой помещение, в котором размещается коммутационное оборудование СКС, сетевое и другое вспомогательное оборудование.

Рис. 10.1
Структурная схема СКС



На схеме кроссовое здание имеет обозначение КЗ.

Аппаратная может быть совмещена с кроссовым зданием (помещением). В этом случае его сетевое оборудование может подключаться непосредственно к коммутационному оборудованию СКС.

Если аппаратная расположена отдельно, то ее сетевое оборудование подключается к локально расположенному коммутационному оборудованию или к обычным информационным розеткам рабочих мест.

В кроссовую внешних магистралей (КВМ) сходятся кабели внешней магистрали, подключающие к ней КЗ. В КЗ заводятся внутренние магистральные кабели, подключающие к ним кроссовые этажей (КЭ). К КЭ, в свою очередь, горизонтальными кабелями подключены информационные розетки рабочих мест.

Во всей СКС может быть только одна КВМ, и в каждом здании может присутствовать не более одной КЗ.

Допускается объединение КВМ с КЗ, если они расположены в одном здании.

Подсистемы СКС. В общем случае СКС включает в себя три подсистемы (рис. 10.2).

Подсистема внешних магистралей (справочная подсистема) состоит из внешних магистральных кабелей между КВМ и КЗ, коммутационного оборудования в КВМ и КЗ, к которому подключаются внешние магистральные кабели, и коммутационных шнуров и/или перемычек в КВМ. Подсистема внешних магистралей является основой для построения сети связи между компактно расположенными на одной территории зданиями (campus). Если СКС устанавливаются автономно только в одном здании, то подсистема внешних магистралей отсутствует.

Подсистема внутренних магистралей (вертикальная или вторичная подсистема) содержит проложенные между КЗ и КЭ внутренние магистральные кабели, подключенное к ним коммутационное оборудование в КЗ и КЭ, а также коммутационные шнуры и/или пе-

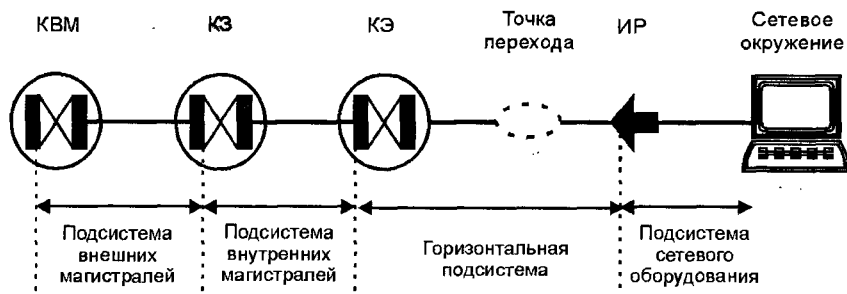


Рис. 10.2. Подсистемы СКС

ремычки в КЗ. Кабели рассматриваемой подсистемы фактически связывают между собой отдельные этажи здания и/или пространственно разнесенные помещения в пределах одного здания. Если СКС обслуживает один этаж, то подсистема внутренних магистралей может отсутствовать.

Горизонтальная (третичная) подсистема образована внутренними горизонтальными кабелями между КЭ и информационными розетками рабочих мест, самими информационными розетками, коммутационным оборудованием в КЭ, к которому подключаются горизонтальные кабели, и/или перемычками в КЭ.

Принципиальной особенностью СКС является то, что коммутация в ней, в отличие от АТС и сетевого компьютерного оборудования, всегда производится вручную коммутационными шнурами и/или перемычками. Наиболее важным следствием такого подхода является то, что функционирование СКС принципиально не зависит от состояния электропитающей сети. Введение в состав СКС элемента электронной или электромеханической коммутации влечет за собой обязательное использование в оборудовании штатного источника электропитания.

10.3. Конструкции кабелей СКС

Кабели на основе витых пар с медными жилами широко применяются в СКС для передачи электрических сигналов. Они относятся к категории симметричных кабелей: UTP, STP, S/UTP, S/STP (рис. 10.3).

Основные элементы конструкций кабелей: медный проводник, его изоляция из сплошного или вспененного полиэтилена, защитная оболочка в виде шланга из негорючего полимера. В экранированных кабелях предусматривается экран из тонких металлизированных полимерных пленок.

В зависимости от области применения кабельные изделия СКС подразделяются на четыре основных вида: горизонтальный кабель; магистральный кабель; кабель для шнуров; провод для перемычек.

Указанные виды кабелей предназначены для прокладки внутри зданий. Они должны отвечать требованиям пожарной безопасности.

Для внешних магистралей предусматриваются конструкции кабелей, обеспечивающие условия прокладки в грунте и телефонной канализации.

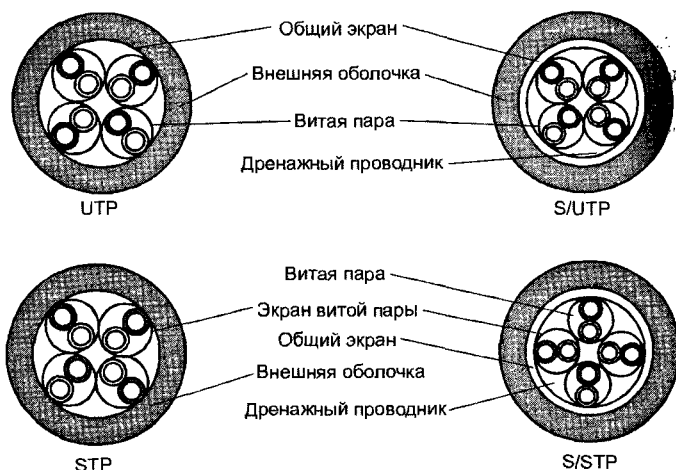


Рис. 10.3
Симметричные кабели СКС

Горизонтальный кабель

Горизонтальный кабель предназначен для использования в горизонтальной подсистеме на участке от коммутационного оборудования в кроссовой этажа до информационных розеток рабочих мест. Свое название данный вид кабеля получил из-за того, что в большинстве случаев укладывается на трассе прокладки в горизонтальном положении с минимальным количеством вертикальных участков.

В соответствии со стандартами ISO/IEC 11801 и EN 50173 наиболее распространена конструкция, содержащая четыре витые пары.

Допускается также применение двухпарных кабелей.

В связи с большим распространением в СКС двухпортовых рабочих мест предусмотрена конструкция спаренных (сдвоенных) четырехпарных кабелей (shotgun – двухстволка).

Конструктивно спаренные кабели имеют две основные разновидности:

- два отдельных кабеля соединены в единое целое узкой перемычкой (сиамские близнецы);
- два обычных горизонтальных кабеля объединены в интегральную конструкцию общей внешней оболочкой (овальный кабель).

Большинство конструкций спаренных кабелей содержат одинаковые по своим электрическим характеристикам элементы категории 5.

По своим механическим и электрическим характеристикам спаренные кабели не отличаются от обычных. Однако, применение их на параллельных трассах снижает капитальные затраты и эксплуатационные расходы.

Кабели, у которых под общей оболочкой находятся три и более четырехпарных групп, относятся к многопарным кабелям.

Проводники горизонтальных кабелей изготавливаются из монолитной (sobid) медной проволоки. Отдельные витые пары образуют кабельный сердечник, покрытый общей для всех внешней защитной оболочкой. Для придания сердечнику определенной структуры в процессе производства и ее сохранения во время эксплуатации может применяться обмотка пар полимерными лентами или нитями. Облегчение разделки некоторых конструкций

кабелей обеспечивается использованием разрывной нити (rip-cord), расположенной под оболочкой. При вытягивании эта нить делает на оболочке продольный разрез и открывает доступ к кабельному сердечнику.

По видам скрутки проводников горизонтального кабеля различают парную и четверочную. В четверочной скрутке проводники одной пары всегда располагаются напротив друг друга. Эта конструкция позволяет добиться меньших внешних размеров. Однако, в связи с более сложной технологией изготовления могут возникнуть проблемы нестабильности электрических характеристик, в частности, параметров влияния.

Предпочтительней для кабелей СКС следует считать парную скрутку жил в сердечнике кабеля. Выбор согласованных шагов скрутки отдельных пар позволяет достичь стабильных результатов по параметрам передачи и влияния между цепями.

В табл. 10.5 приведены для примера согласованные шаги в мм для четырехпарных кабелей СКС категории 5, применяемые в конструкциях различных иностранных фирм.

Таблица 10.5. Параметры 4-парных кабелей СКС категории 5

Фирма	Пара 1, мм	Пара 2, мм	Пара 3, мм	Пара 4, мм
General Cable	14	17	12	20
BICC	18	15	20	12
Belden	25	20	16	32
Lucent Technologies	15	13	20	24
Mohawk/CDT	25	17	28	20

Материалы изоляции проводников

В качестве материалов для изоляции проводников в кабелях 3 категории обычно применяют поливинилхлорид, в кабелях 5, 6 и 7 категорий – материал с улучшенными электрическими характеристиками – полиэтилен, пропилен. Применяются как сплошные, так и вспененные материалы. Радиальная толщина изоляции – 0,2 мм.

В табл. 10.6 приведен перечень материалов, применяемых в кабелях зарубежных конструкций.

Таблица 10.6. Материалы, применяемые в кабелях СКС

Материал	Латинское сокращение	Диэлектрическая проницаемость	Рабочий диапазон температур, t °C
Поливинилхлорид	PVC	4,0–5,0	-40...+85
Полипропилен	PP	2,4	-10...+100
Полиэтилен	PE	2,3	-55...+85
Ячеистый полиэтилен (пористый полиэтилен)	—	1,2	-55...+85
Ячеистый полиэтилен с оболочкой (пленко-пористый полиэтилен)	Foam Skin FE	1,5	-55...+85
Тefлон	FEP, PTFO, PFA	2,0	-190...+260

В разработке отечественных конструкций кабеля СКС представляет интерес применение пленко-пористой изоляции жил. Коэффициент пористости, определяемый как отношение объема воздушных включений к общему объему образца, у пористого материала обычно выбирается равным не более 0,5.

Внешние оболочки

Для внешней оболочки наряду с обычным поливинилхлоридом применяют материалы, не содержащие галогенов и не поддерживающие горение, а также малодымные полимеры.

Внешняя оболочка окрашивается обычно в серый цвет различных оттенков. Встречаются также другие стандартные для конкретного производителя цвета (синий, фиолетовый, белый, красный). Оранжевая окраска обычно указывает на то, что оболочка изготовлена из негорючего материала и кабель может быть использован для прокладок в так называемых Plenum-полостях. Конструкции, предназначенные для внешней прокладки, имеют полиэтиленовый шланг. При этом из соображения сохранения единства технологического процесса и конструкции сердечника внешний шланг из полиэтилена накладывается дополнительно поверх поливинилхлоридной оболочки.

На внешнюю оболочку наносятся маркирующие надписи, в которых указывается тип кабеля, диаметр и тип проводников, характеристика оболочки, наименование производителя и фирменные обозначения кабеля, наименование стандарта.

Экранированные горизонтальные кабели

Экранирование в кабелях СКС применяют для повышения переходного затухания на ближнем и дальнем концах, снижение уровня ЭМИ и для повышения помехозащищенности. Различают следующие конструкции кабелей (табл. 10.7).

Таблица 10.7. Конструкции кабелей СКС

Условное обозначение		Экран	Цель экранирования
основное	альтернативное		
S/UTP	ScTP, FTP	Общий экран для всех пар	Снижение уровня ЭМИ Повышение защищенности от внешних помех
S/STP	STP, S-STP	Экранирование каждой пары, плюс внешний экран вокруг всех пар	Снижение уровня ЭМИ Повышение защищенности от внешних помех Повышение переходного затухания Увеличение механической прочности

Областью применения кабелей S/UTP является построение горизонтальной подсистемы СКС при значительном уровне внешних наводок (производственные цеха и другие помещения с источниками сильных электромагнитных полей) или при повышенных требованиях к безопасности кабельной системы (защита от несанкционированного доступа).

S/STP-кабели обладают в сравнении с кабелями STP еще лучшими характеристиками по защите от внешних помех и по уровню ЭМИ, обеспечивают увеличение переходного затухания между парами на 10...15 дБ, что может обеспечить выполнение технических требований кабелей категорий 5е и 6.

Сравнительные характеристики некоторых механических и эксплуатационных параметров кабеля СКС приведены в табл. 10.8.

10.4. Электрические характеристики кабелей СКС

Специфика организации сетей СКС, оборудование (приложение), диапазон использования, особенность зарубежной терминологии диктуют необходимость уточнения и идентификацию положений в области определения основных электрических характеристик кабелей и элементов. Как известно, среда передачи – кабельные линии характеризуются первичными и вторичными параметрами передачи.

Таблица 10.8. Сравнительные характеристики кабелей СКС

Тип кабеля	UTP		STP	S/UTP	S/UTP	S/STP
	Кат. 5	Кат. 6	Пленочный экран		Комб. экран	
Масса, кг/км	30–33	34–37	42	49	65–85	82–88
Внешний диаметр, мм	4,9	5,2	5,4	6,2	7,6	8,0
Радиус изгиба, мм	30–35	30–35	30–33	35–40	40–45	40–45
Рабочий диапазон температур, °C	-20+60...70					

Первичные параметры (R , L , C , G) определяются в соответствии с классической терминологией. Отличительной особенностью для кабелей СКС является протяженность строительных длин. В соответствии с требованиями СКС они строго регламентированы. Поэтому в технической документации (ГОСТы, технические условия) все значения параметров приведены к заданной в зависимости от области использования кабеля к установлению системой построения тракта передачи.

Вторичные параметры передачи: коэффициент затухания α , волновое сопротивление цепи Z_B , как правило, совпадают с классическим определением. Однако, для кабелей СКС параметр затухания определен не на 1 км, а на строительную длину.

Частотный диапазон регламентированной категории кабеля. Волновое сопротивление или импеданс определяется по формуле:

$$Z_B = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}}, \text{ Ом.} \quad (10.1)$$

$$\text{На частоте свыше } 1 \text{ МГц } Z_B = \sqrt{\frac{L}{C}} \cdot 100, \text{ Ом.}$$

В соответствии с действующими стандартами во всем диапазоне частот Z_B не должно отличаться более чем на ± 15 Ом.

Собственное затухание цепи α определяется как реальная часть коэффициента распространения

$$\gamma = \alpha + i\beta = \sqrt{(R + i\omega L) \cdot (G + i\omega C)}. \quad (10.2)$$

Для кабелей СКС затухание цепей на строительной длине A , это обычно 100 м, определяется по формуле:

$$A[\text{дБ}] = \alpha[\text{дБ}/100\text{ м}] \times L[1\text{ м}/100]. \quad (10.3)$$

В соответствии со стандартом TIA/EIA-568-A максимальное затухание $A(f)$ по длине кабеля 100 м при температуре $+20$ °C, начиная с частоты 0,772 МГц, для кабелей 3, 4, 5 категорий определяется по формуле:

$$A(f) = k_1 \sqrt{f} + k_2 \sqrt{f} + k_3 \sqrt{f}, \quad (10.4)$$

где f – МГц частота сигнала; k_1 , k_2 , k_3 – константы, определяемые в зависимости от категории кабеля (табл. 10.9).

Таблица 10.9

Константы k_1 , k_2 , k_3
для кабелей категорий 3, 4, 5

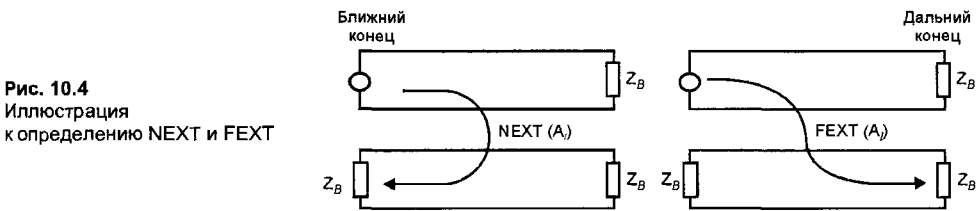
Категория кабеля	k_1	k_2	k_3
3	2,320	0,738	0,000
4	2,050	0,043	0,057
5	1,967	0,023	0,050

Параметры взаимных влияний между цепями СКС в основном соответствуют классическим определениям, однако учтены терминологические особенности стандартов ISO/IEC 11801 и TIA/EIA-568-A.

Отношение между уровнями передаваемого сигнала и создаваемой им помехи на соседней паре называется переходным затуханием.

Если источник сигнала и точка измерения находится на одном конце, то говорят о переходном затухании на ближнем конце, если на дальнем – то о переходном затухании на дальнем конце.

В технике СКС термины NEXT (Near-End Crosstalk), FEXT (Far-End Crosstalk) заимствованы из английской технической литературы. В нашей терминологии это соответствует обозначениям A_0 и A_l . Рис. 10.4 иллюстрирует принятую для СКС терминологию.



В соответствии со стандартом TIA/EIA 568A нормируется минимальное значение переходного затухания на ближнем конце между цепями кабеля СКС на строительной длине 100 м на частотах свыше 0,772 МГц по формуле:

$$NEXT(f) = NEXT(0,772) - 15 \lg(f/0,772),$$

(10.5)

где $NEXT(0,772)$ – минимально допустимое переходное затухание на ближнем конце на частоте 0,772 МГц, которое для кабелей категории 3, 4, 5 принимается равным 43, 58 и 64 дБ соответственно; f МГц – частота сигнала.

При воздействии нескольких цепей СКС на одну рассчитывается суммарная мощность помехи от n цепей по результатам измерений NEXT по формуле:

$$PS - NEXT = 10 \lg \sum_{i=1}^{n-1} 10^{\frac{-NEXT}{10}},$$

(10.6)

где $NEXT_i$ – величина $NEXT$ для i -ой пары; n – количество пар в кабеле.

Воздействие внешнего сигнала на дальний конец оценивается по формуле:

$$FEXT = P_c - \max P_{плд},$$

где $P_{плд}$ – уровень помехи на дальнем конце.

При воздействии n цепей суммарная переходная помеха на дальнем конце определяется по формуле:

$$PS - FEXT = 10 \lg \sum_{i=1}^{n-1} 10^{\frac{-FEXT}{10}}.$$

(10.8)

Переходная помеха на дальнем конце оказывается обычно меньше по сравнению с переходной помехой на ближнем. Однако она суммируется синфазно, что может увеличить их мощность.

Защищенность в цепях кабелей СКС

Для оценки качества информации в технике проводной связи широко используется параметр защищенности от помех или просто защищенность, которая представляет собой раз-

ность между уровнями полезного сигнала и помехи в рассматриваемой точке $\alpha_3 = P_c - P_n$ (ACR).

Рис.10.5 иллюстрирует определение α_3 на ближнем конце цепи 2, подверженной влиянию, при встречной передаче сигнала.

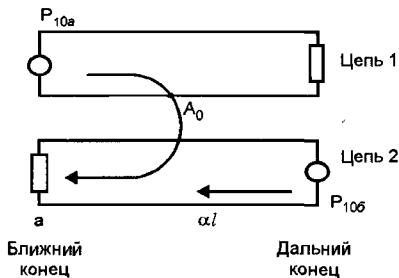


Рис. 10.5 Иллюстрация к определению α_3

На рис. 10.5 P_{10a} – уровень передатчика на ближнем конце в цепи 1 и на дальнем конце 2 – P_{106} – равны.

Определим защищенность в точке «а» на ближнем конце цепи, подверженной влиянию. Сигнал, прошедший в цепи 2 в точку «а», равен $P_{c2} = P_{106} - \alpha l$, где αl – затухание цепи.

Переходная помеха из цепи 1 в цепь 2 на ближнем конце (точка а) определяется выражением

$$P_n = P_{106} - A_0. \quad (10.11)$$

Тогда защищенность в точке «а» цепи 2 представляется выражением

$$\alpha_3 = P_{c2} - P_{n2} = P_{106} - \alpha l - (P_{10a} - A_0) = A_0 - \alpha l. \quad (10.12)$$

$$\text{Используя терминологию СКС, представим } ACR = NEXT - A. \quad (10.13)$$

Как следует из приведенного выражения, ACR зависит только от величины затухания цепи (A) и переходного затухания на ближнем конце между влияющей и подверженной влиянию цепями.

Тракты СКС и использующие их приемопередатчики сетевой аппаратуры различного назначения построены таким образом, что другие виды помех пренебрежительно малы.

Чтобы отличить от понятия и методов оценки защищенность в любой точке трактов передачи линий связи, где учитывается и другие источники помех, в структурах СКС принята аббревиатура ACR (Attenuation Crosstalk Ratio). Под ACR понимается защищенность от переходных помех источника, расположенного в сердечнике кабеля с витыми парами.

Согласно стандарту ISO/IEC 11801 параметр ACR определяет величину превышения помехи полезным сигналом и поэтому является интегральной характеристикой качества как самого кабеля из витых пар, так и любого тракта передачи на его основе. По мере увеличения величины ACR при прочих равных условиях начинает возрастать отношение сигнал/шум и соответственно растет устойчивость связи. NEXT и A зависят от частоты, причем с ростом частоты их модули меняются в противоположном направлении. Поэтому на основании формулы (10.13) параметр ACR также является частотнозависимым. Крутизна частотной характеристики параметра ACR для кабелей категории 5 составляет 20...30 дБ на декаду.

Указанный стандарт регламентирует минимально допустимое значение ACR для кабелей категории 5 на частотах 20 МГц и выше.

Кабели обеспечивают устойчивую работу, если минимальное значение параметра ACR составляет 10 дБ.

Для высокоскоростных СКС, которые в процессе работы используют для передачи информации все витые пары и одновременно в двух направлениях, нормирование величины NEXT оказывается недостаточным.

Для расчета помеховой составляющей, создаваемой наводками на дальнем конце, используется аналогичная величина

$$\text{ELFEXT} = \text{FEXT-A}. \quad (10.14)$$

Применяемое для обозначения этого параметра сокращение ELFEXT означает (Equal Level for Far-End Crosstalk) – эквивалентный уровень переходного затухания на дальнем конце.

Необходимость учета особенностей функционирования интерфейсов сверхвысокоскоростных ЛВС приводит к использованию моделей суммарной мощности и, соответственно, нормирование параметров: $\text{PS ACR} = \text{PS NEXT-A}$, $\text{PS ELFEXT} = \text{PS FEXT-A}$.

Относительная скорость распространения и задержка прохождения сигналов

Параметр NVP (Nominal Velocity of Propagation) является мерой замедления скорости распространения электромагнитных волн вдоль витой пары. Он численно равен отношению фактической скорости распространения к скорости света в вакууме и выражается в процентах или в виде десятичной дроби. В последнем случае иногда добавляется индекс «с», то есть 65%, 0,65 или 0,65с. Иногда для его обозначения применяется также сокращение VOP (Velocity of Propagation).

Необходимость его учета связана с тем, что конечная скорость распространения приводит к появлению довольно значительной задержки прохождения сигналов, что может оказаться критичным для некоторых приложений, например для сетей Fast Ethernet.

Нормативно-технические документы СКС задают общие требования к величине NVP (табл. 10.10). Порядок измерения этого параметра впервые конкретно определен в стандарте ISO/IEC 11801 в редакции 2000 года.

Таблица 10.10
Общие требования к NVP

Частота, МГц	NVP		
	Кат.3	Кат.4	Кат.5
1,0	0,4	0,6	0,65
10,00	0,6	0,6	0,65
100,00	–	–	0,65

Величина NVP витой пары в общем случае зависит от диаметра проводников, расстояния между ними и типа диэлектрика. Для кабелей, применяемых в СКС, определяющим фактором является материал изоляции. Диаметр проводников и толщина изоляционного покрова достаточно жестко заданы стандартом, а для получения необходимого уровня NEXT проводники плотно свиты друг с другом. Так, например, для проводников с полиэтиленовой изоляцией на частотах свыше 10 МГц параметр NVP соответствует 0,65...0,7 с изоляцией из тефлона – 0,69...0,73, а применение поливинилхлоридных материалов уменьшает его значение до 0,60...0,64. При типичном значении NVP в диапазоне 60...75% для участка линии 100 м время прохождения сигнала составляет 370...550 нс.

Значение NVP меняется в зависимости от состояния изоляции жил кабелей и температуры окружающей среды не более чем на 3% от номинального значения.

Конечная скорость распространения электромагнитной волны по витой паре вызывает также задержку поступления сигнала на приемник после его подачи на вход линии. Для современных высокоскоростных сетевых интерфейсов абсолютная величина такой задержки оказывается достаточно заметной даже при тех относительно коротких трассах, которые характерны для горизонтальных подсистем СКС. Величина задержки (параметр delay) является критичной для некоторых приложений, активные устройства которых используют кабельные трассы как моноканал в процессе реализации информационного обмена. К ним относятся разновидности Ethernet при работе в полудуплексном режиме.

Значение задержки прямо связано с параметром NVP и является частотно-зависимой величиной.

Согласно стандарту ISO/IEC 11801 в редакции 2000 г. задержка прохождения сигнала не должна превышать $\text{delay} = 534 + 36/\sqrt{f}$, нс/100 м в диапазоне частот от 1 МГц до верхней граничной частоты в кабеле.

Структурные и возвратные потери

В предыдущих разделах рассматривалась идеальная однородная линия, в которой сигнал не испытывал отражений. Реальные линии имеют неоднородности по сопротивлению. Источниками неоднородностей являются производственные и эксплуатационные дефекты кабеля, разъемные соединители и оконечные нагрузки с сопротивлением, отличным от волнового. Электромагнитная волна, встречая такие неоднородности в процессе распространения по цепи кабеля, частично отражается от них и возвращается к началу. При наличии нескольких неоднородностей волна претерпевает серию отражений. Результатом является возникновение в цепи двух дополнительных потоков энергии: обратного, состоящего из суммы отраженных волн, и попутного, возникающего в результате двойных отражений (рис. 10.6).

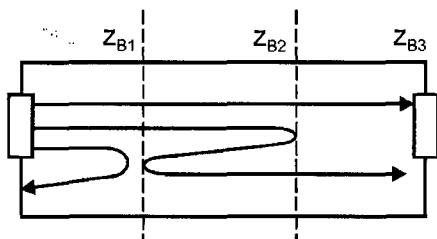


Рис. 10.6

Возникновение обратного и попутного потоков энергии

Обратный поток приводит к колебаниям входного сопротивления. Это затрудняет согласование с аппаратурой на концах линии, что сопровождается ростом рабочего затухания и приводит к искажениям передаваемого сигнала. Попутный поток искажает форму передаваемого сигнала, а также создает помехи передачи.

Интенсивность обратного отражения электромагнитных волн в местах неоднородности волнового сопротивления характеризуется параметром SRL (Structural Return Loss), который определяется как отношение мощности основного сигнала к мощности обратного потока энергии. Чем выше значение SRL, тем меньше мощность имеет обратный и соответственно попутный поток энергии и тем более качественным является кабель.

Этот параметр из-за своей малости нормируется в логарифмических единицах и в нормативно-технических документах указывается на длину кабеля 100 м. Стандарты ISO/IEC 11801 и TIA/EIA-568-A задают практически одинаковые значения параметра SRL для всех категорий кабеля с волновым сопротивлением 100 и 120 Ом (табл. 10.11).

Таблица 10.11. Параметры SRL кабелей категорий 3, 4, 5

Частота, МГц	Категория 3		Категория 4		Категория 5	
	TIA/EIA-568-A	ISO/IEC 11801	TIA/EIA-568-A	ISO/IEC 11801	TIA/EIA-568-A	ISO/IEC 11801
1-10	12	12	21	21	23	23
10-16	$12-10 \lg f/10$	10	$21-10 \lg f/10$	19	23	23
16-20	—	—	$21-10 \lg f/10$	18	23	23
20-100	—	—	—	—	$23-10 \lg f/20$	$23-10 \lg f/20$

10.5. Электрические характеристики горизонтальных кабелей СКС

Электрические характеристики кабелей СКС регламентируются стандартами TIA/EIA-568-A, ISO/IEC 11801 в зависимости от их категории.

Параметры на постоянном токе:

- электрическое сопротивление жил, приведенное к температуре +20 °С, не более 9,5 Ом/100 м;
- сопротивление изоляции жил, не менее 5000 МОм·км;
- асимметрия жил рабочей пары, не более 3%;
- электрическая емкость цепи, не более 5,2 нФ/100 м.

Максимально допустимые значения затухания цепей при температуре +20 °С на строительную длину 100 м приведены в табл. 10.12, переходного затухания на ближнем конце (NEXT) в табл. 10.13. Волновое сопротивление цепей в рабочем диапазоне частот 100±15 Ом.

Магистральный кабель

Магистральный кабель предназначен для использования, в основном, в магистральных подсистемах СКС для связи между собой кроссовых помещений. В подсистемах внешних магистралей обычно большая часть трассы прокладывается горизонтально, в подсистемах внутренних магистралей – вертикально.

К магистральным кабелям относятся кабели, имеющие более четырех витых пар. Конструктивно они имеют сердечник из скрученных пар, аналогичных кабелям ГТС. Емкость таких кабелей – 25, 50 и 100 пар.

К многопарным кабелям относятся и многоэлементные кабели (Multi Unit). Сердечник кабеля формируется из двух или четырехпарных элементов.

Предусмотрена конструкция кабеля экранированного – S/UTP. Электрические характеристики магистральных кабелей соответствуют 3 и 5 категориям.

Кабели для шнуров

Кабель для шнуров предназначен для изготовления из него некоммутируемых и оконечных шнуров. Они содержат в большинстве случаев четыре витые пары. Могут быть двух и трехпарные конструкции.

В качестве проводника применяют гибкую конструкцию, образованную из семи тонких свитых медных проволок диаметром 0,2 мм каждая. Радиальная толщина изделия жил – 0,25 мм. Внешняя оболочка кабеля выполняется из материала с повышенной гибкостью.

Таблица 10.12

Значения затухания цепей кабелей СКС

Частота, МГц	Затухание рабочих пар кабеля СКС, не более дБ/100 м		
	Категория 3	Категория 5	Категория 5e
0,772	2,2	1,8	1,8
1,0	2,6	2,0	2,0
4,0	5,6	4,1	4,1
10	9,7	6,5	6,5
16	13,1	8,2	8,2
20		9,3	9,3
31,25	11,7	11,7	
62,5	17,0	17,0	
100	22,0	22,0	

Таблица 10.13

Значения переходного затухания на ближнем конце кабелей СКС

Частота, МГц	Переходное затухание на ближнем конце (NEXT), дБ		
	Категория 3	Категория 5	Категория 5e
0,772	43	64	67
1,0	41	62	65
4,0	32	57	60
10,0	26	47	50
16	23	44	47
20		42	45
31,25		39	42
62,5		35	38
100		32	35

Электрические характеристики цепей кабелей для шнуров и горизонтальных кабелей совпадают за исключением затухания.

Стандарт TIE/EIA-568-A определяет, что максимальное затухание кабелей для шнуров может быть на 20% выше, чем затухание горизонтального кабеля.

Стандарт ISO/IEC 11801 допускает увеличение коэффициента затухания на 50%. В табл. 10.14 приведены максимально допустимые значения затухания кабелей для шнуров 3 и 5 категорий при температуре +20 °С.

Таблица 10.14

Максимально допустимые значения затухания кабелей для шнуров 3 и 5 категорий

Частота МГц	Затухание, дБ/100 м	
	Категория 3	Категория 5
0,772	2,7/3,3	2,2/2,7
1,0	3,1/3,9	2,4/3,0
4,0	6,7/8,4	4,9/6,2
10	11,7/14,6	7,8/9,8
16	15,7/19,7	9,9/13,3
20	—	11,1/14,0
31,25	—	14,1/17,8
62,50	—	20,4/25,5
100		26,4/33

Провод для перемычек

Провод для перемычек или кроссировочный провод представляет собой одну неэкранированную витую пару без внешней защитной оболочки. Проводники изготавливаются из

монолитной медной проволоки диаметром 0,51 мм с изоляцией из поливинилхлорида с различной расцветкой (белый-синий) (красный). Основное назначение провода – использование на коммутационных панелях.

В номенклатуре имеются также провода для переключателей, содержащие 2, 3 и 4 витые пары в общей защитной оболочке.

Цветовая кодировка проводников многопарных проводов полностью соответствует принципам, используемым для маркировки горизонтальных кабелей.

Как известно, к каналам СКС предъявляются требования к электрическим характеристикам, обеспечивающим устойчивую их работу. В табл. 10.15 приведены сравнительные данные для кабелей 5, 5е, 6 категорий. Расшифровка терминологии параметров не приводится как общепринятая.

Таблица 10.15. Сравнение между параметрами кабелей категорий 5, 5е, 6 и классов D, E, F

Параметр	Категория 5, класс D (в соответствии с TSB95 и ISO/IEC JTC 1/SC25 N487)	Категория 5е (Приложение 5 к ТИА/EIA-568-A)	Категория 6, класс E (значения для 250 МГц даны в скобках)
Частотный диапазон	1–100 МГц	1–100 МГц	1–250 МГц
Затухание	24 дБ	24 дБ	21,7 дБ (36 дБ)
NEXT	27,1 дБ	30,1 дБ	39,9 дБ (33,1 дБ)
PS NEXT	24,1 дБ (только для класса D)	27,1 дБ	31,1 дБ (30,2 дБ)
ACR	3,1 дБ	6,1 дБ	18,2 дБ (-2,9 дБ)
PS ACR	–	3,1 дБ	15,4 дБ (-5,8 дБ)
ELFEXT	17 дБ	17,4 дБ	23,2 дБ (15,3 дБ)
PS ELFEXT	14,4 дБ	14,4 дБ	20,2 дБ (12,3 дБ)
Возвратные потери	8 дБ	10 дБ	12 дБ (8 дБ)
Задержка прохождения сигнала	548 нс	548 нс	548 нс (546 нс)
Вариация задержки прохождения сигналов (skew)	50 нс	50 нс	50 нс

10.6. Новые возможности кабелей СКС

Структурированные кабельные сети – это основное назначение кабелей с «витой» парой. Но «квитая» пара основа всех кабелей связи. Рассмотрим применение кабелей СКС в области сетей связи.

Бурное развитие цифрового уплотнения абонентских линий (технологии xDSL) потребовало переоценки взглядов на линии связи. Теперь участок городской связи от АТС до абонента становится цифровым (высокочастотным). Традиционные кабели типа ТПП (ГОСТ Р 51311-99) уже не удовлетворяют требованиям жизни. Применяемый тип разнонаправленной скрутки жил (SZ скрутка) далек от идеала. Он обеспечивает выполнение требований по взаимным влияниям между цепями только в низкочастотном диапазоне.

А мы говорим о цифровом (высокочастотном) доступе !!!

Так вернем же многопарным кабелям статус кабелей с «витой» (скрученной) парой. Ведь все кабели зонной и дальней связи всегда имели основу из «витых» пар, «скрученных» по классической однонаправленной схеме.

Кабели СКС, в основу которых положена «витая» пара с малым шагом, обеспечивают необходимые параметры передачи и влияния в диапазоне до 100, 250 и 600 МГц. Оценим эти кабели в диапазоне частот, используемых для технологии DSL.

Конструкции фирмы «ЭЛИКС-КАБЕЛЬ»

При разработке кабелей СКС и составлении технических условий прогнозировалась широкая возможность применения этих кабелей. Поэтому в соответствующих документах введены симметричные кабели категории 1 и 2, используемые в диапазоне частот до 100 кГц и 1,0 МГц. Кроме того, предусмотрены конструкции кабелей для внешней прокладки в телефонной канализации и грунте. Технические решения заимствованы из многочисленного применения кабелей с полиэтиленовой изоляцией жил на сетях связи. С 1999 г. «ЭЛИКС-КАБЕЛЬ» выпускает кабели СКС 1, 2, 3 и 5-ой категорий в широкой номенклатуре по ТУ 3574-006-001.450.628-01-99. Кабели имеют сертификат соответствия № ОС/1-КБ-157.

Кабели СКС для прокладки внутри зданий (UTP) имеют 2, 4 витые пары (ЭКС-ГВПВ-5 2×2×0,5; 4×2×0,52). Многопарные «магистральные» кабели типа МВПП, для прокладки в телефонной канализации и МВПЗБШп с гидрофобным заполнением и броней из стальной гофрированной ленты для прокладки в грунте изготавливаются с диаметром жил 0,52 и 0,64 мм в номенклатуре 4, 8, 10, 25, 30, 50 и 100 пар.

Электрические характеристики кабеля СКС 3, 5 и 5е категорий соответствуют значениям стандартов:

- электрическое сопротивление жил, приведенное к температуре +20 °С, не более 9,5 Ом/100 м;
- сопротивление изоляции жил, не менее 5000 МОм·км;
- асимметрия жил рабочей пары, не более 3%;
- электрическая емкость цепи, не более 5,2 нФ/100 м.

Максимально допустимое значение затухания цепей при температуре +20 °С на строительную длину 100 м и переходного затухания на ближнем конце A_0 (NEXT) приведены в табл. 10.16 и 10.17. Волновое сопротивление цепей в рабочем диапазоне частот в табл. 10.18.

Условия применения кабелей СКС в сетях доступа

Оценим электрические характеристики кабелей СКС в диапазоне частот до 2,0 МГц.

Возможность использования многопарных кабелей для линий цифрового уплотнения (xDSL) определяется выполнением условий электромагнитной совместимости (ЭМС) в ансамбле цепей дискретной и аналоговой информации.

В соответствии с ОСТ Р 45.81-97 «Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральных и внутризоновых первичных сетей» (Минсвязи РФ, 1996 г.) и проведенными исследованиями определены обобщенные критерии ЭМС на кабельных линиях местной связи.

Для обеспечения верности передачи цифровых систем (xDSL) в зависимости от структуры кода, используемого в оборудовании, (HDB-3, 2B1Q и CAP), определены параметры защищенности сигнал/помеха a , соответственно 24,7; 25,7 и 32 дБ.

Предложено оценку взаимных влияний между цепями осуществлять на частоте максимального сосредоточения энергии, используя упрощенный метод оценки переходного затухания на ближнем A_0 (NEXT) и дальнем A_3 (FEXT) концах линии.

Таблица 10.16
Максимально
допустимые значения
затухания цепей

Частота, МГц	Затухание рабочих пар кабеля СКС, не более дБ/100 м		
	Категория 3	Категория 5	Категория 5е
0,772	2,2	1,8	1,8
1,0	2,6	2,0	2,0
4,0	5,6	4,1	4,1
10,0	9,7	6,5	6,5
16,0	13,1	8,2	8,2
20,0	—	9,3	9,3
31,25	—	11,7	11,7
62,5	—	17,0	17,0
100	—	22	22

Таблица 10.17
Переходное затухание
на ближнем конце,
 A_0 , дБ (NEXT)

Частота, МГц	Категория 3	Категория 5	Категория 5е
0,772	43	64	67
1,0	41	62	65
4,0	32	57	60
10	26	47	50
16	23	44	47
20	—	42	45
31,25	—	39	42
62,5	—	35	38
100	—	32	35

Таблица 10.18
Волновое сопротивление цепей

Частота, кГц	Z_0 , Ом	α , дБ/Ом
64	130	0,65
100	126	0,93
256	117	1,04
512	114	1,34
1000	107	1,81
2000	104	2,40

Требуемые величины A_0 и A_3 определяются по формулам:

$$A_0 = a_s + \alpha l + 10 \lg N \quad \text{и} \quad A_3 = a_s + 10 \lg N.$$

Здесь: a_s — защищенность сигнал-помеха; αl — усилительная способность оборудования (перекрываемое затухание); N — количество цепей, использующих технологию DSL.

В табл. 10.19 приведены требования к A_0 (NEXT) для перечисленного оборудования с различным кодированием сигнала при средней усилительной способности оборудования 40 дБ.

Таблица 10.19. Нормируемая величина переходного затухания между цепями на ближнем конце (NEXT), не менее, дБ

Код DSL	Информационная скорость, кбит/с	Частота оценки A_0 , кГц	Количество влияющих цепей xDSL				
			1	2	3	4	10
HDB-3	2048	1024	64,7	67,5	69,5	70,7	74,7
2B1Q	160	40	65,7	68,5	69,5	71,7	75,7
CAP-128	2320	150	72,0	74,8	76,8	78,8	80,0

Оценим возможность применения многопарных кабелей СКС на абонентском участке сети доступа. В соответствии с ГОСТ Р 51311-99 отечественной промышленностью вы-

пускаются кабели ТППЭп и ТППЭпЗ емкостью от 10 до 1200 пар с медными жилами диаметром 0,4; 0,5 и 0,64 мм в полиэтиленовой изоляции и полиэтиленовой оболочкой.

Кабели предназначены для использования в низкочастотном диапазоне частот. Переходное затухание между цепями нормируется на частоте 1000 Гц и должно быть не менее 69,5 дБ. В спектре высоких частот этот параметр не нормируется. Сравним параметры передачи и влияния между цепями в диапазоне частот до 2,0 МГц в кабелях типа ТППЭп, используемых на телефонных сетях, и кабелей СКС. В табл. 10.20–10.24 приведены результаты экспериментальных исследований параметров влияния на строительных длинах кабеля.

Таблица 10.20. Переходное затухание между цепями на ближнем конце A_0 (NEXT), дБ, для кабелей (УТР) ЭКС-ГВПВ-5 4х2х0,52, $l = 300$ м

Комбинация цепей	Измерительные частоты, кГц					
	1	80	160	512	1024	2048
1–2	95	93	91	95	89	75
1–3	90	90	93	78	72	62
1–4	93	85	80	79	75	74
2–3	96	94	92	80	77	72
2–4	94	87	82	91	84	70
3–4	96	98	90	77	74	70

Таблица 10.21. Переходное затухание между цепями на дальнем конце A_d , дБ, для кабелей (УТР) ЭКС-ГВПВ-5 4х2х0,52, $l = 300$ м

Комбинация цепей	Измерительные частоты, кГц					
	1	80	160	512	1024	2048
1–2	100/100	99/99	91/85	77/88	84/77	70/67
1–3	99/99	97/92	90/93	69/76	66/65	56/58
1–4	97/97	77/75	74/78	76/82	68/70	66/68
2–3	99/99	75/99	74/91	64/88	62/77	69/83
2–4	87/88	77/86	73/84	74/77	64/75	67/76
3–4	93/93	87/86	83/84	67/67	60/60	65/65

Таблица 10.22. Переходное затухание между цепями на ближнем конце A_0 (NEXT), дБ, для кабеля ТППЭп 10х2х0,5, $l = 285$ м

Влияющие цепи	Подверженные влиянию цепи									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		68	63	70	67	72	64	72	68	73
2	66		63	68	65	71	66	73	67	71
3	64	60		64	70	62	71	74	65	72
4	63	62	61		65	71	69	70	67	69
5	64	60	69	68		64	70	69	71	74
6	70	69	67	70	62		68	64	69	71
7	65	64	69	67	65	64		69	65	70
8	70	70	68	64	66	62	66		68	71
9	65	65	64	65	70	71	68	65		67
10	70	72	70	66	71	69	67	70	65	
Для частоты 160 кГц										

Для частоты 80 кГц

Таблица 10.23. Переходное затухание между цепями на ближнем конце A_0 (NEXT), дБ, для кабеля ТППЭп 10х2х0,5, $l = 285$ м

Влияющие цепи	Подверженные влиянию цепи										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1		59	59	58	61	58	63	67	61	66	Для частоты 512 кГц
2	61		58	62	65	77	70	62	63	65	
3	60	62		70	60	70	67	64	66	65	
4	62	65	72		62	60	63	58	64	67	
5	65	65	65	66		71	70	61	70	66	
6	63	75	72	72	75		70	65	64	63	
7	67	73	70	74	73	73		66	69	70	
8	70	65	68	72	74	70	72		63	64	
9	65	67	70	73	74	72	70	71		59	
10	70	69	68	71	73	68	72	70	71		
Для частоты 256 кГц											

Таблица 10.24. Переходное затухание между цепями на ближнем конце A_0 (NEXT), дБ, для кабеля ТППЭп 10х2х0,5, $l = 285$ м

Влияющие цепи	Подверженные влиянию цепи										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1		48	43	43	7	47	54	50	45	47	Для частоты 2048 кГц
2	57		53	49	47	51	55	53	46	47	
3	50	62		50	46	51	50	55	49	56	
4	49	57	61		53	50	58	54	55	63	
5	49	61	69	68		50	50	63	54	59	
6	59	52	67	70	62		65	63	44	58	
7	60	57	69	67	65	64		65	52	45	
8	62	59	68	64	66	62	66		58	63	
9	48	52	64	65	70	71	68	65		47	
10	48	55	70	66	71	69	67	70	65		
Для частоты 1024 кГц											

Итак, в соответствии с рекомендациями по ЭМС цепей, оборудованных устройствами xDSL (табл. 10.19), величина A_0 (NEXT) должна быть в пределах 75...80 дБ при уплотнении до 10 пар в многопарных кабелях. Анализ параметров влияния, приведенных в табл. 10.22–10.24, показал, что в линиях из кабеля ТППЭп для цифрового уплотнения необходимо осуществлять отбор пар.

Оценка кабелей СКС более оптимистична.

Так, в кабеле UTP (табл. 10.20 и 10.21) величина A_0 (NEXT) между любыми комбинациями пар, как правило, превышает норму по ЭМС и позволяет уплотнять все цепи в диапазоне до 1024 кГц.

Многопарные кабели СКС

Многопарные кабели СКС в соответствии с ТУ 3574-006-001.450.628-01-99 конструктивно представляют собой пучки, собранные из элементарных групп 4х2х0,52.

Так, например, кабель ЭКС-МВПВ $25 \times 2 \times 0,52$ имеет шесть пучков, свитых в общей сердечник, в центре которого расположена одна пара. На рис. 10.7 приведена конструкция этого кабеля.

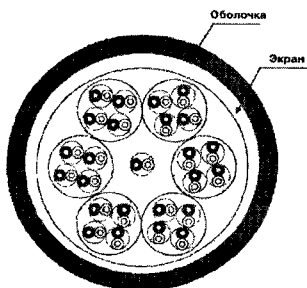


Рис. 10.7. Конструкция кабеля ЭКС-МВПВ $25 \times 2 \times 0,5$

Взаимные влияния между цепями внутри пучка в кабеле 2-ой категории достаточно высокие (75...80 дБ). A_0 (NEXT) между парами, размещенными в разных элементарных группах, примерно на 10 дБ больше, чем, например, внутри основной группы и составляет 85...90 дБ во всем диапазоне частот до 2,0 МГц.

Для сравнения на рис. 10.8 приведены средние значения величин переходного затухания между цепями на ближнем конце A_0 (NEXT) для кабелей серийного производства ТППЭп и кабелей СКС в диапазоне частот до 2,0 МГц.

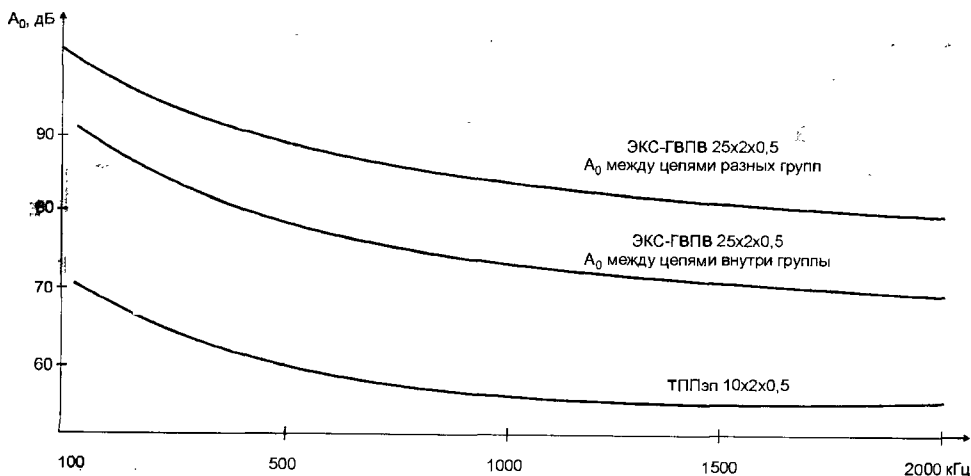


Рис. 10.8. Значения величин A_0 для кабелей типа ТППЭп и СКС

В соответствии с техническими условиями «ЭЛИКС-КАБЕЛЬ» выпускает многопарные кабели ЭКС-МВПВ с диаметром медных жил 0,52 и 0,64 мм в номенклатуре до 100 пар.

Предусмотрена конструкция кабелей с экранированными группами, например, ЭКС-МВПВ $4(4 \times 2 \times 0,52) + 23(4 \times 2 \times 0,52) + 3(1 \times 4 \times 0,64)$. Анализ фрагментов городской телефонной сети с применением серийно выпускаемых кабелей ТППЭп и многопарных кабелей СКС типа ЭКС-МВПВ, показывает, что применение кабелей СКС позволяет обеспечить

сто процентное использование пар для уплотнения цифровыми системами передачи. Так, например, при использовании оборудования xDSL FlexGain PCM 4/5, выпускаемого НТЦ «НАТЕКС», и кабелей СКС типа ЭКС-МВПВ 25×2×0,52 может быть получено 250 цифровых каналов по 64 кбит/с.

При использовании серийно выпускаемых кабелей типа ТППЭп, требующих отбора пар, на каждой распределительной коробке может быть получено только 2 цепи, оборудованных ЦСП, по которым возможно будет организовать передачу сигналов. Таким образом, на кабеле ТППЭп может быть организовано 50 цифровых каналов.

Применение кабелей СКС 2-ой категории с использованием существующей технологии цифрового уплотнения линий (DSL) позволит во много раз увеличить пропускную способность наших вновь строящихся сетей.

ГЛАВА 11

«МЕДНЫМ КАБЕЛЯМ ЖИТЬ»

11.1. Исходные положения

В эпиграфе этой книги вынесен тезис «прошлое, настоящее, будущее».

Итак прошлое... Конструкции кабелей, применяемых в сетях ЕАСС Советского союза и ВСС Российской Федерации приведены в гл. 4, 5, 6, 7. Это основной костяк линейно-кабельных сооружений междугородных, зонавых, городских и сельских сетей электросвязи.

Да, они прожили свой «юридический» срок, определенный ОСТами и техническими условиями, но линии из этих кабелей живут и обеспечивают связью многие регионы страны и сейчас. Первая глава книги иллюстрирует структуру ВСС РФ и системы построения ее элементов, в том числе линейно-кабельных сооружений.

Главы 4, 5 и 6, 7 посвящены описанию конструкций, электрических характеристик кабелей междугородных, зонавых, городских и сельских сетей связи и проводного вещания, изготовленных отечественной промышленностью и введенных в строй в прошлом веке. Но эти линии эксплуатируются и им еще жить. В соответствии с «Основными положениями развития ВСС РФ на перспективу до 2005 года» (руководящий документ № 140 от 20.12.95, утвержденный ГУЭС России) определена номенклатура кабелей с медными жилами, обеспечивающими работу электронных, квазиэлектронных, координатных и декадно-шаговых АТС.

Электрические характеристики кабельных линии должны обеспечивать функционирование систем телефонной связи, телеграфирования, телематических служб, включающих факсимильную связь, видеотекст, электронную почту, обработку сообщений, передачу данных, а также цифровых систем с интеграцией служб.

Рис. 11.1–11.3 иллюстрируют области применения кабелей с медными жилами.

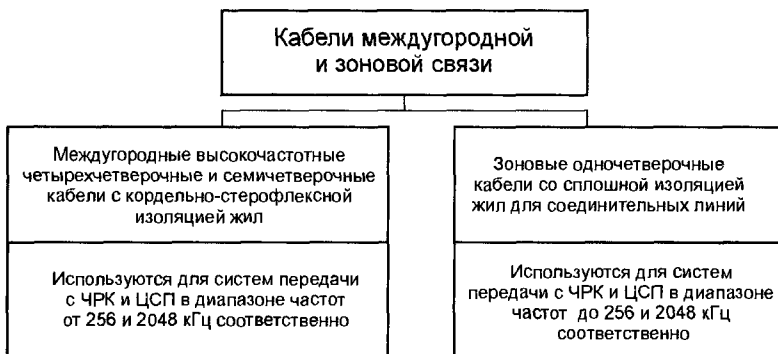


Рис. 11.1. Классификация кабелей междугородных и зонавых сетей

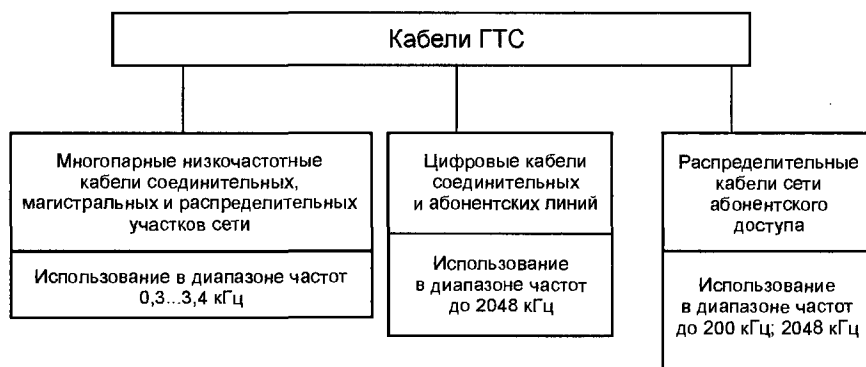


Рис. 11.2. Классификация кабелей городских телефонных сетей

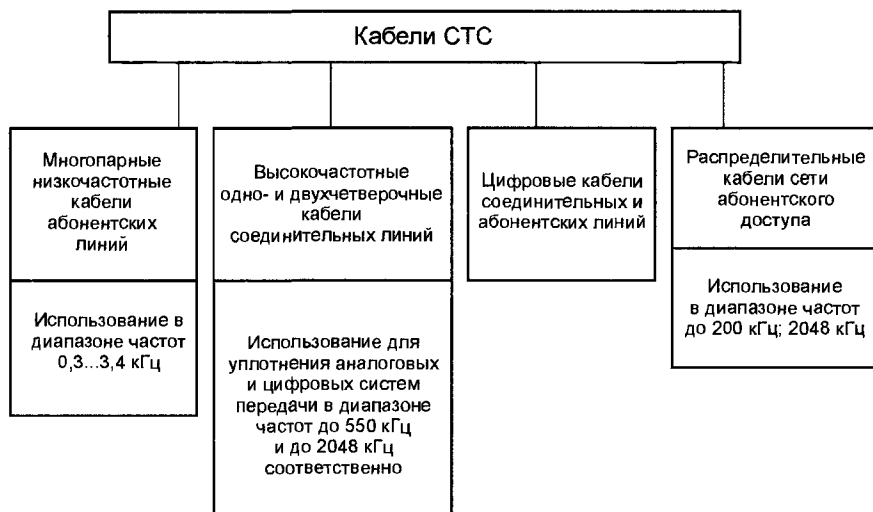


Рис. 11.3. Классификация кабелей сельских телефонных сетей

Итак будущее....

Оптические линии? Несомненно! Но найдем место и кабельным линиям с медными жилами. И они прослужат не один десяток лет. Необходимо разработать ресурсосберегающие технологии продления их жизни и оптимального использования.

Итак, магистральные связи из кабелей МКС. Уплотнены в основном, системами передач с частотным разделением каналов (ЧРК) типа К-60.

Но век цифровизации требует их замены или в худшем случае совместного использования с оборудованием ЦСП.

Применение цифрового оборудования нового поколения, разработанного в последние годы на базе технологии DSL, позволяет эффективно использовать линии из кабелей МКС 4×4×1,2.

Ряд отечественных фирм создают и предлагают к применению такую аппаратуру (Технодалс, НТЦ НАТЕКС, Морион и др.).

11.2. Сети абонентского доступа на «старых» линиях ТПП

11.2.1. Оборудование xDSL

Средством продления жизни линий ГТС из кабелей с полиэтиленовой изоляцией жил и полиэтиленовой оболочкой является их уплотнение цифровыми системами передачи, т.е. превращение низкочастотных линий в высокочастотные. Это «волшебное» превращение возможно после оценки параметров передачи и влияния линий, находящихся в эксплуатации в диапазоне частот до 2048 кГц, и разработке технологий, обеспечивающих их стабилизацию.

Рядом отечественных производителей и зарубежных фирм разработаны цифровые системы уплотнения абонентских линий местных телефонных сетей. Ниже для примера приведены их технические характеристики

Структура доступа к сети абонентов ISDN

Сеть ISDN (ЦСИС) создается, как правило, на основе телефонной цифровой сети и обеспечивает передачу информации между оконечными устройствами в цифровом виде. При том абонентам предоставляется широкий спектр речевых и неречевых услуг (высококачественная телефонная связь, высокоскоростная передача данных, передача текстов, передача теле и видеоизображений, видеоконференцсвязь). Доступ к услугам ISDN (ЦСИС) осуществляется через определенный набор стандартизированных интерфейсов.

В настоящее время распространены два вида абонентского доступа к ресурсам ISDN:

1. **Базовый** (Basic Rate interface – BRI) со структурой $2B + D$, где $B = 64$ кбит/с, $D = 16$ кбит/с, групповая скорость равна 144 кбит/с, при наличии канала синхронизации скорость передачи в линию может быть равной 160 кбит/с. Линейный код – 2B1Q.

2. **Первичный** (Primary Rate interface – PRI) со структурой $30B + D$, где $B = 64$ кбит/с, $D = 64$ кбит/с, при этом скорость передачи с учетом сигналов синхронизации 2048 кбит/с. Линейный код HDB-3.

Канал B является независимым и может использоваться одновременно для различных услуг. Канал D , в основном, предназначен для передачи служебной (управляющей) информации между пользователем коммутационной станции. Кроме того, по нему можно передавать пакеты данных и сигналы телеметрии.

Уплотнение абонентских линий по технологии ЦАЛ (DSL)

Малоканальные цифровые системы уплотнения. Малоканальные ЦСП по технологии ЦАЛ (DSL) предназначены для уплотнения абонентского участка кабельных линий местных телефонных сетей. Оборудование обеспечивает организацию 2, 4 или 8 каналов при линейном скорости цифрового потока 160 кбит/с.

Принцип действия аппаратуры: аналоговый сигнал от абонентских комплектов АТС через схему согласования поступает на кодер-декодер (кодек), реализующий алгоритм кодирования ИКМ. Далее кодек ИКМ преобразует аналоговые сигналы в цифровой поток со скоростью 64 кбит/с на каждый канал. Затем цифровые потоки сжимаются с применением алгоритма АДИКМ специальной микросхемой транскодера до скорости 32 кбит/с или 16 кбит/с

для 4-х или 8-канальной системы соответственно. После транскодирования цифровые потоки мультиплексируются микросхемой, реализующей U-интерфейс.

Линейная часть микросхемы U-интерфейса осуществляет кодирование сигнала по коду 2B1Q. В схеме обеспечивается эхокомпенсация отраженного сигнала, что позволяет одновременно, вести прием и передачу по одной медной паре.

На выходе станционного полукompлекта ЦСП АЛ сигнал от U-интерфейса проходит через схему согласования с линией, которая обеспечивает подачу в линию дистанционного питания, защитное отключение в случае обрыва или замыкания линии, а также грозозащиту. На рис 11.4. приведена структурная схема оборудования.

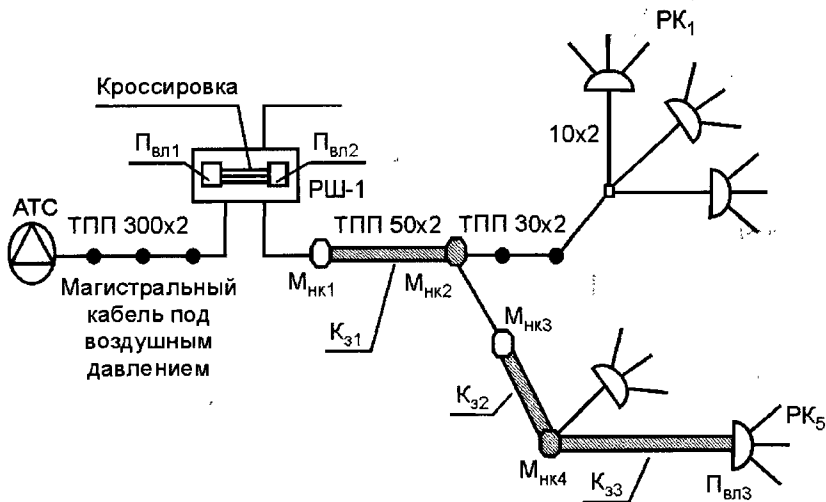


Рис. 11.4. Фрагмент неоднородной кабельной линии распределительной сети ГТС

Многоканальные цифровые системы уплотнения технологии DSL. К ряду многоканальных цифровых систем передачи абонентского доступа следует отнести:

1. Высокоскоростную цифровую абонентскую линию HDSL (High-bit-rate Digital Subscriber Loop). Технология HDSL обеспечивает полный дуплексный обмен на скорости 2048 кбит/с. Для передачи должны выделяться две или три кабельные пары.
2. Симметричную высокоскоростную цифровую абонентскую линию SDSL (Single Pair Symmetrical Digital Subscriber Loop), работающую по одной паре.
3. Асимметричную цифровую абонентскую линию ADSL (Asymmetric DSL), предназначенную для работы по линиям, обеспечивающим передачу до 8 Мбит/с в направлении «от сети к абоненту» и до 1 Мбит/с в направлении «от абонента к сети».
4. Очень высокоскоростная цифровая абонентская линия VDSL (Very High-bit-rate Digital Subscriber Loop).

Перечисленные технологии DSL (табл. 11.1–11.4) предусматривают использование различных сред передачи, обеспечивающих передачу в регламентированном диапазоне частот. Возможность применения симметричных пар многопарных кабелей местной связи определяется параметрами передачи и влияния в ансамбле цепей при выполнении условий электромагнитной совместимости.

Таблица 11.1. Технические характеристики зарубежной аппаратуры xDSL

Характеристика	PGS-4 Ericsson	PGS-8 Ericsson	MultiGam 2000 Tadiran	TopGam4 Nateks	PCM-8
Кодирование	2B1Q	2B1Q	2B1Q	2B1Q	2B1Q
Скорость передачи по линии, кбит/с	320	576	160	160	160
Число каналов	4	8	4	4	8
Скорость передачи по одному каналу, кбит/с	64	64	32	32	32 (16)
Рабочее затухание, дБ/кГц	42/80	42/150	42/40	42/40	42/40
Сопротивление шлейфа, Ом	1400	1400	1400	1300	1300
Дистанционное питание, В	±90	±90	±80	±100	±130 или локальное 60 В; 220 В

Таблица 11.2. Технические характеристики ЦСП для магистральных и зоновых линий

Характеристика	WATSON 3 Schmid, Швейцария	WATSON 4 Schmid, Швейцария	MEGATRANS Schmid, Швейцария +Nateks
Кодирование	CAP-64 по двум парам	CAP-128 по одной паре	CAP-128 по двум парам с разделением приема и передачи
Скорость передачи, Мбит/с	2,0	2,0	2,0
Диапазон частот линейного спектра, кГц (по уровню 0,5 U _{max})	8-300	15-400	15-400
Рабочее затухание, дБ/кГц	42/120	42/180	42/150
Дистанционное питание, В	Дистанционное и локальное питание	Локальное и дистанционное питание	Дистанционное и локальное питание

Таблица 11.3. Технические характеристики отечественной аппаратуры xDSL

Характеристика	АЦУ 4С ОАО Промсвязь, Екатеринбург	АЦУ 5С ОАО Промсвязь, Екатеринбург	МОРИОН 30А Морион, Пермь	ЦСП-30 Морион, Пермь
Кодирование	2B1Q	2B1Q	NDB3	DB3
Число каналов	4	5	30	30
Информационная скорость передачи по линии, кбит/с	320	336	2048	2048
Скорость передачи по одному каналу, кбит/с	64	64	64	64
Расчетная частота передачи сигнала в линии, кГц	40	63	1024	1024
Рабочее затухание, дБ	42	44	42	42
Сопротивление шлейфа, Ом	1000	1000	700	700
Дистанционное питание, В	±60	±80	±80 или локальное 220	±80 или локальное 220

Таблица 11.4. Технические характеристики xDSL фирмы HATEКС

Характеристика	FlexGain PCM 4/5 НТЦ НАТЕКС Москва	FlexGain PCM 411/12 НТЦ НАТЕКС Москва	NTU-128 VOICE НТЦ НАТЕКС Москва	FlexGain VO-5 НТЦ НАТЕКС Москва
Кодирование	2B1Q	2B1Q	2B1Q	2B1Q
Число каналов	4/5 тлф	11/12 тлф	2 (тлф) факс ПД	5 (2B+D)
Информационная скорость передачи по линии, кбит/с	336	784	160	784
Скорость передачи по одному каналу, кбит/с	64	64	64	64
Расчетная частота передачи сигнала в линию, кГц	63	150	40	150
Рабочее затухание, дБ	44	31	42	31
Сопrotивление шлейфа, Ом	1150	870	1300	870

11.2.2. Абонентские линии местных телефонных сетей

Особенности городских телефонных сетей

Развитие местных телефонных сетей, как элемента ВСС РФ в ближайшие годы должно идти по пути создания интегральных сетей, обеспечивающих функционирование как традиционной телефонной связи, так и систем передачи данных, телематических служб (телетекст, телефакс, бюрофакс), ЦСИС и др. Один из основных принципов развития ВСС РФ – это создание наложенных сетей.

Наряду с развитием новых технических средств (ВОЛС, сотовые сети, спутниковая связь и др.) максимально должны использоваться оборудование и кабельные линии, находящиеся в эксплуатации. В настоящее время Россия обладает телефонной сетью емкостью около 26 млн. номеров, протяженность кабельных линий местной связи при этом составляет более 650 тыс. км.

Исторически сеть электросвязи страны развивалась как низкочастотная сеть, обеспечивающая передачу телефонной информации. На первом этапе на городских телефонных сетях, в основном, применялись многопарные кабели типа ТГ с бумажной изоляцией жил и свинцовой оболочкой. В шестидесятые годы началась эра внедрения кабелей с полиэтиленовой изоляцией жил и пластмассовой оболочкой. В настоящее время более 80% линий местной связи – это кабели типа ТПП.

На соединительных линиях между АТС и магистральным участком от АТС до распределительных шкафов (РШ) применяются многопарные кабели большой емкости (до 1200 пар). Как правило, эти линии содержатся под избыточным воздушным давлением, обеспечивающим защиту от проникновения влаги в сердечник.

На абонентском участке сети от РШ до распределительной коробки (РК) применяются малопарные кабели емкостью 10...100 пар. Эти линии не содержатся под избыточным воздушным давлением.

Протяженность абонентских линий, как правило, составляет 30% от общей протяженности кабельных линий сети.

По своим электрическим характеристикам цепи кабельных линий ГТС должны удовлетворять техническим требованиям, обеспечивающим функционирование низкочастотной телефонной связи (ОСТ 45.36-86, ОСТ 45.82-96).

Телефонные сети общего пользования, как первичные сети, должны обеспечивать также функционирование телеграфной связи, звукового вещания, телемеханики, телеуправления, телесигнализации, передачи данных, телематических служб, цифровых сетей интегрального обслуживания, информационно-вычислительных сетей. И все это, конечно, на базе внедрения перспективных электронных АТС, цифровых систем передачи и новых технологий (*xDSL*).

Проведем оценку кабельных линий существующих сетей ГТС и определим перспективу их комплексного использования.

Анализ технического состояния отдельных участков линий ГТС показал, что плотность механических повреждений (число повреждений в течение года на 100 км), приводящих к перерыву связи, составляет:

- на соединительных линиях и магистральных участках абонентской сети – 12,6;
- на распределительных участках – 33,4.

Важной характеристикой повреждаемости кабельных линий является распределение повреждений линий по видам. Наибольшее число повреждений магистральных и соединительных линий ГТС из кабелей ТПП в полиэтиленовой оболочке происходит вследствие нарушения герметичности муфт, мест сварок и участков оболочек, прилегающих к сваркам (45%). На втором месте повреждения при проведении на трассе линии посторонних работ (15%). Повреждения кабелей из-за растрескивания оболочек в местах изгибов составляют 10%, на прямолинейных участках – 6%, повреждения кабеля грызунами, промерзания канализации и другие повреждения – 24%.

Представленная статистика механических повреждений не в полной мере отражает состояние кабельных линий, находящихся в эксплуатации. Это лишь факт фиксации повреждений, требующий принятия срочных мер по устранению нарушений связи. А частичный выход из строя отдельных пар в кабелях, ухудшение слышимости, появление помех, мешающих нормальному функционированию телефонной сети? Статистики «повреждений» такого плана нет. *А факт налицо.* Качество связи на местных телефонных сетях ухудшается.

Рассмотрим причины ухудшения связи на конкретном примере *абонентской линии*. Прежде всего следует отметить, что кабели не содержатся под избыточным давлением. Это заложено в самой структуре построения сети. Далее, абонентская линия неоднородна: пары кабелей в распределительном шкафу и распределительной коробке подключены к плintу оконечного устройства, по длине линии имеются несколько соединительных или разветвительных муфт, диаметр жил может быть тоже различным.

Таким образом, источники повреждений или ухудшения качества связи могут быть все перечисленные элементы линии, подверженные климатическим воздействиям. Например, снижение сопротивления изоляции из-за загрязнения плintа и увеличения влажности воздуха, увеличение сопротивления жил и нарушение контактов в муфтах из-за их окисления, повышение асимметрии рабочих цепей и др.

Увлажнение сердечника кабеля из-за диффузионной паропроницаемости полиэтиленовой оболочки и непосредственного попадания влаги в местах повреждения приводит к изменению электрических характеристик рабочих цепей линий.

Отраслевыми стандартами ОСТ 45.36-97 и ОСТ 45.82-96 определены следующие эксплуатационные электрические характеристики кабельных линий ГТС.

Электрическое сопротивление 1 км цепей постоянному току, предусмотренное техническими условиями на кабель в зависимости от диаметра жил: 0,32 мм – 458,0; 0,4 мм – 296,0; 0,5 мм – 190; 0,64 – 116 Ом.

Асимметрия сопротивления постоянному току жил цепи кабельной линии должна быть не более 1% от половины величины сопротивления цепи.

Электрическое сопротивление изоляции 1 км кабельных линий должно быть не менее 5000 МОм (без оконечных устройств) и 1000 МОм с оконечными устройствами для нормальных климатических условий (лето, сухо).

На переменном токе пронормировано допустимое значение величины переходных затуханий между телефонными цепями кабельной линии на ближнем конце на частоте 1000 (800) Гц – не менее 69,5 дБ.

Выборочная проверка технического состояния кабельных линий ГТС, находящихся в эксплуатации 25...30 лет, установила, что электрические характеристики цепей на постоянном токе на соединительных линиях и магистральном участке АЛ, в основном, удовлетворяют требованиям стандарта.

На абонентской распределительной сети наблюдается:

- снижение сопротивления изоляции жил до 500 МОм, а в отдельных случаях до 200...300 кОм;
- увеличение рабочего затухания на 10...15%;
- рост асимметрии рабочих цепей до 2%;
- уменьшение переходного затухания между цепями на 5...10 дБ.

Анализ причин ухудшения электрического состояния абонентских линий показал, что основным источником является наличие в сердечнике кабеля влаги.

Примерно 60...70% распределительных линий не удовлетворяют требованиям ОСТ 45.82-96 по электрическим параметрам и наблюдается тенденция к их ухудшению.

Таким образом, самым слабым звеном на местных телефонных сетях является абонентский распределительный участок.

Развитие наложенной интегральной сети на базе ГТС требует проведения оценки электрических характеристик линий в высокочастотном диапазоне:

- *во-первых*, до 200 кГц, определяющим возможность передачи средне- и высокочастотных систем передачи дискретной информации, телематических систем и ЦСИС,
- *во-вторых*, до 2048 кГц, характеризующим возможность передачи сигналов цифровых систем передачи ИКМ-30, *xDSL*. Следовательно, требуется иная оценка параметров линий, отличающаяся от стандартного определения параметров на постоянном токе.

Таким образом, для определения возможности использования ЦСП АЛ на линиях местной связи необходима оценка суммарных помех в тракте.

При реальной оценке среды передачи необходимо также учесть и дополнительные факторы:

- нестабильность электрических характеристик кабельных линий во времени;
- ухудшение эксплуатационной надежности.

Анализ технических характеристик аппаратуры ЦСП АЛ показывает их различие при организации связи (двухпроводные, четырехпроводные) в зависимости от используемых кодов, скоростей передачи, перекрываемого затухания. По скорости передачи цифрового сигнала ЦСП АЛ обычно можно классифицировать по двум группам: до 200 кбит/с и 2048 кбит/с. Исходя из этих факторов, могут быть определены условия использования кабельных линий местных телефонных сетей.

Возникшую проблему «экологически чистой среды передачи» интересно осветить с позиций кабельщиков-линейщиков.

Итак, что из себя представляют кабельные линии местных телефонных сетей в нашей стране?

Это, в основном, «дряхлые старики» – низкочастотные кабели с медными жилами с полиэтиленовой (типа ТПП) и частично с бумажной изоляцией (типа ТГ). Если на магистральном участке от АТС до шкафов действует система «жизнеобеспечения» – постановка под избыточное воздушное давление, то распределительный участок кабельных линий лишен этой возможности и находится по сути в «бесконтрольном» состоянии.

Оценим существующие кабельные линии сетей ГТС и определим перспективу их комплексного использования.

Электрические характеристики АЛ и техническое состояние отдельных участков линий, характеризующиеся плотностью повреждений в течение года, представлены ранее.

Как уже отмечалось, высокое качество передачи цифровых сигналов определяется частотной характеристикой рабочего затухания цепей кабеля, наличием попутных потоков, переходными и внешними помехами. В значительной степени достоверность передачи зависит от многих физических факторов, обеспечивающих «чистоту среды передачи». К ним относятся: воздействие влаги на параметры цепей кабеля и оконечных устройств (плинтов бокса), нестабильность контактов сращков жил в муфтах. Рассмотрим внимательнее воздействие этих факторов.

Транспортную артерию – линии местных телефонных сетей – можно образно представить как большую реку, куда вливаются ручейки с цепями различных видов информации. И эти ручейки должны быть экологически чистыми, не загрязнять шумами, помехами русло многопарной кабельной трассы.

Условия соблюдения ЭМС – это условия экологически чистой среды передачи. Для этого должен быть выполнен ряд требований, обеспечивающих достоверную передачу информации потребителю. Теория взаимных влияний между цепями ЦСП с учетом структуры построения аппаратуры изложена в ряде статей.

Как известно, существующие кабельные линии ГТС это, как правило, неоднородные линии, длительное время находящиеся в эксплуатации. Их параметры подвержены воздействию временных факторов. Поэтому при оценке возможности использования цепей абонентских линий для оборудования *xDSL* необходимо учитывать эти изменения параметров передачи и влияния. Таким образом, АЛ следует рассматривать как среду передачи, обеспечивающую функционирование сети переноса. Физические параметры линий должны удовлетворять требованиям соответствующих интерфейсов и отраслевому стандарту ОСТ 45.81-97.

Во многих статьях рассматриваются технические характеристики цифровых систем передачи для абонентских линий (ЦСП АЛ). Приводятся преимущества выбранных структур построения оборудования, используемых кодов, уменьшающих частотный диапазон передачи по цепям кабельных линий и др. Это хорошо!

Но... с изумительной легкостью декларируется тезис: «Использование кабельных линий ГТС без отбора пар». Разработчики и фирмы забыли о реальной среде передачи – существующей кабельной сети местной связи с ее «внутренними» болезнями, слабой защищенностью от внешних электромагнитных воздействий, фактора старения линий.

По существу, кабели типа ТГ и ТПП являются низкочастотными. По природе своей и по техническим параметрам, они должны обеспечивать передачу телефонных сигналов с полосой частот 0,3...3,4 кГц, что юридически и фактически закреплено в ГОСТ и ТУ на

кабельные изделия. Условия передачи этих сигналов определены сетевыми и эксплуатационными нормами на электрические параметры (табл. 11.5.).

Таблица 11.5. Эксплуатационные нормы передачи телефонных сигналов

Характеристика телефонного канала	На соединительной линии между АТС	На абонентском участке
Рабочее затухание на частоте 1000 (800) Гц, дБ, не более	17,0	6,0
Мощность психофотметрического шума, пВт, не более	200	100
Мощность невзвешенного шума, пВт, не более	500	1000
Переходное затухание на ближнем конце на частоте 1000 (800) Гц, дБ, не менее	69,5	69,5

Физическая модель абонентской линии

Абонентские линии, как правило, неоднородны. Цепи (пары) кабелей, подключаемые в распределительном шкафу и распределительных коробках к плинтам оконечных устройств, могут иметь разный диаметр жил. Вдоль линии располагается несколько соединительных и разветвительных муфт.

На рис. 11.4 приведен фрагмент структуры неоднородной кабельной цепи распределительной сети ГТС как физической модели абонентской линии. Обозначены элементы, приводящие к ухудшению параметров передачи и возникновению взаимных влияний: Кз1, Кз2, Кз3 – участки кабельной линии, заполненные водой; Мнк1, Мнк2, Мнк3, Мнк4 – муфты с нестабильным контактным сопротивлением; Пвл1, Пвл2, Пвл3 – увлажненные плинты оконечных распределительных устройств с низким сопротивлением изоляции.

Рассмотрим протекающие в кабельных линиях физические процессы, приводящие к ухудшению и нестабильности электрических характеристик в ансамбле цепей.

1. Увлажненные и загрязненные плинты в распределительных шкафах, неупорядоченные кроссировки между ними приводят к увеличению проводимости между цепями на постоянном и переменном токах $G = G_0 + i\omega\sigma\delta$. Вследствие этого возрастают взаимные влияния, снижается пробивное напряжение и возникает неоднородность волнового сопротивления.

2. Заполненный водой участок кабельной линии характеризуется повышенной рабочей емкостью цепей, проводимостью изоляции жил и изменением емкостных связей между ними. Вследствие этого увеличивается рабочее затухание, изменяется волновое сопротивление, возрастают взаимные влияния между цепями.

3. Нестабильный контакт на сростках жил в муфтах обусловлен коррозией жил, возникновением слоя окисла меди на них. Следствиями являются увеличение асимметрии цепи, нелинейные искажения, перерывы связи при отсутствии обтекания током, изменение волнового сопротивления.

Воздействие влаги на среду передачи

Известно, что коэффициент передачи и волновое сопротивление цепи определяются выражениями:

$$\gamma = \sqrt{(R + j2\pi fL)(G + j2\pi fC)} = \alpha + j\beta, \quad (11.1)$$

$$Z_B = \sqrt{\frac{R + j2\pi fL}{G + j2\pi fC}}, \quad (11.2)$$

где R, L, G, C – первичные параметры цепей на переменном токе; $\omega = 2\pi f$.

От наличия влаги в сердечнике кабеля в значительной степени зависит диэлектрическая проницаемость среды ε а, следовательно, рабочая емкость, которая в сердечнике, заполненном водой, определяется выражением

$$C_{вод} = C_p + \Delta C_\varepsilon = C_p + (C_p/\varepsilon)\Delta\varepsilon, \quad (11.3)$$

где C_p – емкость сухого кабеля; ΔC_ε – увеличение емкости за счет наличия влаги; ε – диэлектрическая проницаемость среды для «сухого» кабеля; $\Delta\varepsilon$ – разность (между «замокшим» и «сухим» сердечником кабеля).

Результирующая диэлектрическая проницаемость среды «замокшего» кабеля определяется соотношением объемов и ε диэлектрика изоляции жил и воды

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^N v_i \varepsilon_i. \quad (11.4)$$

При наличии влаги в сердечнике кабеля изменяется также величина проводимости изоляции жил

$$G = G_0 + 2\pi f C \operatorname{tg} \delta. \quad (11.5)$$

Это объясняется изменением величины емкости ΔC и тангенса угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta$. При исправной изоляции жил проводимость постоянному току не изменяется, а проводимость переменному току $2\pi f C \operatorname{tg} \delta$ с ростом частоты приобретает значительный вес. Общая проводимость определяется выражением

$$G_{вод} = G_0 + (G + \Delta G), \quad \Delta G = G_0 + 2\pi f C (\operatorname{tg} \delta + \Delta\varepsilon/\varepsilon). \quad (11.6)$$

Увеличение коэффициента затухания в диапазоне частот свыше 30 кГц в зависимости от проникновения влаги может быть оценено по формуле:

$$\Delta\alpha = Z_0/2 [\Delta G + 2\pi f C_p \operatorname{tg} \delta (\Delta \operatorname{tg} \delta / \operatorname{tg} \delta + \Delta\varepsilon/\varepsilon)], \quad (11.7)$$

где Z_0 – волновое сопротивление цепи; C_p – рабочая емкость цепи.

$$|\Delta Z_{вод}| = Z/2 \Delta\varepsilon/\varepsilon. \quad (11.8)$$

Коэффициент затухания для низкочастотного диапазона определяется по формуле

$$\alpha = \pi f C_0 R. \quad (11.9)$$

Таким образом, вышеприведенные формулы показывают, что вторичные параметры передачи зависят от изменения в процессе эксплуатации среды, в которой размещены рабочие цепи.

Рассмотрим изменение диэлектрической проницаемости среды сердечника кабеля ТПП в зависимости от наполнения его водой. На практике для оценки ε комбинированной смеси пользуются формулой (11.4). При этом принимается для изоляции полиэтилена $\varepsilon = 2,3$; и для воды $\varepsilon_{воды} = 80$.

Эквивалентная расчетная величина диэлектрической проницаемости в кабеле с полиэтиленовой изоляцией жил в зависимости от объема воды в его сердечнике, рабочая емкость и коэффициент затухания на частоте 1000 Гц приведены в табл. 11.6.

Таким образом, даже в низкочастотном диапазоне попадание влаги в кабель ведет к значительному увеличению затухания и может ухудшить качество телефонных сообщений.

Использование линий из кабелей ТПП в высокочастотном диапазоне частот, может привести к еще более существенным изменениям параметров передачи. В этом случае начинает сказываться влияние изменения тангенса угла диэлектрических потерь.

Таблица 11.6. Параметры среды передачи

Содержание воды в сердечнике, %	Диэлектрическая проницаемость	Рабочая емкость, Ср, нФ/км	Коэффициент затухания, α , дБ/км
0	2,3	45,0	1,38
6,25	2,6	52,0	1,47
12,5	2,98	60	1,59
25	3,77	76	1,79
37,5	4,56	92	1,97
50	5,35	107	2,12
75	6,93	139	2,42
90	7,88	160	2,6
100	8,51	180	2,76

В табл. 11.7 приведены результаты экспериментальных исследований $\text{tg}\delta$ при различном заполнении сердечника кабеля водой.

Таблица 11.7
Результаты
исследований $\text{tg}\delta$

Частота, кГц	$\text{tg}\delta \cdot 10^4$ при заполнении сердечника кабеля водой (%)				
	без воды	25	50	75	100
100	2,1	15,7	67,4	113	116,4
250	3,8	24,6	79,3	124,2	128,5
350	5,4	32,1	84,8	136,6	141,3
500	15,0	45,6	98,1	151,9	158,4
1000	36,0	83,4	106	156,2	163,0

Длительные, в течение 20 лет, испытания стабильности электрических характеристик экспериментальной подземной линии из кабеля ТПП 10×4×0,4 протяженностью 250 м с кольцевыми разрезами оболочки показали тенденцию увеличения затухания из-за попадания влаги в сердечник кабеля (табл. 11.8).

Таблица 11.6
Результаты испытаний стабильности
электрических характеристик линии

Частота, кГц	Увеличение затухания	
	дБ/км	%
0,8	0,27	20
120	2,5	30
550	5,1	30

Переходное затухание между цепями на ближнем конце уменьшилось при этом на 7...12 дБ. На линиях, находящихся в эксплуатации, широко используются боксы БКТ, которые в соответствии с ГОСТ 23025-78, характеризуются сопротивлением изоляции плинтов (табл. 11.9). Учитывая, что при шкафной системе построения абонентской линии ГТС каждая цепь проходит через три плинта (магистрального, распределительного бокса и распределительной коробки), эквивалентное сопротивление изоляции постоянному току плинтов может составлять величину 1000, 333,3 и 16,7 МОм, соответственно.

Немалую роль в снижении сопротивления изоляции играет влажность внешней среды. На высоких частотах это явление может оказывать значительное влияние на неоднородность линий и переходное затухание между клеммами плинтов.

Таблица 11.9. Сопротивление изоляции плитов

Условия	Сопротивление изоляции плитов, МОм, не менее
Нормальные климатические условия и при пониженных температурах до минус 60 °С	3000
При повышенной температуре A_0 плюс 45 °С	1000
При температуре 25 °С и относительной влажности 90% и более низких температурах без конденсации влаги	50

Нестабильность контактов сростков жил

При соединении жил в муфтах кабельных линий ТПП применяют различные способы: ручная скрутка, с применением крутки ПСЖ-4, механические металлопластмассовые соединители различных конструкций. В ряде случаев при внедрении «низкоуровневых» систем телеграфирования и передачи данных на абонентском участке наблюдалось значительное ухудшение качества каналов за счет «пропадания контактов» и уменьшения величины тока полезного сигнала; что обусловлено неудовлетворительными контактами сростков жил, выполненных ручной скруткой. На отечественных телефонных сетях контактное сопротивление сростков, выполненных ручной скруткой, не нормируется.

Качество сростков жил кабеля принято оценивать величиной контактного сопротивления. Нормируемые значения контактного сопротивления сростков жил (в миллиомах) принимаются в разных странах различными и составляют величину от 3 до 20 МОм.

Нормируется также увеличение контактного сопротивления сростка жил для линий, оборудованных системами передачи – не более 2,5 МОм. Для металлопластмассовых соединителей – не более 40 МОм. После длительных испытаний сростков на старение, выполненных различными способами (технологиями), оценивалось контактное сопротивление для 90% случаев (табл. 11.10).

Таблица 11.10. Контактное сопротивление сростков

Технология соединения	Контактное сопротивление, МОм
Металлопластмассовое соединение СМЖ-10	8...9
Соединение с помощью крутки ПСЖ-4	15...120
Ручная скрутка	170...740

Контактное сопротивление сростков жил R_k , изъятых из муфт реальных линий, находящихся в эксплуатации 10...15 лет, не превышает результатов лабораторных испытаний.

Для ручной скрутки R_k составляет 40...900 МОм. При этом следует отметить, что на сростках жил телефонных пар, которые работают с обтеканием тока питания микрофона, отмечается снижение контактного сопротивления и обеспечивается его стабильность.

Таким образом, на «чистоту среды передачи» значительное влияние оказывают:

- наличие влаги в сердечнике кабеля;
- влажность окружающей среды, воздействующая на плиты распределительных шкафов;
- нестабильность контактного сопротивления.

Комплексное воздействие перечисленных факторов приводит к увеличению рабочего затухания, появлению неоднородностей волнового сопротивления, увеличению асимметрии на стыках строительных длин и уменьшению переходных затуханий в ансамбле цепей.

11.3. Новая жизнь кабеля КСПП

«Остановись мгновенье... ты прекрасно»
Гете «Фауст»

Да! В развитии сельской связи в какой-то период (примерно, 1970–75 гг.), когда для сельских сетей был разработан и внедрен одночетверочный кабель КСПП 1×4×1,2, уплотненный системами с частотным разделением каналов КНК-6С, КНК-6Т, КНК-12, «КАМА» и цифровыми ИКМ-15 и ИКМ-30С, нам казалось, что это прекрасно и мы фиксировали определенные успехи стабильности, надежности, долговечности линий связи. На уровне развития коммутационной техники, систем уплотнения линий 75-х 85-х гг., это был успех.

«Чего же боле?»

Но жизнь идет вперед!

Ветры перестройки унесли наши иллюзии... Остановилось мгновение. И вот мы имеем, что имеем...

Соединительные линии между сельскими АТС это уже «пожилые» кабели с «болячками, присущими возрасту»: пониженное сопротивление изоляции жил, асимметрия, увеличенное рабочее затухание, шумы и, конечно, уменьшенное переходное затухание между цепями...

Да! Пока еще держимся.

Статистика показывает, что на сельских телефонных сетях проложено более 500 тыс. км одночетверочного кабеля КСПП, КСПЗП, КСППБ, КСПЗБ.

Но мы вступили в новый век – век развития электроники и цифровых АТС.

Стекловолоконные линии?...

Перспективно и правильно!!!

Однако куда девать медные кабельные линии, вышедшие «на пенсию» по возрасту, но продолжающие стоять в строю соединительных линий?

С 01.01.98 введен в действие новый отраслевой стандарт ОСТ 45.83-96, предусматривающий оценку параметров линий в зависимости от их срока эксплуатации.

Электрические характеристики цепей смонтированных линий из одночетверочных кабелей должны соответствовать следующим нормам на постоянном токе:

- электрическое сопротивление при температуре +20 °С не должно превышать 56,8 Ом/км для жил диаметром 0,9 мм и 31,6 Ом/км – для жил диаметром 1,2 мм.
- асимметрия сопротивлений жил должна быть не более 1,5 Ом на усилительный (регенерационный) участок;
- сопротивление изоляции 1 км жил относительно других жил и экрана, в зависимости от марки кабеля и срока эксплуатации, приведено в табл. 11.1;
- электрическое сопротивление «экран-земля» в течение всего срока эксплуатации должно быть не менее 1,0 МОм·км;

Таблица 11.11. Сопротивление изоляции в зависимости от марки кабеля и срока эксплуатации

Марка кабеля	Сопротивление изоляции, МОм·км, не менее				
	При приеме в эксплуатацию	При эксплуатации, лет			
		до 5	до 10	до 15	Свыше 15
КСПП, КСППБ, КСППТ, КСППБТ	10 000	10 000	8 000	5 000	3 000
КСПЗПБ, КСПЗПТ, КСПЗПК	10 000	10 000	10 000	10 000	8 000

Коэффициент затухания и волновое сопротивление в диапазоне частот, используемого цифровыми системами передачи ИКМ-30С, приведены в табл. 11.12.

Таблица 11.12. Коэффициент затухания и волновое сопротивление кабелей КСПП

Частота кГц	КСПП 1х4х0,9		КСПП 1х4х1,2	
	Коэффициент затухания, α , дБ/км	Волновое сопротивление, Z , Ом	Коэффициент затухания, α , дБ/км	Волновое сопротивление, Z , Ом
0,8	0,6	536	0,5	375
6	1,4	211	1,0	169
10	1,6	183	1,1	152
20	2,0	156	1,5	138
30	2,2	147	1,7	131
40	2,4	143	1,9	129
60	2,7	136	2,3	125
76	2,9	135	2,5	124
120	3,4	130	3,1	121
250	4,6	128	4,1	117
350	5,4	125	4,7	116
550	6,8	124	5,8	114
700	7,7	123	6,5	113
1024	9,1	121	7,8	111
2048	12,9	117	10,9	107

Со временем параметры передачи из-за старения материалов изоляции жил, попадающие влаги в сердечник, некачественного монтажа изменяются.

В табл. 11.13 приведены результаты статистических исследований кабелей КСПП 1х4х1,2 и КСПП 1х4х0,9, длительное время находящихся в эксплуатации, позволяющие определить изменение коэффициента затухания в зависимости от срока функционирования линий.

Таблица 11.13. Результаты статистических исследований кабелей КСПП

Частота, кГц	Изменения коэффициента затухания α , дБ/км							
	Срок эксплуатации, лет							
	1	2	3	5	10	15	20	25
120	0,08	0,12	0,15	0,19	0,26	0,33	0,38	0,43
350	0,12	0,18	0,23	0,29	0,41	0,45	0,58	0,65
512	0,16	0,22	0,27	0,35	0,48	0,60	0,68	0,76
700	0,17	0,24	0,29	0,39	0,53	0,67	0,76	0,83
1024	0,21	0,29	0,36	0,47	0,66	0,81	0,93	1,0

Новые электронные АТС предъявляют повышенные требования к параметрам линий. Цифровой поток Е1 (2048 кбит/с) должен обеспечить функционирование цифровых сетей коммутирующей.

По количеству каналов на соединительных линиях «тридцатка» уже не обеспечивает нужный объем. Что же делать далее?

На помощь приходят разработчики нового поколения цифровых систем передачи.

На примере одной из разработок НТЦ НАТЕКС покажем эффективность внедрения линейных трактов ЦСП нового поколения. Представляется интересным рассмотреть оборудование MEGATRANS двух типов: FlexDSL MSDSL, использующего код CAP, и FlexDSL PAM, построенного с применением кода TC-PAM. Основные технические характеристики оборудования приведены в табл. 11.14.

Таблица 11.14. Основные характеристики оборудования MEGATRANS

Тип аппаратуры	Система организации связи	Код	Информационная скорость, кбит/с	Средняя частота, спектра, кГц	Уровень выходного сигнала, дБ
FlexDSL MSDSL	Двухпроводная	CAP8-128	144, 272, 400, 578, 784, 1040, 2064	36, 68, 100, 146, 196, 260, 430	+13,5
FlexDSL PAM	Двухпроводная	TC-PAM	192-2300 с шагом 8 кбит/с	36, 68, 100, 146, 196, 260, 430	+14,5

Что для сельских линий представляется интересным определить:

- возможность организовать по линиям из одночетверочных кабелей цифровые тракты передачи до 60 каналов;
- увеличение длины регенерационных участков между НРП.

В сентябре 2001 года ЛОНИИС совместно с НТЦ НАТЕКС, УКЦТИИ ОАО «Кубань-электросвязь» в рамках программы рабочей группы № 12 «Сети абонентского доступа при координационном совете по новым технологиям Министерства связи РФ» провели испытание оборудования FlexDSL MSDSL и FlexDSL PAM на линии из одночетверочных кабелей КСПП 1×4×0,9 и ВТСП 1×4×1,2.

Линейные сравнительные испытания систем проводились в г. Анапа Краснодарского края по методике, разработанной ЛОНИИС и НТЦ НАТЕКС.

Измерения параметров линий осуществлялись с использованием прибора SLT-22 производства концерна ACTERNA, предоставленного фирмой ВИЛКОМ (СПб).

Для испытаний была выбрана кабельная линия от Анапы до пос. Ольховка протяженностью 12,2 км. Линия сборная, неоднородная, состоящая из кабелей КСПП и ВТСП с диаметром жил 0,9 и 1,2 мм, эксплуатируется с 1975 года. Линия уплотнена аппаратурой ИКМ-30С и разбита на четыре регенерационных участка длиной 3,5; 3,2; 2,5 и 3,0 км.

Измерения параметров по постоянному току показали соответствие всех кабельных участков нормам по сопротивлению шлейфа, асимметрии, рабочей емкости и сопротивлению изоляции с учетом срока эксплуатации кабельной линии (табл. 11.15).

Таблица 11.15. Параметры по постоянному току сборной неоднородной кабельной линии

Параметры	Регенерационный участок			
	№1, L=3,5 км КСПП 1×4×1,2	№2, L=3,2 км ВТСП 1×4×1,2	№3, L=2,5 км КСПП 1×4×0,9	№4, L=3,0 км КСПП 1×4×0,9
R _{шл} , Ом	110,6	101,12	142	170,4
C _{раб} , нФ	153,3	140,16	95,7	114,9
R _{из} , МОм	860	960	1000	1000
α _р , дБ, на частотах:				
f = 150 кГц	12,25	11,2	9,5	11,4
f = 1024 кГц	27,3	24,9	19,5	23,4

Окончание таблицы 11.15

Параметры	Регенерационный участок			
	№1, L=3,5 км КСПП 1х4х1,2	№2, L=3,2 км ВТСП 1х4х1,2	№3, L=2,5 км КСПП 1х4х0,9	№4, L=3,0 км КСПП 1х4х0,9
A_0 , дБ, на частотах:				
$f = 150$ кГц	72,4	73,8	68,2	71,1
$f = 1024$ кГц	66,4	67,7	66,9	59,8

Для испытаний систем все регенераторы были выключены, линия «спрямлена» и стала представлять собой один участок длиной 12,2 км. Характеристики линии представлены в табл. 11.16.

Таблица 11.16. Характеристики «спрямленной» линии (без регенераторов) длиной 12,2 км

f , кГц	10	20	40	100	150	200	300	500	800	1000
α_p , дБ	16,3	20,9	26,9	38,2	45,2	50,1	56,6	74,3	91,4	101,4
A_p , дБ	Сторона А	80,7	80,2	77,9	72,6	72,4	71,5	72,8	70,7	60,8
	Сторона Б	84,9	84,5	79,7	75,9	71,3	72,0	74,9	64,9	67,0

Для определения максимальной информационной скорости цифрового потока аппаратура ЦСП FlexDSL MEGATRANS была испытана на всей длине линии.

Оборудование с технологией MSDSL CAP обеспечивало безошибочную передачу цифрового потока по одной паре в диапазоне линейных скоростей от 144 до 784 кбит/с. На больших скоростях наблюдалось резкое увеличение ошибок. В табл. 11.17 приведены качественные показатели цифровых потоков в соответствии с рекомендациями G.826.

Таблица 11.17

Качественные показатели цифровых потоков

Показатели качества сигнала	Скорость цифровых потоков, кбит/с		
	До 784	1040	1552
ESR, %	0	0,53	81,6
SESR, %	0	0	0
BBER, %	0	0	1,32

На скорости 2064 кбит/с система не входила в синхронизацию.

На этой же паре была установлена система FlexDSL с технологией G.shdsl (PAM), которая безошибочно работала по одной паре в диапазоне скоростей 200...1800 кбит/с. На более высоких скоростях синхронизация не устанавливалась.

В связи с тем, что на данном участке не удалось установить соединение на скорости достаточной для передачи полного потока E1, т.е. 2048 кбит/с, что было обусловлено высоким рабочим затуханием линии α_p на частоте 150 кГц – более 45 дБ. Было принято решение укоротить линию на один регенерационный участок. Таким образом была организована линия ОУС Анапа – НУП № 3, длиной 9,2 км с параметрами, приведенными в табл. 11.18.

Таблица 11.18. Характеристики линии длиной 9,2 км

f , кГц	10	20	40	100	150	200	300	500	800	1000
α_p , дБ	12,5	16,0	20,1	28,5	33,7	37,8	44,6	55,8	68,7	75,8
A_0 , дБ	Сторона А	83,6	81,9	80,2	73,4	73,5	71,5	72,8	70,7	60,8
	Сторона Б	90,5	82,1	88,4	78,3	69,0	72,6	70,1	53,6	61,2

В одну цепь линии из одночетверочного кабеля поочередно включались системы MSDSL CAP и G.shdsl PAM. Обе системы обеспечивали передачу цифрового потока на скорости 2048 кбит/с без ошибок при следующих показателях качества связи (табл. 11.19).

Таблица 11.19

Показатели качества связи различных технологий

Показатели качества	MSDLS	G.shdsl
Качество сигнала (запас по шуму)	SQ = 0,5 дБ	SNR = 29,5 дБ
Предельная норма	SQ = 0 дБ	SNR = 25 дБ

Из таблицы видно, что система MSDSL работает на пределе возможных соотношений сигнал/шум, а система G.shdsl имеет относительно надежный запас (4,5 дБ).

Во время работы оборудования на свободной паре производились измерения величин наведенных помех, приведенных в табл. 11.20.

Таблица 11.20

Величины наведенных помех для различных технологий

Системы, работающие по кабелям	Уровень помех, дБ
Кабель без систем	-76
G.shdsl PAM	-60
MSDSL CAP	-58

Из результатов измерений следует, что технология G.shdsl PAM – более «экологически» чистая, чем MSDSL CAP.

Затем по обоим парам линий были одновременно включены две системы на скорости 2048 кбит/с. Обе системы обеспечили передачу цифрового потока при показателях качества, приведенных в табл. 11.21.

Таблица 11.21

Показатели качества связи различных технологий на скорости 2048 кбит/с

Показатели качества	MSDSL CAP	G.shdsl PAM
Запас по шумам	SQ = 1,5 дБ	SNR = 29,5 дБ
Предельная норма	SQ = 0 дБ	SNR = 25 дБ

При совместной работе система MSDSL находилась ниже допустимого предела соотношения сигнал/шум и появление ошибок было неизбежно. Единственный способ их исключения – укорочение участка, тогда как система G.shdsl даже «не заметила» работы по соседней паре другой системы.

Выводы:

1. Кабельные линии, из кабелей КСПП и ВТСП, даже эксплуатировавшиеся несколько десятков лет, но отвечающие нормам по постоянному току, пригодны для уплотнения цифровыми системами Flex MEGATRANS до скорости 2048 кбит/с.

2. Применение новейших технологий MEGATRANS способно увеличить вдвое число каналов, т.е. по одночетверочному кабелю возможна передача 60 каналов, по сравнению с системами ИКМ-30С, позволяющими получить 30 каналов на двух парах и значительно увеличить длину регенерационных участков (до 10 км вместо 4-х км).

3. На неоднородных линиях системы с модуляцией TC-PAM показали более высокую помехозащищенность и дальность связи, чем системы с CAP модуляцией.

4. Система Flex MEGATRANS позволяет на кабелях типа КСПП установку до 4-х регенераторов с длиной регенерационных участков до 10 км, что дает возможность организовать связь на соединительных линиях протяженностью до 50 км.

5. Первые положительные результаты использования систем MEGATRANS на селе внушают оптимизм, обещают большой экономический и производственный эффект и дают новую жизнь старым кабельным линиям, давно отслужившим свой срок!

6. В НТЦ НАТЕКС разработана новая система FlexDSL Orion, использующая линейный код TC-PAM16, работающая на скоростях до 2048 кбит/с. Система имеет невысокую (относительно MEGATRANS) стоимость и предназначена для использования, в основном, на сельских телефонных сетях.

ГЛАВА 12

КАК «ЛЕЧИТЬ» ЗАМОКШИЕ КАБЕЛИ СЕТИ АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА

12.1. Исходные положения

Физическая модель, описывающая кабельные линии сети абонентского доступа, показывает, что использование цепей для уплотнения оборудованием *xDSL* возможно только при условии принятия мер по стабилизации электрических характеристик, обеспечивающих длительную передачу информации без ошибок.

Одним из таких методов является восстановление электрических характеристик «замокших» пластмассовых кабелей путем закачки в сердечник жидкого гидрофобного заполнителя [1].

Итак, как «реанимировать» старые кабели?

С целью обеспечения влагозащиты кабельных линий применяют постановку их под избыточное воздушное давление. В соответствии с действующим положением под избыточное воздушное давление ставят магистральные и межстанционные кабельные линии, а на абонентском участке линии из кабелей емкостью 100×2 и ниже под избыточным давлением не содержатся, что приводит к беспрепятственному проникновению влаги в сердечник кабеля при повреждении оболочки кабеля или корпуса соединительной муфты кабельной линии.

В настоящее время единственным способом восстановления электрических характеристик замокших кабелей является *просушка* сердечников кабелей, нагнетанием в них сухого воздуха (или азота). Этот способ не нашел широкого применения в эксплуатации, так как малоэффективен и не предотвращает повторного проникновения влаги в сердечник кабеля.

Восстановление и стабилизация электрических характеристик цепей линий из кабелей с пластмассовой изоляцией жил является одной из важнейших задач эксплуатационных предприятий связи.

Разработанная в Ленинградском отраслевом НИИ связи (ЛОНИИС) технология восстановления электрических характеристик цепей поврежденных (замокших) кабелей связи предусматривает закачку жидкого гидрофобного заполнителя (ЖГЗ) в сердечники кабелей. При этом влага, находящаяся в кабеле, вытесняется, а все пустоты сердечника кабеля заполняются ЖГЗ. Электрические характеристики цепей заполненного кабеля (сопротивление изоляции жил, параметры влияния и др.) восстанавливаются до существующих норм. Рабочая емкость увеличивается на 10...15%, т.е. достигает значений кабелей с гидрофобным заполнением типа ТППЗ. Спустя определенное время ЖГЗ полимеризуется и приобретает медообразную консистенцию, не вытекающую из сердечника кабеля. Закачку ЖГЗ в кабели связи осуществляют при помощи установки УЗК, основным узлом которой является насос со специальной системой клапанов.

ЖГЗ закачивается в сердечник кабеля под избыточным давлением. Максимальное регулируемое давление, создаваемое установкой, составляет 15 атмосфер (кгс/см^2). Давление

контролируется манометром. Закачку кабелей рекомендуется производить при избыточном давлении 10 атмосфер (кгс/см^2).

Установка закачки ЖГЗ работает от источника постоянного тока напряжением 12 В. Перед закачкой в бачке устройства при помощи перемешивающего узла происходит смешивание двух компонентов ЖГЗ, после чего заполнитель подается в сердечник кабеля через нагнетательный шланг высокого давления и подключающее устройство.

После окончания работ по закачке все узлы установки, соприкасающиеся с ЖГЗ, должны быть промыты керосином или дизельным топливом. В противном случае заполимеризовавшийся ЖГЗ в узлах установки сделает ее неработоспособной. Чтобы привести ее снова в рабочее состояние, необходима тщательная механическая очистка всех узлов установки.

Технология восстановления кабелей ТПП, ТПВ, КСПП предусматривает применение жидкого гидрофобного заполнителя, изготовленного из *маслонаполненного маловязкого каучука ФП-65-2М и отвердителя триэтанолamina*.

12.2. Основные характеристики жидкого гидрофобного заполнителя

Жидкий гидрофобный заполнитель (ЖГЗ) представляет собой смесь двух компонентов, основным из которых является маслонаполненный маловязкий каучук ФП-65-2М и отвердитель – триэтаноламин (ТУ 6-09-2448-72). Смешение двух компонентов ЖГЗ в пропорции, рекомендованной заводом-изготовителем, производится в бачке установки для закачки перед непосредственным началом закачки заполнителя в кабель. Это обусловлено тем, что процесс полимеризации (загустения) заполнителя начинается с момента смешения его компонентов. Консистенция ЖГЗ в течение 6...8 часов с момента его приготовления остается практически неизменной. Окончательное время полимеризации ЖГЗ составляет 15...20 суток.

Электрические характеристики ЖГЗ близки полиэтилену и соответствуют требованиям, предъявляемым к диэлектрическим материалам в кабельной промышленности (табл. 12.1).

Таблица 12.1
Характеристики ЖГЗ

Характеристики ЖГЗ	Значение
Диэлектрическая проницаемость	2,8
Удельное объемное сопротивление, Ом·см	$1 \cdot 10^{12}$
Тангенс угла диэлектрических потерь на частоте 100 кГц	$2,3 \cdot 10^{-4}$
Условная вязкость, с	20...22

Основной компонент ЖГЗ ФП-65-2М поставляется в металлических бочках, емкостью 200 литров, а отвердитель – в бутылках, емкостью 1 литр. ФП-65-2М и отвердитель должны содержаться в герметичной таре. При длительном хранении основного компонента ЖГЗ в негерметичной таре вязкость его увеличивается, и он становится непригодным для использования.

Пригодность для использования основного компонента определяется в основном по его условной вязкости, которая измеряется в секундах. Для этих измерений применяют специальный прибор – вискозиметр ВЗ-246 (ГОСТ 9070-75).

Методика измерения условной вязкости ЖГЗ состоит в следующем. За условную вязкость материалов, обладающих свободной текучестью, принимают время непрерывного

истечения в секундах определенного объема испытываемого материала через калиброванное сопло диаметром $4+0,015$ мм вискозиметра.

Вискозиметр устанавливают в горизонтальном положении. Под сопло вискозиметра ставят сосуд. Отверстие сопла закрывают элементарно пальцем руки, испытуемый материал наливают в вискозиметр с избытком, чтобы образовался выпуклый мениск над верхним краем вискозиметра. Наполняют вискозиметр медленно, чтобы предотвратить образование пузырьков воздуха. Избыток материала и образовавшиеся пузырьки воздуха удаляют при помощи стеклянной пластинки или алюминиевого диска, сдвигая по верхнему краю воронки в горизонтальном направлении таким образом, чтобы не образовалось воздушной прослойки.

Открывают отверстие сопла и, одновременно с появлением испытуемого материала из сопла, включают секундомер. В момент первого прерывания струи испытуемого материала секундомер останавливают и отсчитывают время истечения в секундах. За результат испытаний по вискозиметру ВЗ-246 принимают среднеарифметическое не менее трех измерений времени истечения. При получении ФП-65-2М и при его хранении рекомендуется периодически проводить контроль вязкости с помощью этого прибора.

В течение гарантируемого срока пригодности (1 год) вязкость ФП-65-2М не должна превышать 25 с.

Если вязкость больше 25 с, но не менее 35 с – основной компонент можно использовать для приготовления ЖГЗ для герметизации коротких отрезков кабелей до 50...60 м, а также муфт и примуфтовых участков кабельных линий.

При вязкости ФП-65-2М больше 35 с необходимо его разжижение. Для этой цели используется *тщательно отфильтрованное* дизельное топливо. Для приготовления 10 литров ЖГЗ к 8 литрам основного компонента добавляется 2 литра дизельного топлива (20%).

Описываемая технология предусматривает также строгий контроль вязкости ЖГЗ. При помощи того же вискозиметра ВЗ-246 измеряется вязкость ЖГЗ в момент его приготовления, а затем через 8 часов. В последнем случае вязкость ЖГЗ не должна превышать 25 с. Если эта вязкость окажется более 25 с, необходимо уменьшить количество отвердителя в составе ЖГЗ на 25%.

Согласно ГОСТ 12.1.007-76 жидкий гидрофобный наполнитель относится к малоподопасным продуктам и представляет собой маслосодержащий полиуретан, не содержащий изоцианатных функциональных групп. При работе с ЖГЗ и его компонентами необходимо соблюдать правила работы с минеральными маслами и правила личной гигиены.

Основной компонент ЖГЗ ФП-65-2М невзрывоопасен, самопроизвольно не воспламеняется, горит при внесении в источник огня. Средства тушения: песок, огнетушители всех типов, тонкораспыленная вода. При работе следует избегать прямого контакта с кожей и пользоваться средствами защиты (халаты, резиновые перчатки, защитные очки).

Отвердитель (триэтанолламин) обладает щелочными свойствами. При попадании отвердителя на кожу или в глаза пораженные места необходимо обильно промыть водой.

Производственные помещения, где проводятся работы с ЖГЗ, должны быть оборудованы вентиляцией. Допускается естественное двухразовое проветривание помещения.

12.3. Гидрофобный наполнитель кабельный низкотемпературный

Опыт использования гидрофобного наполнителя ЖГЗ на базе маслосодержащего каучука ФП-65-2М выявил ряд недостатков, к которым относится ограниченный диапазон ис-

пользования при положительных температурах (+5 °С...40 °С), ограниченный срок хранения, активная зависимость от воздействия влажной окружающей среды и неоптимальные условия, вязкость 25 сек, что обеспечивает прокачку на отрезках кабеля длиной 220 м до 10–12 часов.

В 2002 г. разработан новый гидрофобный кабельный наполнитель ГФЗ-К-НТ (гидрофобный наполнитель кабельный низкотемпературный).

Основные характеристики наполнителя:

- условная вязкость (тягучесть) основного компонента I, измеренного на вискозиметре ВЗ-246 с отверстием сопла 4 мм при температуре 20 °С не более 18 сек;
- условная вязкость композиции ГФЗ-К-НТ после смешивания с отвердителем должна быть не более 22 сек и 26 сек при температуре состава +20 °С и –10 °С соответственно;
- условная вязкость композиции в течение 48 часов должна быть стабильной. Допускается ее изменение не более чем на 10%;
- по истечении 25–30 суток ГФЗ-К-НТ, находясь в кабеле, должна полимеризоваться до «медообразной» консистенции с вязкостью не менее 180 сек;
- физико-механические свойства наполнителя обеспечивают полную герметизацию сердечника и совместимость с элементами конструкции кабеля;
- ГФЗ-К-НТ не изменяет физико-механические свойства при прикладываемом давлении к кабелю до 15 атм;
- ГФЗ не вытекает из сердечника кабеля при температуре до +60 °С;
- ГФЗ обладает адгезией к полиэтилену и препятствует продольному распространению воды в кабеле;
- ГФЗ обеспечивает прокачку отрезков кабеля длиной 220 м за 6 часов;
- ГФЗ инертен к влаге;
- может храниться в пластмассовой таре;
- гарантированный срок хранения 3 года.

Электрические характеристики наполнителя:

- диэлектрическая проницаемость, не более 2,8;
- удельное объемное сопротивление, не менее $2 \cdot 10^{12}$ Ом·см;
- тангенс угла диэлектрических потерь, не более $4,8 \cdot 10^{-3}$.

ГФЗ-К-НТ не содержит летучих фракций, образующихся на медных жилах в местах сращков в муфтах пленки, увеличивающих их контактное сопротивление.

Наполнитель обеспечивает восстановление изоляции жил поврежденного кабеля на линиях местной связи до величин не менее 5000 МОм·км (ОСТ 45.82-96).

В качестве отвердителя применяют резиновый клей определенной рецептуры.

Технология восстановления линии аналогична применению ЖГЗ.

Низкотемпературный гидрофобный наполнитель разработан ЛОНИИС (Ю.А. Парфенов), НИИ химии Саратовского государственного университета (В.А. Решетов) и «НПК Гидрофоб» Волгодонск (В.Н. Вознюк).

12.4. Технология восстановления и герметизации многопарных телефонных кабелей

Способ зачекки ЖГЗ в многопарные телефонные кабели при помощи специального устройства УЗК предназначен для восстановления и стабилизации электрических характери-

стик цепей поврежденных (замокших) кабельных линий связи или отдельных отрезков кабеля, извлеченных из телефонной канализации, кабельных линий, проложенных в телефонной канализации и в грунте, и для герметизации существующих или вновь построенных кабельных линий. Расход ЖГЗ для восстановления 1 км кабеля различных марок, используемых на ГТС и СТС, приведен в табл. 12.2. Работать с ЖГЗ рекомендуется при температуре окружающей среды +5...+40 °С.

Таблица 12.2. Расход ЖГЗ для восстановления 1 км кабеля

Марка кабеля (Число пар)	Километрический расход ЖГЗ, в литрах, при диаметре жил, мм			
	0,32	0,4	0,5	1,2
ТПП 10×2	8	12	15	
ТПП 20×2	12	20	45	
ТПП 30×2	20	35	55	
ТПП 50×2	35	50	80	
ТПП 100×2	50	100	125	
ТПП 200×2	120	150	200	
ТПП 300×2	180	225	300	
ТПП 400×2	220	300	400	
ТПП 600×2	300	420	560	
МКВП 1×4				15
КСПП 1×4				10
ВТСП 1×4				13

Отметим, что данные табл. 12.2 являются ориентировочными, так как кабели одной и той же марки, выпущенные в *разные* годы, в *разных* партиях и на *разных* заводах-изготовителях имеют достаточно большие разбросы геометрических размеров, что является причиной различия свободного воздушного объема в сердечниках кабелей одной и той же марки.

12.5. Восстановление замокших кабелей, проложенных в телефонной канализации

Закачка ЖГЗ в кабели, проложенные в телефонной канализации, может осуществляться на длину пролета до 120 м. В этом случае подключение УЗК к кабелю следует осуществлять в колодце, где отсутствует муфта. Максимальное избыточное давление, с которым производится закачка ЖГЗ в кабели, не должно превышать 15 атмосфер (кгс/см²). Номинальное давление, рекомендуемое для закачки кабелей ТПП, – 10 атмосфер (кгс/см²).

Если необходимо закачивать заполнитель в кабель в месте расположения муфты, ее следует укрепить посредством резиновой и полиэтиленовой лент с последующим наложением проволоочного бандажа.

Применение ЖГЗ на базе ФП-65-2М с использованием УЗК-2 повышенной производительности обеспечивает прокачку кабелей емкостью до 600 пар при давлении 10...15 кгс/см до 120 м × 2 за 8...10 часов при введении заполнителя в середину участка.

12.6. Восстановление замокших кабелей, проложенных в грунте

Закачка ЖГЗ в кабельные линии, проложенные в грунте, проводится в следующей последовательности.

Определяется трасса и участок кабельной линии, в которую должен быть закачан ЖГЗ. Затем этот участок кабельной линии размечается на отрезки длиной по 100...120 метров каждый (рис. 12.2).

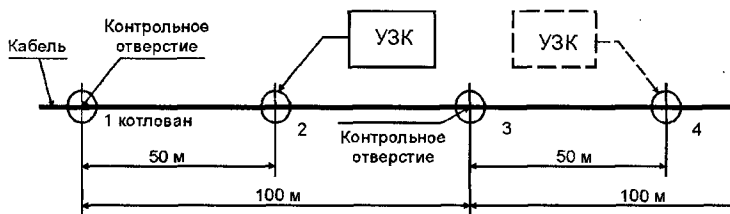


Рис. 12.2
Технологическая
схема расположения
мест заправки
заполнителя
по трассе
подземных кабелей

Выбор длины закачиваемого отрезка кабеля зависит от марки кабеля, диаметра жил, плотности набивки сердечника, типа скрутки и др. Длины этих отрезков определяются экспериментально. В точках разметки по трассе линии вырываются котлованы. В трех котлованах с помощью специального пробойника в оболочке кабеля делаются технологические отверстия. Шилом вскрываются экран и поясная изоляция кабеля. Подготовленная к работе установка для заправки ЖГЗ подключается к кабелю в первом котловане.

Закатка ЖГЗ в кабельную линию производится в обе стороны от точки подключения устройства. Контроль процесса заправки осуществляется по показаниям манометра устройства и по расходу ЖГЗ. Вытекание ЖГЗ из технологического отверстия в кабеле во втором и третьем котлованах свидетельствует об окончании заправки первого отрезка кабеля. При наличии влаги в кабеле, вытекающий из технологических отверстий ЖГЗ имеет мутно-белую окраску. Закачку необходимо продолжать до тех пор, пока цвет вытекающего ЖГЗ не станет натуральным, т.е. такого цвета как в баке установки.

Далее установка для заправки ЖГЗ подключается к кабелю в четвертом котловане. Окончание заправки второго отрезка кабеля будет отмечено вытеканием ЖГЗ из отверстия в кабеле в третьем и пятом котлованах. Затем установка для заправки подключается к кабелю в шестом котловане. При вытекании ЖГЗ из отверстия в кабеле в пятом и седьмом котлованах заправка замкнутого участка кабельной линии прекращается.

После завершения заправки участка кабельной линии жидким гидрофобным заполнителем технологические отверстия в кабеле завариваются известным на эксплуатации способом (заварка отверстий в оболочке полиэтиленом под стеклолентой), после чего котлованы засыпаются грунтом.

12.7. Герметизация кабельных муфт и прилегающих участков кабеля

Закатка ЖГЗ в соединительные муфты и примуфтовые участки кабельных линий, проложенных в телефонной канализации, производится в следующей последовательности.

Соединительные муфты кабельной линии, подлежащие герметизации с помощью ЖГЗ, должны быть исправными. Муфты, содержащие влагу, следует перемонтировать. После тщательного визуального осмотра муфты следует подварить подозрительные места корпуса муфты. И только после заварки корпусов муфт допускается закачка в них и в примуфтовые участки кабельной линии жидкого гидрофобного заполнителя.

Перед началом такой заправки ЖГЗ необходимо подготовить материал для временных бандажей муфт, а затем уже в оболочке кабеля на расстоянии 5...20 см от конуса муфты вырезается технологическое отверстие. К отверстию у муфты подключается установка для заправки ЖГЗ, и начинается закачка под постоянным контролем, т.к. зачастую скрытые дефекты заварки муфт (трещины, каверны, холодная заварка и т.д.) дают течь, что является сигналом для временного прекращения технологического процесса. Дефекты устраняются временным наложением резинового бандаж с проволоочной скруткой, после чего заправку можно продолжать. Максимальное давление заправки соединительных муфт не должно превышать 5 атмосфер (кгс/см^2). Заправку муфт и примуфтовых участков кабельных линий следует производить не менее 30...50 минут.

Введение заполнителя в кабель прекращается при достижении показания манометра установки стабильного давления.

12.8. Восстановление отрезков кабеля на ремонтной базе

Закачка ЖГЗ в отрезки кабелей, извлеченных из телефонной канализации, и герметизация строительных длин кабелей обычно проводится на ремонтных базах эксплуатационных предприятий в стационарных условиях.

При повреждениях на кабельных линиях замокшие отрезки кабелей обычно извлекают из телефонной канализации, заменяя их исправными. До настоящего времени поврежденные отрезки кабелей уничтожались, а в лучшем случае – складировались для последующей передачи на перерабатывающие предприятия.

По предлагаемой технологии отрезок замкнутого кабеля перед заправкой ЖГЗ тщательно осматриваются и при обнаружении повреждения оболочки устраняются путем заварки. Восстанавливаемый отрезок кабеля размечается на четное количество интервалов, каждый – не более 100...120 м. В каждой точке деления вырезаются технологические отверстия в оболочке кабеля, и шилом вскрываются экран и поясная изоляция.

Далее закачка ЖГЗ в замкший кабель производится аналогично изложенному выше. Первая заправка осуществляется подключением установки УЗК к первому технологическому отверстию кабеля. По окончании первой заправки установка подключается к третьему технологическому отверстию и т.д.

После окончания заправки всего отрезка кабеля, технологические отверстия завариваются. Отрезок заполненного кабеля скручивается в бухту, а в бирке, прикрепленной к бухте, отмечается марка кабеля, длина отрезка, дата заправки и фамилия исполнителя.

Строительная длина кабеля закачивается заполнителем по участкам, смотанным с барабана, подобно вышеизложенному (рис. 12.3). Заполненные участки строительной длины кабеля с заваренными технологическими отверстиями наматываются на другой барабан.

После окончания заправки строительной длины кабеля производятся измерения электрических характеристик и составляется паспорт, и герметизированный кабель может быть использован при строительстве или ремонте линий связи.



Рис. 12.3
Технологическая схема герметизации кабеля на барабанах

12.9. Монтаж соединительных муфт на герметизированном кабеле

Монтаж соединительных муфт линий из кабелей, заполненных ЖГЗ, имеет следующие особенности. При разделке концов кабеля, заполненного ЖГЗ, необходимо ветошью, смоченной керосином или дизельным топливом (соляркой), снять с жил кабеля гидрофобный наполнитель. Затем жилы кабеля протираются сухой ветошью.

Монтаж соединительных муфт из заполненных кабелей производится при помощи индивидуальных или многопарных соединителей типа СМЖ. По окончании монтажа муфты и заварки ее корпуса производится закачка ЖГЗ. Для закачки такой муфты вырезаются технологические отверстия в оболочке кабеля с одной и другой стороны муфты на расстоянии 5...20 см от конусов. К одному из них подключается устройство для закачки кабелей и начинается закачка муфты ЖГЗ. Вытекание ЖГЗ из второго отверстия свидетельствует о заполнении смонтированной муфты жидким гидрофобным наполнителем. Закачка прекращается, сделанные отверстия в оболочке кабеля завариваются.

ГЛАВА 13

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА КАБЕЛЕЙ МЕСТНОЙ СВЯЗИ

13.1. Монтаж герметизированных муфт с использованием индивидуальных соединителей, гидрофобного заполнителя и термоусаживаемых лент

13.1.1. Общие положения

С целью повышения эксплуатационной надежности кабельных линий связи, построенных на основе симметричных многопарных кабелей городской телефонной сети типа ТП, рассматривается новый метод и даются рекомендации по монтажу прямой и разветвительной муфт типа ГМ с использованием индивидуальных соединителей, гидрофобного заполнителя и термоусаживаемых лент. Предлагаемый метод может быть использован на участках кабельных линий связи, не содержащихся под избыточным воздушным давлением, либо в кабелях с гидрофобным заполнителем.

Предлагаемая технология обеспечивает выполнение требований, изложенных в «Руководстве по строительству линейных сооружений местных телефонных сетей» – Минсвязи России – АООТ «ССКТЬ-ТОМАСС», – М., 1996.

В технологическом процессе монтажа герметизированных муфт использованы компоненты отечественного и зарубежного производства, имеющие соответствующие сертификаты качества (соответствия), нашедшие широкое применение при строительстве и эксплуатации сооружений связи (табл. 13.1). Структурная схема муфты и ее элементы приведены на рис. 13.1.

Таблица 13.1. Материалы, применяемые при монтаже герметизированных муфт кабеля типа ТП

Наименование изделия	Тип изделия	Технические условия
Муфта полиэтиленовая	МПС	ТУ-45-8-86
Индивидуальные и многопарные соединители	UY-2, MS ² 4000D	Сертификат фирмы «ЗМ»
Полимеризующийся компаунд ПК: заполнитель и отвердитель (триэтиоламин)	ФП-65-2М	ТУ-6-09-2448-72
Лента с подклеивающим слоем	Севилен-118	ТУ-2245-006-00203536-96
Термоусаживающаяся лента	Радлен	ТУ-2245-006-00203536-95
Термоусаживающаяся трубка	ТУТ	ТУ-95-1613-87

Рассматриваемый метод монтажа герметизированных муфт позволяет выполнять технологические процессы при восстановлении сростка кабелей связи типа ТП емкостью до 100×2.

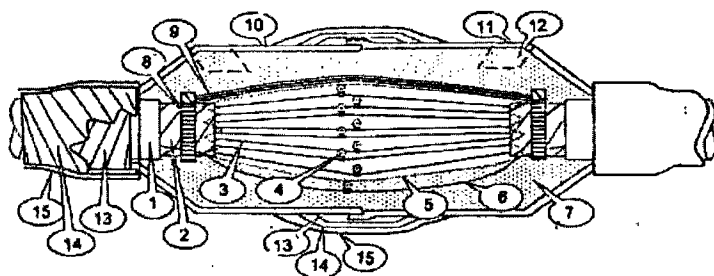


Рис. 13.1. Схема герметизированной муфты прямой (ГМП) на кабеле ТПП:

- 1 – кабель типа ТПП; 2 – экранирующая лента кабеля;
 3 – токопроводящая жила; 4 – индивидуальный соединитель UY-2;
 5 – сердечник кабеля; 6 – экранирующая проволока;
 7 – гидрофобный наполнитель; 8 – экранирующий зажим;
 9 – экранирующая шина; 10 – муфта МПС;
 11 – отверстие для заливки гидрофобного наполнителя;
 12 – пластырь из винилового материала; 13 – лента «Севиллен»;
 14 – лента «Радлен»; 15 – термоусаживаемая трубка (ТУТ)

В табл. 13.2–13.5 приводятся расход материалов при монтаже прямых и разветвительных герметизированных муфт многопарных кабелей типа ТП, трудозатраты и перечень инструментов.

Таблица 13.2. Расход материалов при монтаже прямых герметизированных муфт ГМП

Наименование материалов	Единица измерения	Емкость кабеля и тип муфты				
		10×2 МПС 7/13	20×2 МПС 13/20	30×2 МПС 13/20	50×2 МПС 20/27	100×2 МПС 20/27
Муфта полиэтиленовая МПС	шт.	1	1	1	1	1
Индивидуальный или многопарный соединитель:						
вариант UY-2	шт.	22	42	62	104	208
вариант MS ² 4000D	шт.	—	—	—	—	4
Гидрофобный компаунд:						
заполнитель	г.	250	350	350	500	500
отвердитель	г.	2,5	3,5	3,5	5,0	5,0
Термоусаживаемые трубки:						
d = 20/10	шт.	2				
d = 30/15	шт.	—	2	2	—	
d = 40/20	шт.				2	2
d ≤ 60/30	шт.	1	1	1		
d = 80/40	шт.	—	—	—	1	1
Экранирующая перемычка комбинированная с зажимами	шт.	1	1	1	1	1
Отрезки ленты VM (0,19×0,1) м	шт.	2	2	2	2	2
Наждачная лента	шт.	1	1	1	1	1
Структурная лента Armocast	рул.	—	—	—	—	2

Таблица 13.3. Расход материалов при монтаже разветвительных герметизированных муфт ГМР

Наименование материалов	Един. измер.	Емкость кабеля и тип муфты			
		20×2 (10+10) 2МГР 13/20	30×2 (10+20) 2МГР 13/20	50×2 (10+30) 2МГР 13/20	100×2 (30+20+50) 2МГР 13/20
Муфта полиэтиленовая МПР	шт.	1	1	1	1
Индивидуальный или многопарный соединитель:					
вариант UY-2	шт.	42	62	104	208
вариант MS ² 4000D	шт.	—	—	—	4
Гидрофобный компаунд:					
заполнитель	г.	350	350	350	500
отвердитель	г.	3,5	3,5	3,5	5,0
Термоусаживаемые трубки:					
d = 30/15	шт.	2	2	2	2
d = 40/20	шт.	1	1	1	1
d = 60/30	шт.	1	1	1	
d = 80/40	шт.				1
Экранная перемычка комбинированная с зажимами	шт.	1	1	1	1
Структурная лента Armoncast	рул.	—	—	—	2

Таблица 13.4. Трудозатраты на монтаж прямой герметизированной муфты ГМР кабеля емкостью 100×2 индивидуальными соединителями UY-2

Виды работ	Время работы, мин.
Очистить ветошью смежные, подлежащие монтажу концы кабеля от загрязнения	2
Надвинуть на смежные концы кабелей отрезки термоусаживаемых трубок ТУТ 40/20 (2 шт.) и ТУТ 80/40	1
Надвинуть на смежные концы кабеля полумуфты	1
Надвинуть на смежные концы кабеля зажимы экранной шины	1
Одновременное удаление полиэтиленовой оболочки и экранной ленты кабеля	4
Дополнительное удаление на смежных концах кабеля по 15 мм полиэтиленовой оболочки без нарушения слоя экранной ленты	3
Закрепление на участках экранной ленты экранных зажимов и временной экранной ленты	
Разборка сердечника кабеля по пучкам (повивам)	10
Прозвонка цепей кабеля по пучкам (повивам)	
Монтаж всех токопроводящих жил сердечника кабеля соединителями UY-2	
Замена рабочей экранной шины постоянно действующей экранной шиной	2
Стыковка полумуфт и зачистка участков стыка наждачной бумагой	5
Обмотка стыков полумуфт лентой «Севилен»	5
Обмотка стыков полумуфт лентой «Радлен»	5
Воздействие пламенем газовой горелки (паяльной лампы) на слой лент {Радлен-Севилен}	20
Устройство дыроколом двух отверстий в полумуфтах	2
Вскрытие металлической и стеклянной упаковок, содержащих компоненты гидрофобного заполнителя	3
Смешивание компонентов гидрофобного заполнителя	5

Окончания таблицы 13.4

Виды работ	Время работы, мин.
Впрыскивание медицинским шприцом жидкого гидрофобного заполнителя в отверстие полумуфты	15
Очистка ветошью поверхности полумуфты от возможного загрязнения и зачистка наждачной бумагой прилегающей к отверстиям поверхности	4
Укладка изъятых из дырокола полиэтиленовых пыжей в отверстия полумуфты	1
Укладка на отверстия пластыря из двух отрезков виниловой ленты УМ	3
Насадка и осадка пламенем трех термоусаживаемых трубок	12
Укладка и закрепление восстановленного кабеля на консолях	10
Уборка рабочего места	10

Таблица 13.5. Инструменты, приспособления и инвентарь

Наименование	Ед. измер.	Количество
Горелка газовая или паяльная лампа ЛП-0,5	шт.	1
Кусачки боковые	шт.	2
Отвертка	шт.	1
Нож кабельный	шт.	2
Метр складной	шт.	1
Отвертка	шт.	1
Пресс-клещи Е-9У	шт.	2
Ключ для вскрытия продуктов, консервированных в металлической таре	шт.	1
Дырокол для устройства отверстия в полиэтиленовой муфте	шт.	1
Шприц медицинский 150 ml	шт.	1

13.1.2. Порядок выполнения работ по монтажу герметизированных муфт

1. Подготовка концов кабеля к монтажу

1.1. Монтаж герметизированной муфты выполняется в соответствии с требованиями раздела II «Монтаж электрических кабелей местных телефонных сетей», изложенными в «Руководстве по строительству линейных сооружений местных сетей связи» Минсвязи России, АООТ «ССКТБ-ТОМАСС», М., 1996 г., часть 1 (в дальнейшем «Руководство»).

1.2. Работы, выполняемые по монтажу герметизированной муфты, должны проводиться в соответствии с требованиями «Правил по охране труда при работах на кабельных линиях связи и проводного вещания («радиофикации»)» ПОТ РО-45-005-95, М., 1995 г.

1.3. В зависимости от условий и места монтажа выложить смежные сращиваемые концы кабеля по форме кабельного колодца связи (котлована) и закрепить.

1.4. Надвинуть на смежные концы кабелей отрезки термоусаживаемых трубок (ТУТ) в зависимости от марки и конструкции монтируемой муфты (рис. 13.2).

1.5. Надвинуть на смежные концы кабелей элементы полиэтиленовой муфты (рис. 13.3).



Рис. 13.2. Отрезки термоусаживаемых трубок

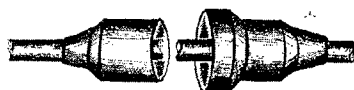


Рис. 13.3. Элементы полиэтиленовой муфты

1.6. Надвинуть на смежные концы кабеля зажимы экранной шины (рис. 13.4).

1.7. Удалить полиэтиленовую оболочку и экранную алюминиевую ленту со смежных концов кабеля, соблюдая обозначенные на рис. 13.5 габариты освобождаемого от оболочки участка сердечника (L) и экранной ленты (табл. 13.6.).



Рис. 13.4. Зажимы экранной шины

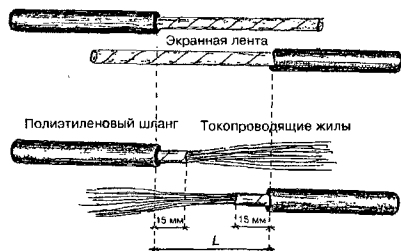


Рис. 13.5. Габариты участка сердечника и ленты

Таблица 13.6

Габариты участка
сердечника и ленты

Габариты	10×2	20×2	30×2	50×2	100×2
L, мм	240	285	300	330	415
	140	185	200	230	315

1.8. Надвинуть зажимы на оголенные участки экранной алюминиевой ленты и, используя отвертку, закрепить совместно с временной рабочей шиной (рис. 13.6).

Примечание: Временная рабочая шина не входит в комплект набора герметизированной муфты и поставляется заказчику отдельно.

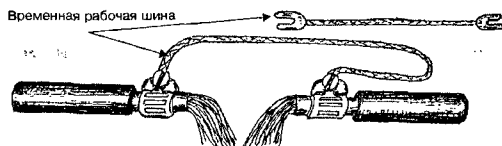


Рис. 13.6. Смонтированные концы кабеля

1.9. Концы оголенной экранной проволоки сращиваемых отрезков кабеля сохранить.

1.10. Сердечники смежных отрезков кабелей, подлежащих монтажу, разобрать по пучкам или повивам; осуществить прозвонку цепей, подготовив процесс организации сростка по технологии, изложенной в «Руководстве», п.п. 11.36–11.42.

2. Сращивание токопроводящих жил одножильными соединителями UY-2

В соответствии с рекомендациями «Руководства» «...для обеспечения высокого качества сростка при монтаже кабелей малой емкости, рекомендуется применять одножильные соединители, например, типа UY-2 «Скотчлок». Соединитель UY-2 предназначен для соединения медных жил диаметром 0,4...0,9 мм с бумажной и полиэтиленовой изоляцией без предварительной их зачистки, при этом максимальный диаметр жилы в изоляции должен быть не более 2,08 мм. Корпус соединителя заполнен гидрофобной массой, предотвращающей воздействие влаги на место соединения проводников.

Соединитель позволяет сращивать проводники с различными диаметрами жил и типами изоляции. Их рекомендуется использовать для монтажа кабелей малой емкости (до 100×2) и для сращивания запасных жил в кабелях большой емкости.

Монтаж кабелей с использованием одножильного соединителя осуществляется при помощи пресс-клещей (Е-9У), откусывающих и запрессовывающих проводники.

2.1. Из отобранных пучков (повивов) отобрать соответствующие пары (четверки) и скрутить между собой в 2–3 оборота с натяжением, отступив от среза оболочки на 40 мм (рис. 13.8).

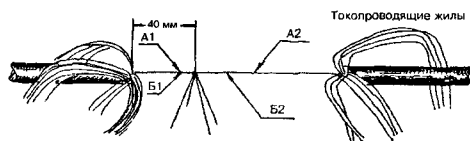
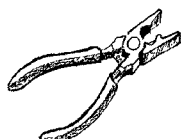


Рис. 13.7. Соединитель UY-2 и пресс-клещи E-9Y

Рис. 13.8.

2.2. Из скрученных пар изолированных жил отобрать одноименные «а–а» (рис. 13.9)

2.3. Повернув соединитель прозрачной стороной к себе, ввести в него подготовленные одноименные жилы «а–а» или «б–б» до упора в заднюю стенку соединителя и спрессовать пресс-клещами E-9Y.

2.4. Места соединения последующих пар расположить через каждые 30 мм на всей оставшейся длине рабочей зоны. Оставшиеся пары монтировать против мест соединения пар первого ряда (рис. 13.10).

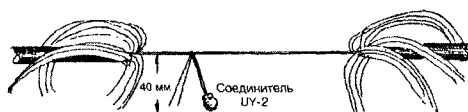


Рис. 13.9

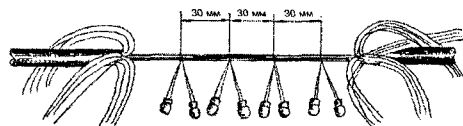


Рис. 13.10

2.5. Смонтировав первый пучок жил, слегка руками сожмите его сердцевину. Аналогично монтируйте сросток всего сердечника кабеля.

2.6. Группы смонтированных соединителей равномерно распределите по окружности сростка веером, начиная с первой, и уложите так, чтобы соединители лежали в один слой, а диаметр сростка был по всей его длине одинаковым и компактным (рис. 13.11).

2.7. Снимите временную рабочую шину и на ее место восстановите, крепко закрепив в зажиме, постоянно действующую, изъятую из комплекта рабочую экранную шину (рис. 13.12).



Рис. 13.11. Крепление рабочей экранной шины под экранную ленту

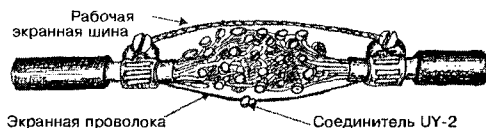


Рис. 13.12. Крепление рабочей экранной шины к зажимам

2.8. На полученный сросток надвинуть полумуфты.

3. Герметизация сростка

3.1. Места стыков кабеля и полумуфт протереть ветошью и тщательно, на 20...40 мм. от кромки стыка в обе стороны по всей окружности, зачистить поверхность кабеля и муфты наждачной бумагой (рис. 13.13).

3.2. На обработанный наждачной бумагой и очищенный ветошью участок стыка 20...40 мм кругами, с перекрытием в 50%, в один слой наложить подклеивающую ленту «Севипен» (рис 13.14).

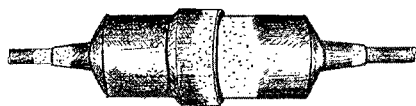


Рис. 13.13

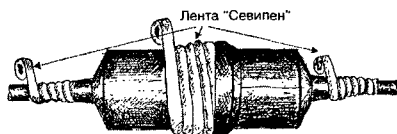


Рис. 13.14

3.3. Поверх ленты «Севипен» аналогично, но в противоположную сторону, витками с 50% перекрытием, в один слой наложить термоусаживаемую ленту «Радлен» (рис. 13.15).

3.4. Пламенем газовой горелки (паяльной лампы) воздействовать на витки термоусаживаемой ленты «Радлен», доводя стыки в поверхность равномерного однородного слоя (рис. 13.16).

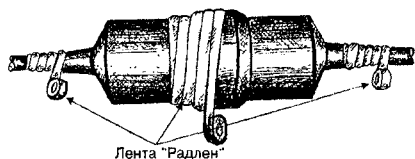


Рис. 13.15

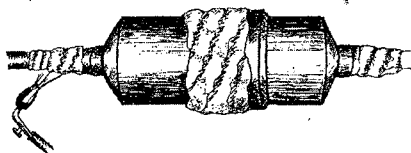


Рис. 13.16

3.5. Металлической трубкой-дыроколом на расстоянии 50...70 мм от центрального стыка полумуфт в их верхней части сферы выполнить два сквозных отверстия дыроколом (просечкой) (рис. 13.17).

3.6. Вскрыть металлическую и стеклянную емкости, содержащие соответственно компоненты полимеризующего компаунда (ПК): наполнитель и отвердитель (рис. 13.18).

3.7. Перелить содержимое стеклянного сосуда (отвердитель) в металлическую емкость (наполнитель) и тщательно перемешать компоненты деревянной палочкой до однородного потемнения состава жидкости.

3.8. Извлечь из упаковки медицинский шприц и заполнить его объем темной жидкой массой, полученной в металлической емкости (гидрофобным наполнителем) (рис. 13.19).

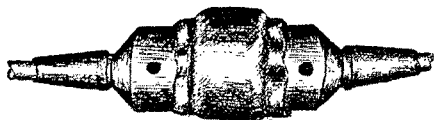


Рис. 13.17



Заполнитель



Отвердитель

Рис. 13.18



Рис. 13.19

3.9. Ввести наконечник шприца в одно из выполненных отверстий полиэтиленовой муфты и, медленно впрыскивая содержимое, освободить шприц (рис. 13.20).

3.10. При необходимости, повторяя операции, заполнить объем полиэтиленовой муфты массой гидрофобного наполнителя. Появление массы гидрофобного наполнителя из смежного отверстия указывает о завершении данной операции.

В зависимости от емкости кабеля и марки полиэтиленовой муфты комплект герметизированной муфты (ГМ) может содержать несколько пар емкостей отвердителя и закрепителя.

Внимание: Впрыскивание содержимого шприца производите медленно, позволяя массе заполнять пространство между индивидуальными соединителями сростка.

3.11. Выждав несколько минут, убедиться в полном заполнении муфты гидрофобным заполнителем и тщательно протереть ветошью поверхность муфты от возможного загрязнения. Прилегающий к отверстиям район в радиусе 1,5...2,0 см тщательно зачистить наждачной бумагой и протереть ветошью.

3.12. В ранее выполненные отверстия в муфте вставить извлеченные из дырокола полиэтиленовые пыжи, поверх которых наложить пластырь из прилагаемых отрезков виниловой ленты VM (рис. 13.21).

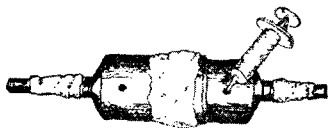


Рис. 13.20



Рис. 13.21

3.13. Большое и малые кольца термоусаживаемых трубок надвинуть на герметизированные лентами «Севилен» и «Радлен» стыки полиэтиленовой муфты (рис. 13.22)

3.14. Пламенем газовой горелки (паяльной лампы) осадить термоусаживаемые трубки (рис. 13.23).



Рис. 13.22

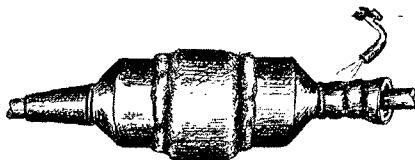


Рис. 13.23

3.15. Готовую герметизированную муфту уложить на дно котлована или на консоли кабельного колодца связи.

13.2. Технология герметизации муфт линий местной связи из кабелей с полиэтиленовой изоляцией жил и оболочкой

13.2.1. Общие положения

Монтаж многопарных кабелей электросвязи осуществляется в соответствии с «Руководством по строительству линейных сооружений местных сетей связи», разработанных АО «СКТБ-ТОМАСС», М., 1995 г. Руководство регламентирует монтаж кабелей:

- городских телефонных типа Т с воздушно-бумажной изоляцией жил в свинцовой, алюминиевой и стальной гофрированной оболочках;

- городских телефонных типа ТП с полиэтиленовой изоляцией жил в полиэтиленовой оболочке;
- кабелей сельской связи типа КСПП, ПРППМ (ПРВПМ).

Руководство, в основном, рассчитано на применение отечественных технологий монтажа с применением отдельных элементов конструкций муфт иностранных фирм. Однако, в последнее время появились ряд элементов и технологий (например компании ЗМ), направленных на повышение надежности муфт.

В статье А.С. Брискера и С.А. Попова «*Новые технологии монтажа и ремонта кабелей ГТС*» (ВС, 1996, № 11) приведено описание компрессионного метода герметизации срезка, предлагаемого компанией ЗМ.

В статье В.С. Прудинского и А.Т. Шевченко «*Монтаж кабелей с гидрофобным заполнением*» сделан анализ существующих элементов конструкций и технологий (табл. 13.7) и предложен способ герметизации муфт кабелей с гидрофобным заполнением, предусматривающий заливку сердечника самотеком геля фирмы ЗМ марки 4442 через отверстия отечественных муфт типа МПС (МНР). Однако, как утверждают авторы, нет стопроцентной гарантии заполнения гелем всех пустот срезка.

Не посягая на основные принципы монтажа кабелей местной связи, в настоящей работе приводится новая технология и оборудование для герметизации муфт с применением отечественных материалов.

Предлагаемая технология обеспечивает полную герметизацию внутреннего пространства смонтированной муфты из кабелей типа ТПП и кабелей с гидрофобным заполнением ТПЭпЗП.

Герметизация муфт осуществляется с применением специально разработанного ЛОНИИС, ООО «ФОРКОМ» и «НПК ГИДРОФОБ» полимеризующегося компаунда для заливки в муфты многопарных кабелей с полиэтиленовой изоляцией жил и оболочкой.

Введение в сердечник компаунда осуществляется с применением разработанного ЛОНИИС «*Устройства герметизации муфт*» (УГМ).

13.2.2. Технология герметизации муфт многопарных кабелей с полиэтиленовой изоляцией жил и оболочкой

Монтаж жил, сердечника многопарных кабелей типа ТПП и его оболочки должен осуществляться в соответствии с «*Руководством по строительству линейных сооружений местных сетей связи*», ССКТЬ-ТОМАСС, М., 1995 г.

Предлагаемая в настоящей работе технология предусматривает решение проблемы полной герметизации смонтированной муфты.

Отличительной чертой метода является введение в сердечник смонтированной муфты герметизирующего состава (*компаунда*) под давлением, обеспечивающим полное заполнение всех пустот между жилами и оболочкой.

Основные положения герметизации муфт

1. Технология герметизации муфт распространяется на монтаж линий из кабелей ТПП с полиэтиленовой изоляцией жил и полиэтиленовой или поливинилхлоридной оболочкой и кабелей с гидрофобным наполнителем ТПЭпЗ.

2. В качестве герметизирующего состава применяется быстрополимеризующийся гидрофобный наполнитель, – компаунд-композиция из маслонаполненного каучука ФП-65-2М (ТУ 38.03.1.016-90) и отвердителя триэтанолamina (ТУ 6-09-2418-72).

Таблица 13.7. Методы монтажа муфт с использованием новых технологий и материалов

Емкость и тип кабеля	Содержание под избыточным давлением	Тип соединителя для сращивания жил с ростка	Метод восстановления оболочки и герметизации муфты	Примечание
От 10 до 30 пар без гидрофобного заполнителя	Не содержится	UY-2	Муфты МПС (МПР). Стыки герметизируются лентой ПВХ. Гель 4442 не заливается	При прокладке кабеля по стенам внутри здания
От 10 до 30 пар без гидрофобного заполнителя	Не содержится	UY-2	Муфты МПС (МПР). Стыки герметизируются термоусаживаемой трубкой или лентой ПЭТ под стеклотенту. Гель 4442 не заливается	При прокладке кабеля по подвалам и по наружным стенам зданий
От 50 до 100 пар без гидрофобного заполнителя	Не содержится	UY-2 или СМЖ-10	Муфты МПС (МПР). Стыки герметизируются лентами VM, 88T и структурным материалом ARMORCAST Гель 4442 не заливается	
От 100 пар и выше без гидрофобного заполнителя	Содержится	Модуль MS ² с капсулой 4075-S или СМЖ-10	Муфты МПС (МПР). Стыки герметизируются лентами VM, 88T и структурным материалом ARMORCAST Гель 4442 не заливается	
От 10 до 30 пар с гидрофобным заполнителем	Не содержится	UY-2	Муфты МПС (МПР). Стыки герметизируются лентой 88T. Гель 4442 не заливается	При прокладке кабеля по подвалам
От 50 до 100 пар с гидрофобным заполнителем	Не содержится	UY-2 или СМЖ-10	Муфты МПС (МПР). Стыки герметизируются лентами VM, 88T и структурным материалом ARMORCAST Гель 4442 не заливается	
От 100 пар и выше с гидрофобным заполнителем	Не содержится	1. Модуль MS ² с капсулой 4075-S 2. Модуль MS ² или СМЖ-10	1. Муфты МПС (МПР). Стыки герметизируются лентами VM, 88T и структурным материалом ARMORCAST. Гель 4442 не заливается 2. Обмотка с ростка объемной сеткой (Spracc Web). Гель 4442 заливается самотеком в муфту МПС (МПР) через отверстие в муфте. Стыки герметизируются лентами VM, 88T и структурным материалом ARMORCAST	
Примечания: 1. Прокладка по стенам кабелей от 10 до 30 пар с гидрофобным заполнителем (п. 5) не применяется. 2. Для очистки изоляции жил от гидрофобного заполнителя (пп. 5–7) используется ветошь, смоченная гелем 4413.				

3. Условная вязкость полимеризующегося компаунда, вводимого в муфту, должна быть не более 180 сек, время полимеризации – не более 36 часов.

4. После полимеризации герметизирующаяся масса должна достигать консистенции густого меда. Допускается получение сплошной жидкой липкой каучукоподобной массы.

5. При демонтаже муфт удаление компаунда осуществляется механически, путем снятия заполнителя ветошью.

6. Введение герметизирующего состава в сердечник муфты осуществляется с помощью «Устройства герметизации муфт» (УГМ), представляющего ручной шприц-пресс [5] в составе: устройства герметизации муфт, камеры для заполнителя, штока с поршнем, впускного клапана, выпускного клапана, манометра контроля выходного давления заполнителя в штуцере подключения, узла подключения устройства к муфте (кабелю) со шлангом, шланга.

В комплект оборудования по герметизации муфт входят [3–5]: устройство герметизации муфт УГМ, стойка для крепления УГМ, инструмент для подготовки технологических отверстий в корпусе муфт и оболочке кабеля, емкость для приготовления гидрофобного заполнителя (компаунда).

Технические характеристики УГМ:

- емкость камеры для заполнителя – 0,5 л;
- допустимое давление на входе в муфту – 5 кгс/см² (атм);
- длина шланга подключения – 2 м;
- габариты УГМ – 15×100×270 мм;
- масса устройства – 3 кг.

Технологический регламент герметизации муфт

Подготовительные работы

1. Монтаж муфты должен осуществляться в соответствии с «Руководством по строительству сооружений местных сетей связи» (М., 1995 г.) с учетом дополнений по монтажу сердечника, учитывающих условия полного его заполнения.

2. Распущенный пучок смонтированного сердечника («фонарик») обматывается синтетической лентой спиралью со слабым натяжением с пробелами (8...10 мм). Спираль закрепляется синтетической ниткой.

3. Восстанавливается экранная проволока, устанавливается экранная перемычка. Экран в кабелях ТПП наматывается на сердечник со слабым натяжением и закрепляется синтетической лентой.

Такая технология обеспечит проникновение гидрофобной массы в сердечник смонтированной муфты.

Подготовка УГМ к работе

1. Закрепить УГМ на стойке и опустить поршень в крайнее нижнее положение, вращая ручку штока по часовой стрелке.

2. Изготовить гидрофобный заполнитель (компаунд) путем смешивания основного компонента и отвердителя в необходимых пропорциях в специальной емкости (бутылке с пробкой), взбалтывая в течение 3...5 минут.

3. Установить емкость (бутылку) на стойку и опустить в нее впускной шланг.

4. Заполнить камеру УГМ компаундом, вращая ручку штока против часовой стрелки, поднимая его, привести поршень в крайнее верхнее положение. При этом за счет разрежения, создаваемого в камере, осуществляется перекачка заполнителя из бутылки в камеру устройства.

5. Сделать технологические отверстия диаметром 4 мм в герметизируемой муфте, используя пробойник № 1.

6. Изготовить пробки диаметром 5 мм из обрезков оболочки кабеля, используя пробойник № 2.

7. Для кабелей типа ТПП прорезаются два отверстия в оболочке кабеля на расстоянии 2 см от завариваемых концов муфты и третье контрольное в верхней части корпуса муфты ближе к дальнему от места закачки концу.

Для кабелей типа ТППЭпЗ (с гидрофобным заполнением) прорезаются пробойником два отверстия по концам цилиндрической части корпуса муфты. Третье контрольное отверстие делается в верхней части муфты на равном расстоянии от концов.

8. К одному из крайних отверстий присоединяется подключающее устройство.

Герметизация муфт

1. Введение заполнителя в муфту осуществляется за счет перемещения поршня, путем вращения ручки по часовой стрелке. Давление, под которым заполнитель поступает в муфту, контролируется манометром и не должно превышать 5 кгс/см^2 (атм).

2. В кабелях типа ТПП герметизируется как внутренняя полость муфты, так и участки кабеля, прилегающие к ней. Процесс полного заполнения муфты контролируется по вытеканию заполнителя из отверстия в оболочке кабеля и отверстия в середине цилиндрической части муфты. После появления заполнителя из отверстия в верхней части корпуса муфты в отверстие вставить пробку, приготовленную заранее, с последующей обмоткой липкой полиэтиленовой или поливинилхлоридной лентой. После этого продолжить закачку до появления заполнителя в отверстии в оболочке кабеля.

3. При большом объеме внутренней полости муфты (более 0,5 л) процесс введения заполнителя повторяется.

4. По окончании заполнения муфты снимается подключающее устройство, а отверстия закрывают пробками с закреплением их липкой ПВХ лентой или сваркой с оболочкой.

5. По завершении работ необходимо промыть УГМ чистым дизельным топливом, залитым в чистую емкость (бутылку), аналогично процессу всасывания и выпуска заполнителя. Процесс повторить 2–3 раза. После промывки корпус УГМ перевернуть манометром вверх для очистки его полости и оставить в этом положении.

Заключение

Предлагаемая технология значительно упрощает элемент герметизации муфт, предложенный компанией ЗМ, и обеспечивает их полную герметизацию. Технология применима в эксплуатации при ремонте линий без перерыва связи.

13.3. Монтаж малопарных кабелей местной связи с применением полимеризирующихся компаундов и тупиковых муфт

Настоящие рекомендации распространяются на телефонные кабели местной связи с пластмассовой оболочкой и изоляцией жил.

Монтаж кабелей с применением полимеризирующегося компаунда (ПК), отличается от широко распространённого метода монтажа кабелей с применением битумного компаунда («Инструкция по монтажу кабелей битумными компаундами на линиях СТС», М., Связь, 1977 и «Руководство по эксплуатации линейно-кабельных сооружений СТС», Санкт-Петербург, ЛОНИИС, 1993) тем, что ПК не требует разогрева, а для приготовления его необходимо смешение двух компонентов: заливочной массы и отвердителя.

Рекомендуемый способ монтажа прост в применении и не требует длительного обучения кабельщиков-спайщиков. Он может быть использован строительными и эксплуатационными предприятиями связи.

С использованием полимеризующегося компаунда (ПК) допускается монтировать на линиях местной телефонной связи однопарные, одночетверочные и малопарные кабели, имеющие пластмассовые оболочки и изоляцию жил, перечисленные в табл. 13.8.

Таблица 13.8. Марки кабелей, монтируемых ПК

Тип муфты	Тип кабелей	Марки кабелей
МТК-1	Однопарные	ПРППМ, ПРВПМ, ПТПЖ, ПТВЖ, МРМВ, МРМП, МРППБ, МРМПЭ, МРМПЭБ
	Одночетверочные	КСПД, КСПБ, КСПС, КСПБС, КСПЗ, КСПЗБ, ВТСП
	Малопарные, емкостью не более 20 пар	ТПП, ТППВ, ТППБ, ТПЭЗ, ТПЭЗБ, ТППЗБ, ТПВ, ТПВБ, ТППС
МТК-2	Малопарные, емкостью 30 и 50 пар	ТПП, ТППВ, ТППБ, ТПЭЗ, ТПЭЗБ, ТППЗБ, ТПВ, ТПВБ, ТППС, КТПЗШ _п
	Одночетверочные	ЗКП

Указанным методом допускается монтировать кабели как с однородными, так и с разнородными материалами оболочек.

Конструктивно тупиковая муфта (рис. 13.24) состоит из корпуса, служащего для размещения, защиты и заливки ПК, срезки кабелей и крышки, предохраняющей от попадания в муфту грунта и т.п. Крышка закрепляется на корпусе с помощью замка-фиксатора.

Полимеризующийся компаунд получается в результате смешения двух компонентов: *заливочной массы*, изготовленной с использованием маслonaполненного каучука ФП65-2М (ТУ 38.03.1.016-90) и *отвердителя*. Заливочная масса поставляется в герметично закрытой таре, исключающей попадание влаги.

Муфты, смонтированные с применением ПК, должны эксплуатироваться в вертикальном положении.

13.4. Технология монтажа и демонтажа муфт

Монтаж тупиковой муфты осуществляется в следующей последовательности:

1. Патрубки крышки срезаются в соответствии с диаметром монтируемого кабеля.
2. Концы монтируемых кабелей вставляются в патрубки крышки.
3. Сращивание жил кабелей выполняют либо скруткой с пропайкой, либо при помощи индивидуальных соединителей сжимаемого типа UDW и UY-2.

Размеры разделки кабелей при ручной скрутке (мм) приведены на рис. 13.25: а) однопарных; б) одночетверочных; в) малопарных.

При ручной скрутке пропаянные жилы изолируют тупиковой заполненной компаундом гильзой (трубкой) из полиэтилена. При сращивании жил при помощи индивидуальных соединителей сжимаемого типа требуются специальные ручные пресс-клещи Е-9ВМ и Е-9У.

4. После окончания монтажа срезка кабелей муфту прикладывают к срезку кабелей и определяют уровень, на который он будет погружен в муфту, с таким расчетом, чтобы конец срезки не доходил бы до дна муфты на 10...15 мм. Кабели на этом уровне обматывают липкой поливинилхлоридной (ПВХ) лентой.

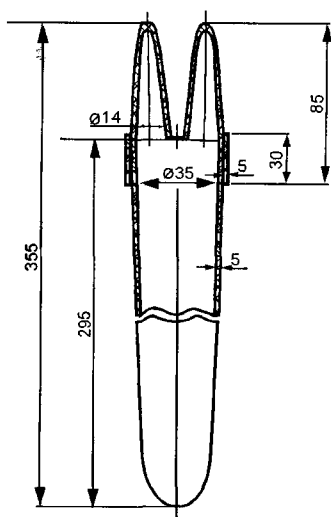


Рис. 13.24. Тупиковая муфта

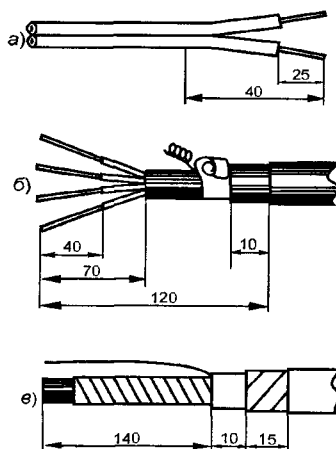


Рис. 13.25. Размеры разделки кабелей

5. Сдвигают крышку к сrostку до упора и со стороны патрубков крышки обматывают кабели лентой ПВХ. В итоге получается так, что крышка зафиксирована с двух сторон обмотками из ПВХ.

6. Для приготовления одной порции ПК (для монтажа одной муфты) необходимо в чистую, сухую емкость налить 300 мл заливочной массы для муфты МТК-1 или 600 мл для муфты МТК-2, отвердитель во флаконе взболтать и добавить в массу. В течение 1-2 минут содержимое емкости *тщательно перемешивают*. С этого момента начинается полимеризация ПК, которая длится до 36 часов. Приготовленный ПК необходимо использовать в течение 30 минут. Приготовление и заливка ПК должны производиться при температуре не ниже +5 °С. При более низкой температуре необходим подогрев компаунда горячей водой, в которой размещают емкости с компонентами ПК и производят их перемешивание перед заливкой в муфту.

7. Приготовленный ПК заливается в муфту.

8. Смонтированный сrostок кабелей вводят в муфту с ПК до крышки, надвигают крышку на фланец корпуса муфты и поворачивают по часовой стрелке до упора. На этом монтаж муфты заканчивается. Полное заполнение внутреннего пространства муфты определяется по вытеканию ПК из зазоров между корпусом муфты, кабелями и крышкой.

9. Муфту вертикально устанавливают в котловане. Для этого в дне котлована лопатой делают углубление на 3/4 длины муфты. Муфту вставляют в углубление, а запас кабелей выкладывают кольцами. Затем котлован засыпают обычным порядком. В колодцах телефонной канализации муфту вставляют в проволочный подвес или трубчатый кронштейн, которые вертикально закреплены на конструкциях колодца.

Контроль качества смонтированных линий

После монтажа кабелей производят контрольные измерения смонтированных линий (или участков линий). Вновь построенные или капитально отремонтированные линии должны иметь электрические характеристики, приведённые в табл. 13.9.

Таблица 13.9

Нормируемые значения
сопротивления изоляции
кабельных линий после монтажа

Марка кабеля	Сопротивление изоляции, МОм, не менее
ПТИЖ	45
ПРППМ	75
КСПП	10000
ТПП	5000

Электрические характеристики ПК соответствуют требованиям, предъявляемым к диэлектрическим материалам в кабельной промышленности и составляют:

- диэлектрическая проницаемость – 2,8;
- удельное объемное сопротивление – 1×10^{12} Ом·см;
- тангенс угла диэлектрических потерь – 1×10^{-4} при частоте 100 кГц.

Демонтаж муфт

Демонтаж муфт на линии может быть осуществлён путём извлечения срезка кабелей из корпуса и механического удаления ПК с последующей промывкой внутренней поверхности муфты дизельным топливом. После промывки муфту можно использовать для монтажа повторно.

Меры предосторожности

1. Полимеризирующиеся компаунды в соответствии с ГОСТ 12.1.007-76 относятся к малоопасным продуктам.
2. При работе с ПК необходимо соблюдать правила работы с минеральными маслами и правила личной гигиены. Работы рекомендуется производить в защитных перчатках и спецодежде.
3. ПК не взрывоопасен, самопроизвольно не воспламеняется, горит при внесении в источник огня.
4. Отвердитель обладает щелочными свойствами. При попадании отвердителя на кожу или в глаза пораженные места необходимо промыть обильным количеством воды.

Глава 14

ИСТОРИЧЕСКИЙ ЭКСКУРС

В 2002 г. издательство «Радио и связь» выпустило книгу «Кабельные линии связи. История развития в очерках и воспоминаниях». В книге излагаются события, связанные с созданием конструкций кабелей, их производством, строительством и эксплуатацией, начиная с 1945 г. Это целая эпоха! Очерки знакомят читателей с техническими решениями, результатами научных исследований и, самое главное, с людьми, вложившими свой труд в создание сетей связи страны.

Автор настоящей книги предлагает читателям несколько раздвинуть временные рамки развития науки и техники связи и напомнить о более раннем периоде. Это связано с тем, что в ноябре 2003 г. исполняется 85 лет со дня официального создания первой научно-исследовательской организации страны в области связи, на базе которой возникли ЛОНИИС и ЦНИИС.

14.1. Откуда есть и пошла наука связистская

16 ноября 1918 г. приказом № 286 Наркома почт и телеграфов Подбельского В.Н. на базе Измерительной лаборатории при Петербургской главной конторе организована Научно-исследовательская станция (НИСТЕЛ), возглавить которую было поручено профессору П.А. Азбукину. При участии НИСТЕЛ разработана первая отечественная трансляционная станция, которая в 1924 г. была установлена на телефонной линии Октябрьской железной дороги Ленинград – Москва.

В 1922 г. в составе НИСТЕЛ была организована радиотехническая ячейка и, таким образом, были охвачены все существовавшие тогда отрасли электросвязи: телеграф, телефон и радио. Одной из важных работ в области радио являлась разработка метода массового испытания усилительных ламп, который позволил наладить их промышленный выпуск. Работы по уплотнению линий связи были реализованы в 1926 году на линии Ленинград – Москва.

Другим важным направлением являлись вопросы опасных и мешающих влияний на средства электросвязи от посторонних источников, а также воздействия одних установок связи на другие. Первые опыты проводились на линии электропередачи 20 кВ на участке Ленинград – Детское село (1924 г.), а затем на линии 110 кВ Волхов – Ленинград.

Весьма важным направлением деятельности НИСТЕЛ являлись работы по исследованию новых конструкций кабелей связи (телеграфно-телефонных и телефонных).

В январе 1928 г. была образована ЦЛС (Центральная лаборатория связи НКПТ), куда вошел и НИСТЕЛ. В 1932 г. ЦЛС преобразована в Научно-исследовательский институт связи с отделениями в Ленинграде и Харькове. Ленинградское отделение получило наименование ЛОНИИС. В те годы в ЛОНИИС совместно с заводом «Красная Заря» были проведены работы по высокочастотному уплотнению кабельных и воздушных линий связи, по замене медных цепей стальными и ряд других работ.

После 1938 г. крупная работа – разработка системы декадно-шаговых (ДШ) АТС для освоения отечественной промышленностью взамен выпускавшихся машинных станций. Окончанию этой работы помешала война.

В первые месяцы ВОВ большая часть сотрудников ЛОНИИС ушла на фронт (в действующую армию, в народное ополчение, в специальные батальоны связи и в органы связи крупных военных соединений), но институт продолжал функционировать. По приказам батальонов связи в этот период конструировалось и изготавливалось необходимое для их работы оборудование (генераторы, усилители и т. п.).

Враг приближался к Ленинграду. В августе 1942 г. деятельность ЛОНИИС была официально прекращена. Его имущество было передано Специальному объекту № 7, главной задачей которого было обеспечение радиосвязи Ленинграда с некоторыми городами страны (Москва, Новосибирск и др.).

Важной задачей Объекта № 7 являлась организация эфирной трансляции для Ленинграда и Ленинградского фронта передач вещательных радиостанций Москвы, поскольку линии проводного вещания Москва – Ленинград не действовали. С этой целью был организован радиоприемный пункт, который сотрудники объекта своими силами оснастили разнообразной аппаратурой. Система приемных антенн располагалась на крышах здания института и соседних домов. На Объекте № 7 было разработано и изготовлено большое количество разнообразных приборов электронного и коммутационного оборудования для воинских частей Ленинградского фронта и организаций города.

Сразу же после окончания войны было принято решение о возобновлении деятельности ЛОНИИС. С июля 1945 г. ЛОНИИС возобновил свою деятельность.

С 1950 года основным направлением деятельности института становятся вопросы городской, сельской и внутризоновой телефонной связи и средств телефонной коммутации. В этот период были разработаны различные типы АТС для сельской связи (релейные и декадно-шаговые). В январе 1956 г. на базе ЛОНИИС был создан самостоятельный Научно-исследовательский институт городской и сельской телефонной связи – НИИТС, который являлся головным институтом МС СССР по местной телефонной связи.

Вскоре после войны начались работы по разработке следующего поколения АТС. Были разработаны координатные АТС для сельской связи – АТС-40/80, АТС-100/2000 и АТС-50/200. В эти годы в ЛОНИИС-НИИТС сформировалось новое поколение ведущих специалистов: Фарафонов Л.С., Голубцов И.Е., Шульга С.Д., Лившиц Б.С., Кобленц Я.Г., Новиков Г.А., Псарев С.А., Рутенбург М.Ю., Смирнов Н.Н. и др.

В 60-е годы в НИИТС были сформированы подразделения для обеспечения нужд телефонных сетей в целом: линейно-кабельный отдел, лаборатории оконечных телефонных устройств, телефонной акустики, питания. Институт стал хранителем государственной эталонной телефонометрической системы «Носфор».

В конце 60-х годов в НИИТС была организована системная лаборатория, которая решала вопросы организации сетей связи. Возглавил эту лабораторию Кучерявый Е.И.

В 1970 г. институт был преобразован в отделение ЦНИИС и вновь получил название ЛОНИИС.

К началу 80-х годов в ЛОНИИС сложился коллектив высококвалифицированных специалистов – руководителей «третьего» поколения: Мельников К.П., Васильева Л.С., Яковенко Д.А., Штагер В.В., Мельников Н.И., Лутов М.Ф., Маримонт Л.Б., Парфенов Ю.А. и др. Начальником института в это время работает В.П. Парилов. В дальнейшем, под руководством директора А.Н. Голубева, ведутся большие работы по созданию единой коммутационной техники для городских и сельских сетей местной связи.

В 1992 году Ленинградское отделение ЦНИИС преобразовано в Ленинградский отраслевой научно-исследовательский институт связи.

В ноябре 2003 года мы отмечаем 85 лет Российской связистской науке, которая началась с основания ЛОНИИСа.

Этому событию автор книги посвящает свой экспромт...

ЮБИЛЕЙНОЕ

*Время вещь – необычайно длинное
Были времена. Прошли былинные.
Ни эпох, ни эпосов, ни эпопей.
Телеграммой лети строфа.
Воспаленной губой припади и попей
Из реки по имени факт.*

В. Маяковский

Ноябрь восемнадцатого.

Приказ отдан.

Подбельский – Наркомпочтель.

Впервые в Петрограде создан

Научный Центр –

НИСТЕЛЬ.

Врезалась в память дата эта

Начало наших начал.

Мыслью Азбукина согрета

Электрической связи свеча.

И понеслось!

Работы напряг!

Восстановление связей нарушенных.

Научное творчество начиналось так.

Для эксплуатации нужных

Впервые совмещен

телеграф – телефон

На цепях воздушных линий.

Высокочастотный канал включен.

Москва – Ленинград соединены отныне.

Передачей изображений по проводам,

Радио, телеграф и фильтры

Огромный задел НИСТЕЛем дан

На годы грядущие виды.

И вот ЦИС спустя десять лет.

И первый НИИС в Ленинграде.

Так зарождался науки рассвет,

Которая здесь на параде.

В тяжёлые годы суровой войны

Объект № 7 обеспечивал связь.

И радио голосом из Москвы и страны

Победа к нам, Ленинградцам, неслась.

И вот сорок пятый!

Победный год!

Вновь ЛОНИИС воскрес.

Творческий коллектив создает

Декадно-шаговую АТС.

Затем АТС для сельских сетей,

Электронно-координатный «Союз»,

АТСКА различных марко-мастей

С промышленностью создают.

Теперь ЕАСС, ЕСКТ и ЦСИО

Ворвались в мысли ЛОНИИС – царят.

В них наше будущее

СЛАВА НАША, СИЛА.

Сотрудники тематику творят!

Сегодня в ЛОНИИСе праздничная дата.

Сегодня в ЛОНИИСе юбилей.

Пред юбиларом выстроен парадом

Ряд АТС и кабельных сетей.

Строй возглавляют электронные системы.

А координатных коммутаций АТС

Ворвались в пятилетье время,

Взорвав системы ДШС.

Время! Я кончаю о ЛОНИИС рассказ,

Но не потому, что боле нету меди.

Медью слов готов провозглашать 100 раз –

Слава ЛОНИИСа разнеслась по всей планете!

14.2. Кабели сельской электросвязи

Сельские телефонные сети пятидесятих годов – это в основном воздушные линии связи, используемые в низкочастотном диапазоне. Декадно-шаговые АТС, ручные коммутаторы – техника связи тех времен.

В 1957–1958 гг. делается робкая попытка создания и внедрения высокочастотного уплотнения соединительных линий сельской связи. И здесь возникает задача применения кабелей связи. Но каких? Существует лишь однопарный кабель ПРВПМ $2 \times 1,2$, широко применяемый на сельских сетях радиофикации. Как говорится: попытка не пытка! Специалисты из промышленного НИИ во главе с Егоровым К.П. и Суходоевым И.В. разрабатывают первую отечественную трехканальную кабельную систему передачи с частотным разделением каналов К-3 (ОКТАВА). Строится опытная линия из кабеля ПРВПМ $2 \times 1,2$ на участке Луга – Волошово Ленинградской области протяженностью 50 км. Нестабильность электрических характеристик линий из однопарного кабеля ПРВПМ, малая помехозащищенность от внешних электромагнитных влияний, незащищенность от механических воздействий и повреждения грызунами заставили отказаться от этой затеи... Нужен специальный высокочастотный кабель сельской связи, удовлетворяющий всем требованиям связистов. Итак, появляется идея создания одночетверочного высокочастотного кабеля для соединительных линий. Создается кабель ВТСП $1 \times 4 \times 1,2$ с медными жилами, полиэтиленовой изоляцией, алюминиевым экраном и поливинилхлоридной оболочкой. Диапазон уплотнения 50 кГц! Затем кабели совершенствуются. Разрабатываются конструкции с полиэтиленовой оболочкой КСПП $1 \times 4 \times 1,2$. Для районов, подверженных воздействию грызунов, сконструирован кабель с тонкой стальной защитной лентой – КСППБ $1 \times 4 \times 1,2$. Этот кабель более широкополосный. Он может уплотняться системами передачи в диапазоне до 550 кГц. Новый виток в развитии кабелей сельской связи. Экономия меди. Разрабатывается целый комплекс кабелей с диаметром медных жил 0,9 мм для прокладки в различных условиях сельской местности. Затем новая «заморочка». Нужны кабели для цифровых систем передачи в диапазоне частот: вначале – до 700, а затем – до 2048 кГц.

Опыт эксплуатации линий из ранее проложенных кабелей ВТСП, КСПП и исследования их электрических характеристик в широком диапазоне частот показали нестабильность их характеристик во времени. В связи с этим возникает идея создать высокочастотные герметизированные кабели (кабели с гидрофобным заполнением). Разрабатывается концепция и конструкция герметизированных многопарных кабелей для местных телефонных сетей типа ТППЗ. Герметизированным кабелем присваивается индекс «3». Осваиваются и серийно выпускаются кабели с гидрофобным заполнением КСПЗП $1 \times 4 \times 0,9$ и КСПЗПБ $1 \times 4 \times 0,9$; КСПЗПт $1 \times 4 \times 0,9$. Эти кабели обладают высокой надежностью, стабильностью электрических характеристик и обеспечивают работу цифровых систем передачи. Были и попытки использования вместо меди иных металлов. Однако идея заменить медь на алюминий в однопарных кабелях ПРППА не оправдала себя. Был период, когда вместо алюминия было предложено использовать алюмомедь (алюминиевый сердечник, плакированный медью). Позднее были созданы одночетверочные кабели с алюмомедными жилами с гидрофобным заполнением БКСПЗП, обеспечивающие работу цифровых систем передачи ИКМ-120. Разработаны и внедрены двухчетверочные кабели КСПЗПБ $2 \times 4 \times 0,9$. Для цифровых абонентских сетей разработан одночетверочный кабель с уменьшенным диаметром жил КСПЗП $1 \times 4 \times 0,64$.

Здесь только кратко изложены сведения о разработках и внедрении конструкции кабелей для сельских телефонных сетей. От воздушных линий до кабельных сельских сетей связь прошло 40 лет. Это целая эпоха. Ведь изготовлено, проложено и эксплуатируется в сельской местности около 800 тыс. км высокочастотных кабелей сельской связи и около 1 млн. км однопарных. Значительный вклад в разработку конструкций, технологии изготовления и внедрения в промышленность и на телефонных сетях внесли сотрудники ЛОНИИС Маримонт Л.Б., Парфенов Ю.А., Добин Ю.В., Кайзер Л.И., Нефедова Д.В., Назарьев О.В., Шалы-

гин В.Б., Полякова Н.Н., ВНИИ КП – Еремеева Н.Е., Рысин Л.Г., Моряков Г.С., Бычков В.В., Шайдо Н.П., завода «Мозырькабель» – Шерман Н.Л., Евжик П.Н., Шелестун А.В., КЗКС – Кондратьев М.Н. И, конечно, у истоков разработок стояли сотрудники Главного технического управления Министерства связи СССР Мамонов Е.С., Назаров Я.Н., Борискова С.Д.

На протяжении всех лет мы всегда ощущали поддержку Главного управления электросвязи: Павловской А.С. и Сергеевой В.И.

23 июня 2003 года исполнилось 40 лет «со дня рождения» лаборатории № 26 «Кабелей сельской связи» и научному отделу № 5 линейно-кабельных сооружений ЛОНИИС. Этому событию автор книги посвящает свой творческий отчет.

«ЛИНЕЙНО-КАБЕЛЬНАЯ НИИ ПОЭМА»

Линии связи с момента создания
Были воздушными в основном.
Лишь на короткие расстояния
Мог позвонить ты из дома в дом.
Провод стальной на опорах скрещен,
Подвешен на профиле крюковым.
Чем больше крестов, тем помех меньше
В тракте линейном проводном.
Буря на трассе – столбы в повал.
На линиях связи – молчок.
Кто бы для сельской связи создал
Линий неповреждаемых пучок?
Я помню, приказ в ЛОНИИСе отдан.
Двадцать третье – первый день,
Пятый отдел научный создан
И двадцать шестая в том числе.
Врезалась в память дата эта –
63-й начальный год.
Впервые создана на планете
Лаборатория сельских работ.
И понеслось: задание, темы,
Кабели связи для СТС,
Еще непознанные проблемы –
Конструкции кабелей ВПТС.
Задача первая: уплотнение
Линий меж АТС.
Кто возьмется за ее решение?
Есть лаборатория такая! Есть!
И начат поиск путей уплотнения.
Радиокабель – ПРИПМ.
Строится линия,
Но сомнения подтверждаются между тем.
Нужен кабель стабильный и верный,
Чтобы помех не было в нем,
И передача была б достоверной,
Кабель работал бы ночью и днем.
И вот сконструирован кабель в экране:
Одночетверочный – ВТСП.
И параметры переходных затуханий
Нормам удовлетворяют вполне.

Путь открыт для систем передачи.
Разработана КНК-6.
Эту народно-хозяйственную задачу
Решил «Мозырькабель» и лаб. 26.
И пошло уплотнение на сельской сети.
120 победных килогерц!
Связь обеспечена в сельсовете,
Район охватила из конца в конец.
Вторая задача более сложная –
Тридцать каналов в кабель включить.
На двадцать шестую это возложено
Кабель симметричный сотворить.
И вновь коллектив на научной тропе,
Лаб. 26 и «Мозырькабель»
Создали широкополосный КСПП
Европе на удивленье кабель.
Борьба с грызунами. Дашь броню!
Кабель надежный и стойкий,
Стальную ленту проложим одну
На алюминевую прослойку.
И вновь задача – экономить медь.
Добыча меди – работа адава.
Жилу 0,9 надо иметь.
В одночетверочный кабель укладывать.
И новый кабель КСПП тонок и элегантен,
Вместе с заводом и ВНИИ КП
Разработан с высокой гарантией.
И вот задача: К-60!
На магистрали помехи взлелеб.
Где же найти научный отряд,
Чтоб этой беде помог?
Поток идей возбуждает умы.
Робот-автомат в двадцать шестой снится:
Устройство симметрирования создать должны
Автоматическую «Синицу».
Линейный блок в кабель включаем.
Команда и контур набран.
Высокую защищенность автоматически получаем.
Прочь! Ручная абракадабра!
Работа сделана. Сдана МВК.

На выставку наш путь.
«Связь-75!» Высота!
Медальюми сверкает грудь!
И норм электрических кутерьма.
Инструкций, методик гладь.
Статистических измерений параметров тьма,
Чего не пришлось внедрять!
Но вот зарождение новой эпохи.
Внедрение систем ИКМ.
Существующие кабели для ЦСП плохи,
Нестабильны параметры совсем.
До 2 МГц расширить спектр
Попробуй в пластмассовом кабеле.
Электромагнитной связи вектор
Будет уменьшен вряд ли.
Влага гуляет в пространстве меж жил,
Изменяя частичные емкости,
Такие электромагнитные выражи
связи в комплексной плоскости.

И разработка идет взапар –
Кабелю повышая надежность!
Создан заполнитель ЛЗК –
Отечественной науки гордость.
И вновь «Мозырькабель» и лаб. 26
В режиме научного тандема
творят чудеса.

Эврика! Есть!
Завершена гидрофобная тема.
Сердечник заполнен.

Влаги в нем нет.
Параметры все стабильны.
Так начинался новый рассвет
Кабелей в герметизированном стиле.

Имя какое дать дитяти
Младшему брату КСПП?
Не будем мудрить,
А поставим в ряде
Букву заглавную З.

И понеслось по горам и долинам,
В Туркменской пустыне на краю страны,
В Кавказских горах и раздолье целинном:
«Гидрофобные кабели созданы»!
Совместно с заводом «Ташкенткабель»,
При участии ВНИИКП
Был создан многопарный кабель
С именем звонким ТППЗ.
Внедрили кабель связисты ТППЗ, КСПЗ.
И вновь вперед зовут горнисты:
«Не спать науке на заре!»

И вот идея в мыслях есть.
Алюмомедь – загадка года.
ЛОНИИС и ВНИИКП работают с заводом

По темам «Тополь» и «Платан».
Эпохи столпи.
Для жил внедряем биметалл.
В сердечник – гидрофоб.
Не страшен влаги агрессив.
Живи алюмомедь.
Засчитан кабель нам в актив,
Медальюми вновь звенеть.
И вновь идеи будоражат мысли:
Двухчетверочный сотворить!
Просто, как репа! Надо вместе
Две четверки соединить.
Задумано – сделано!

Кабель новый!
Творит чудеса – научный тандем.
Двухчетверочный – это основа
Для перспективных систем ИКМ.
100 децибел переходных затуханий –
Реже ставь НРПе!
Экономия – миллионы и никаких колебаний!
Победа досталась в трудной борьбе.

Идеи рождаются ком за комом.
Комбинированный кабель сотворен.
Пойдут передачи из Радиодома
И телефон АТС подключен!
Идут года, вращая СЗЧ
В две смены на заводе «Мозырькабель»,
Основа сельской связи для ВЧ –
Одночетверочный надежный гидрофобный кабель.

Для малопарных линий СТС
Взятен пучков ПРППЭмов ненадежных
Разработан на КЗКС
Гидрофобный кабель в броню уложенный.

Итак, от сельских линий ВЛС
Мы перешли на кабельные связи.
Отныне и всегда на СТС
Для всех линейщиков огромный праздник.

И вновь в двадцать шестой покоя нет.
Не спится.
Сжимает мысли всех линейщиков беда.
Что будет с кабелем, когда распространится
проникая в ТПП вода?
Уж абонент истратил все монеты.
Вращенью диска наступил предел.
О, абонент, откликнись. Где ты?
Сигнал к тебе домчаться не успел.
В сердечнике вода как наказание.
И это на всю жизнь, на целый век.
Как избежать увеличения затуханья?
Как избежать переходных помех?
ВНИИСК и ЛОНИИС совместно потрудились.

*И методом ошибок и научных проб
Лечить «замокиший» кабель научились:
Создали жидкий гидрофоб.
Теперь связисты могут спать спокойно.
Вода им не страшна навек.
Внедряем методы достойно.
Стабильно затуханье! Нет помех!
Идут года! Прошло давно уж сорок.
Сегодня праздник! Юбилейный год!
Лаборатория успехами гордится.
Достигли мы значительных высот!
Нас дружба в эти годы всех сплотила.*

*Собрала здесь единою семьей.
Отныне и всегда мы КАБЕЛЬНАЯ СИЛА.
Науку поведем мы за собой!
И в будущем пойдем нехоженными тропами,
Науки целину мы будем открывать.
За эти сорок лет мы столько ведь протопали,
Чтоб кабели надежные создать.
За юбилей поднимем мы бокалы.
За сорок прожитых совместно лет,
И пусть войдут в истории анналы
Успехи наших творческих побед!*

АХ, ЭТИ ЖЕЛТЫЕ КАБЕЛЬНЫЕ БАРАБАНЫ

*На селе поет доярка,
А в хлеву мычит корова:
«Где же он? Где же он?»
Сельский кабель им проложат
И тогда в беде поможет
Телефон, телефон.
Барабаны с сельским кабелем кружатся
И в траншеи тихо кабели дождатся.
От любви вам в изоляцию не скряться.
Жилы медные, скажите, что вам снится?
В сельсовете стонут тоже,
Сосчитать главбух не может,
Урожай. Урожай.*

*Сельский кабель им доставят.
А связисты им поставят
Телетайп, телетайп.
Барабаны с сельским кабелем кружатся,
И в траншеи тихо кабели дождатся.
От любви вам в изоляцию не скряться.
Жилы медные, скажите, что вам снится?
На селе бренчат гитары,
На селе поют гармони,
Все теперь нипочем.
В каждом хлеве, в каждом стойле
Подпекает тихим стоном
Телефон, телефон.*

О КАБЕЛЕ ПРВПМ

*Жили-были грызуны
На краю местечка
И лежал ПРВПМ
Кабель недалеко.
Кабель был зарыт чуть-чуть.
Очень неглубоко.
Проложили к нему путь
Грызуны с востока.
Эх, съели злые грызуны
Жилы с оболочкой,*

*А к ремонту приступил
Техник с проволочкой.
Эх, если б кабели чинить
Впредь без промедлений,
То и линия была б
Впредь без повреждений.
Жили-были грызуны
На краю местечка,
И лежал ПРВПМ
Кабель недалеко...*

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

А	алюминиевая (оболочка)	НЧ	низкая частота
АИМ	амплитудно-импульсная модуляция	О	оболочка
АК	абонентский концентратор	ОЖ	особо жесткие (условия эксплуатации)
АКРУ	аппаратура контроля и резервного управления	ОКС	общий канал сигнализации
АЛ	абонентская линия	ОПП	обходной промежуточный путь
АМТС	автоматическая междугородная телефонная станция	ОС	оконечная станция
АТС	автоматическая телефонная станция	ОТС	оконечная транзитная станция
АТСЭ	АТС электронная	ОУС	опорная усилительная станция
АЦ	абонентская цепь	П	полиэтиленовая (изоляция)
АЦП	аналого-цифровой преобразователь	ПГ	передача газет
Б	бронированный (стальными лентами)	ПД	передача данных
В	полихлорвиниловая (изоляция)	ПП	прямой путь
ВК	внутризоновый коаксиальный	ППВ	путь прямого выбора
ВСС РФ	Взаимоувязанная сеть связи Российской Федерации	ПС	подстанция
ВЧ	высокочастотный	ПТ	пользовательский терминал
Г	без защитных покровов (голый)	ПЭВД	полиэтилен высокого давления
ГИИ	глобальная информационная инфраструктура (GII)	ПЭНД	полиэтилен низкого давления
ГИО	глобальное информационное общество (GIS)	РИИ	российская информационная инфраструктура
ГТС	городская телефонная сеть	РК	распределительная коробка
ДП	двойная парная (скрутка)	РС	распределительная сеть
ЕАСС	единая автоматизированная сеть связи	РТУ	радиотрансляционный узел
Ж	жесткие (условия эксплуатации)	РФ	распределительный фидер
ЖГЗ	жидкий гидрофобный заполнитель	РЦ	районный центр
З	звездная (скрутка)	РШ	распределительный шкаф
ЗВ	звуковое вещание	С	стерофлексная (кордельно-полистирольная) изоляция
ЗК	зоновый кабель	СДЭС	служба документальной электросвязи
ЗСЛ	заказно-соединительная линия	СКС	структурированная кабельная система
ИКМ	импульсно-кодовая модуляция	СЛ	соединительная линия
К	бронированный круглыми лентами (покров)	СЛМ	соединительная линия междугородная
КВМ	кроссовая внешних магистралей	СМИ	средства массовой информации
КТВ	кабельное телевидение	СП	система передачи, сеть переноса
КС	кабель сельский	СПГ	система передачи газет
КЭ	кроссовый этаж	СПД	система передачи данных
ЛВС	локальная вычислительная сеть	СРПЗВ	система распределения программ звукового вещания
МЗК	масса защитная кабельная	СРПТВ	система распределения программ телевизионного вещания
МК	магистральный кабель	ССу	свинцово-сурьмянистый (сплав)
МККТТ	Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии	Ст	стальная гофрированная (оболочка)
МКС	магистральный кабель связи	СТrC	система телеграфной связи
МКТ	малогабаритный коаксиальный кабель с трубчатополиэтиленовой (изоляцией) местная станция	СТС	сельская телефонная сеть
МС	Международный союз электросвязи	СТФС	система телефонной связи
МСЭ	магистральный фидер	СФС	система факсимильной связи
МФ	непосредственное телевизионное вещание	СЦИ	сеть передачи цифровой информации
НТВ		Т	телефонный низкочастотный (кабель)
		ТВ	телевизионное вещание
		ТК	трансформатор корректирующий
		ТКР	телекоммуникационный комплекс России
		ТМФ	трансформатор магистрального фидера

ТО	трансформатор отвода	УС	узловая станция
ТП	трансформаторная подстанция	ЦАЛ	цифровая абонентская линия
ТПВ	трехпрограммное проводное вещание	ЦКП	центр коммутации пакетов
ТР	трансформатор распределительный	ЦКУ	цифровой кроссовый узел
ТР	телефонный распределительный (кабель)	ЦС	центральная станция
ТРФ	трансформатор распределительного фидера	ЦСИС(У)	цифровая сеть с интеграцией служб (услуг) (ISDN)
ТС	трансформатор согласующий	ШЦСИС	широкополосная ЦСИС
ТС	телефонный станционный (кабель)	ЦСП	цифровая система передачи
ТУ	технические условия	ЦСПВ	центральная станция проводного вещания
ТФОП	телефонная сеть общего пользования	ЦСПР	цифровая система передачи распределительная
ТЧ	тональная частота	ЦСОП	цифровая сеть общего пользования
УАК	узел автоматической коммутации	ЧРК	частотное разделение каналов
УВС	узел входящего сообщения	Ш	шланговое покрытие
УЗК	установка для заделки ЖГЗ в кабели	Шп	шланг полиэтиленовый
УИС	узел исходящего сообщения	ЭДС	электродвижущая сила
УПТС	учрежденческо-производственная телефонная станция	ЭМИ	электромагнитное излучение
ACR	Attenuation to Crosstalk Ratio		Защищенность на ближнем конце
FEXT	Far-End Crosstalk		Переходное затухание на дальнем конце
NEXT	Near-End Crosstalk		Переходное затухание на ближнем конце
NVP	Nominal Velocity of Propagation		Нормированная скорость распространения
S/STP	Shielded/Shielded Twisted Pair		Кабель из витых пар с индивидуальной экранировкой и общим защитным экраном
SRL	Structural Return Loss		Структурные возвратные потери
TN	Transfer Network		Сеть переноса
UTP	Unshielded Twisted Pair		Кабель из неэкранированных витых пар

ЛИТЕРАТУРА

Литература к главе 1

1. Варакин Л.Е., Москвитин В.Д. Перспективы развития телекоммуникационного комплекса России по 2005 г. Труды Международной академии связи. 2(18), 2001.
2. Рекомендации МСЭ-Т по ГИИ Y-100, Y-110, Y-120 (06.98)
3. Основные положения развития Взаимоувязанной сети Российской Федерации на перспективу до 2005 г. – М.: Информсвязь, 1996.
4. Руководство по строительству линейных сооружений связи. – ЧЧКИБ-ТОМАС, 1995.
5. Основные положения системы сельской телефонной связи. – М.: Радио и связь, 1986. 168 с.
6. Давыдов Г.Б., Волчкова Н.В. Пути развития электросвязи в России. – Электросвязь, 1993. № 11, с. 10–15.
7. Соколов Н.А. Эволюция местных телефонных сетей. – Пермь, ТОО Типография Книга, 1994. 375 с.
8. Парфенов Ю.А. Кабельные линии сельских сетей проводного вещания. – М.: Радио и связь, 1984.

Литература к главе 2

1. Белорусов Н.Н., Саакян А.Е., Яковлева А.И. Электрические кабели, провода и шнуры. Справочник. 5 изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
2. Брискер А.С., Руга А.Д., Шарле Д.К. Городские телефонные кабели. Справочник. – М.: Радио и связь, 1984. 330 с.
3. Нормативные данные по конструктивным и электрическим характеристикам междугородных кабелей связи ЦНИИС. – М., 1974.
4. Сельская телефонная связь. Справочник. – М.: Радио и связь, 1987.
5. Городская телефонная связь. Справочник. – М.: Радио и связь, 1988.

Литература к главе 3

1. Курбатов Н.Д., Яковлев Е.А. Линейка сооружения связи. – Ленинград, Типография ВКАС, 1958.
2. Гроднев И.И., Миллер Б.Ф. Кабели связи. Государственное энергетическое издательство Москва, 1950.
3. Шварцман В.О. Взаимные влияния в кабелях связи. – М.: Связь, 1966.
4. Барон Д.А., Левинов К.Г., Фролов П.А. Междугородные кабельные линии связи. – М.: Связь, 1979.
5. Гроднев И.И., Грызлов А.Ф. Линейные сооружения многоканальной электросвязи. – М.: Связь, 1979.
6. Каллер М.Я. Теория электрических цепей. – М.: МПС, 1962.
7. Иванов В.С., Кочановский Л.Н., Москаленко Ю.С. Современные управляющие системы. Учебное пособие. Изд. СПб. ГУТ, 2000.

Литература к главе 4

1. Гроднев И.И., Верник С.М. Линии связи. – М.: Радио и связь, 1988.
2. Цым А.Ю., Камалетин В.И. Международные симметричные кабели для цифровых систем передачи. – М.: Радио и связь, 1984.
3. Нормативные данные по конструктивным и электрическим характеристикам международных кабелей связи. М.: – ЦНИИС, 1974.
4. Белорусов Н.Н., Саакян А.Е., Яковлева А.И. Электрические кабели, провода и шнуры. Справочник. 5 изд. Перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
5. Барон Д.А., Левинов К.Г., Фролов П.А. Междугородные кабельные линии связи. – М.: Связь, 1978.

Литература к главе 5

1. Брискер А.С., Руга А.Д., Шарле Д.Л. Городские телефонные кабели. Справочник. – М.: Радио и связь, 1984. 330 с.
2. ГОСТ Р 22498-77. Городские телефонные кабели с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке.

3. ГОСТ 20802-75. Городские симметричные телефонные кабели с медными жилами в свинцовой оболочке.
4. ГОСТ Р 51311-99. Кабели телефонные с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке.
5. Шварцман В.О. Взаимные влияния в кабелях связи. – М.: Связь, 1966. 431 с.
6. Белорусов Н.И., Саакян А.Е., Яковлева А.И. Электрические кабели, провода и шнуры. Справочник 5 изд, перераб и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1988.

Литература к главе 6

1. Сельская телефонная связь: Справочник / Под редакцией К.П. Мельникова и Ю. А. Парфенова. – М.: Радио и связь, 1987. 280 с.
2. Парфенов Ю.А., Назарьев О.В. Кабельные линии сельских сетей проводного вещания. – М.: Радио и связь, 1984. 46 с.
3. Парфенов Ю.А., Рысин Л.Г. Кабели сельской связи. – М.: Радио и связь, 1988.
4. ОСТ 45.83-96. Сеть телефонная сельская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные.

Литература к главе 7

1. Парфенов Ю.А., Назаров О.В. Кабельные линии сельских сетей проводного вещания. – М.: Радио и связь, 1986. 96 с.
2. Воос М.А., Готовец Э.В., Маримонт Л.Б. и др. Кабельные линии сельской телефонной связи проводного вещания. – М.: Радио и связь, 1981. 168 с.

Литература к главе 8

1. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г. Последняя миля на медных кабелях. – М.: Эко-Трендз, 2001.
2. Парфенов Ю.А. Экология среды передачи сигналов // Вестник связи. № 3, 1997.
3. Мирошников Д.Г. Новый шаг в интеграции голоса и данных // Вестник связи. № 4, 2000.
4. Мирошников Д.Г. Универсальная платформа доступа для операторов наложенных и корпоративных сетей // Вестник связи. № 10, 2000.
5. Цым А.Ю., Камалетдин В.И. Междугородные симметричные кабели для цифровых систем передачи. – М.: Радио и связь, 1984.

Литература к главе 9

1. ОСТ 45.01-98. Сеть первичная взаимоувязанной сети связи Российской Федерации. Участки кабельные элементарные и секции кабельных линий передачи. Нормы электрические.
2. ОСТ 45.82-96. Сеть телефонная городская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные.
3. Парфенов Ю.А., Назарьев О.В. Кабельные линии сельских сетей проводного везания. – М.: Радио и связь, 1984.
4. Электрические нормы на тракты звукового вещания. – М.: Радио и связь, 1982. 56 с.
5. Белорусов Н.И., Саакян А.Е., Яковлева В.И. Электрические кабели, провода и шнуры. Справочник. – М: Энергия, 1979. 716 с.

Литература к главе 10

1. Семенов А.Б., Стружанов С.К., Сунчелен И.Р. Структурированные кабельные системы – 4 изд. перераб. и дополн. – М.: ДМК Пресс, 2002. 656 с.
2. Международный стандарт ISO/IEC 11801 «Информационные технологии. Универсальная кабельная система для зданий и территорий заказчика».
3. Европейский стандарт EN 50173 «Информационные технологии. Общие кабельные системы».
4. Американский стандарт TIA/EIA-568-A «Телекоммуникационные кабельные системы коммерческих зданий».
5. Смирнов И.Г. Структурированные кабельные системы. – М.: Эко-Трендз, 1998. 178 с.
6. Семенов А.Б., Стружанов С.К., Сунчелен И.Р. Структурированные кабельные системы АйТи. – СКС, 1998. 135 с.

7. Гальперович Д. Словарь-справочник по структурированным кабелям // LAN. Журнал сетевых решений, 2000. – т. 6, № 5. с. 77–85.

Литература к главе 11

1. Парфенов Ю.А., Мирошников Д.Г. Последняя миля на медных кабелях. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 224 с.
2. Парфенов Ю.А., Кайзер Л.И., Добин Ю.В., Зувайдов С.М. Кабельные линии абонентского доступа. Учебно-методическое пособие. – М.: МТУСИ, 2000.
3. Парфенов Ю.А. Последние метры «последней мили» // 3-я Международная НТК «Перспективные технологии в средствах передачи информации». – Владимир: ВлГУ, 1999. – Тезисы, часть 2. с. 65–74.
4. Основные положения развития Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации на перспективу до 2005 года. Руководящий документ. – М., 1996.
5. ГОСТ 22498-77. Городские телефонные кабели с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке.
6. ГОСТ Р 51311-99. Кабели телефонные с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке.
7. ОСТ 45.82-96. Сеть телефонная городская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные.
8. ОСТ 45.83-96. Сеть телефонная сельская. Линии абонентские кабельные с металлическими жилами. Нормы эксплуатационные.
9. Руководство по строительству линейных сооружений местных сетей связи. – М.: ССКТЬ-ТОМАСС. 1995.
10. ГОСТ 22498-77. Городские телефонные кабели с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке.
11. ГОСТ 51311-99. Кабели телефонные с полиэтиленовой изоляцией в пластмассовой оболочке.

Литература к главе 12

1. Парфенов Ю.А., Добин Ю.В., Кайзер Л.И., Решетов В.А., Тростянская Н.Н., Шалыгин В.Б. Технология восстановления поврежденных кабелей связи с пластмассовой оболочкой // Электросвязь, 1993. № 12.
2. Парфенов Ю.А., Добин Ю.В., Тростянская Н.Н., Озеров О.И., Кайзер Л.И., Шалыгин В.Б. Как «лечить» замokшие кабели // Вестник связи, 1995. № 2.
3. Парфенов Ю.А., Добин Ю.В., Зувайдов С.М. Реанимация полиэтиленовых кабелей. Ресурсосберегающая технология. Учебное пособие. – М.: МТУСИ, 1998.

Литература к главе 13

1. Руководство по строительству линейных сооружений местных сетей связи. – М.: ССКТЬ-ТОМАСС, 1996.
2. Правила по охране труда при работах на кабельных линиях связи и проводного вещания (радиофикация) ПОТ РО-45-005-95. – М., 1995.
3. Технический справочник. Муфты, монтажные материалы, приспособления и инструменты для строительства и эксплуатации линейных и станционных сооружений. – М.: ОАО «Связьстройдеталь», 2000.
4. Рекомендации по монтажу малопарных кабелей местной связи с применением полимеризующихся компаундов. УЭС Министерства связи России. – СПб.: ЛОНИИС, 1996.
5. Парфенов Ю.А., Белов Ю.Н., Москаленко Ю.С. Кабельные линии местной связи и технологии их монтажа. Учебно-методическое пособие. – М.: МТУСИ, 2002.



Парфенов Юрий Алексеевич окончил в 1951 г. Ленинградский электротехнический институт связи им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. С 1958 г. работает в Ленинградском отраслевом научно-исследовательском институте связи, с 1963 г. руководит научно-исследовательской кабельной лабораторией. Он заместитель председателя секции «Телефония» ЛНТОРЭС им. А.С. Попова. Мастер связи, Почетный радист, доктор технических наук.

Ю.А. Парфенова имеет более 70 печатных работ, в том числе шесть книг, является автором 11 реализованных изобретений.

Основная тема публикаций – вопросы электромагнитной совместимости, особенности использования оборудования передачи дискретной информации и герметизированных кабелей связи в сетях местной связи при совмещении цепей для передачи различной информации.

ЛР № 065232 от 20.06.97

Подписано в печать с оригинал-макета 25.08.2003.

Формат 70×100/16. Тираж 4000

Бумага офсетная № 1. Гарнитура таймс.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 20,6. Зак. № 8842

Информационно-технический центр «Эко-Трендз»

Отпечатано в ППП «Типография «Наука»,

121099, Москва, Шубинский пер., 6