



This electronic version (PDF) was scanned by the International Telecommunication Union (ITU) Library & Archives Service from an original paper document in the ITU Library & Archives collections.

La présente version électronique (PDF) a été numérisée par le Service de la bibliothèque et des archives de l'Union internationale des télécommunications (UIT) à partir d'un document papier original des collections de ce service.

Esta versión electrónica (PDF) ha sido escaneada por el Servicio de Biblioteca y Archivos de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) a partir de un documento impreso original de las colecciones del Servicio de Biblioteca y Archivos de la UIT.

(ITU) للاتصالات الدولي الاتحاد في والمحفوظات المكتبة قسم أجزاء الضوئي بالمسح تصوير نتاج (PDF) الإلكترونية النسخة هذه والمحفوظات المكتبة قسم في المتوفرة الوثائق ضمن أصلية ورقية وثيقة من نقلأً.

此电子版（PDF版本）由国际电信联盟（ITU）图书馆和档案室利用存于该处的纸质文件扫描提供。

Настоящий электронный вариант (PDF) был подготовлен в библиотечно-архивной службе Международного союза электросвязи путем сканирования исходного документа в бумажной форме из библиотечно-архивной службы МСЭ.



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

# МККТТ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ТЕЛЕГРАФИИ И ТЕЛЕФОНИИ

СИНЯЯ КНИГА

---

ТОМ IX

ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ

РЕКОМЕНДАЦИИ СЕРИИ К

КОНСТРУКЦИЯ, ПРОКЛАДКА  
И ЗАЩИТА КАБЕЛЕЙ И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ЛИНЕЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

РЕКОМЕНДАЦИИ СЕРИИ L

---



IX ПЛЕНАРНАЯ АССАМБЛЕЯ

МЕЛЬБУРН, 14-25 НОЯБРЯ 1988 ГОДА



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

# МККТТ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
КОНСУЛЬТАТИВНЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ТЕЛЕГРАФИИ И ТЕЛЕФОНИИ

СИНЯЯ КНИГА

---

ТОМ IX

ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ

РЕКОМЕНДАЦИИ СЕРИИ К

КОНСТРУКЦИЯ, ПРОКЛАДКА  
И ЗАЩИТА КАБЕЛЕЙ И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
ЛИНЕЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

РЕКОМЕНДАЦИИ СЕРИИ L

---



IX ПЛЕНАРНАЯ АССАМБЛЕЯ  
МЕЛЬБУРН, 14-25 НОЯБРЯ 1988 ГОДА

ISBN 92-61-03744-5

**PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK**

**PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT**

**СОДЕРЖАНИЕ КНИГИ МККТТ,  
ДЕЙСТВУЮЩЕЙ ПОСЛЕ IX ПЛЕНАРНОЙ АССАМБЛЕИ (1988 г.)**

**СИНЯЯ КНИГА**

**Том I**

- ВЫПУСК I.1 — Протоколы и отчеты Пленарной Ассамблеи.  
Перечень исследовательских комиссий и изучаемых вопросов.
- ВЫПУСК I.2 — Мнения и Резолюции.  
Рекомендации по организации и рабочим процедурам МККТТ (серия А).
- ВЫПУСК I.3 — Термины и определения. Сокращения и акронимы. Рекомендации по средствам выражения (серия В) и общей статистике электросвязи (серия С).
- ВЫПУСК I.4 — Указатель Синей книги.

**Том II**

- ВЫПУСК II.1 — Общие принципы тарификации — Таксация и расчеты за услуги международных служб электросвязи. Рекомендации серии D (Исследовательская комиссия III).
- ВЫПУСК II.2 — Телефонная служба и ЦСИС — Эксплуатация, нумерация, маршрутизация и подвижные службы. Рекомендации E.100—E.333 (Исследовательская комиссия II).
- ВЫПУСК II.3 — Телефонная сеть и ЦСИС — Качество обслуживания, управление сетью и расчет нагрузки. Рекомендации E.401—E.880 (Исследовательская комиссия II).
- ВЫПУСК II.4 — Телеграфная и подвижная службы — Общая эксплуатация и качество обслуживания. Рекомендации F.1—F.140 (Исследовательская комиссия I).
- ВЫПУСК II.5 — Телематические службы, службы передачи данных и телеконференции — Общая эксплуатация и качество обслуживания. Рекомендации F.160—F.353, F.600, F.601, F.710—F.730 (Исследовательская комиссия I).
- ВЫПУСК II.6 — Службы обработки сообщений и справочные службы — Общая эксплуатация и определение служб. Рекомендации F.400—F.422, F.500 (Исследовательская комиссия I).

**Том III**

- ВЫПУСК III.1 — Общие характеристики международных телефонных соединений и каналов. Рекомендации G.101—G.181 (Исследовательские комиссии XII и XV).
- ВЫПУСК III.2 — Международные аналоговые системы передачи. Рекомендации G.211—G.544 (Исследовательская комиссия XV).
- ВЫПУСК III.3 — Характеристики среды передачи. Рекомендации G.601—G.654 (Исследовательская комиссия XV).
- ВЫПУСК III.4 — Общие аспекты цифровых систем передачи; оконечное оборудование. Рекомендации G.700—G.795 (Исследовательские комиссии XV и XVIII).
- ВЫПУСК III.5 — Цифровые сети, цифровые участки и цифровые линейные системы. Рекомендации G.801—G.961 (Исследовательские комиссии XV и XVIII).

- ВЫПУСК III.6** — Передача по линии нетелефонных сигналов. Передача сигналов звукового и телевизионного вещания. Рекомендации серий Н и J (Исследовательская комиссия XV).
- ВЫПУСК III.7** — Цифровая сеть интегрального обслуживания (ЦСИО) — Общая структура, услуги и возможности обслуживания. Рекомендации I.110—I.257 (Исследовательская комиссия XVIII).
- ВЫПУСК III.8** — Цифровая сеть интегрального обслуживания (ЦСИО) — Общесетевые аспекты и функции, интерфейсы “пользователь — сеть” ЦСИО. Рекомендации I.310—I.470 (Исследовательская комиссия XVIII).
- ВЫПУСК III.9** — Цифровая сеть с интеграцией служб (ЦСИС) — Межсетевые стыки и принципы технической эксплуатации. Рекомендации I.500—I.605 (Исследовательская комиссия XVIII).

#### Том IV

- ВЫПУСК IV.1** — Общие принципы технической эксплуатации: техническая эксплуатация международных систем передачи и международных телефонных каналов. Рекомендации M.10—M.782 (Исследовательская комиссия IV).
- ВЫПУСК IV.2** — Техническая эксплуатация международных телеграфных, фототелеграфных и арендованных каналов. Техническая эксплуатация международной телефонной сети общего пользования. Техническая эксплуатация морских спутниковых систем и систем передачи данных. Рекомендации M.800—M.1375 (Исследовательская комиссия IV).
- ВЫПУСК IV.3** — Техническая эксплуатация международных каналов звукового и телевизионного вещания. Рекомендации серии N (Исследовательская комиссия IV).
- ВЫПУСК IV.4** — Требования к измерительной аппаратуре. Рекомендации серии О (Исследовательская комиссия IV).

#### Том V

- Качество телефонной передачи. Рекомендации серии Р (Исследовательская комиссия XII).

#### Том VI

- ВЫПУСК VI.1** — Общие Рекомендации по телефонной коммутации и сигнализации. Функции и информационные потоки для служб в ЦСИС. Дополнения. Рекомендации Q.1—Q.118 *bis* (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.2** — Требования к системам сигнализации № 4 и № 5. Рекомендации Q.120—Q.180 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.3** — Требования к системе сигнализации № 6. Рекомендации Q.251—Q.300 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.4** — Требования к системам сигнализации R1 и R2. Рекомендации Q.310—Q.490 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.5** — Цифровые местные, транзитные, комбинированные и международные станции в интегральных цифровых сетях и смешанных аналого-цифровых сетях. Дополнения. Рекомендации Q.500—Q.554 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.6** — Взаимодействие систем сигнализации. Рекомендации Q.601—Q.699 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.7** — Требования к системе сигнализации № 7. Рекомендации Q.700—Q.716 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.8** — Требования к системе сигнализации № 7. Рекомендации Q.721—Q.766 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.9** — Требования к системе сигнализации № 7. Рекомендации Q.771—Q.795 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.10** — Цифровая абонентская система сигнализации № 1 (ЦАС 1), уровень звена данных. Рекомендации Q.920 и Q.921 (Исследовательская комиссия XI).

- ВЫПУСК VI.11** — Цифровая абонентская система сигнализации № 1 (ЦАС 1), сетевой уровень, управление “пользователь—сеть”. Рекомендации Q.930—Q.940 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.12** — Сухопутная подвижная сеть общего пользования. Взаимодействие с ЦСИС и коммутируемой телефонной сетью общего пользования. Рекомендации Q.1000—Q.1032 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.13** — Сухопутная подвижная сеть общего пользования. Подсистема подвижного применения и стыки. Рекомендации Q.1051—Q.1063 (Исследовательская комиссия XI).
- ВЫПУСК VI.14** — Взаимодействие с системами подвижной спутниковой связи. Рекомендации Q.1100—Q.1152 (Исследовательская комиссия XI).

## Том VII

- ВЫПУСК VII.1** — Телеграфная передача. Рекомендации серии R. Оконечное оборудование телеграфных служб. Рекомендации серии S (Исследовательская комиссия IX).
- ВЫПУСК VII.2** — Телеграфная коммутация. Рекомендации серии U (Исследовательская комиссия IX).
- ВЫПУСК VII.3** — Оконечное оборудование и протоколы для телематических служб. Рекомендации T.0—T.63 (Исследовательская комиссия VIII).
- ВЫПУСК VII.4** — Процедуры аттестационных испытаний для Рекомендаций по телетексу. Рекомендация T.64 (Исследовательская комиссия VIII).
- ВЫПУСК VII.5** — Оконечное оборудование и протоколы для телематических служб. Рекомендации T. 65—T.101, T.150—T.390 (Исследовательская комиссия VIII).
- ВЫПУСК VII.6** — Оконечное оборудование и протоколы для телематических служб. Рекомендации T.400—T.418 (Исследовательская комиссия VIII).
- ВЫПУСК VII.7** — Оконечное оборудование и протоколы для телематических служб. Рекомендации T.431—T.564 (Исследовательская комиссия VIII).

## Том VIII

- ВЫПУСК VIII.1** — Передача данных по телефонной сети. Рекомендации серии V (Исследовательская комиссия XVII).
- ВЫПУСК VIII.2** — Сети передачи данных: службы и услуги, стыки. Рекомендации X.1—X.32 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.3** — Сети передачи данных: передача, сигнализация и коммутация, сетевые аспекты, техническая эксплуатация и административные предписания. Рекомендации X.40—X.181 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.4** — Сети передачи данных: взаимосвязь открытых систем (ВОС) — Модель и система обозначений, определение служб. Рекомендации X.200—X.219 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.5** — Сети передачи данных: взаимосвязь открытых систем (ВОС) — Требования к протоколам, аттестационные испытания. Рекомендации X.220—X.290 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.6** — Сети передачи данных: взаимодействие между сетями, подвижные системы передачи данных, межсетевое управление. Рекомендации X.300—X.370 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.7** — Сети передачи данных: системы обработки сообщений. Рекомендации X.400—X.420 (Исследовательская комиссия VII).
- ВЫПУСК VIII.8** — Сети передачи данных: справочная служба. Рекомендации X.500—X.521 (Исследовательская комиссия VII).

## Том IX

- Защита от помех. Рекомендации серии K (Исследовательская комиссия V). Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейного оборудования. Рекомендации серии L (Исследовательская комиссия VI).

## Том X

- ВЫПУСК X.1 — Язык функциональной спецификации и описания. Критерии применения методов формальных описаний. Рекомендация Z.100 с Приложениями А, В, С и Е, Рекомендация Z.110 (Исследовательская комиссия X).
- ВЫПУСК X.2 — Приложение D к Рекомендации Z.100: Руководство для пользователей языка SDL (Исследовательская комиссия X).
- ВЫПУСК X.3 — Приложение F.1 к Рекомендации Z.100: Формальное определение языка SDL. Введение (Исследовательская комиссия X).
- ВЫПУСК X.4 — Приложение F.2 к Рекомендации Z.100: Формальное определение языка SDL. Статическая семантика (Исследовательская комиссия X).
- ВЫПУСК X.5 — Приложение F.3 к Рекомендации Z.100: Формальное определение языка SDL. Динамическая семантика (Исследовательская комиссия X).
- ВЫПУСК X.6 — Язык МККТТ высокого уровня (CHILL). Рекомендация Z.200 (Исследовательская комиссия X).
- ВЫПУСК X.7 — Язык “человек—машина” (MML). Рекомендации Z.301—Z.341 (Исследовательская комиссия X).

## СОДЕРЖАНИЕ ТОМА IX СИНЕЙ КНИГИ

### ЧАСТЬ I — Рекомендации серии К

#### Защита от помех

Рек. №		Стр.
K.1	Заземление кабельной телефонной цепи тональной частоты . . . . .	3
K.2	Защита систем дистанционного питания промежуточных усилителей от влияния соседних линий электропередачи . . . . .	4
K.3	Помехи, вызываемые сигналами тональной частоты, вводимыми в электрическую распределительную сеть . . . . .	4
K.4	Помехи при передаче сигналов . . . . .	4
K.5	Совместное использование опор для линий электросвязи и электропередачи . . . . .	5
K.6	Меры предосторожности, принимаемые на пересечениях линий электросвязи и электропередачи . . . . .	5
K.7	Защита от акустического удара . . . . .	7
K.8	Расстояния в земле между кабелями электросвязи и системой заземления устройств электропередачи . . . . .	7
K.9	Защита персонала и установок электросвязи от высоких градиентов потенциала земли, возникающих из-за влияния соседней линии электротяги . . . . .	11
K.10	Асимметрия установок электросвязи относительно земли . . . . .	12
K.11	Принципы защиты от перенапряжений и избыточных токов . . . . .	19
K.12	Характеристики газонаполненных разрядников, предназначенных для защиты установок электросвязи . . . . .	27
K.13	Напряжения, индуцируемые в кабелях с пластмассовой изоляцией жил . . . . .	40
K.14	Применение металлического экрана в кабелях с пластмассовой оболочкой . . . . .	41
K.15	Защита систем дистанционного питания и линейных усилителей от ударов молнии и помех от соседних линий электропередачи . . . . .	47
K.16	Упрощенный метод расчета для оценки магнитного влияния линий электропередачи на промежуточные усилители с дистанционным питанием по коаксиальным парам в системах электросвязи . . . . .	50
K.17	Испытания полупроводниковых промежуточных усилителей с дистанционным питанием с целью проверки схем защиты от внешних влияний . . . . .	72
K.18	Расчет напряжений, индуцируемых в линиях электросвязи радиовещательными станциями, и методы снижения помех . . . . .	82

Рек. №		Стр.
K.19	Совместная прокладка кабелей электросвязи и силовых кабелей в траншеях и туннелях . . . . .	99
K.20	Стойкость коммутационного оборудования электросвязи к перенапряжениям и избыточным токам . . . . .	100
K.21	Стойкость абонентских терминалов к перенапряжениям и избыточным токам . . . . .	109
K.22	Стойкость к перенапряжениям оборудования, подключаемого к шине Т/S сети ЦСИС	115
K.23	Типы индуцированных помех и описание параметров напряжения шумов на основных сетях абонентских линий сети ЦСИС . . . . .	118
K.24	Метод измерения высокочастотных помех, индуцируемых в двухпроводных цепях электросвязи . . . . .	122
K.25	Защита волоконно-оптических кабелей от ударов молний . . . . .	123
K.26	Защита линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи и линий электрифицированных железных дорог . . . . .	126

## **ЧАСТЬ II — Рекомендации серии L**

### **Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений**

L.1	Конструкция, прокладка и защита кабелей электросвязи на сетях общего пользования . . . . .	129
L.2	Пропитка деревянных опор . . . . .	129
L.3	Бронепокров кабелей . . . . .	130
L.4	Алюминиевая кабельная оболочка . . . . .	132
L.5	Металлические оболочки кабелей кроме свинцовых или алюминиевых . . . . .	135
L.6	Методы содержания кабелей под газовым давлением . . . . .	136
L.7	Применение совместной катодной защиты . . . . .	137
L.8	Коррозия, вызываемая переменным током . . . . .	138
L.9	Методы концевой заделки кабелей с металлическими жилами . . . . .	139
L.10	Волоконно-оптические кабели, прокладываемые в кабельной канализации, туннелях, непосредственно в грунте и подвешиваемые на столбах . . . . .	142
L.11	Совместное использование туннелей для трубопроводов и кабелей электросвязи и стандартизация планов подземной канализации . . . . .	150

## **ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ**

**1** Вопросы, порученные каждой Исследовательской комиссии на исследовательский период 1989—1992 годов, содержатся в Документе № 1 для данной Исследовательской комиссии.

**2** В настоящем томе термин «Администрация» используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную частную эксплуатационную организацию.

## **ЧАСТЬ I**

**Рекомендации серии К**

**ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ**

**PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK**

**PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT**

## ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ<sup>1)</sup>

### Рекомендация К.1

#### ЗАЗЕМЛЕНИЕ КАБЕЛЬНОЙ ТЕЛЕФОННОЙ ЦЕПИ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ

(Дели, 1960 г.)

##### Введение

На современном этапе технического развития кабели конструируются таким образом, что емкости различных цепей тональной частоты очень точно отсимметрированы относительно оболочки.

Для цепей, не имеющих несимметричных подключений к заземляющим устройствам, этой симметрии емкостей достаточно.

Однако при наличии заземлений даже при очевидной симметрии возникает опасность появления несимметрии индуктивностей и сопротивлений цепи, на которой эти заземления осуществляются.

Электрическая прочность диэлектрика между жилами кабеля значительно меньше, чем между жилами и оболочкой. Поэтому в том случае, когда кабель находится под воздействием значительных индуктированных электродвигущих сил (эдс), заземление некоторых жил может вызвать пробой разделяющего их диэлектрика.

Если пупинизированный кабель подвергается воздействию большой индуктивной эдс, наличие соединений с заземляющими устройствами способствует возникновению тока, величина которого в ряде случаев может значительно превысить предельные значения, при которых происходит ухудшение магнитных свойств пупиновских катушек.

Учитывая вышеизложенное, МККТТ единодушно рекомендует:

Не заземлять провода цепи тональной частоты, если все обмотки линейных трансформаторов не имеют постоянных соединений с оболочкой через низкоомные сопротивления на одном или обоих концах кабеля.

Как правило, желательно не делать никаких заземлений любой установки (телефонной или телеграфной), включенной непосредственно в кабельную линию связи большой протяженности.

Если по особым причинам приходится заземлять установку, непосредственно включенную в цепь тональной частоты, то следует принимать следующие меры предосторожности:

- a) заземление должно производиться таким образом, чтобы не нарушилась симметрия цепи относительно земли и соседних цепей;
- b) напряжение пробоя всех других жил кабеля по отношению к жилам заземляемой цепи должно значительно превышать самое большое напряжение, которое может возникнуть вследствие влияния соседних линий электропередачи между жилами кабеля и жилами заземляемой цепи;
- c) если установка, включенная в кабель, является телеграфной, то необходимо соблюдать Рекомендации МККТТ, касающиеся одновременно телефонной и телеграфной передачи (Рекомендации серии Н).

<sup>1)</sup> См. руководство МККТТ *Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи и электрифицированных железных дорог*, МСЭ, Женева, 1988 год (см. также Рекомендацию К.26).

## Рекомендация К.2

### ЗАЩИТА СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ПИТАНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ ОТ ВЛИЯНИЯ СОСЕДНИХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

(Дели, 1960 г.)

Для предотвращения влияния магнитной или гальванической связи на цепи дистанционного питания промежуточных усилителей МККТТ рекомендуется применять, по возможности, такую систему дистанционного питания, чтобы цепь, по которой протекают токи дистанционного питания (включая подсоединенные к ней устройства), оставалась симметричной относительно оболочки и земли.

## Рекомендация К.3

### ПОМЕХИ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ СИГНАЛАМИ ТОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ, ВВОДИМЫМИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНУЮ СЕТЬ

(Дели, 1960 г.)

Сигналы тональной частоты, вводимые в электрическую распределительную сеть органами энергоснабжения для целей телеуправления, могут создавать помехи соседним линиям электросвязи.

Расчет указанных помех можно производить с помощью формул, приведенных в Директивах. Для этого определяются значения эквивалентных напряжений и токов рассматриваемых сигналов тональной частоты.

## Рекомендация К.4

### ПОМЕХИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ СИГНАЛОВ

(Женева, 1964 г.)

Чтобы уменьшить помехи, создаваемые электрическими линиями переменного или постоянного тока в линиях проводной электросвязи (воздушные линии, подвесные или подземные кабели, комбинированные линии) при передаче по ним сигналов постоянного тока или тока промышленной частоты, следует рассмотреть возможность применения одного или нескольких из описанных ниже методов в каждом случае, когда такие помехи возможны или уже имеют место:

- разработка и применение систем электросвязи:
  - a) в которых при любых условиях, даже при переключениях (см. [1]), сохраняется симметрия цепи передачи сигналов относительно земли;
  - b) которые, будучи симметричными, нечувствительны к помехам, возникающим за счет продольных токов, появляющихся вследствие прямого или косвенного заземления;
- выбор места для заземляющих устройств телефонных станций по возможности дальше от линий электротяги, а также от заземляющих устройств линий электропередачи;
- применение мер по ограничению индуцированных токов (использование телефонных кабелей с низким коэффициентом экранирования, бустерных трансформаторов на однофазных линиях электротяги и т. д.), которые облегчают применение существующих систем передачи сигналов;
- применение нейтрализующих трансформаторов или активных редукционных устройств в цепях электросвязи для компенсации токов, создаваемых индуцированными напряжениями;
- применение резонансных контуров с целью обеспечения большого полного сопротивления на частоте тока, создающего помехи.

*Примечание. — В Директивах по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи и электрифицированных железных дорог* указано предельное значение 60 В для индуцированного напряжения в линиях электросвязи. Это значение относится исключительно к обеспечению безопасности персонала и не должно рассматриваться как гарантия от помех в системах передачи сигналов. В случае несимметричных систем передачи сигналов относительно земли подобные помехи могут возникать под влиянием значительно меньших напряжений, чем указано в [2].

#### Ссылки

- [1] Руководство МККТТ *Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи и электрифицированных железных дорог*, том IX, МСЭ, Женева, 1988 год.
- [2] *Там же*, том VI.

#### Рекомендация К.5

### СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПОР ДЛЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ И ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ (Женева, 1964 г.)

Администрациям, желающим использовать одни и те же опоры для проводных или кабельных воздушных линий электросвязи и для линий электропередачи, если это допускается национальными законодательствами и правилами, рекомендуется учитывать следующие общие положения:

- 1) Совместное использование опор воздушных линий администрациями связи и ведомствами по распределению электроэнергии является выгодным по соображениям эстетики и экономики.
- 2) При использовании соответствующих методов совместной прокладки таких линий существует большая вероятность, по сравнению с обычными методами прокладки линий, снижения безопасности работы персонала, обслуживающего как линию электросвязи, так и подключенную к ней установку. В этом случае желательно иметь специально обученный персонал, особенно для работы на высоковольтной линии электропередачи.
- 3) Следует точно выполнять требования *Директив*, касающиеся опасных ситуаций, помех, безопасности персонала и т. д. (см. [1]).
- 4) Желательно, чтобы в случае совместного использования опор между заинтересованными администрациями связи и ведомствами по распределению электроэнергии были заключены специальные соглашения, определяющие сферы их ответственности.
- 5) При совместной подвеске линий на участках небольшой протяженности (например, порядка 1 км) в большинстве случаев достаточно принятия простых мер предосторожности, чтобы магнитные и электрические помехи были в допустимых пределах.

#### Ссылка

- [1] Руководство МККТТ *Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи и электрифицированных железных дорог*, том II, МСЭ, Женева, 1988 год.

#### Рекомендация К.6

### МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ, ПРИНИМАЕМЫЕ НА ПЕРЕСЕЧЕНИЯХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ И ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ (Женева, 1964 г.)

#### Введение

Пересечения воздушных линий электросвязи с линиями электропередачи создают опасность для работы обслуживающего персонала и оборудования.

Компетентными органами разных стран разработаны соответствующие меры, которые включены в национальные правила. Часто эти правила разноречивы, а эффективность принимаемых мер недостаточно высока.

С учетом современного развития техники и опыта разных стран для МККТТ, по-видимому, пришло время разработать Рекомендацию по наиболее эффективным мерам обеспечения безопасности. На базе этой Рекомендации страны смогут выработать или пересмотреть свои национальные правила.

Следовательно, при пересечении воздушной линии электросвязи с линией электропередачи рекомендуется применять один из двух следующих методов: заменить в месте пересечения воздушную линию подземным кабелем или оставить ее воздушной.

## 1 Воздушная линия заменяется подземным кабелем

Этот метод нельзя рекомендовать во всех случаях, так как при обрыве и падении провода линии электропередачи проложенный в земле кабель может оказаться в зоне с высоким потенциалом земли. Такое положение особенно опасно, если кабель не имеет изолирующего покрытия на металлической оболочке; опасность возрастает с увеличением напряжения в линии электропередачи, уменьшением длины кабельного участка и повышением удельного сопротивления земли. Опасное положение возникает также в том случае, когда на ближайшей к кабелю опоре происходит короткое замыкание провода линии электропередачи на землю.

Если по условиям эксплуатации требуется заменить воздушную линию кабелем, то в месте пересечения с линией электропередачи должны быть приняты специальные меры предосторожности, например:

- использование изолирующего покрытия на металлической оболочке кабеля;
- использование кабеля с пластмассовой оболочкой.

## 2 Линия остается воздушной

В этом случае, как правило, не рекомендуется подвеска предохранительного провода или защитной сетки между проводами линии электропередачи и линии электросвязи.

В любом случае необходимо соблюдать минимальное расстояние (по вертикали) между проводами линии электропередачи и линии электросвязи, которое определяется национальными правилами.

Кроме того, для уменьшения опасности можно принять ряд других мер, а именно:

2.1 *Использование общей опоры* в местах пересечения при условии, что изоляторы линии электросвязи имеют большую электрическую прочность.

2.2 *Изолирование проводов*, предпочтительно проводов линии электросвязи, если эта изоляция соответствует окружающим условиям.

2.3 *Усиление конструкции* линии электропередачи в месте пересечения для уменьшения опасности обрыва проводов.

## 3 Условия, при которых могут быть приняты меры, указанные в § 2.1, 2.2 и 2.3

Применение этих методов зависит главным образом от напряжения линии электропередачи. Диапазон напряжений, которые необходимо учитывать, не отвечает стандартам Международной электротехнической комиссии (МЭК), так как в этом случае возникают специфические проблемы.

### 3.1 Сети с напряжением 600 В и ниже

Необходимо принимать меры, указанные в § 2.1 и/или § 2.2.

### 3.2 Сети с напряжением 60 кВ и выше

(В частности, так называемые сети «высокой надежности», которые упоминаются в [1].)

В случае необходимости принимаются меры, указанные в § 2.3.

### 3.3 Сети с промежуточными напряжениями

Вследствие разнообразия напряжений, механических характеристик линий и методов эксплуатации в диапазоне напряжений от 600 В до 60 кВ дать точные рекомендации невозможно.

Однако можно воспользоваться одним или несколькими из указанных выше методов, хотя в некоторых особых случаях этот вопрос требует изучения со стороны всех заинтересованных служб.

## Ссылка

[1] Руководство МККТТ *Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи и электрифицированных железных дорог*, том VI, МСЭ, Женева, 1988 год.

## Рекомендация К.7

### ЗАЩИТА ОТ АКУСТИЧЕСКОГО УДАРА

(Женева, 1964 г.; исправлена в Малага-Торремолиносе, 1984 г.)

При неблагоприятных условиях в результате электромагнитных влияний на линию в телефонном аппарате, который обычно включается в двухпроводную линию, могут появиться кратковременные перенапряжения исключительно большой амплитуды, например порядка 1 кВ.

Если подобные перенапряжения появляются во время телефонного разговора, то они создают посредством телефонного капсюля сильное звуковое давление, опасное для слуха и нервной системы человека.

Такие перенапряжения могут иметь место главным образом при неодновременном срабатывании грозоразрядников, подключенных к двум проводам телефонной линии, в результате чего через телефон протекает уравнительный ток. Поэтому МККТТ рекомендует, особенно на линиях с вакуумными грозоразрядниками, применять устройство защиты от акустического удара, обусловленного недопустимо высокими индуцированными напряжениями (см. *Директивы*, глава I/6, стр. 16).

Устройства защиты состоят, например, из двух параллельно включенных и противоположно направленных диодов или других полупроводниковых элементов, подключенных параллельно непосредственно к телефонному капсюлю.

В современных телефонных аппаратах резкие скачки напряжения, которые могут возникнуть в телефонном капсюле, можно устраниć за счет выбора соответствующих характеристик электрических цепей от ввода линии, где возникают опасные напряжения, до самого телефонного капсюля.

Рекомендуется также, чтобы предлагаемые меры защищали от треска и щелчков, которые могут возникнуть в абонентских установках в результате неправильной работы или непредусмотренногоключения оборудования, к которому подсоединенны абонентские установки.

Устройства, предназначенные для защиты от акустического удара, должны:

- удовлетворять техническим требованиям, предъявляемым к оборудованию;
- облегчать проверку работы оборудования;
- не вызывать ощутимого ухудшения качества телефонной передачи.

Для удовлетворения этих требований, в частности, рекомендуется следующее:

- 1) устройство должно быть небольшим по размеру, чтобы его можно было разместить в корпусе телефонной трубки абонента или гарнитуры телефонистки;
- 2) электрические характеристики устройства в процессе эксплуатации не должны значительно изменяться под влиянием температуры и влажности;
- 3) эффективность устройства должна проверяться в соответствии с положениями Рекомендации Р.36 МККТТ.

## Рекомендация К.8

### РАССТОЯНИЕ В ЗЕМЛЕ МЕЖДУ КАБЕЛЯМИ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ И СИСТЕМОЙ ЗАЗЕМЛЕНИЯ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

(Мар-дель-Плата, 1968 г.; изменена в Мельбурне, 1988 г.)

#### Введение

Если укладываемый в грунт кабель электросвязи без изолирующего покрытия на металлической оболочке располагается вблизи системы заземления высоковольтной установки, то часть увеличения потенциала земли (ЕРР) в случае замыкания на землю в высоковольтной установке передается в систему электросвязи через гальваническую связь.

В соответствии с документами МККТТ и СИГРЕ<sup>1)</sup> [1—3] ЕРР от высоковольтных установок электро- передачи рассматривается в качестве источника опасных помех системам электросвязи и опасности для обслуживающего персонала.

Рассчитать ЕРР вблизи энергетических установок можно с помощью методов, которые приведены в *Директивах* [1] (см. тома II и III); это особенно рекомендуется в случае разветвленных заземляющих систем.

Целью настоящей Рекомендации является выдача практических указаний для определения безопасных расстояний между кабелями электросвязи, проложенными непосредственно в грунте, и системами заземления энергетических установок при отсутствии произведенных на месте измерений или вычисленных значений ЕРР.

## 1 Область применения

Авария на землю в энергосистеме вызывает появление в земле токов, которые повышают ее потенциал в тех местах, где ток входит в землю и выходит из нее. Величина ЕРР зависит от величины аварийного тока, сопротивления заземления, удельного сопротивления земли и схемы заземляющего устройства. Продолжительность короткого замыкания на землю зависит от типа энергосистемы.

В настоящей Рекомендации дается информация, относящаяся к:

- a) местам, в которых может возникать ЕРР;
- b) продолжительности ЕРР в энергосетях различных типов;
- c) «безопасному расстоянию» между кабелями электросвязи и энергетическими установками;
- d) мерами, которые должны приниматься, если не удается обеспечить нужное безопасное расстояние.

## 2 Общие соображения

Минимальное рекомендуемое расстояние в земле между заземлениями энергетической установки и кабелями электросвязи, зависит от ряда факторов:

- типа энергосистемы;
- величины аварийного тока;
- заземляющей системы;
- удельного сопротивления земли;
- местных условий..

## 3 Тип энергосистемы

Энергосистемы классифицируются в зависимости от состояния нейтральной точки силовых трансформаторов — подключена ли она непосредственно к заземлению или изолирована. Система заземления оказывает влияние как на величину, так и на продолжительность аварийного тока и, следовательно, на ЕРР.

### 3.1 Сети с нейтральной точкой, заземленной непосредственно или через малое полное сопротивление

Величина аварийного тока (тока короткого замыкания) на землю высока. Система релейной защиты очень быстро устраняет это повреждение.

### 3.2 Сети с нейтральной точкой, заземленной через дугогасящую катушку

Величина аварийного тока на землю мала и, как правило, не превышает 100 ампер для каждой катушки. Длительность протекания аварийного тока сравнительно небольшая.

Такие сети могут быть оснащены установками замедленного отключения для устранения перманентных коротких замыканий на землю.

<sup>1)</sup> СИГРЕ — Международная конференция по электрическим сетям высокого напряжения.

### **3.3 Сети с нейтральной точкой, изолированной от земли**

Как правило, величина аварийного тока на землю низкая, но длительность замыкания может быть очень большой. В сетях большой протяженности могут возникнуть большие емкостные токи на землю.

Если такие сети оснащены устройствами автоматического отключения аварийного тока, то продолжительность протекания тока может быть небольшой или средней.

## **4 Места, в которых может возникать увеличение потенциала земли**

### **4.1 Станции и подстанции**

Станции и подстанции энергосистем являются точками, где возникновение ЕРР наиболее вероятно. Размер станции, число и конструкция линий электропередачи, подключенных к этой станции, и заземляющее устройство являются факторами, которые влияют на уровень и зону ЕРР. Как указано в [4], расположение и конструкция заземляющего устройства определяются правилами, размером, сроком службы, назначением и месторасположением станции. Если линии электропередачи, входящие в станцию, оснащены заземляющими проводами, то последние будут подключаться к системе заземления данной станции.

### **4.2 Мачты линии электропередачи**

Мачты линии электропередачи с заземляющими электродами опор подвержены ЕРР под влиянием аварийного тока на землю и токов, возникающих при ударе молнии. Если линия электропередачи оснащена заземляющими проводами, то они подключаются, как правило, к указанным электродам мачт. При наличии заземляющих проводов вероятность высокого ЕРР уменьшается.

## **5 Величина ЕРР**

Величина ЕРР зависит от напряжения энергосистемы, конструкции линии электропередачи, величины аварийного тока и сопротивления заземления.

## **6 Зона ЕРР**

ЕРР измеряется как потенциал земли по отношению к удаленной нейтральной точке. Зона ЕРР около заземляющей системы изменяется от нескольких десятков до нескольких тысяч метров в зависимости от удельного сопротивления земли, расположения заземляющих электродов и других местных условий. Дополнительную информацию можно найти в [5]. Зоны ЕРР в городских районах невелики по сравнению с теми, которых можно ожидать в сельских районах. Опасными считаются только те зоны ЕРР, которые имеют потенциал, превышающий значения, указанные в [1]. Измерения и вычисления зон ЕРР производятся специалистами-энергетиками.

## **7 Продолжительность возрастания потенциала земли**

Продолжительность аварийного замыкания на землю, и, следовательно, ЕРР зависит от типа энергосистемы.

### **7.1 Сети с нейтральной точкой, заземленной непосредственно или через малое полное сопротивление**

Продолжительность аварийного замыкания на землю будет, как правило, меньше чем 0,2—0,5 с.

### **7.2 Сети с нейтральной точкой, заземленной через дугогасящую катушку**

Продолжительность аварийного замыкания на землю будет, как правило, меньше чем 0,8 с; однако в некоторых случаях она может достигать нескольких секунд. Подобные сети могут быть оснащены устройствами замедленного (порядка нескольких секунд) разъединения для устранения перманентных замыканий на землю.

### 7.3 Сети с нейтральной точкой, изолированной от земли

Продолжительность аварийного замыкания на землю может быть очень большой; такое замыкание может длиться до возникновения другого аварийного замыкания на землю.

Если подобные сети оснащены автоматическими устройствами отключения ЛЭП, то продолжительность аварийного замыкания на землю может быть небольшой и равняться указанной в § 7.1.

### 8 Минимальное расстояние в земле между подземными кабелями электросвязи и заземляющими системами энергоустановки

Величина ЕРР вблизи заземления энергетической системы может определяться посредством расчета, основанного на идеализированных заземляющих электродах и однородном удельном сопротивлении земли в зоне ЕРР. На практике невозможно выполнить точные расчеты потенциала, передаваемого из заземления высоковольтной энергетической системы в расположенный по соседству кабель электросвязи. Однако, питая током заземляющую систему от источника, второй полюс которого удален на большое расстояние, можно измерить напряжение между оболочкой кабеля и вспомогательным электродом, расположенным в зоне нулевого потенциала. Этот результат может быть скорректирован пропорционально фактическому току короткого замыкания на землю. (На бронированных кабелях поправочный коэффициент является нелинейным, он зависит от магнитной проницаемости ферромагнитного экрана кабеля.) При отсутствии других исследований, результатов измерений на месте или вычисленных значений ЕРР минимальные расстояния между «обычным» телефонным кабелем с металлической оболочкой, находящейся в прямом контакте с грунтом, и заземляющей системой высоковольтной энергоустановки должны соответствовать приведенным в таблице 1/К.8.

ТАБЛИЦА 1/К.8

**Расстояние в земле (в метрах) между кабелями электросвязи и заземлениями высоковольтных систем, за пределами которых никакие вычисления или измерения не требуются**

Удельное сопротивление земли	Сеть электропередачи		Местоположение
	с изолированной нейтральной точкой или дугогасящей катушкой	с нейтральной точкой, заземленной непосредственно	
Менее чем 50 Ом·м	2	5	Городская
	5	10	Сельская местность
50—500 Ом·м	5	10	Городская
	10	20	Сельская местность
500—5000 Ом·м	10	50	Городская
	20	100	Сельская местность
Более чем 5000 Ом·м	10	50	Городская
	20	100—200 <sup>a)</sup>	Сельская местность

<sup>a)</sup> 200 м в районах с исключительно неблагоприятными условиями по удельному сопротивлению земли, т. е. более чем 10 000 Ом·м.

**Примечание 1.** — Значения, указанные в таблице, относятся, как правило, к линиям и установкам, номинальное напряжение которых равно или превышает 132 кВ.

**Примечание 2.** — Опасные влияния, обусловленные ударами молний на электрические установки, здесь не рассматриваются; может потребоваться учитывать указанные в § 9 методы для зон с высоким кероническим уровнем.

**Примечание 3.** — В случае заземления мачт линий электропередачи можно допустить гораздо меньшие расстояния, если линии электропередачи оснащены заземляющими проводами.

**Примечание 4.** — Эти значения не учитывают опасности для людей, ведущих работы на линиях электросвязи в зонах ЕРР; такие опасности требуют принятия дополнительных мер защиты или предосторожностей.

## 9 Меры, которые должны приниматься для предотвращения опасного воздействия EPR

Основной метод защиты от опасного влияния вследствие EPR состоит в увеличении расстояния между кабелями электросвязи и заземлениями энергосистемы. Если местные условия не позволяют обеспечить расстояние достаточное, чтобы избежать опасного влияния EPR, то для кабелей электросвязи должна быть предусмотрена изоляция, например кабель помещается в изолирующей пластмассовой трубе.

В случае исключительно большой величины EPR или очень большой зоны EPR вместо кабелей с металлическими проводниками можно использовать волоконно-оптические кабели или радиорелейные системы связи.

### Ссылки

- [1] Руководство МККТТ *Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи и электрифицированных железных дорог*, тома II и III, МСЭ, Женева, 1988 год.
- [2] Исследовательская комиссия V МККТТ — Вклад № 61/1979.
- [3] СИГРЕ № 36-04/1970 — Увеличение потенциала земли и линии электросвязи.
- [4] ELECTRA № 71/1980 — Заземление станций — Аспекты безопасности и помех.
- [5] ELECTRA № 60/1978 — Зона влияния увеличения потенциала земли.

### Рекомендация К.9

#### ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛА И УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОСВЯЗИ ОТ ВЫСОКИХ ГРАДИЕНТОВ ПОТЕНЦИАЛА ЗЕМЛИ, ВОЗНИКАЮЩИХ ИЗ-ЗА ВЛИЯНИЯ СОСЕДНЕЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОТЯГИ

(Мар-дель-Плата, 1968 г.)

## 1 Общие положения

С технической точки зрения меры предосторожности, принимаемые на электрифицированных железных дорогах с целью защиты персонала и установок, могут различаться в зависимости от факторов, главными из которых являются следующие:

- удельное сопротивление земли;
- электрическое линейное оборудование (рельсовые цепи), необходимое для обеспечения безопасности на железной дороге и способное предотвратить систематическое замыкание рельсов с металлическими конструкциями вблизи железнодорожного пути;
- характеристики требуемых защитных устройств, которые на линиях электротяги переменного тока до некоторой степени зависят от наличия или отсутствия бустерных трансформаторов;
- степень изоляции контактных проводов, на которую также может влиять тип защитных устройств, особенно в случае электросистем сравнительно низкого напряжения, например линий постоянного тока напряжением 1500 В;
- средства, рекомендуемые для соединения металлической конструкции с рельсами в случае перенапряжений, без постоянного контакта (например, один из способов заключается в использовании разрядника).

## 2 Электрифицированные железные дороги переменного тока

К рельсам рекомендуется подключать все соседние металлические конструкции, расположенные, например, на определенном расстоянии от электрифицированных железных дорог, если не имеется устройств, обеспечивающих безопасность, так как в таком случае это недопустимо.

Если подключение конструкций к рельсам невозможно, рекомендуется их заземлять с помощью электродов с достаточно малым сопротивлением.

### **3 Электрифицированные железные дороги постоянного тока**

Принимаемые меры предосторожности должны учитывать необходимость исключения любой опасности возникновения электролитической коррозии. Эти меры заключаются в том, что к рельсам подсоединяются только те металлические конструкции, которые достаточно изолированы от земли, или соединение металлических конструкций с рельсами осуществляется с помощью разрядников. Металлические конструкции с соответствующим образом изолированной контактной системой или линии со сравнительно низким рабочим напряжением не должны подключаться ни к рельсам, ни к заземляющим устройствам.

### **4 Кабели электросвязи**

Рекомендуется, чтобы новые кабели, прокладываемые вблизи рельсов, на вводах в подстанции, а также на металлических мостах, имели внешнее пластмассовое покрытие с возможно более высокой электрической прочностью диэлектрика с целью предотвращения контакта между кабелем и этими конструкциями.

Если речь идет об уже проложенных кабелях с металлическими оболочками, то хорошим решением, по крайней мере на больших железнодорожных станциях, является подключение металлических оболочек к рельсам.

### **5 Требования, которым должны удовлетворять расположенные вблизи электрифицированных железных дорог установки, принадлежащие администрациям**

Основными предохранительными мерами по защите таких установок являются:

- размещение установок за пределами опасной зоны;
- экранирование;
- замена металлических элементов изолирующими, в частности оболочек и покрытий кабелей или корпусов, в которых размещаются промежуточные усилители.

*Примечание.* — Вышеизложенные рекомендации обусловлены исключительно техническими соображениями, которые необходимо тщательно анализировать в каждом конкретном случае. Естественно, каждая Администрация должна действовать при этом с учетом принятых в ее стране правил.

## **Рекомендация К.10**

### **АСИММЕТРИЯ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОСВЯЗИ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗЕМЛИ**

*(Мар-дель-Плата, 1968 г.; изменена в Малага-Торремолиносе, 1984 г.)*

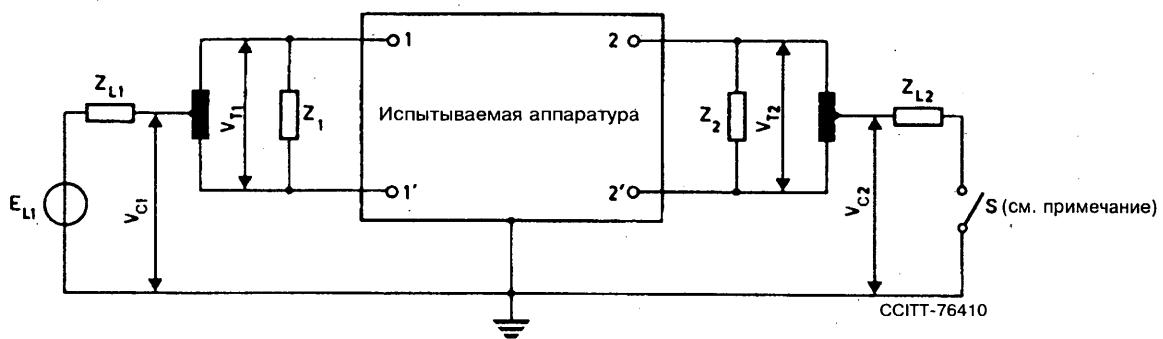
### **1 Асимметрия аппаратуры электросвязи относительно земли**

Для сохранения достаточной симметрии аппаратуры электросвязи и подключенных к ней линий рекомендуется, чтобы минимальные допустимые значения затухания асимметрии установок электросвязи составляли 40dB (в диапазоне 300—600 Гц) и 46 dB (в диапазоне 600—3400 Гц). Эти значения являются общими минимальными значениями и не исключают возможности использования в других рекомендациях МККТТ<sup>1)</sup> более высоких минимальных значений в зависимости от конкретных условий.

Схема измерения асимметрии аппаратуры электросвязи показана на рис. 1/К.10.

Условные обозначения, определения и схемы измерения асимметрии даны на основании Рекомендаций G.117 и O.121.

<sup>1)</sup> См., в частности, Рекомендацию Q.45, а также результат дальнейшего изучения Вопроса 13/V [1].



*Примечание.* — Обычно измерения для определения предельных значений проводятся при замкнутом положении ключа S. Однако для некоторых типов аппаратуры, например аппаратуры, описанной в Рекомендации Q.45, может потребоваться определить предельные значения затухания асимметрии на дальнем конце при замкнутом и разомкнутом положении ключа S.

РИСУНОК 1/К.10

Схема измерения

В диапазоне тональных частот должны соблюдаться условия  $Z_{L1} = Z_1/4$ ,  $Z_{L2} = Z_2/4$  (см. Рекомендации Q.45 и О.121, § 3.2).

Приняты следующие термины:

— затухание асимметрии (применяется к двух- и четырехполюсным схемам):

$$20 \log_{10} \left| \frac{E_{L1}}{V_{T1}} \right| \text{ дБ;}$$

— затухание асимметрии на дальнем конце (применяется только к четырехполюсным схемам):

$$20 \log_{10} \left| \frac{E_{L1}}{V_{T2}} \right| \text{ дБ.}$$

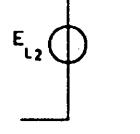
## 2 .Асимметрия линий электросвязи относительно земли

Если измерения проводятся на протяжении линии, то в основном необходимо пользоваться той же схемой измерения и приборами, приведенными на рис. 1/К.10. Однако индуцированная продольная эдс и асимметрия распределяются вдоль линии. Следовательно, затухание асимметрии и затухание асимметрии на дальнем конце зависят не только от собственных параметров, но также от распределения напряжения в цепи «провод—земля/оболочка». Для нахождения асимметрии на практике рекомендуется, чтобы измерения проводились при напряжении в цепи «провод — оболочка» с неизменной полярностью (т. е. источник питания — на конце, см. таблицу 1/К.10) и при напряжении в цепи «провод—оболочка» с полярностью, изменяющейся в средней точке (т. е. источник питания — в середине, см. таблицу 2/К.10).

В таблице 3/К.10 изложены выводы, полученные на основании этих измерений.

ТАБЛИЦА 1/К.10

Результаты измерения асимметрии линии  
при питании продольной цепи на одном конце

Испытываемая линия			
Сторона 1		Сторона 2	
Окончание	Используемые выражения	Используемые выражения	Окончание
 $E_{L1}$	Затухание асимметрии $20 \log_{10} \left  \frac{E_{L1}}{V_{T1}^o} \right $	Затухание асимметрии на дальнем конце $20 \log_{10} \left  \frac{E_{L1}}{V_{T2}^o} \right $	 Разомкнут
	$20 \log_{10} \left  \frac{E_{L1}}{V_{T1}^c} \right $	$20 \log_{10} \left  \frac{E_{L1}}{V_{T2}^c} \right $	 Замкнут
	Затухание асимметрии на дальнем конце $20 \log_{10} \left  \frac{E_{L2}}{V_{T1}^o} \right $	Затухание асимметрии $20 \log_{10} \left  \frac{E_{L2}}{V_{T2}^o} \right $	
	$20 \log_{10} \left  \frac{E_{L2}}{V_{T1}^c} \right $	$20 \log_{10} \left  \frac{E_{L2}}{V_{T2}^c} \right $	

CCITT-76420

Примечание 1. — Индексы о и с указывают, соответственно, на разомкнутое и замкнутое положение ключа S.

Примечание 2. — Величины  $V_{Cl}$  и  $V_{C2}$  дают некоторое представление о распределении напряжения в цепи «провод—земля/оболочка».

ТАБЛИЦА 2/К.10

Результаты измерения асимметрии линии  
при питании продольной цепи на промежуточном участке

	Сторона 1	Сторона 2		
№	Окончание	Затухание асимметрии	Затухание асимметрии	Окончание
1	Разомкнут	$20 \log_{10} \left  \frac{E_L}{V_{T1}^{\infty}} \right $	$20 \log_{10} \left  \frac{E_L}{V_{T2}^{\infty}} \right $	Разомкнут
2	Замкнут	$20 \log_{10} \left  \frac{E_L}{V_{T1}^{cc}} \right $	$20 \log_{10} \left  \frac{E_L}{V_{T2}^{cc}} \right $	Замкнут
3	Разомкнут	$20 \log_{10} \left  \frac{E_L}{V_{T1}^{\infty}} \right $	$20 \log_{10} \left  \frac{E_L}{V_{T2}^{\infty}} \right $	Замкнут
4	Замкнут	$20 \log_{10} \left  \frac{E_L}{V_{T1}^{\infty}} \right $	$20 \log_{10} \left  \frac{E_L}{V_{T2}^{\infty}} \right $	Разомкнут

CCITT-76430

Примечание 1. — Индексы о и с указывают, соответственно, на разомкнутое и замкнутое положение ключа S.

Примечание 2. — Величины  $V_{c1}$  и  $V_{c2}$  дают некоторое представление о распределении напряжения в цепи «провод—земля/оболочка».

ТАБЛИЦА 3/К.10

Методика измерений для определения асимметрии линии относительно земли

Ситуация измерения	Исследуемые характеристики
<p>Эдс прикладывается на концах (см. таблицу 1/К.10)</p> <p>Напряжение в цепи "провод — оболочка" с определенной полярностью</p>	<p>Степень асимметрии, присущей самой линии:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— обычно наибольшее значение поперечного напряжения, измеряемого на линии</li> <li>— распределение асимметрии вдоль линии (измерения на обоих концах)</li> <li>— определение участков линии с недопустимо высокой асимметрией</li> </ul>
<p>Эдс прикладывается в середине линии (см. таблицу 2/К.10)</p> <p>Напряжение в цепи "провод — оболочка" с полярностью, изменяющейся в средней точке</p>	<p>Влияние распределения напряжения в цепи "провод — оболочка" вдоль линии:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— поперечные напряжения, более согласующиеся с реальными ситуациями</li> <li>— эффекты компенсации вследствие изменения полярности в цепи "провод — оболочка"</li> <li>— указания о знаке асимметрии по сравнению с результатами других распределений напряжений в цепи "провод — оболочка"</li> </ul>

CCITT-76440

*Примечание.* — Если продольная цепь замкнута с помощью ключей, то при этом имитируется влияние оконечной аппаратуры, подключенной к линии с низким полным сопротивлением относительно земли.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(к Рекомендации К.10)

### Пример вычисления поперечных напряжений в линии электросвязи

#### A1      Общие положения

Документ, указанный в [2], содержит большое количество рассчитанных значений, относящихся к соотношению между продольным напряжением и его переходом в поперечное напряжение. Настоящее приложение является выдержкой из этого документа. В нем содержится исходная информация по использованию предложений, содержащихся в Рекомендации К.10, для измерений на линиях электросвязи.

Наиболее важные результаты сведены в таблицу А-1/К.10. Они относятся к симметричным парам с медными жилами диаметром 0,9 мм и воздушно-бумажной изоляцией, скрученным в звездные четверки с рабочей емкостью 34 нФ/км. В процессе вычислений имитировалась только емкостная асимметрия.

#### A.2 Напряжение в цепи "провод — оболочка"

Распределение напряжения в цепи "провод — оболочка (земля)" (см. колонку 2 в таблице А-1/К.10, где для простоты полное напряжение источника в продольной цепи принято равным 100 В) в основном зависит от:

- расположения источника продольной эдс (см. колонку 1 в таблице А-1/К.10);
- окончания продольной цепи (см. колонку 3 в таблице А-1/К.10).

На основе диаграмм, показанных в колонке 2 таблицы А-1/К.10, полезно указать на следующие зависимости:

- a) если эдс прикладывается на одном из концов продольной цепи, то напряжение в цепи "провод — оболочка" будет распределено вдоль линии равномерно и с неизменной полярностью. В том случае, когда ключ S замкнут, напряжение уменьшается (сравните кривые, показанные сплошной и пунктирной линиями в 1-м ряду в колонке 2);
- b) в тех случаях, когда эдс прикладывается на промежуточном участке линии, например сосредоточена в середине или распределена равномерно по длине, напряжение в цепи "провод — оболочка" на каждой половине линии имеет одинаковые значения, но противоположную полярность (см. кривые, показанные пунктирной линией во 2-м и 3-м рядах). Если на концах замкнут только один ключ, то симметрия распределения напряжения нарушается (см. кривые, показанные сплошной линией во 2-м и 3-м рядах). Отличие распределений напряжения при разомкнутом/замкнутом и замкнутом/замкнутом положении ключей на концах уменьшается с увеличением протяженности линии и частоты.

#### A.3 Затухание асимметрии

Затухание асимметрии и затухание асимметрии на дальнем конце (определяется по таблицам 1/К.10 и 2/К.10) в основном зависят от:

- распределения напряжения в цепи "провод — оболочка" (см. § 2);
- значения и распределения емкостной асимметрии.

Что касается влияния второго фактора, то были исследованы три случая. В таблице А-1/К.10 эти случаи обозначены как с односторонним, полностью выравненным, и выравненным с остаточной асимметрией характерами распределения асимметрии. Случай односторонней равномерной емкостной асимметрии  $\Delta C = 600$  пФ/км имитирует наихудший случай асимметрии, которого на практике не бывает. Также невозможно добиться полностью выравненной асимметрии линии (при пересечении через каждые 0,5 км).

Значения затухания асимметрии можно объяснить с помощью того факта, что высокие поперечные напряжения возникают в результате емкостной асимметрии в том случае, если расположение асимметрии совпадает с высоким напряжением в цепи "провод — земля". Асимметрия последующего участка линии может увеличить поперечное напряжение, если знак асимметрии и полярность напряжения в цепи "провод — земля" такие же, как и на предыдущем участке. Однако если один из параметров меняется, то результирующее поперечное напряжение становится ниже.

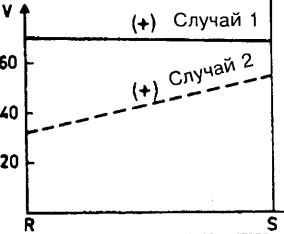
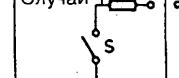
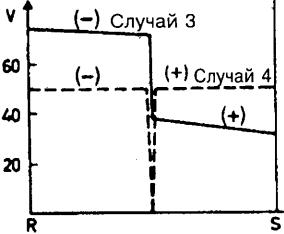
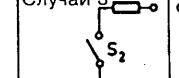
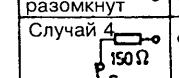
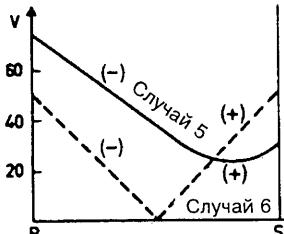
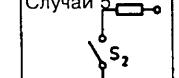
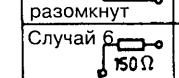
При хорошо выравненной асимметрии линии значение затухания асимметрии имеет большую величину и в основном не зависит от расположения источника эдс и позиций ключей на концах (см. колонку 5 в таблице А-1/К.10).

Если величина затухания асимметрии существенно увеличивается при размыкании ключа S и зависит от направления питания, то можно предположить наличие на линии локальной асимметрии (см. колонку 6 в таблице А-1/К.10).

Низкие значения затухания асимметрии (т. е. менее 60 дБ) могут быть вызваны односторонней емкостной асимметрией (см. колонку 4 в таблице А-1/К.10). Для Рекомендации К.10 это является тем случаем, когда метод измерения, изложенный в § 2, может дать значительно завышенные значения затухания асимметрии, чем фактические значения в реальных условиях влияния линий электропередачи. В этом случае более реальные значения можно получить с помощью метода, приведенного в таблице 2/К.10.

ТАБЛИЦА А-1/К.10

Напряжение в цепи "провод — земля" и затухание асимметрии  
(длина кабеля 10 км; частота 800 Гц; емкостная асимметрия  $\Delta C = 600 \text{ пФ/км}$ )

Расположение источника эдс	Распределение напряжения в цепи "провод — земля"	Окончание продольной цепи (положение ключа)	Затухание асимметрии, дБ					
			$\Delta C$		Характер распределения $\Delta C$		Выравненный с остаточной асимметрией	
R (1)	R (2)	R (1)	S (2)	R (1)	S (2)	R (1)	S (2)	
1 На конце S (1)	 <p>Случай 1: (+) at R, 60V at S Случай 2: (+) at S, 40V at R</p>	 <p>Случай 1: разомкнут Случай 2: замкнут</p> 	49	49	101	101	77	84
			53	53	112	102	83	90
2 В середине	 <p>Случай 3: (-) at R, 60V at S Случай 4: (-) at S, 40V at R</p>	 <p>Случай 3: разомкнут Случай 4: замкнут</p> 	57	58	96	100	78	84
			70	70	100	99	83	88
3 Равномерно по длине	 <p>Случай 5: (-) at R, 60V at S Случай 6: (-) at S, 40V at R</p>	 <p>Случай 5: разомкнут Случай 6: замкнут</p> 	57	58	95	102	78	84
			74	74	99	101	83	88
Колонка 1	Колонка 2	Колонка 3	Колонка 4	Колонка 5	Колонка 6			

На линиях основным видом асимметрии является емкостная асимметрия. Однако иногда омическая асимметрия (последовательное сопротивление  $R$ ) также бывает значительной. Как было указано выше, когда ключ  $S_2$  разомкнут, влияние поперечной асимметрии (в случае емкостного характера асимметрии линии) становится более заметным. Если ключ  $S_2$  (или  $S_1$  и  $S_2$ , показанные в таблице 2/К.10) разомкнут, а затухание асимметрии остается неизменным (или даже уменьшается), то это означает, что продольная асимметрия не может быть главной причиной асимметрии линии. И наоборот, если наблюдается увеличение, то основной является продольная асимметрия. Необходимо отметить, что хотя причиной наличия  $Z_L$  и  $S_2$  является обеспечение возможности проводящему измерения различить продольную и поперечную асимметрии, эффективность этого зависит от поперечного полного сопротивления линии, образуемого результирующей емкостью линии по отношению к земле (например, длиной линии [3]).

## Ссылки

- [1] Вопрос МККТТ 13/V *Асимметрия телефонных установок.*
- [2] Документ МККТТ СОМ V-38 *Изучение соотношения между асимметрией и возникающими поперечными напряжениями, 1981—1984 годы* (Администрация электросвязи Венгрии).
- [3] IEEE Std 455—1976 *IEEE Standard test procedure for measuring longitudinal balance of telephone equipment operating in the voice band.* Published by IEEE, Inc., September 30, 1976.

## Рекомендация К.11

### ПРИНЦИПЫ ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И ИЗБЫТОЧНЫХ ТОКОВ

(Женева, 1972 г.; изменена в Малага-Торремолиносе, 1984 г., и Мельбурне, 1988 г.)

#### Введение

В действующих документах МККТТ грозовые разряды и аварии на близко расположенных электрических установках признаются источниками опасных влияний на линии электросвязи, которые могут вызвать повреждения, приводящие к нарушениям связи и необходимости выполнения ремонтных работ, или повреждения, опасные для обслуживающего персонала.

Целью настоящей Рекомендации является изложение принципов, которые позволяют ограничить частоту возникновения и серьезность таких помех до уровней, учитывающих качество связи, эксплуатационные расходы и безопасность персонала. Эти принципы применимы ко всем частям системы электросвязи. Более подробные сведения по определенным методам защиты и для определенных частей системы содержатся в указанной справочной литературе и в Рекомендациях К.5, К.6, К.9, К.12, К.15, К.16, К.17. В [1] и [2] приведена информация о характере влияний и устройствах защиты (см. также Рекомендацию К.26).

В настоящей Рекомендации рассматриваются главным образом местные станции, абонентские линии и абонентское оборудование, однако ее содержание может иметь более широкое применение.

*Примечание.* — Опасные влияния, если они появляются, возникают относительно редко или являются весьма кратковременными (обычно порядка доли секунды), и при разработке настоящей Рекомендации не рассматривались методы, позволяющие избежать перерывов в работе оборудования во время самих влияний. МККТТ продолжает изучение таких методов.

#### 1 Общие положения

##### 1.1 Источники опасных перенапряжений и избыточных токов

###### 1.1.1 Прямые удары молний

Такие удары могут вызвать протекание по проводам или кабелям токов в несколько тысяч ампер в течение нескольких микросекунд. В результате могут произойти физические повреждения, а мощные импульсивные перенапряжения величиной в несколько киловольт и более могут вызвать пробой изоляции линейного и оконечного оборудования.

###### 1.1.2 Близкие удары молнии

Токи молний, протекающие от облака к земле или между облаками, вызывают перенапряжения в воздушных или подземных линиях вблизи места грозового разряда. В районах с высоким удельным сопротивлением земли область, подверженная влиянию, может быть большой.

### **1.1.3 Опасное влияние токов короткого замыкания в линиях электропередачи и электротяги**

Короткие замыкания в электрических системах приводят к протеканию больших несимметричных токов в линиях электропередачи, индуцирующих перенапряжения в соседних линиях электросвязи, которые проложены параллельно линиям электропередачи. Перенапряжения могут достигать нескольких киловольт и иметь длительность 200—1000 мс (иногда даже больше) в зависимости от используемой на линии электропередачи системы отключения.

### **1.1.4 Соприкосновение с проводами линий электропередачи**

Соприкосновения проводов линий электросвязи с проводами линий электропередачи могут произойти во время локальных стихийных бедствий, например бури, пожара, вызывающих повреждения обоих типов оборудования, или при несоблюдении обычных требований безопасности по минимально допустимым расстояниям между линиями и их изоляции. Перенапряжение редко превышают 240 В<sub>эфф</sub> переменного тока по отношению к земле в странах, где такое напряжение принято на распределительной сети, но они могут длиться в течение неограниченного времени, прежде чем будут обнаружены. При более высоких напряжениях распределительной сети, например 2 кВ, устройства защиты линий электропередачи, как правило, обеспечивают быстрое снятие напряжения при возникновении повреждения. Перенапряжение может вызвать протекание избыточных токов по линии к станционному заземлению, что приводит к повреждению оборудования и создает опасность для обслуживающего персонала.

### **1.1.5 Повышение потенциала земли**

Короткие замыкания в электрических системах вызывают появление в земле токов, которые повышают потенциал вблизи места повреждения и вблизи заземляющего электрода источника питания (см. также Рекомендацию К.9). Эти потенциалы земли могут воздействовать на установки электросвязи следующими двумя способами:

- a) могут произойти ложные срабатывания систем сигнализации электросвязи, если потенциал земли вблизи заземляющего электрода такой системы увеличивается всего лишь на 5 В по отношению к нормальному потенциальну земли. Такие напряжения могут быть вызваны несущественными неисправностями электрической системы, которые могут оставаться незамеченными длительное время;
- b) более значительное повышение потенциала земли может создать опасность для персонала, работающего в зоне влияния, или, в исключительных случаях, может оказаться достаточным для пробоя изоляции кабеля электросвязи и вызвать серьезное повреждение.

## **1.2 Методы защиты**

**1.2.1** Некоторые меры защиты линий, описание которых приведено в § 2, позволяют снизить перенапряжение и избыточные токи в их источнике и таким образом уменьшить риск повреждения всех частей системы.

**1.2.2** Другие меры, которые могут применяться для защиты только определенных частей системы, как указано в § 2, 3 и 4, подразделяются, в общих чертах, на две группы:

- использование устройств защиты, которые предотвращают попадание избыточной энергии в уязвимые части системы либо путем отвода энергии (например, разрядники), либо путем отключения линии (например, предохранители);
- использование оборудования с подходящими электрической прочностью диэлектрика, пропускной способностью по току и сопротивлением, чтобы оно могло выдерживать условия, в которые оно поставлено.

## **1.3 Типы устройств защиты**

### **1.3.1 Угольные и искровые разрядники**

Эти разрядники обычно включаются между каждым проводом линии и землей и ограничивают напряжение, которое может возникнуть между их электродами. Они дешевые, но их сопротивление изоляции после повторяющихся срабатываний может заметно уменьшиться, и поэтому может возникнуть необходимость в частой замене разрядников.

### **1.3.2 Газонаправленные разрядники**

Эти разрядники обычно включаются между каждым проводом линии и землей, а в случае трехэлектродных разрядников — между парой проводов и землей. Их характеристики могут быть заданы в точных пределах, чтобы отвечать требованиям системы. Разрядники компактны и, как правило, во время работы не требуют дополнительного обслуживания.

Подробные требования к газонаполненным разрядникам даны в Рекомендации К.12.

### **1.3.3 Полупроводниковые устройства защиты**

Полупроводниковые устройства защиты применяются аналогично угольным или газонаполненным разрядникам. Они могут защищать оборудование от перенапряжений даже с таким малым значением, как 1 В. Эти устройства имеют точные характеристики и значительное быстродействие, но могут повреждаться избыточными токами.

### **1.3.4 Предохранители**

Предохранители включаются последовательно в каждый провод линии с целью отключения ее при протекании избыточного тока. Простейшие предохранители содержат однородную плавкую проволоку. Предохранители замедленного действия содержат однородную проволоку, которая быстро плавится при протекании тока большой величины, и пружинный элемент, который плавится постепенно и отключает линию при длительном протекании токов меньшей величины. Типичная величина тока плавления равна 2 А при кратковременном протекании тока и 250 мА при длительном протекании тока. После срабатывания предохранители не должны поддерживать дуговой разряд. Предохранители не предназначены для защиты от грозовых разрядов, и в районах, где грозовые разряды — обычное явление, во избежание нарушения связи при повреждении предохранителей могут потребоваться предохранители с высоким номинальным значением тока (до 20 А). Однако такие предохранители могут не обеспечить требуемой защиты от соприкосновений с линиями электропередачи. Предохранители могут также служить источником помех и несвоевременных отключений.

### **1.3.5 Термические катушки**

Термические катушки включаются последовательно в каждый провод линии с целью отключения или заземления на линейный заземлитель, или того и другого одновременно при протекании опасного тока. Они содержат плавкий элемент и срабатывают при протекании тока порядка 500 мА в течение около 200 с.

### **1.3.6 Самовосстанавливающиеся устройства ограничения тока**

Предохранители и термические катушки обладают тем недостатком, что их срабатывание приводит к длительному отключению цепи, для восстановления которой необходимо вручную производить их замену. Существуют определенные устройства с переменным сопротивлением, которые при нагревании от избыточных токов значительно увеличивают свое электрическое сопротивление. Устройства возвращаются в свое нормальное состояние с низким электрическим сопротивлением при отсутствии избыточных токов. Следует обращать внимание на время срабатывания и способность регулирования напряжения этих устройств.

## **1.4 Остаточные эффекты**

Основное назначение мер защиты состоит в том, чтобы гарантировать, что большая часть электрической энергии от воздействия помехи не будет рассеиваться в уязвимых частях установки электросвязи и не будет создаваться опасность для обслуживающего персонала. Однако не существует никаких устройств защиты, характеристики которых позволяли бы полностью подавить все напряжения и токи, связанные с помехами, по следующим причинам.

### **1.4.1 Остаточные перенапряжения**

Следует принимать во внимание:

- a) напряжения, которые не понижаются устройствами защиты, поскольку их величина оказывается ниже порога срабатывания этих устройств;
- b) переходные процессы, которые происходят до срабатывания устройств защиты;
- c) напряжения, которые остаются после срабатывания устройств защиты;
- d) переходные процессы, создаваемые работой устройств защиты.

### **1.4.2 Поперечные напряжения**

Устройства защиты, включенные в оба провода пары, могут срабатывать неодновременно, что приводит к появлению поперечного импульсного напряжения. При определенных условиях, в частности если защищаемое оборудование имеет низкое полное сопротивление, срабатывание одного устройства защиты может помешать срабатыванию другого устройства защиты, и поперечное напряжение может оставаться до тех пор, пока в линии существует продольное напряжение.

### **1.4.3 Влияние на нормальную работу цепи — согласованная конструкция**

Между напряжением срабатывания устройств защиты и наибольшим значением напряжения, возникающего на линии при нормальной работе, должен быть обеспечен достаточный промежуток.

Кроме того, характеристики (внутренние сопротивления) защитных элементов должны быть совместимы с нормальным функционированием установок, учитывая возможное наличие защитных элементов.

#### 1.4.4 Побочные эффекты

Устройство защиты может обеспечить безопасность одной части линии за счет другой; например, если перегорает предохранитель в главном щите переключений (ГЩП) (кроссе) от соприкосновения с проводами линии электропередачи, то в момент, когда предохранитель размыкает цепь станционного заземления, напряжение на линии электросвязи может возрасти до полного напряжения линии электропередачи.

Кроме того, действие защитного устройства может значительно уменьшить эквивалентное внутреннее сопротивление цепи по сравнению с сопротивлением подключенного к ней оборудования, позволяя, таким образом, протекать токам, способным вызвать повреждение.

#### 1.4.5 Координация первичной и вторичной ступеней защиты

Для защиты чувствительного оборудования иногда необходимо не одно устройство защиты, а несколько, например быстродействующее слаботочное устройство, такое как полупроводниковый элемент, и сильноточное устройство более замедленного действия, такое как газонаполненный разрядник. В таких случаях необходимо принять меры, чтобы слаботочное устройство не препятствовало срабатыванию сильноточного, поскольку если это будет иметь место, то слаботочное устройство может быть повреждено или в общей схеме может протекать избыточный ток.

#### 1.4.6 Повышение температуры

Элементы защиты должны быть сконструированы и установлены таким образом, чтобы повышение температуры, сопровождающее их работу, не могло вызвать повреждения оборудования или создать опасность для обслуживающего персонала.

#### 1.4.7 Готовность цепи

При срабатывании устройств защиты может быть временно или на длительный срок прервана работа защищаемой цепи.

#### 1.4.8 Проблемы эксплуатации

Применение устройств защиты может затруднить техническое обслуживание системы вследствие недостаточной надежности этих устройств. Кроме того, они могут помешать проведению некоторых испытаний аппаратуры и линий электросвязи.

### 1.5 Оценка опасности повреждения

1.5.1 Эксплуатационные показатели системы электросвязи, принимая во внимание перенапряжения, зависят от следующих факторов:

- условий окружающей среды, т. е. величины и вероятности возникновения перенапряжений на линиях, входящих в систему;
- способов построения сети электросвязи (см. § 2);
- стойкости оборудования к перенапряжениям;
- наличия устройств защиты;
- характеристик системы заземления, предназначеннной для устройств защиты.

#### 1.5.2 Условия окружающей среды

При оценке условий окружающей среды необходимо принимать во внимание факторы, указанные в § 1.1.

Степень опасности грозовых перенапряжений значительно изменяется в зависимости от местности. Высокий уровень грозоактивности и высокое удельное сопротивление земли увеличивают опасность воздействия прямых и близких ударов молний, и, поскольку грозовые разряды являются причиной значительной части аварий на электрической сети, также возрастает количество случаев опасного влияния линий электропередачи и увеличения потенциала земли. С другой стороны, подземные металлические конструкции, как, например, трубы водопровода, бронированные кабели и т. д., экранируют городские телефонные кабели и значительно уменьшают перенапряжения от грозовых разрядов или влияние, создаваемое линиями электропередачи.

- Как показывает опыт, в городских центрах и в районах с низкой грозоактивностью перенапряжения редко превышают напряжение срабатывания устройств защиты, и такие районы могут быть классифицированы как "не подверженные влияниям". В Рекомендациях К.20 и К.21 указаны испытания, которым необходимо подвергать оборудование, предназначенное для использования в районах, не подверженных влияниям, без защиты; эти испытания учитывают наиболее тяжелые условия окружающей среды, при которых районы могут рассматриваться как не подверженные влияниям.

- Все остальные районы классифицируются как “подверженные влияниям”, однако, разумеется, эта категория охватывает широкий диапазон условий, включая и места с исключительно сильным влиянием, где удовлетворительная работа оборудования может быть достигнута только с помощью совокупного применения всех имеющихся мер защиты.

В случае индуцированных напряжений и увеличения потенциала земли перенапряжения можно рассчитать в соответствии с [2], где также рекомендованы максимальные допустимые значения напряжений для различных условий.

### 1.5.3 *Регистрация повреждений*

Только на основании практического опыта можно надлежащим образом оценить степень опасности перенапряжений и избыточных токов. Рекомендуется вести статистический учет повреждений в удобной для этой цели форме. Необходимо различать повреждения от перенапряжений и избыточных токов, повреждения, возникшие из-за неисправностей элементов устройств защиты, и повреждения по другим причинам.

## 1.6 *Решение по защите*

1.6.1 При рассмотрении степени надежности системы электросвязи по перенапряжениям можно выделить две группы повреждений:

- мелкие повреждения, которые возникают лишь на небольшой части устройств системы. Эти повреждения допустимы только до уровня, приемлемого для Администрации;
- крупные повреждения — пожары, аварии на станции и т. д., которые должны быть по возможности полностью исключены.

В Рекомендации К.20 приведены примеры условий, при которых допускается возникновение мелких повреждений, но не допускаются крупные. Кроме того, желательно, чтобы неисправность отдельного устройства защиты не приводила к крупному повреждению.

1.6.2 Особое внимание должно быть обращено на защиту от перенапряжений и избыточных токов новых типов станционного и абонентского оборудования, чтобы преимущества их улучшенной конструкции не были сведены на нет повреждениями от воздействия опасных напряжений и токов. Такому оборудованию может быть присуща чувствительность к перенапряжениям, и повреждения или неисправности могут повлиять на работу значительной части системы.

1.6.3 Следует отметить, что чрезмерная защита путем включения излишних устройств защиты не только неэкономична, но и может фактически ухудшить эксплуатационные параметры системы, поскольку устройства защиты сами до некоторой степени могут быть причиной неисправности.

Чтобы предотвратить помехи в цепях от задействованных устройств защиты, необходимо рассмотреть величины напряжений пробоя и количества разрядников.

1.6.4 Учитывая вышеизложенные соображения и оценку опасности в соответствии с § 1.5, должно быть принято решение по защите, которую необходимо обеспечить во всех частях системы. Необходимо учитывать экономические соображения, а именно: стоимость мер защиты, затраты на ремонтные работы, расчеты с потребителями и вероятную частоту повреждений от перенапряжений и избыточных токов по отношению к доле повреждений по другим причинам.

Должна быть четко определена ответственность за принятие этого решения и за установку любых устройств защиты, необходимых для координации линий и станционного оборудования.

Изготовителям оборудования необходимо знать от администрации, эксплуатирующей оборудование, условия, которые оно должно выдерживать, а инженерам линейной службы необходимо знать стойкость оборудования, подключаемого к линиям. Кроме того, инженеры линейной службы должны определить ограничения, которые встречаются в работе оборудования, подключаемого к линии, в зависимости от норм на организуемую защиту линий. В тех случаях, когда отдельные части сети электросвязи, а именно абонентские установки, линии и центры коммутации, могут быть собственностью разных владельцев, для такой координации может потребоваться выполнение некоторых формальных процедур, как, например, разработка местных стандартов. Указания по подготовке таких стандартов даны в Рекомендациях К.20 и К.21.

## **2      Защита линий электросвязи**

### **2.1     Внешние по отношению к проводам меры защиты**

**2.1.1** Линии электросвязи могут быть до некоторой степени защищены от ударов молний расположенным вблизи них заземленными металлическими конструкциями, например линиями электропередачи или электрическими системами железных дорог. Эффективные металлические экраны в виде оболочек кабелей, кабельных каналов или грозозащитных тросов снижают воздействие грозовых импульсов и влияние, создаваемое линией электропередачи. В районах с высокой грозоактивностью часто применяются специальные кабели с многослойными экранами и высокой электрической прочностью изоляции. Полезный эффект с точки зрения защиты дает соединение между собой всех металлических конструкций.

**2.1.2** Влияние, создаваемое линиями электропередачи, может быть сведено к минимуму путем согласования работ по сооружению линий электропередачи и электросвязи. Уровень влияния может быть снижен в его источнике посредством подвески заземленных тросов и установки ограничителей тока в энергосистеме.

**2.1.3** Вероятность соприкосновений проводов линий электропередачи с линиями электросвязи уменьшается при соблюдении согласованных норм на строительство, разнесение и изоляцию этих линий. Возникают соображения экономического порядка, но часто оказывается возможным извлечь большую пользу из совместного использования траншей, опор и каналов, при условии что принятые соответствующие меры безопасности (см. Рекомендации К.5 и К.6). Особенно важно исключить соприкосновение с высоковольтными линиями электропередачи за счет более жестких норм на строительство, поскольку может оказаться весьма сложным избежать серьезных последствий, если такие соприкосновения будут иметь место.

### **2.2     Специальные кабели**

Специальные кабели с высокой электрической прочностью изоляции могут быть использованы в местах, где возможно возникновение перенапряжений значительной величины.

Обычные кабели с пластмассовой изоляцией жил и оболочкой имеют более высокую электрическую прочность изоляции, чем кабели с бумажной изоляцией и свинцовой оболочкой, и они пригодны для большинства ситуаций, в которых ранее применялись кабели с утолщенной изоляцией. Применение кабелей с повышенной прочностью изоляции может быть оправдано в тех случаях, когда исключительно мало расстояние до линии электропередачи, велика длина участка сближения, имеет место значительное повышение потенциала земли в непосредственной близости от электростанции или крайне велика опасность грозовых воздействий вследствие высокого уровня грозоактивности и низкой проводимости земли.

Ниже приведены другие примеры использования специальных кабелей:

- кабели с металлическими оболочками, обеспечивающими хороший коэффициент защитного действия за счет экранирования цепей в кабеле;
- кабели, которые содержат цепи, идущие к радиомачтам, подверженным воздействию грозовых разрядов, и которые должны выдерживать токи молний без повреждения;
- полностью диэлектрические (т. е. неметаллические) волоконно-оптические кабели для обеспечения изоляции между проводящими длинами кабеля.

### **2.3     Применение устройств защиты**

Применение устройств защиты может быть целесообразным в следующих обстоятельствах:

**2.3.1** Устройства защиты могут быть более экономичными, чем специальные конструкции, описанные в § 2.1 и 2.2. В этой связи должны быть учтены затраты на эксплуатацию, поскольку устройства защиты неизбежно влекут за собой расходы на их техническое обслуживание, в то время как специальные кабели, экранирование и т. д. обычно не влекут за собой постоянные расходы, хотя первоначально и дороги.

**2.3.2** Кабели с утолщенной изоляцией сами могут не повреждаться от перенапряжений или избыточных токов, но, однако, по ним такие напряжения могут попасть в другие, более уязвимые части сети. Поэтому требуется дополнительная защита для более уязвимых кабелей, и она особенно важна для подземных кабелей с большим числом пар, ремонт которых обходится дорого и которые влияют на обслуживание многих абонентов.

**2.3.3** Индуцированные перенапряжения при коротких замыканиях в линиях электропередачи или электротяги все же могут превышать величины, допускаемые *Директивами*, даже после того, как приняты все возможные меры предосторожности.

### **2.4     Установка устройств защиты**

**2.4.1** Для защиты изоляции жил целесообразно соединять между собой все металлические оболочки, экраны и т. д. и включать устройства защиты от перенапряжений между этими объединенными металлическими элементами, которые должны быть заземлены, и жилами. Этот метод особенно пригоден для районов с высоким удельным сопротивлением земли, поскольку он устраняет потребность в дорогостоящих заземляющих системах для защитных устройств.

**2.4.2** В тех случаях, когда устройства защиты используются для уменьшения высоких напряжений, возникающих в линиях электросвязи от влияния, создаваемого токами короткого замыкания в линиях электропередачи, эти устройства должны быть включены во все провода линии с соответствующими интервалами и по концам участка линии, подверженного влиянию, или как можно ближе к нему.

**2.4.3** Для защиты подземных кабелей от грозовых перенапряжений устройства защиты могут быть установлены в местах соединения с воздушными линиями. Устройства защиты, установленные в ГЩП и в абонентских оконечных установках, снижают опасность повреждения линии, однако их основная задача состоит в защите элементов, имеющих более низкую электрическую прочность изоляции, чем у кабелей (см. Рекомендации К.20 и К.21).

**2.4.4** Длина проводов, соединяющих устройства защиты от грозовых перенапряжений с линиями и заземлениями, должна быть как можно короче, с тем чтобы свести к минимуму величины импульсных напряжений, возникающих между линией и эквипотенциальной точкой соединения.

## **2.5 Планирование работ**

Основные положения § 1.5 и 1.6 относятся к защите линий. Рекомендуется, чтобы, насколько это возможно, решение о мерах защиты линии принималось на начальной стадии проектирования и в зависимости от условий окружающей среды. Может оказаться весьма сложным и дорогостоящим обеспечение удовлетворительной нормы надежности линии, первоначально оборудованной недостаточной защитой.

## **2.6 Рекомендуемая политика**

Когда линии сети электросвязи подвергаются частым или сильным помехам вследствие коротких замыканий на линиях электропередачи или ударов молний, напряжение этих линий относительно местного потенциала земли должно ограничиваться либо посредством подключения устройств защиты между проводами линии электросвязи и землей, либо посредством использования соответствующих конструктивных решений при сооружении такой линии.

# **3 Защита станционного оборудования и аппаратуры передачи**

## **3.1 Необходимость внешней защиты оборудования**

Эксплуатационные организации должны учитывать возможную потребность в обеспечении внешней защиты оборудования, имея в виду следующие соображения.

### **3.1.1 Линия электросвязи обеспечит некоторую защиту оборудования при определенных условиях, например:**

- провод может расплавиться и разомкнуть цепь протекания избыточного тока;
- может произойти пробой изоляции провода, что приведет к уменьшению перенапряжений;
- может произойти пробой искровых разрядников, установленных на линии, что также приведет к уменьшению перенапряжений.

**3.1.2** В результате увеличения электрической прочности изоляции жил кабелей с пластмассовой изоляцией повышаются величины перенапряжений и избыточных токов, которые могут распространяться по кабелю и попасть в аппаратуру. В отличие от этого, применение миниатюрных электронных элементов в станционном оборудовании и аппаратуре передачи обуславливает увеличение уязвимости оборудования для электромагнитных помех.

По этим причинам в районах, подверженных частым и сильным помехам (грозовые разряды, линии электропередачи, почва с низкой проводимостью), обычно бывает необходимо включать, предпочтительно в ГЩП, устройства защиты, типы которых указаны в § 1.3, между жилами кабеля и аппаратурой, с которой они соединены. Эта мера предотвратит протекание избыточных токов по кабелю от ГЩП до аппаратуры.

Устройства защиты подключаются с линейной стороны ГЩП, с тем чтобы устраниить протекание разрядных токов молний в кроссовом поле ГЩП и подвергать как можно меньшему воздействию напряжения проводку ГЩП и контактные планки даже в случае, когда соприкосновение с электролинией приводит к отключению линии электросвязи последовательно включенным защитным устройством.

**3.1.3** В местах, менее подверженных влияниям, помехи (напряжения и токи) могут иметь настолько низкие статистические характеристики уровня и частоты возникновения, что на практике их опасность не превышает опасности от остаточных эффектов, указанных в § 1.4 для районов, подверженных влияниям. В этом случае устройства защиты не выполняют свою функцию и затраты на них излишни.

## **3.2 Необходимость в минимальном уровне электрической прочности оборудования**

В тех местах, где линии подвергаются влияниям и установлены устройства защиты, остаточные эффекты, рассмотренные в § 1.4, могут привести к появлению перенапряжений и избыточных токов в оборудовании. В районах, менее подверженных влияниям, помехи, описанные в § 3.1.3, могут привести к аналогичным результатам. Поэтому оборудование должно проектироваться таким образом, чтобы оно выдерживало отмеченные условия. Подробные рекомендации по стойкости, которой должно обладать оборудование, приведены в Рекомендации К.20.

### **3.3 Влияние режима коммутации**

Поскольку требуется, чтобы схема и взаимосвязь оборудования, подключенного к данной линии, изменялись во время последовательных стадий установления соединения, важно не ограничиваться исследованием защиты только отдельных линейных устройств. Большая часть оборудования является общей для всех линий и может быть подвержена воздействию помех, будучи подключенной к любой конкретной линии.

На эффективности установленной защиты может оказаться снижение вероятности возникновения влияния, если фактическая продолжительность подключения оборудования к линиям мала. С другой стороны, общее оборудование должно быть более защищенным, поскольку его выход из строя создает опасность более серьезного ухудшения работы станции и электросвязи в данном районе.

## **4 Защита абонентского оконечного оборудования**

Изложенные ранее методы защиты станционного оборудования часто могут быть эффективно применены и к абонентскому оборудованию. Подробное описание испытаний для определения стойкости абонентского оборудования приведено в Рекомендации K.21. Целесообразно также рассмотреть специфические аспекты, описанные ниже.

### **4.1 Степень подверженности влиянию**

Как показано в § 2.1, линии, подведенные к абонентским установкам, расположенным вблизи телефонных станций в городских или индустриальных районах, обычно мало подвержены влиянию перенапряжений вследствие экранирующего действия многочисленных соседних металлических конструкций.

С другой стороны, линии, подведенные к удаленным от застроенных районов абонентским установкам, могут быть значительно подвержены влияниям вследствие их протяженности, отсутствия защитного действия окружающих сооружений, наличия воздушного ввода на абонентском окончании линии и высокого удельного сопротивления земли. Механическая прочность подвесных кабелей на абонентском окончании линии повышает опасность воздействия перенапряжений, поскольку сама линия может пропускать более высокие напряжения и токи.

### **4.2 Электрическая прочность**

Желательно, чтобы изоляция между токоведущими частями, подключенными к линиям, и всеми частями, доступными пользователю, имела высокую электрическую прочность.

### **4.3 Применение защитных устройств**

В тех случаях, когда телефонные линии подвержены частым и сильным влияниям, создаваемым неисправностями в линиях электропередачи и грозовыми разрядами, напряжение на линии по отношению к земле должно быть ограничено путем подключения устройств защиты, типы которых приведены в § 1.3, между проводами линии и заземлением.

Электрическая прочность изоляции оконечного оборудования должна выбираться с учетом напряжения пробоя защитного устройства и полного сопротивления соединения линии с землей через устройство защиты.

### **4.4 Общее соединение**

При установке абонентского оконечного оборудования может отсутствовать низкоомное заземление, необходимое для устройств защиты от перенапряжений, или затраты на обеспечение приемлемого низкоомного заземления могут оказаться значительными по сравнению с другими расходами на установку оборудования. Кроме того, оконечное оборудование может быть расположено вблизи заземленных сооружений, как, например, труб водопровода, или может получать питание от электрической сети.

Для того чтобы свести к минимуму как повреждение оборудования, так и опасность попадания абонента под высокое напряжение, даже если сопротивление заземления недостаточно мало, все заземленные сооружения, заземления устройств сигнализации и нейтральный провод электрической сети должны быть соединены между собой либо напрямую, либо через искровой промежуток. Хотя это соединение может оказаться достаточно дорогим, оно позволяет решить проблему обеспечения низкоомного заземления и широко применяется. В ряде стран подключение к нейтральному проводу электрической сети регулируется национальными правилами, для чего необходимо получить согласие управления энергетики.

### **4.5 Национальные правила**

Во многих странах действуют национальные стандарты на защиту пользователей оборудования электросвязи не только от опасности, связанной с подключением к электросети, но также от опасных условий, которые могут возникнуть в телефонных линиях.

#### 4.6 Большие затраты на техническое обслуживание абонентских установок

Расходы на ремонт установок, подверженных влияниям, могут быть значительными вследствие удаленности от центра технического обслуживания, задержек при транспортировке и, возможно, серьезности повреждения. Кроме того, недостаточная защита является причиной неоднократных перебоев связи, которые особенно ухудшают качество обслуживания и вызывают недовольство абонентов. Этим объясняется особое внимание к мерам защиты.

#### Ссылки

- [1] Руководство МККТТ *Защита линий и оборудования электросвязи от ударов молнии*, МСЭ, Женева, 1974, 1978 годы.
- [2] Руководство МККТТ *Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи и электрифицированных железных дорог*, МСЭ, Женева, 1988 год.

#### Рекомендация К.12

### ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОНАПЛНЕННЫХ РАЗРЯДНИКОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

(Женева, 1972 г.; изменена в Малага-Торремолиносе, 1984 г., и Мельбурне, 1988 г.)

#### Введение

В настоящей Рекомендации изложены основные требования, которым должны удовлетворять газонаполненные разрядники, используемые для защиты стационарного оборудования, абонентских линий и абонентских установок от перенапряжений. Она предназначена для использования при согласовании существующей или разрабатываемой техдокументации, выпускаемой изготовителями газонаполненных разрядников, изготовителями оборудования электросвязи или администрациями.

Определены лишь минимальные требования к основным характеристикам. Поскольку у потребителей могут быть разные условия окружающей среды, разные условия и задачи эксплуатации, или же они могут сталкиваться с ограничениями экономического характера, эти требования могут изменяться или добавляться другие требования в соответствии с местными условиями.

В настоящей Рекомендации изложены общие правила по применению газонаполненных разрядников, предназначенных для ограничения перенапряжений на линиях электросвязи.

#### 1 Назначение

Настоящая Рекомендация:

- a) даёт характеристики газонаполненных разрядников, применяемых в соответствии с Рекомендацией К.11 МККТТ для защиты стационарного оборудования, абонентских линий и абонентских установок от перенапряжений;
- b) применима к газонаполненным разрядникам с двумя или тремя электродами;
- c) не рассматривает монтаж и его влияние на характеристики разрядников. Приведенные характеристики относятся к самим газонаполненным разрядникам, установленным исключительно в соответствии со способом, определенным для испытаний;
- d) не рассматривает механические параметры;
- e) не рассматривает требования гарантии качества;
- f) не распространяется на газонаполненные разрядники, которые включены последовательно с нелинейными сопротивлениями и предназначены для ограничения токов, протекающих в электрических сетях;
- g) может быть недостаточной для газонаполненных разрядников, применяемых в высокочастотных или многоканальных системах электросвязи.

#### 2 Определения

В приложении I даны определения ряда терминов, относящихся к газонаполненным разрядникам. В него включены некоторые термины, не используемые в настоящей Рекомендации.

### **3 Условия окружающей среды**

Газонаполненные разрядники в процессе хранения должны выдерживать без повреждения следующие условия:

- температура: от  $-40$  до  $+90^{\circ}\text{C}$ ;
- относительная влажность: до 95%.

См. также § 7.5 и 7.7

### **4 Электрические характеристики**

Газонаполненные разрядники должны иметь следующие характеристики при испытании в соответствии с § 5.

§ 4.1—4.5 относятся к новым газонаполненным разрядникам, а также к разрядникам, подвергаемым испытанию на продолжительность работы (см. § 4.6).

#### **4.1 Напряжения пробоя (см. § 5.1 и 5.2 и рис. 1/К.12, 2/К.12 и 3/К.12)**

4.1.1 Напряжения пробоя, измеренные между электродами двухэлектродного разрядника или между каждым линейным и заземляющим электродом трехэлектродного разрядника, должны быть в пределах, указанных в таблице 1/К.12.

ТАБЛИЦА 1/К.12

Статическое напряжение пробоя, В			Максимальное динамическое (импульсное) напряжение пробоя	
номинальное	минимальное	максимальное	при 100 В/мкс	при 1000 В/мкс
230	180	300	700	900
250/1	200	450	700	900
250/2	200	300	700	900
300	255	345	700	900
350/1	265	600	1000	1100
350/2	290	600	900	1000

4.1.2 Напряжение пробоя, измеренное между линейными электродами трехэлектродных разрядников, должно быть не менее минимального статического напряжения, указанного в таблице 1/К.12.

#### **4.2 Напряжения погасания (см. § 5.5 и рис. 4/К.12 и 5/К.12)**

Все типы разрядников должны иметь время погасания менее 150 мс при проведении одного или нескольких из указанных ниже испытаний в соответствии с планируемой областью применения.

4.2.1 Испытания двухэлектродных разрядников проводятся по схеме, изображенной на рис. 4/К.12. В таблице 2/К.12 указаны величины элементов испытательной схемы.

ТАБЛИЦА 2/К.12

Элемент	Испытание 1	Испытание 2	Испытание 3
PS1, В	52	80	135
R3, Ом	260	330	1300
R2, Ом	Примечание	150	150
C1, нФ	Примечание	100	100

*Примечание.* — В данном испытании элементы отсутствуют.

4.2.2 Испытания трехэлектродных разрядников проводятся по схеме, изображенной на рис. 5/К.12. В таблице 3/К.12 указаны величины элементов испытательной схемы.

ТАБЛИЦА 3/К.12

Элемент	Испытание 1	Испытание 2		Испытание 3	
PS1	52 В	80 В		135 В	
PS2	0 В	0 В		52 В	
R3	260 Ом	330 Ом		1300 Ом	
R2	a)	150 Ом	272 Ом <sup>b)</sup>	150 Ом	272 Ом <sup>b)</sup>
C1	a)	100 нФ	43 нФ <sup>b)</sup>	100 нФ	43 нФ <sup>b)</sup>
R4 <sup>c)</sup>	136 Ом	136 Ом		136 Ом	
C2 <sup>c)</sup>	83 нФ	83 нФ		83 нФ	

<sup>a)</sup> В данном испытании элементы отсутствуют.

<sup>b)</sup> Факультативная альтернатива.

<sup>c)</sup> Факультативно.

#### 4.3 Сопротивление изоляции (см. § 5.3)

Не менее 1000 МОм до проведения испытаний.

#### 4.4 Емкость

Не более 20 пФ.

#### 4.5 Импульсное поперечное напряжение — трехэлектродные разрядники (см. § 5.9 и рис. 6/К.12)

Время запаздывания пробоя одного разрядного промежутка относительно другого не более 200 нс.

#### 4.6 Испытания на продолжительность работы (§ 5.6, 5.7 и 5.8)

При проведении испытаний через разрядник пропускаются токи, указанные в § 4.6.1 в соответствии с номинальным током разрядника. После каждой подачи тока газонаполненный разрядник должен удовлетворять требованиям § 4.6.2. Разрядник, прошедший полностью данное испытание, должен удовлетворять требованиям § 4.6.3.

##### 4.6.1 Испытательные токи

Газонаполненные разрядники, предназначенные только для установки в кроссах или аналогичном оборудовании, когда подключение к линиям осуществляется через кабельную пару, должны испытываться токами, указанными в колонках 2 и 3 таблицы 4/К.12. Газонаполненные разрядники, предназначенные для подключения непосредственно к проводам воздушных линий, обозначаются потребителем как EXT ("внешний") и должны испытываться токами, указанными в колонках 2, 3 и 4 таблицы 4/К.12.

ТАБЛИЦА 4/К.12

Номинальный ток		Переменный ток 15—62 Гц в течение 1 с	Импульсный ток 10/700, 500 импульсов, или 10/1000, 300 импульсов	Импульсный ток 8/20, 10 импульсов (только разрядники EXT)
A	A (ср. кв. зн.)	Число испытаний	A (пиковое)	кA (пиковое)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
2,5	2,5	5	50	2,5
5	5	5	100	5
10	10	5	100	10
20	20	10	200	20

##### 4.6.2 Требования, предъявляемые во время проведения испытания на продолжительность работы

Сопротивление изоляции: не менее 10 МОм.

Статическое и динамическое (импульсное) напряжение пробоя: не более соответствующих величин, указанных в § 4.1.

##### 4.6.3 Требования, предъявляемые после завершения испытания на продолжительность работы

Сопротивление изоляции: не менее 100 МОм (10 МОм, если особо оговорено потребителем).

Статическое и динамическое (импульсное) напряжение пробоя: должны соответствовать величинам, указанным в § 4.1.

Напряжение погасания: должно соответствовать величинам, указанным в § 4.2.

#### 5 Методы испытаний

##### 5.1 Статическое напряжение пробоя (см. § 4.1 и рис. 1/К.12 и 2/К.12)

Непосредственно перед проведением испытания газонаполненный разрядник должен выдерживатьсь в темноте в течение не менее 24 часов. Испытание должно проводиться в темноте при очень медленно нарастающем напряжении, чтобы величина напряжения пробоя не зависела от скорости нарастания прикладываемого напряжения. Обычно испытание проводится при скорости нарастания напряжения 100 В/с, однако могут применяться и более высокие скорости, если может быть показано, что при этом напряжение пробоя существенно не меняется. На рис. 1/К.12 показаны допустимые предельные отклонения формы волны нарастающего испытательного напряжения. Напряжение измеряется на зажимах генератора без нагрузки. Величина напряжения  $U_{max}$  на рис. 1/К.12 больше максимального допустимого значения и меньше устроенного минимального допустимого значения статического напряжения пробоя газонаполненного разрядника.

Испытание проводится по схеме, приведенной на рис. 2/К.12. Между двумя последовательными испытаниями газонаполненного разрядника при каждой полярности следует соблюдать интервал не менее 15 мин.

Испытание проводится отдельно на каждой паре электродов трехэлектродного газонаполненного разрядника при незамкнутом третьем (линейном) электроде.

*Примечание.* — Ниже представлены пояснения к использованию рис. 1/К.12.

Для всех значений  $U_{max}$  и номинальной скорости нарастания испытательного импульса будет достаточно одного проверочного шаблона, если его размеры соответствуют изображению формы волны и может быть подобран масштаб  $U$  и  $T$  испытательного напряжения. Это объясняется произвольным расположением точек 0 и  $U_{max}$  с точкой  $0,2 U_{max}$ , находящейся соответственно между ними, на оси Y, а также произвольным расположением точек 0 и  $T_2$  с соответствующими точками  $T_1$  ( $T_1 = 0,2 T_2$ ),  $0,9 T_1$ ,  $1,1 T_1$ ,  $0,9 T_2$  и  $1,1 T_2$  на оси X. Не обязательно совмещать нули осей X и Y и фактически вообще их показывать.

Для проведения сравнения изображения формы волны испытательного напряжения с шаблоном необходимо знать значения  $U_{max}$  и номинальной скорости нарастания рассматриваемого испытательного импульса. В качестве примера рассмотрим испытательный импульс  $U_{max} = 750$  В и номинальной скоростью нарастания 100 В/с.

Тогда:  $0,2 U_{max} = 150$  В,  $T_2 = 7,5$  с,  $T_1 = 1,5$  с.

Приложите шаблон к изображению формы волны испытательного напряжения и подберите масштаб вертикальной оси таким образом, чтобы точка 150 В находилась напротив точки  $0,2 U_{max}$ , а точка 750 В — напротив точки  $U_{max}$ . Подобным образом подберите масштаб горизонтальной оси, чтобы точка 1,5 с находилась напротив точки  $T_1$ , а точка 7,5 с — напротив точки  $T_2$ . Передвигайте шаблон таким образом, чтобы точка 150 В на изображении формы волны скользила в пределах нижней границы испытательного "окна", при этом оставшаяся часть испытательного импульса вплоть до 750 В должна находиться внутри испытательного "окна".

## 5.2 Динамическое (импульсное) напряжение пробоя (§ 4.1 и рис. 1/К.12 и 3/К.12)

Непосредственно перед проведением испытания газонаполненный разрядник должен выдерживаться в темноте не менее 15 мин. Испытание должно проводиться в темноте. Форма волны напряжения, измеренного на зажимах испытательного генератора без нагрузки, должна иметь номинальную скорость нарастания, выбранную в соответствии с § 1.4, и находиться в замкнутых пределах, указанных на рис. 1/К.12. На рис. 3/К.12 приведена предлагаемая схема для проведения испытания импульсом напряжения, номинальная скорость нарастания которого составляет 1,0 кВ/мкс.

Между двумя последовательными испытаниями газонаполненного разрядника при каждой полярности следует соблюдать интервал не менее 15 мин.

Испытание проводится отдельно на каждой паре электродов трехэлектродного газонаполненного разрядника при незамкнутом третьем (линейном) электроде.

## 5.3 Сопротивление изоляции (§ 4.3)

Сопротивление изоляции должно измеряться на каждом электроде относительно любого другого электрода газонаполненного разрядника. Измерение проводится при постоянном напряжении, величина которого должна быть не менее 100 В и не более 90% величины минимального допустимого статистического напряжения пробоя. Величина тока измерительного устройства в режиме короткого замыкания не должна превышать 10 мА. Электроды трехэлектродных газонаполненных разрядников, на которых не проводится измерение, должны оставаться в незамкнутом состоянии.

## 5.4 Емкость (§ 4.4)

Емкость должна измеряться на каждом электроде относительно любого другого электрода газонаполненного разрядника. При проведении измерений емкости трехэлектродных газонаполненных разрядников электрод, на котором не проводится измерение, должен быть соединен с заземленным корпусом измерительного прибора.

## 5.5 Напряжение погасания (§ 4.2)

### 5.5.1 Двухэлектродный газонаполненный разрядник (рис. 4/К.12)

Испытания должны проводиться по схеме, приведенной на рис. 4/К.12. Величины PS1, R2, R3 и C1 должны выбираться для каждого условия испытаний по таблице 2/К.12. Ток генератора импульсных напряжений должен иметь форму волны импульса 10/1000 или 10/700 с амплитудой 100 А при измерении в цепи с закороченным испытываемым газонаполненным разрядником. Полярность импульсного тока, протекающего через газонаполненный разрядник, должна совпадать с полярностью тока от PS1. Время погасания разрядника должно измеряться для каждого направления протекания тока через газонаполненный разрядник. Испытание осуществляется подачей трех импульсов с интервалами не более 1 мин; время погасания замеряется при каждой подаче импульса.

### **5.5.2 Трехэлектродный газонаполненный разрядник (рис. 5/К.12)**

Испытания должны проводиться по схеме, приведенной на рис. 5/К.12. Величины элементов схемы берутся из таблицы 3/К.12. Импульсные токи, подаваемые одновременно с токами сопровождения на искровые промежутки газонаполненного разрядника, должны иметь форму волны 10/1000 или 10/700 с амплитудой 100 А при измерении в цепи с закороченным испытываемым газонаполненным разрядником. Полярность импульсного тока, протекающего через газонаполненный разрядник, должна совпадать с полярностью тока от PS1 и PS2.

Время погасания разрядника должно измеряться при обеих полярностях импульсного тока для каждого из условий испытания. Испытание осуществляется подачей трех импульсов для каждого направления протекания тока с интервалом не более 1 мин; время погасания замеряется при каждой подаче импульса.

### **5.6 Импульсная прочность — все типы газонаполненных разрядников (§ 4.6)**

Для проведения испытания должны использоваться новые газонаполненные разрядники, на которые подаются импульсные токи, указанные в колонке 3 таблицы 4/К.12, в соответствии с номинальным током разрядника. Половина из указанного количества измерений должна быть произведена с одной полярностью импульсов, а другая половина — с противоположной. Как вариант, половина из общего количества разрядников в выборке может быть испытана с одной полярностью импульсов, а другая половина — с противоположной полярностью. Интервал между двумя последовательными импульсами должен быть достаточным для предотвращения непрерывного нагревания газонаполненного разрядника.

Напряжение импульсного генератора должно превышать максимальное динамическое напряжение пробоя газонаполненного разрядника не менее чем на 50%. Установленная величина амплитуды и форма волны импульсного разрядного тока проверяются при закорачивании газонаполненного разрядника. При испытании трехэлектродных газонаполненных разрядников одновременно между каждым электродом и общим электродом пропускаются независимые импульсные токи, каждый из которых имеет величину, указанную в колонке 3 таблицы 4/К.12.

После каждой подачи импульсного разрядного тока или менее часто (по согласованию между поставщиком и потребителем разрядников) должна проводиться проверка газонаполненного разрядника для определения его соответствия требованиям, указанным в § 4.6.2.

По окончании всей серии испытаний импульсным током разрядник должен остыть до температуры окружающей среды, а затем проверен на соответствие требованиям, указанным в § 4.6.3.

### **5.7 Импульсная прочность — дополнительные испытания разрядников, обозначенных EXT (§ 4.6)**

Так же, как в § 5.6, но для токов, указанных в колонке 4 таблицы 4/К.12.

### **5.8 Прочность на переменном токе — все типы разрядников (§ 4.6)**

Для проведения испытания должны использоваться новые разрядники, через которые пропускаются переменные токи, указанные в колонке 2 таблицы 4/К.12, в соответствии с номинальным током разрядника.

Интервал времени между двумя последовательными воздействиями переменным током должен быть достаточным для предотвращения непрерывного нагревания разрядника. Среднеквадратическое значение переменного напряжения источника тока должно превышать максимальное значение статического напряжения пробоя газонаполненного разрядника не менее чем на 50%.

Установленная величина переменного разрядного тока и его длительность проверяются при закорачивании газонаполненного разрядника. При испытании трехэлектродных газонаполненных разрядников одновременно между каждым электродом и общим электродом пропускаются переменные разрядные токи, каждый из которых имеет величину, указанную в таблице 4/К.12.

После каждого пропускания переменного разрядного тока должна проводиться проверка газонаполненного разрядника для определения его соответствия требованиям, указанным в § 4.6.2.

По окончании всей серии испытаний переменным током разрядник должен остыть до температуры окружающей среды, а затем проверен на соответствие требованиям, указанным в § 4.6.3.

### **5.9 Импульсное поперечное напряжение (§ 4.5 и рис. 6/К.12)**

Для измерения длительности поперечного напряжения одновременно на оба разрядных промежутка должно подаваться импульсное напряжение с эффективной крутизной фронта испытательного импульса, равной 1 кВ/мкс. Измерения могут выполняться по схеме, приведенной на рис. 6/К.12. Время запаздывания пробоя одного разрядного промежутка относительно другого не должно превышать значение, указанное в § 4.5.

## **6 Излучение**

Излучение, создаваемое любым радиоактивным веществом, которое применяется для предварительной ионизации разрядных промежутков, не должно выходить за допустимые пределы, указанные в правилах по защите от радиации, действующих как в стране изготовителя, так и в стране потребителя. Эта мера безопасности касается как отдельных разрядников, так и их партий (например, при упаковке разрядников в картонные коробки для транспортировки, хранения и т. д.).

Поставщик газонаполненных разрядников, содержащих радиоактивные вещества, должен предоставить рекомендации в соответствии с требованиями "Правил безопасности при транспортировке радиоактивных веществ" Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) и всех других подобных международных документов по следующим вопросам:

- a) максимальное количество разрядников в одной упаковке;
- b) максимальное количество разрядников в одной партии груза;
- c) максимальное количество разрядников, которое может храниться вместе;
- d) любые другие требования к условиям хранения;
- e) меры безопасности и требования по эксплуатации;
- f) порядок уничтожения.

## **7 Испытания на воздействие внешних факторов**

### **7.1 Прочность выводов**

При необходимости потребитель определяет соответствующее испытание по публикации Международной электротехнической комиссии (МЭК) 68-2-21 (1975 год).

### **7.2 Паяемость**

Паяемые выводы должны удовлетворять требованиям публикации МЭК 68-2-20 (1979 год), испытание Та, метод 1.

### **7.3 Термостойкость при пайке**

Газонаполненные разрядники с паяемыми выводами должны выдерживать испытание Tb, метод 1B, публикация МЭК 68-2-20 (1979 год). После остывания газонаполненный разрядник должен быть подвергнут визуальному контролю и не иметь следов повреждения. Статическое напряжение пробоя газонаполненного разрядника должно оставаться в пределах допустимых значений для данного разрядника.

### **7.4 Вибрация**

Газонаполненный разрядник должен выдерживать без повреждения вибрацию с колебанием 0,15 мм в диапазоне частот от 10 до 500 Гц в течение 90 мин. в соответствии с публикацией МЭК 68-2-6 (1970 год). Потребитель может выбрать и более тяжелое испытание из данной публикации. В конце испытания разрядник не должен иметь видимых следов повреждения, а его статическое напряжение пробоя и сопротивления изоляции должны удовлетворять требованиям, указанным в § 4.1 и 4.3.

### **7.5 Влажное тепло (циклическое)**

Газонаполненный разрядник должен выдерживать испытание D, категория IV, публикация МЭК 68-2-4. В конце испытания разрядник должен удовлетворять требованию на сопротивление изоляции, указанному в § 4.3.

### **7.6 Герметичность**

Газонаполненный разрядник должен выдерживать испытание Qk, публикация МЭК 68-2-17 (1978 год), на малую утечку в течение 600 ч. В качестве испытательного газа необходимо применять гелий. Расход газа при малых утечках не должен превышать  $10^{-7}$  бар. см<sup>3</sup>/с<sup>-1</sup>.

Кроме того, разрядник должен выдерживать испытание Qc, метод 1, на большую утечку.

## 7.7 *Низкие температуры*

Газонаполненный разрядник должен выдерживать без повреждения испытание Аа, публикация МЭК 68-2-1, при температуре  $-40^{\circ}\text{C}$  в течение 2 час. При температуре  $-40^{\circ}\text{C}$  статическое и динамическое напряжение пробоя разрядника должны удовлетворять требованиям § 4.1.

## 8 *Идентификация*

### 8.1 *Маркировка*

На корпусе разрядника должна быть нанесена разборчивая и прочная маркировка, с тем чтобы потребитель мог получить при приемке следующие сведения:

- a) изготовитель;
- b) год выпуска;
- c) тип.

Потребитель может оговорить вид маркировки.

### 8.2 *Документация*

Потребителю должна предоставляться документация на разрядники, чтобы он мог получить на основании сведений, указанных в § 8.1, следующие дополнительные данные:

- a) полные характеристики в объеме настоящей Рекомендации;
- b) наименование радиоактивного вещества, используемого в разряднике, или указание на его отсутствие.

## 9 *Информация для заказа*

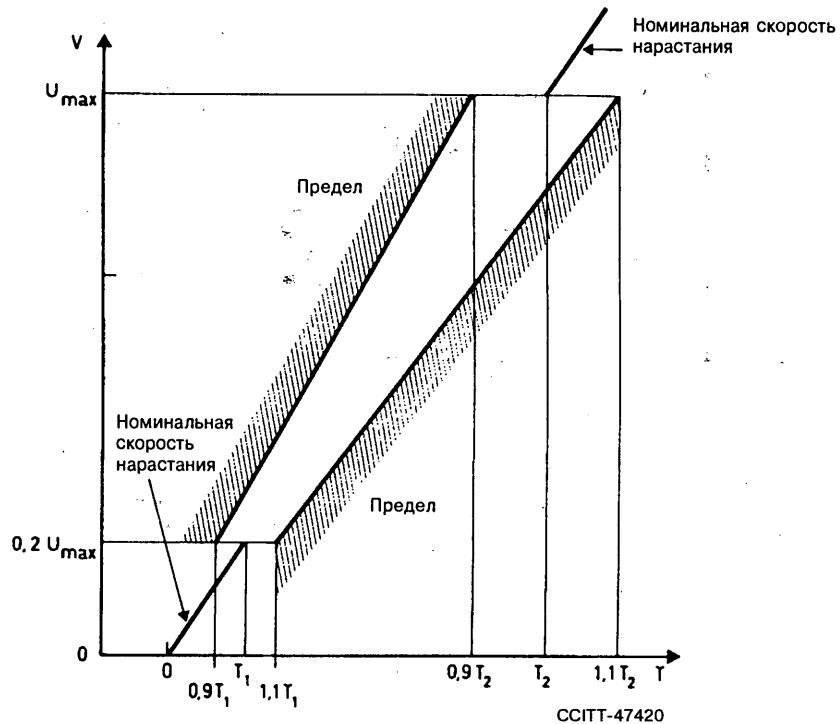
Покупатель разрядников должен предоставить следующую информацию:

- a) чертеж с указанием всех необходимых размеров, выходных параметров и деталей выводов (включая число электродов и обозначение заземляющего электрода);
- b) номинальное значение статического напряжения пробоя, выбранное из § 4.1.1;
- c) номинальное значение силы тока, выбранное из § 4.6.1;
- d) обозначение ЕХТ, если требуется проведение испытаний, указанных в колонке 4 таблицы 4/К.12;
- e) напряжение погасания — испытание в соответствии с § 4.2;
- f) вид маркировки в соответствии с § 8.1;
- g) прочность выводов — испытание в соответствии с § 7.1;
- h) характеристика разрушения, если это требуется, включая вид повреждения (см. примечание);
- i) требования гарантии качества.

*Примечание.* — После прохождения через газонаполненный разрядник переменного или импульсного тока, величина которого значительно превышает значения, указанные в § 4.6.1, разрядник может разрушиться, т. е. его электрические характеристики могут сильно измениться. При этом возможны два случая:

- 1) газонаполненный разрядник становится по существу изолятором и обладает большей электрической прочностью, чем первоначально. Другими словами, он представляет собой разомкнутую цепь;
- 2) газонаполненный разрядник становится резистором с конечной, обычно малой, величиной сопротивления, которая делает невозможной нормальную работу линии. Другими словами, он представляет собой короткозамкнутую цепь (этот случай может быть предпочтительным с точки зрения защиты и эксплуатации).

В настоящей Рекомендации не излагаются подробно методы испытания и связь между величиной разрушающего тока и его длительностью, а также не рассматривается состояние элемента после разрушения. Администрации должны отразить свои требования в этом отношении в собственной документации.

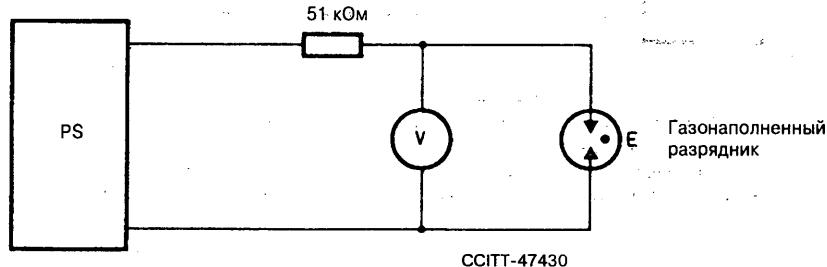


CCITT-47420

*Примечание.* — Форма волны напряжения для испытания на пробой (в режиме холостого хода генератора) не должна выходить за замкнутые пределы.

РИСУНОК 1/К.12

**Форма волны напряжения для испытания на пробой  
(§ 4.1, 5.1 и 5.2)**



CCITT-47430

PS : источник питания переменного напряжения

*Примечание.* — Необходимо включить устройство, обеспечивающее только однократный пробой газонаполненного разрядника.

РИСУНОК 2/К.12

**Схема измерения статического напряжения пробоя  
(§ 4.1 и 5.1)**

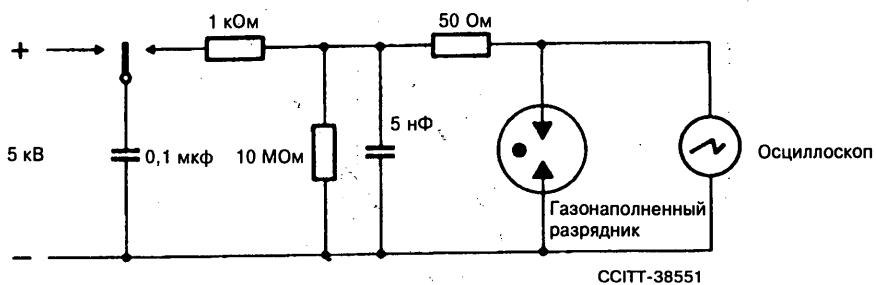
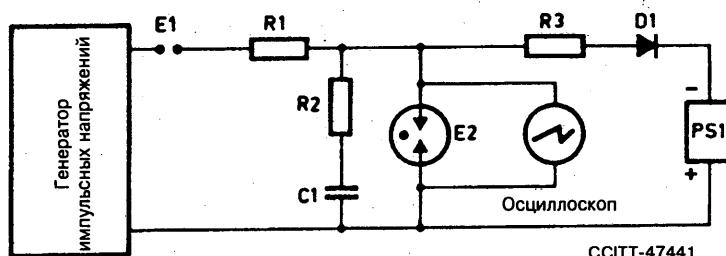


РИСУНОК 3/К.12

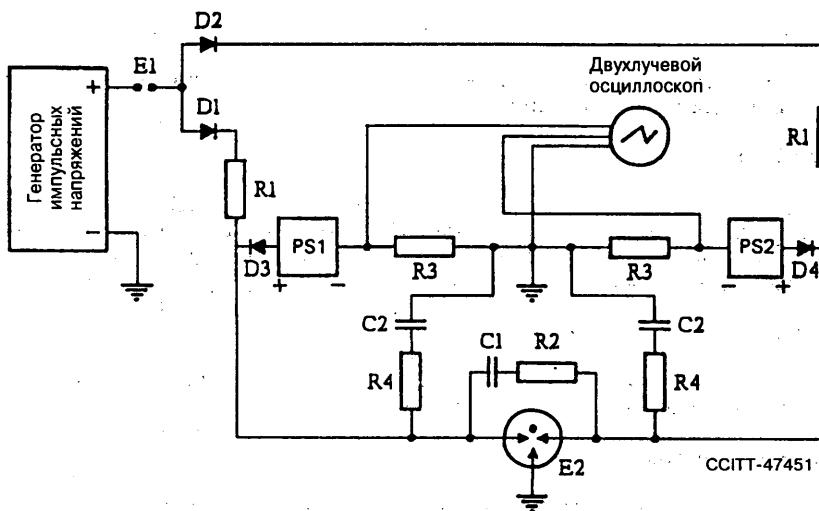
**Схема измерения, создающая импульс напряжения с эффективной крутизной фронта волны 1 кВ/мкс (пункты 4.1 и 5.2)**



- PS1 : источник питания постоянного тока и напряжения или батарея
- E1 : разделительный искровой промежуток или аналогичное устройство
- E2 : газонаполненный разрядник
- D1 : разделительный диод или другое разделительное устройство
- R1 : резистор ограничения импульсного тока или цепь регулирования формы импульса

РИСУНОК 4/К.12

**Схема измерения напряжения погасания двухэлектродного газонаполненного разрядника  
(\\$ 4.2.1 и 5.5.1)**



E1: разделительный искровой промежуток или аналогичное устройство  
E2: газонаполненный разрядник

PS1, PS2: батареи или источники питания постоянного тока

R1: резисторы ограничения импульсного тока или цепи регулирования формы импульса

*Примечание 1. — С2 и R4 факультативные.*

*Примечание 2. — При изменении полярности источников питания постоянного тока и генератора импульсных напряжений должна изменяться полярность диодов D1—D4.*

РИСУНОК 5/К.12

Схема измерения напряжения погасания трехэлектродного газонаполненного разрядника  
(§ 4.2 и 5.5.2)



R: линейное полное сопротивление

РИСУНОК 6/К.12

Схема измерения импульсного поперечного напряжения  
(§ 4.5 и 5.9)

## ДОПОЛНЕНИЕ I

(к Рекомендации К.12)

### Определение терминов, относящихся к газонаполненным разрядникам

#### I.1 время погасания

Время, которое требуется газонаполненному разряднику для возвращения в непроводящее состояние после пребывания в проводящем состоянии.

#### I.2 газонаполненный разрядник

Один или несколько искровых промежутков в замкнутой разрядной среде, отличной от воздуха при атмосферном давлении, предназначенные для защиты оборудования или обслуживающего персонала, или того и другого, от перенапряжений. Газонаполненный разрядник называется также "газотрубчатый разрядник для защиты от атмосферных перенапряжений".

#### I.3 динамическое напряжение пробоя

Наибольшее напряжение на электродах газонаполненного разрядника в период между подачей импульса заданной формы волны и началом протекания тока.

#### I.4 импульсный разрядный ток

Пиковое значение импульсного тока, протекающего через газонаполненный разрядник.

#### I.5 кривая зависимости динамического напряжения пробоя от времени

Кривая, которая устанавливает зависимость величины динамического напряжения пробоя от времени до момента наступления пробоя.

#### I.6 напряжение дугового разряда

Напряжение, которое появляется на электродах газонаполненного разрядника при протекании через него тока дугового разряда.

#### I.7 напряжение погасания

Максимальное значение напряжения постоянного тока на электродах газонаполненного разрядника, при котором можно ожидать погасания и возвращения газонаполненного разрядника в состояние с высоким полным сопротивлением после протекания через него импульсного тока при определенных условиях цепи.

#### I.8 напряжение пробоя

Напряжение, при подаче которого на электроды газонаполненного разрядника происходит его пробой.

#### I.9 напряжение пробоя при переменном токе

Минимальное среднеквадратическое значение синусоидального напряжения частотой 15—62 Гц, приводящего к пробою разрядника.

#### I.10 напряжение тлеющего разряда

Падение напряжения на электродах газонаполненного разрядника при протекании через него тока тлеющего разряда.

#### I.11 номинальное значение импульсного разрядного тока

Пиковое значение импульсного тока, на который рассчитан газонаполненный разрядник, при определенной форме волны, которая точно устанавливает время протекания тока через газонаполненный разрядник.

#### I.12 номинальное значение переменного разрядного тока

Величина переменного разрядного тока частотой 15—62 Гц, на которую рассчитан газонаполненный разрядник, с учетом точно определенного времени протекания через него тока.

#### I.13 номинальное значение статического напряжения пробоя

Величина напряжения, установленная изготовителем для обозначения типа газонаполненного разрядника (типовое обозначение) и указания возможностей его применения в зависимости от условий эксплуатации установки, для защиты которой он предназначен. Допустимые предельные значения статического напряжения пробоя также относятся к этому номинальному значению.

**I.14 остаточное напряжение**

См. "разрядное напряжение".

**I.15 переменный разрядный ток**

Среднеквадратическое значение переменного, почти синусоидального тока, протекающего через газонаполненный разрядник.

**I.16 поперечное напряжение**

Разность разрядных напряжений искровых промежутков, подключенных к двум проводам цепи электросвязи, при протекании разрядного тока (для газонаполненного разрядника с несколькими искровыми промежутками).

**I.17 пробой**

Электрический пробой разрядного промежутка газонаполненного разрядника. Также называется "срабатывание".

**I.18 разрядная вольт-амперная характеристика**

Зависимость между мгновенными значениями разрядного напряжения и разрядного тока.

**I.19 разрядное напряжение**

Напряжение на электродах газонаполненного разрядника при протекании через него разрядного тока. Разрядное напряжение также называется "остаточным напряжением".

**I.20 разрядный ток**

Ток, который протекает через газонаполненный разрядник в момент его пробоя.

**I.21 срабатывание**

См. "пробой".

**I.22 статическое напряжение пробоя**

Напряжение, при котором происходит пробой газонаполненного разрядника при очень медленно нарастающем напряжении постоянного тока.

**I.23 ток дугового разряда**

Ток, который протекает после пробоя, когда полное сопротивление цепи допускает протекание тока, превышающего ток перехода тлеющего разряда в дуговой.

**I.24 ток перехода тлеющего разряда в дуговой**

Ток, который должен протекать через газонаполненный разрядник для его перехода из режима тлеющего разряда в дуговой.

**I.25 ток сопровождения**

Ток, который протекает через газонаполненный разрядник от подключенного к нему источника питания во время и после протекания разрядного тока.

**I.26 ток тлеющего разряда**

Ток, который протекает после пробоя, когда полное сопротивление цепи ограничивает разрядный ток до значения, меньшего, чем ток перехода тлеющего разряда в дуговой.

**I.27 форма волны импульса**

Форма волны импульса задается в виде  $x/y$  и имеет время нарастания  $x$  мкс и время спада до половины пикового значения  $y$  мкс в соответствии с публикацией МЭК 60.

**I.28 характеристика разрушения**

Зависимость между величиной разрядного тока и временем его протекания до момента механического разрушения газонаполненного разрядника (поломка, короткое замыкание между электродами). В течение времени от 1 мкс до нескольких миллисекунд эта характеристика определяется импульсным разрядным током, а в течение времени 0,1 с и больше — величиной разрядного переменного тока.

НАПРЯЖЕНИЯ, ИНДУЦИРУЕМЫЕ В КАБЕЛЯХ С ПЛАСТМАССОВОЙ  
ИЗОЛЯЦИЕЙ ЖИЛ

(Женева, 1972 г.)

Согласно [1], при повреждении линии электропередачи допустимая продольная эдс, индуцируемая в жилах кабеля электросвязи, цепи которого заканчиваются трансформаторами, не должна превышать 60% величины напряжения, указанного в технических условиях на кабель и используемого для проверки электрической прочности изоляции жил. Эта продольная эдс, как правило, составляет 1200 В<sub>эфф</sub> для жил с бумажной изоляцией (60% от 2000 В). В Директивах не содержится никаких указаний относительно частоты возбуждения этой эдс или ее допустимой продолжительности. Чтобы напряжение, о котором идет речь, не представляло опасности для линейного обслуживающего персонала, следует принимать соответствующие меры предосторожности, изложенные в [2].

Кабели с пластмассовой изоляцией жил могут иметь гораздо большую электрическую прочность, чем кабели с бумажной изоляцией. Кроме того, эта прочность сохраняется после всех механических воздействий на кабель во время его прокладки. Поэтому не следует опасаться пробоя изоляции между жилами и металлической оболочкой, когда кабель подвергается воздействию индуцированной продольной эдс, значительно меньшей, чем напряжение пробоя кабеля. Если значения индуцируемых напряжений составляет менее 60% испытательного напряжения изоляции жил, указанного в технических условиях, то обеспечивается достаточно большой запас надежности. Это значение напряжения явно зависит от напряжения пробоя.

Изготовление муфт и выполнение сращиваний, имеющих такую же электрическую прочность, что и изоляция между жилами и металлической оболочкой, не требуют значительных дополнительных затрат; трансформаторы и оконечные устройства, электрическая прочность которых не соответствует указанным требованиям, должны быть надлежащим образом защищены.

Если источником индуцируемой продольной эдс является высоконадежная линия электропередачи, определение которой приведено в Директивах, то маловероятно, что обслуживающий персонал будет иметь контакт с жилами кабеля электросвязи именно в тот момент, когда в них возникает кратковременно индуцируемая эдс. При правильном соблюдении мер предосторожности отсутствует какая-либо опасность для обслуживающего персонала, выполняющего работы на телефонных линиях, в которых под влиянием соседних линий электропередачи могут возникнуть большие напряжения.

При отсутствии трансформаторов на концах цепей кабеля рассмотренные выше условия справедливы, если появление перенапряжений в оборудовании электросвязи предотвращается срабатыванием грозоразрядников, включенных на концах цепей.

На основании вышеприведенного МККТТ единодушно считает, что:

1 Можно конструировать кабели электросвязи, в которых изоляция жил и изоляция между жилами и металлической оболочкой выполнены из пластмассы с большой электрической прочностью. Для таких кабелей в случае повреждения на соседней линии электропередачи допустимая величина индуцируемой продольной эдс не должна превышать 60% величины испытательного напряжения, которое прикладывается между жилами и металлической оболочкой кабеля для проверки электрической прочности изоляции жил (это испытательное напряжение, указываемое в технических условиях на кабель конкретного типа, определенным образом связано с напряжением пробоя изоляции). При этом необходимо соблюдать следующие требования:

- a) на концах цепей кабелей и в точках разветвления должны быть включены трансформаторы или грозоразрядники;
- b) оборудование, места сращивания и кабельные боксы, соединенные с жилами кабеля, должны иметь электрическую прочность, равную по крайней мере электрической прочности изоляции между жилами и металлической оболочкой кабеля; при этом упомянутые в подпункте а) трансформаторы, если их электрическая прочность не удовлетворяет требованиям, должны быть защищены грозоразрядниками;
- c) оказывающие влияния линии электропередачи должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к высоконадежным линиям, упомянутым в [1];
- d) персонал, обслуживающий кабели электросвязи, должен соблюдать меры предосторожности, изложенные в [2].

2 Максимальная допустимая индуцированная продольная эдс не должна превышать 650 В, если цепи такого кабеля подключаются к оборудованию электросвязи непосредственно, то есть без трансформаторов или грозоразрядников, и соблюдается требование, изложенное в § 1 с).

## Ссылки

- [1] Руководство МККТТ *Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи и электрифицированных железных дорог*, том VI, МСЭ, Женева, 1988 год.
- [2] *Там же*, том VII.

## Рекомендация К.14

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЭКРАНА В КАБЕЛЯХ С ПЛАСТМАССОВОЙ ОБОЛОЧКОЙ

*(Женева, 1972 г.; изменена в Малага-Торремолиносе, 1984 г.)*

Металлическая оболочка является для кабеля электростатическим экраном и в определенной степени магнитным экраном; пластмассовая оболочка ни одним из этих свойств не обладает. Некоторые кабели в пластмассовой оболочке, например кабели с бумажной изоляцией жил, имеют металлический сплошной экран, который служит также водонепроницаемым барьером. Подобный металлический экран, обычно выполняемый из продольно накладываемой алюминиевой ленты, обладает такими же экранирующими свойствами, как и сплошная оболочка из немагнитного металла с аналогичной продольной проводимостью. Однако экран должен быть соединен с заземляющими устройствами телефонных станций на концах кабеля и/или в промежуточных точках по его длине аналогично заземлению сплошных металлических оболочек. Кроме того, важно, чтобы в местах сращивания кабеля экран сращиваемых участков имел соединения с очень малым сопротивлением. Хотя экранирующий эффект, обеспечиваемый таким ленточным экраном, небольшой на частоте 50 Гц, он может оказаться заметным на частотах, на которых возникают шумы. Наличие экрана на кабеле ограничивает также влияние высокочастотных составляющих тока при переходных процессах, обусловленных переключением линий электропередачи и ударами молнии. Так как все более широкое применение находит малогабаритное оборудование электросвязи, весьма чувствительное к токовым перегрузкам, индуцируемые напряжения представляют особую опасность.

Исходя из вышеизложенного и практического опыта в области применения кабелей в пластмассовой оболочке,

*МККТТ рекомендует следующее:*

1 Поскольку кабели абонентской распределительной сети, имеющие пластмассовую оболочку без экрана, обеспечивают удовлетворительное качество соединения абонентов со станциями, их можно использовать в местах, где отсутствуют электрифицированные железные дороги переменного тока. Следует, однако, учитывать возможность появления помех вблизи электрифицированных железных дорог, особенно тех, на которых электровозы имеют тиристорные выпрямители. Необходимо также учитывать возможные помехи от радиопередатчиков, работающих в том же диапазоне частот, что и каналы, организованные по кабелю с пластмассовой оболочкой.

2 Междугородные и соединительные кабели должны иметь сплошной экран из алюминиевой ленты в форме водонепроницаемого барьера. Кабели с экраном, активная проводимость которого примерно вдвое меньше проводимости кабеля такого же диаметра, но в свинцовой оболочке, дают совершенно удовлетворительные результаты там, где нет серьезной опасности магнитного влияния.

3 Если кабель с пластмассовой оболочкой имеет экран с проводимостью, аналогичной проводимости кабеля в обычной свинцовой оболочке, то при наличии индукции этот кабель может использоваться в тех же условиях, что и кабель в свинцовой оболочке.

4 Если эффект от экрана (см. § 2 и 3, выше) на основных частотах или на частотах гармоник недостаточен для ограничения магнитного влияния близлежащих линий электропередачи и электрифицированных железных дорог, то можно повысить экранирующее действие путем:

4.1 увеличения, в случае необходимости, индуктивности металлической оболочки наложением на оболочку стальных лент внахлестку;

4.2 увеличения проводимости имеющегося экрана прокладкой под ним дополнительных металлических лент или проволок.

Необходимость в улучшении экранирующего действия может возникнуть также в том случае, когда существует опасность появления значительных помех от соседней электрифицированной железной дороги с тиристорным оборудованием.

5 Экран должен быть соединен с заземляющими устройствами станций электросвязи. На абонентских кабелях заземление осуществляется на удаленном конце. Важно также, чтобы в местах сращивания кабеля соединение экрана обеспечивалось с очень малым сопротивлением.

6 Учитывая увеличение числа энергостановок и уровень гармоник в результате применения новой техники, следует ожидать увеличения помех. В связи с этим может оказаться чрезвычайно полезным улучшить экранирующее действие кабелей в пластмассовой оболочке, как указано выше.

7 Если кабели должны прокладываться в зоне, подверженной влиянию атмосферных разрядов, следует учитывать важность металлического экрана и его конструкции для обеспечения защиты кабелей от ударов молнии, а также соединений экрана с другими элементами (см. руководство, указанное в [1]).

## 8 Коэффициент экранирования

Нижеизложенные соображения позволяют достаточно точно определить коэффициент экранирования на промышленной частоте для всех типов кабеля независимо от применяемого внешнего пластмассового покрытия. В частности, показано, как может меняться используемый на практике коэффициент экранирования в зависимости от условий применения кабеля.

### 8.1 Общие положения

Экранирующее действие, создаваемое металлическим экраном кабеля, зависит главным образом от следующих факторов:

- частоты индуцируемой эдс. Поэтому ограничение индуцируемой эдс на промышленной частоте (16 2/3 Гц, 50 Гц, 60 Гц) является определяющим фактором при выборе кабеля с точки зрения безопасности обслуживающего персонала и установок. С другой стороны, на более высоких частотах также должен учитываться коэффициент экранирования для обеспечения защиты оборудования от помех. Значительное уменьшение индуцируемой эдс на промышленной частоте может быть достаточным для полной защиты;
- значения индуцируемой эдс на единицу длины в случае экранов из ферромагнитного материала. Экранирующее действие кабеля с ферромагнитным экраном будет оптимальным для определенного значения индуцируемой эдс на единицу длины; таким образом, кабель, предназначенный для снижения высоких индуцируемых эдс на единицу длины, может быть, нецелесообразно применять для защиты от низких индуцируемых эдс на единицу длины. Конструкция экрана должна соответствовать значению индуцируемой эдс на единицу длины;
- качества его заземления. Экранирующее действие определяется значением тока, протекающего по металлическому экрану. Поэтому решающим фактором является сопротивление элементов, обеспечивающих протекание тока между экраном и землей. Если заземляющие устройства предусматриваются только на концах кабелей с внешним изолирующим пластмассовым покрытием, то они должны иметь очень малое сопротивление; предпочтительно заземлять оболочку через определенные интервалы вдоль линии. В тех случаях, когда внешнее пластмассовое покрытие является проводящим, оболочка практически заземлена непрерывно;
- длины подверженного влиянию участка линии, который подлежит защите. Если этот участок имеет большую длину, то легко улучшить экранирующее действие. В этом случае требуемое качество заземления зависит от длины.

#### 8.1.1 Коэффициент экранирования (объяснение условных обозначений дано в дополнении I)

В Директивах даны определения следующих наиболее часто используемых коэффициентов экранирования:

- номинальный коэффициент экранирования  $k_n$  (см. рис. 1/К.14). Этот коэффициент можно легко измерить в лабораторных условиях; он используется для оценки эффективности экранирующего действия;

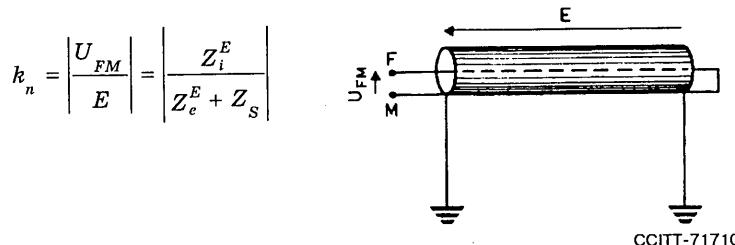
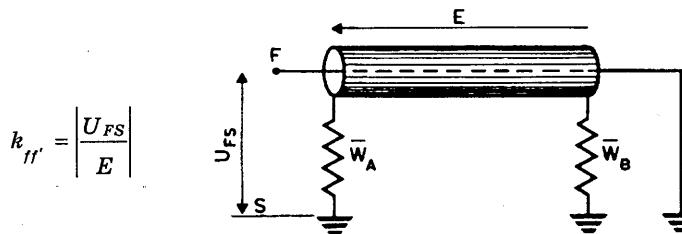


РИСУНОК 1/К.14

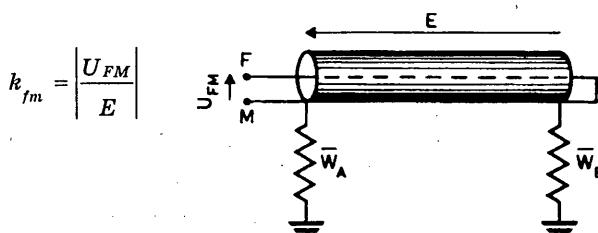
- коэффициент экранирования относительно удаленной земли  $k_{ff}$  (см. рис. 2/К.14). Этот коэффициент необходимо учитывать при обеспечении защиты от опасных и вредных влияний, при этом принимается во внимание, что провода абонентских пар на их зажимах соединены с нулевой заземляющей шиной через определенные части оборудования без трансформаторов;



ССИТ-71720

РИСУНОК 2/К.14

- коэффициент экранирования относительно оболочки  $k_{fm}$  (см. рис. 3/К.14). Этот коэффициент необходимо учитывать в тех случаях, когда единственными заземляющими устройствами являются те, которые используются для заземления экрана. Указанное относится к кабелям, предназначенным для соединения между собой станций электросвязи; экраны таких кабелей подключаются к стационарным заземляющим устройствам.



ССИТ-71730

РИСУНОК 3/К.14

*Директивы* содержат довольно подробные пояснения и формулы для точного вычисления этих коэффициентов в самых разнообразных ситуациях. Вместе с тем указанные коэффициенты экранирования могут быть вычислены по упрощенным формулам, которые часто обеспечивают достаточную степень точности. Эти формулы различны для кабелей с внешним изолирующим покрытием и внешним проводящим покрытием. В них используются постоянные и переменные величины, приведенные в дополнении I.

## 8.2 Кабели с внешним изолирующим покрытием

Внешнее покрытие металлической оболочки (экрана) кабеля выполняется из изолирующей пластмассы. Чтобы получить экранирующее действие, металлическая оболочка должна быть заземлена на обоих концах и, возможно, в промежуточных точках.

### 8.2.1 Расчет коэффициента экранирования

В этом случае коэффициент экранирования может быть вычислен с помощью следующих выражений (см. также *Директивы*, том II):

$$k_{ff'} = \left| \frac{Z_i^E L + \bar{W}_A + \bar{W}_B}{Z_e^E L + Z_s L + \bar{W}_A + \bar{W}_B} \right| ; \quad (8-1)$$

$$k_{fm} = \left| \frac{Z_i^E L}{Z_e^E L + Z_s L + \bar{W}_A + \bar{W}_B} \right| . \quad (8-2)$$

Если подходить строго, то использование этих выражений предполагает заземление оболочки лишь на концах кабеля. Тем не менее можно принять, что в достаточно сравнимых ситуациях только заземляющие устройства вблизи концов кабеля имеют еще влияние на экранирующее действие. Таким образом, эти выражения дают достаточно точную оценку экранирующего действия и в случае промежуточных заземляющих устройств.

Общим результатом подключения заземляющих устройств в промежуточных точках является улучшение  $k_{ff}$  и, наоборот, ухудшение  $k_{fm}$ .

## 8.2.2 Влияние длины

В тех случаях, когда для получения коэффициента экранирования  $k_{ff}$ , близкого к номинальному значению  $k_n$ , требующиеся сопротивления заземляющих устройств имеют малое значение, что делает заземление трудновыполнимым, линию можно считать "короткой". В противном случае линия считается "длинной".

*Примечание.* — Под "линией" подразумевается длина кабеля, фактически подверженного влиянию.

### 8.2.2.1 Длинные линии

Из выражений (8-1) и (8-2) следует, что для достаточно длинных линий коэффициенты экранирования  $k_{ff}$  и  $k_{fm}$  близки к  $k_n$ . Это справедливо для длин, превышающих примерно

$$10 \frac{\bar{W}_A + \bar{W}_B}{Z_c^E}$$

В этом случае можно использовать небронированные кабели ( $Z_c^E$  близко к  $Z_i^E$ ). Кроме того, чем больше длина линии, тем большим может быть значение сопротивления заземления оболочки.

Изложенное не следует учитывать при выборе кабеля, который может быть основан единственно на кривой зависимости номинального коэффициента экранирования  $k_n$  от индуцируемой эдс, поскольку получаемая эффективность будет весьма схожей.

### 8.2.2.2 "Короткие" линии

В этом случае значение  $Z_c^E L$  является величиной того же порядка, что и сумма значений сопротивлений заземляющих устройств на обоих концах линии  $\bar{W}_A + \bar{W}_B$ . Коэффициенты экранирования  $k_{ff}$  и  $k_{fm}$  могут быть вычислены с помощью выражений (8-1) и (8-2).

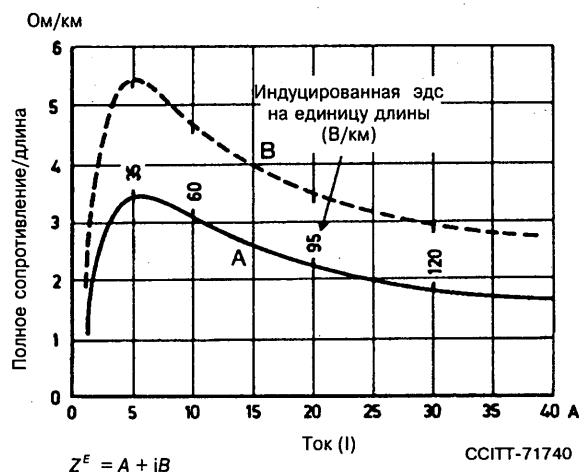
Для защиты "коротких" линий должны использоваться бронированные кабели; тогда экранирующее действие обеспечивается за счет увеличения значения полного сопротивления  $Z_c^E$  благодаря наложению металла с высокой магнитной проницаемостью поверх оболочки.

Для вычисления  $k_{ff}$  и  $k_{fm}$  с помощью выражений (8-1) и (8-2) необходимо знать кривую изменений  $Z_c^E$  в зависимости от тока, протекающего по оболочке (рис. 4/К.14).

Затем осуществляются несколько простых последовательных приближений для вычисления  $Z_c^E$  при нескольких значениях сопротивлений заземляющих устройств  $\bar{W}_A$  и  $\bar{W}_B$ , которые могут быть реализованы с учетом удельного сопротивления земли на концах линии.



а) Номинальный коэффициент экранирования



б) Полное сопротивление на единицу длины  $Z_c^E$

РИСУНОК 4/К.14

Параметры кабеля. Пример кабеля для защиты линий от низких индуцируемых эдс на единицу длины, обычно создаваемых линиями электротяги

### 8.3 Кабели с внешним проводящим покрытием

Внешнее покрытие металлической оболочки кабеля выполняется из проводящей пластмассы, обеспечивающей электрический контакт между оболочкой и окружающей кабель землей.

Если удельное сопротивление проводящей пластмассы близко или меньше удельного сопротивления окружающей земли (можно легко получить значения около  $50 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ), то промежуточные заземления оболочки, кроме заземлений на концах кабеля, не требуются.

Ток, протекающий по оболочке, изменяется вдоль линии, особенно вблизи ее концов, а в средней части сохраняет значение, довольно близкое к  $I_m = e/(Z_c^E + Z_s)$ , соответствующее току, протекающему по идеально заземленной оболочке (сопротивление заземлений равно нулю).

Таким образом, для вычисления коэффициента экранирования  $k_{ff}$  можно воспользоваться эквивалентной схемой, в которой кабель с внешним проводящим покрытием заменяется кабелем, металлическая оболочка которого идеально заземлена на обоих концах и длина которого равна длине линии  $L$ , укороченной с каждой стороны на длину  $l$ , чтобы  $|P|l = 1$ .

Это означает, что кабель имеет номинальный коэффициент экранирования при более короткой длине, равной  $L - 2l$ .

Приблизительное значение  $k_{ff}$  можно вычислить с помощью следующего выражения:

$$k_{ff} = k_n \left( 1 - \frac{2l}{L} \right) + \frac{2l}{L} . \quad (8-3)$$

Аналогичным образом можно найти  $k_{fm}$ :

$$k_{fm} = k_n \left( 1 - \frac{2l}{L} \right) .$$

Выражение (8-3) неприменимо в тех случаях, когда в действительности металлическая оболочка идеально заземлена. В этом случае линия считается "длинной" и  $k_{ff} = k_{fm} = k_n$ .

Для расчета требуются параметры кабеля ( $Z_c^E, Z_s^E$ ), индуцируемая эдс на единицу длины и полная проводимость на единицу длины цепи "оболочка — земля"  $Y$ , которая может быть выбрана в зависимости от удельного сопротивления земли от 1 до 10 см (если ничего не известно о качестве заземления, то выбирается значение 1 см).

#### 8.3.1 Влияние длины

Замечания, относящиеся к кабелям с изолирующим покрытием, также применимы и в этом случае.

#### 8.3.2 "Длинные" линии.

Коэффициент экранирования близок к  $k_n$ . Кабель может быть бронированным или небронированным в соответствии с требованиями.

#### 8.3.3 "Короткие" линии

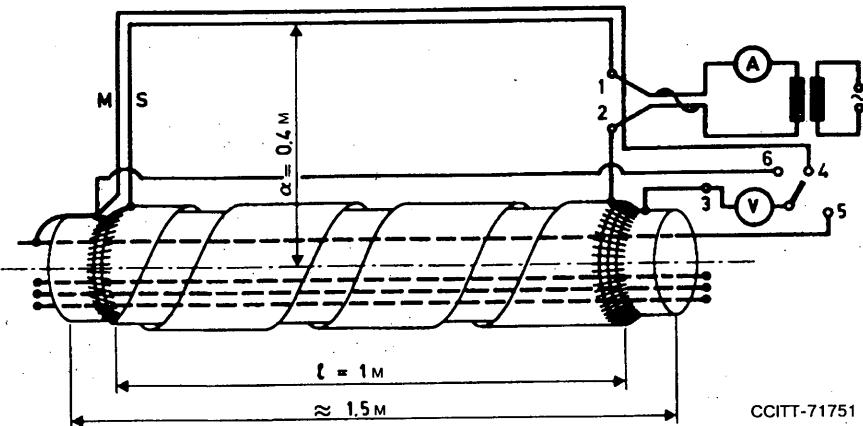
Коэффициент экранирования  $k_{ff}$  можно определить с помощью выражения (8-3). В большинстве случаев кабель должен быть бронированным.

### 8.4 Определение параметров кабеля

Если значения номинального коэффициента экранирования и полного сопротивления на единицу длины  $Z_c^E$  можно измерить с помощью схемы, описание которой приведено в *Директивах* (том IX), то определение полного сопротивления на единицу длины  $Z_c^E$  может основываться:

- либо на расчете по векторной диаграмме, построенной по измеренным значениям  $I, U_{ol}$  и  $U_{oc}$ ;
- либо на измерении напряжения  $U_{oc}$ , возникающего между концом проводящего провода, расположенного снаружи металлической оболочки, и отсчетной точкой 3, при этом другой конец провода соединяется с оболочкой (рис. 5/К.14).

Параметры некоторых кабелей с экранами, состоящими из нескольких неферромагнитных слоев с высокой проводимостью, более приближенно могут быть измерены с помощью измерительной установки коаксиального типа.



CCITT-71751

$$k_n = \frac{U_{oi}}{U_{oe}} = \frac{U_{53}}{U_{43}}$$

$$Z_i^E = \frac{U_{oi}}{I \cdot l} = \frac{U_{53}}{I \cdot l}$$

$$Z_e^E = \frac{U_{oe}}{I \cdot l} = \frac{U_{63}}{I \cdot l}$$

РИСУНОК 5/К.14

**Измерение параметров кабеля**

**ДОПОЛНЕНИЕ I**

(к Рекомендации К.14)

**Буквенные условные обозначения, используемые в Рекомендации К.14**

$Z_i^E$  — внутреннее полное сопротивление на единицу длины с внешним возвратом тока. Для промышленных частот постоянного тока эта величина близка к значению сопротивления на единицу длины;

$Z_e^E$  — внешнее полное сопротивление на единицу длины с внешним возвратом тока;

$Z_s$  — продольное полное сопротивление пути тока через землю на единицу длины;

$Y$  — полная проводимость на единицу длины цепи “оболочка—земля”;

$P$  — коэффициент распространения в цепи “оболочка—земля”;

$K$  — волновое сопротивление цепи “оболочка—земля”;

$\overline{W}_A, \overline{W}_B$  — сопротивления заземлителей на обоих концах оболочки;

$L$  — длина линии, подверженной влиянию;

$e$  — индуцируемая эдс на единицу длины;

$E$  — суммарная индуцируемая эдс;

$I$  — ток, протекающий по оболочке.

**Ссылка**

- [1] Руководство МККТТ *Защита линий и оборудования электросвязи от ударов молнии*, глава 4, § 2.1, МСЭ, Женева, 1974, 1978 годы.

**ЗАЩИТА СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО ПИТАНИЯ И ЛИНЕЙНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ ОТ УДАРОВ МОЛНИИ  
И ПОМЕХ ОТ СОСЕДНИХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ**

(Женева, 1972 г.)

**Предварительная рекомендация**

Для уменьшения вредного влияния внешних источников на систему дистанционного питания промежуточных усилителей МККТТ рекомендует применять по возможности такую систему дистанционного питания промежуточных усилителей, чтобы цепь, по которой протекают токи дистанционного питания (включая подсоединененные к ней устройства), оставалась симметричной относительно оболочки и земли и чтобы в ней отсутствовали пути с низким полным сопротивлением для прохождения продольных токов.

**Введение**

Наличие в оборудовании электросвязи элементов, в частности полупроводниковых (транзисторов и т. д.), способных выдерживать лишь малые перенапряжения, заставляет принимать меры защиты от перенапряжений, которые могут возникать на зажимах этого оборудования, даже если величины перенапряжений незначительно превышают величины рабочих напряжений, так как эти перенапряжения могут нарушать работу указанных элементов, а иногда повреждать их.

Кроме того, работа линий электросвязи, имеющих промежуточные усилители, может нарушаться за счет индуцируемых линиями электропередачи эдс, зависящих от способа эксплуатации этих линий; вредные влияния могут возникать даже при отсутствии повреждений на указанных линиях.

Элементы, в частности полупроводниковые, входящие в состав аппаратуры и непосредственно соединенные с проводами линий электросвязи, могут оказаться поврежденными, поскольку эти провода, независимо от того, является линия кабельной или воздушной, подвержены перенапряжениям, возникающим от внешних источников, как, например, из-за магнитного влияния, создаваемого линиями электропередачи, или атмосферных разрядов.

Промежуточные усилители, включаемые в линию через определенные интервалы, относятся к этой категории оборудования. Поскольку дистанционное питание осуществляется по проводам кабелей или воздушных линий, используемых для передачи информации, перенапряжения могут возникать непосредственно на полупроводниковых элементах и повреждать их. Этого можно избежать, если для снижения перенапряжений в чувствительных точках до допустимых пределов или предотвращения возникновения этих перенапряжений предусмотрены защитные устройства или соответствующие схемные решения.

Принимаемые меры защиты до некоторой степени зависят от:

- величины возможной эдс;
- организации линии, особенно если используются кабели парной скрутки;
- устройств, установленных на внешнем проводнике коаксиальных пар по отношению к металлической оболочке кабеля (плавающий потенциал или заземление);
- типа дистанционного питания (переменным или постоянным током).

Если перенапряжения в проводах, используемых для дистанционного питания, возникают за счет магнитного влияния соседних линий электропередачи, то их величины можно рассчитать, используя указанные в *Директивах* методы. Для определения требуемых мер защиты необходимы дополнительные расчеты.

Если перенапряжения обусловлены атмосферными разрядами, вычисление их значений дает только приблизительные результаты. Поэтому предусматриваемые меры защиты в аппаратуре должны проверяться в условиях, по возможности наиболее близких к реальным.

Рекомендуемые ниже меры отвечают вышеизложенным требованиям. Они не претендуют на полноту, поскольку техника прогрессирует; тем не менее они способны обеспечить для изготовителя и потребителя таких систем высокую степень защиты.

## **1      Методы расчета**

**1.1**     В принципе, *Директивы* [1] позволяют вычислить продольную эдс, индуцированную в цепи дистанционного питания. Метод расчета применим как для условий нормальной эксплуатации, так и в случае повреждения на линии электропередачи.

**1.2**     Для дополнительных расчетов напряжений и токов, индуцированных в коаксиальной паре, за основу берется продольная эдс, вычисленная на основе информации, упомянутой в § 1.1, выше. Для выполнения этого расчета целесообразно пользоваться Рекомендацией К.16 (см. также ссылку [2]).

**1.3**     Для оценки напряжений и токов (пиковое значение кратковременных импульсов), которые могут возникнуть в цепях дистанционного питания в результате атмосферных разрядов, рекомендуется пользоваться руководством [3] (см. также ссылку [4]).

## **2      Предельные значения перенапряжений**

### **2.1     Продольные напряжения, обусловленные магнитным влиянием**

В принципе, предельные значения индуцированных продольных напряжений, указанные в [5], не должны превышаться, если нет уверенности в том что оборудование (кабели, провода, аппаратура) способно выдержать более высокие напряжения. Однако можно расширить диапазон предельных значений, если предварительное исследование электрической прочности изоляции проводов и подключенного к ним оборудования указывает на отсутствие опасности пробоя (см. [5]).

Если оборудование дистанционного питания постоянно обуславливает возникновение в проводах высокого напряжения по отношению к металлической оболочке кабеля или по отношению к земле, то следует учитывать, что индуцированное напряжение накладывается на напряжение дистанционного питания (см. [5]).

### **2.2     Перенапряжения, обусловленные атмосферными разрядами**

Допустимые предельные значения импульсных напряжений зависят в первую очередь от электрической прочности изоляции проводов и оборудования, соединенного с ними, если не приняты дополнительные меры (например, в системах передачи) с целью уменьшения возникающих перенапряжений до значений, меньших напряжения пробоя. Предельные значения, допустимые на зажимах аппаратуры на полупроводниках, зависят от характеристик этих элементов.

## **3      Меры защиты**

### **3.1     Защита от перенапряжений**

Необходимо предусматривать возможность работы устройств защиты независимо от источника перенапряжений (магнитного влияния, атмосферных разрядов и т. д.).

#### **3.1.1     Защита жил в кабелях**

При превышении предельных значений, указанных в § 2.1 и 2.2, выше, рекомендуется принимать соответствующие меры защиты. Например, электрическая прочность изоляции может быть увеличена при вводе в действие новых установок. Можно также использовать кабели с улучшенным коэффициентом экранирования. Кроме того, напряжения могут ограничиваться грозозащитниками или другими устройствами ограничения величины напряжения. В последнем случае необходимо следить за тем, чтобы разрядник возвращался в исходное состояние после исчезновения перенапряжения и восстановления нормальной работы цепи дистанционного питания. Не исключается принятие других мер защиты.

В комбинированных кабелях, в которых для дистанционного питания используются отдельные пары, целесообразно принимать меры защиты для всех жил, с тем чтобы можно было предотвратить вредные влияния на кабель в целом.

#### **3.1.2     Защита промежуточных усилителей**

Защита должна предусматриваться на входе и выходе промежуточного усилителя и в цепи дистанционного питания.

Рекомендуется включать в транзисторные промежуточные усилители при их изготовлении защитные устройства, которые препятствуют возникновению опасных напряжений на чувствительных, например полупроводниковых, элементах усилителя.

При применении грозоразрядников для ограничения перенапряжений следует обращать внимание на то, что перенапряжения, величины которых меньше величины напряжения пробоя разрядников, могут быть все же достаточно большими, чтобы повредить некоторые элементы, например полупроводниковые переходы элементов, транзисторы и т. д., используемые в оборудовании. Поэтому целесообразно предусматривать внутренние устройства защиты в дополнение к грозоразрядникам путем подключения, например, диодов Зенера или фильтров (эти элементы могут быть уже предусмотрены в оборудовании). Комбинация этих элементов обеспечивает "объединенную защиту", которая является составной частью оборудования. Она реализуется таким образом, что перенапряжения независимо от источника и величины уменьшаются постепенно до достаточно малого уровня и не могут явиться причиной повреждения.

Может оказаться, что для защиты промежуточных усилителей от напряжений, длительно индуцируемых линиями электропередачи или электротяги, потребуется меньшее число устройств защиты или защита будет дешевле, если внешний проводник коаксиальных пар имеет "плавающий потенциал", а не заземлен. С другой стороны, когда внешний проводник заземлен, персонал, работающий на линии, лучше защищен от случайного контакта с внутренним проводником, который используется для дистанционного питания и поэтому находится под напряжением. Поскольку обе системы имеют свои достоинства и недостатки, выбор будет зависеть от эксплуатационных требований.

### **3.2 Меры, обеспечивающие удовлетворительную работу оборудования при наличии длительного индуцируемого в кабеле мешающего напряжения**

Необходимо принимать меры для обеспечения нормальной работы промежуточного усилителя при наличии мешающих напряжений и токов, длительно индуцируемых в жилах кабеля линиями электропередачи или электротяги. Это относится к случаю, когда линии электропередачи создают помехи при нормальной эксплуатации. Величины индуцируемых напряжений и токов могут быть рассчитаны методами, указанными в § 1.1, выше.

## **4 Испытание транзисторных промежуточных усилителей с дистанционным питанием**

### **4.1 Общие положения**

Целесообразно, чтобы условия испытаний как можно больше соответствовали реальным. При испытаниях должны имитироваться не только обычные эксплуатационные условия, но и случайные обстоятельства, когда, например, жила с обычной изоляцией имеет контакт (соприкасается) с металлической оболочкой кабеля или с землей.

### **4.2 Испытание импульсными напряжениями**

При испытаниях импульсными напряжениями и токами рекомендуется пользоваться указаниями Рекомендации К.17. Что касается амплитуды испытательных импульсов, недостаточно увеличить ее до максимума; необходимо также произвести испытание при амплитуде меньше порогового значения напряжения срабатывания устройства защиты (например, напряжения пробоя грозоразрядников). При этом можно оценить эффективность защитных элементов (например, диодов) относительно перенапряжений малой амплитуды, энергия которых, однако, может быть достаточно большой.

В случае применения грозоразрядников следует убедиться в том, что их напряжения пробоя меньше электрической прочности изоляции проводов относительно корпуса оборудования.

### **4.3 Испытание напряжениями переменного тока**

При дистанционном питании промежуточных усилителей по симметричным или коаксиальным парам, внешние проводники которых изолированы от земли или металлической оболочки кабеля, рекомендуется производить испытание напряжением переменного тока, чтобы убедиться, что электрическая прочность изоляции по отношению к земле выше напряжений, допускаемых *Директивами* при магнитном влиянии.

Для проверки поведения промежуточных усилителей и цепи их питания в случае пробоя грозоразрядников на клеммы цепи питания подается переменный ток в соответствии с указаниями Рекомендации К.17.

В системах, в которых возможны длительно индуцируемые напряжения, например из-за влияния электрифицированных железных дорог переменного тока, следует наложить на ток питания переменный ток той же частоты (50 Гц, 60 Гц, 16 2/3 Гц) и величины, что и ток, создаваемый на участке дистанционного питания, когда индуцированная эдс имеет значение, указанное в [5]. Во время прохождения этого индуцированного тока паразитная модуляция должна быть достаточно мала, чтобы на участке магистрали можно было получить значения, рекомендованные Исследовательской комиссией XV (Вопрос 11).

## Ссылки

- [1] Руководство МККТТ *Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи и электрифицированных железных дорог*, том II, МСЭ, Женева, 1988 год.
- [2] KEMP, J., SILCOOK, H. W., STEWARD, C. J. Power frequency induction on coaxial cables with application to transistorized systems, *Electrical Communication*, Vol. 40, No. 2, pp. 255—266, 1965.
- [3] Руководство МККТТ *Защита линий и оборудования электросвязи от ударов молнии*, МСЭ, Женева, 1974, 1978 годы.
- [4] KEMP, J., Estimating voltage surges on buried coaxial cables struck by lightning, *Electrical Communication*, Vol. 40, No. 3, pp. 381—385, 1965.
- [5] Руководство МККТТ *Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи и электрифицированных железных дорог*, том VI, МСЭ, Женева, 1988 год.

## Рекомендация К.16

### УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ДЛЯ ОЦЕНКИ МАГНИТНОГО ВЛИЯНИЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НА ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ УСИЛИТЕЛИ С ДИСТАНЦИОННЫМ ПИТАНИЕМ ПО КОАКСИАЛЬНЫМ ПАРАМ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

(Женева, 1972 г.)

#### 1 Аннотация

В статье [1] дается общее описание всех возможных случаев магнитного влияния, что позволяет рассчитать изменение индуцированных напряжений и токов вдоль кабеля, когда последний полностью или частично подвержен магнитному влиянию. В настоящей Рекомендации даны общие указания по определению эквивалентной цепи, позволяющей быстро оценить максимальные значения напряжений и токов в жилах кабеля для различной длины и положения кабельного участка, подверженного магнитному влиянию (участка сближения). Сосредоточенные емкости и переходные сопротивления этой эквивалентной цепи должны быть соответствующим образом подобраны. При этом требуются лишь две группы параметров, в зависимости от того, является ли длина участка, подверженного магнитному влиянию, меньшей, равной или большей по сравнению с половиной длины секции дистанционного питания. Способ перехода от сложных формул [1] к упрощенному расчету поясняется в приложении А.

Для проверки целесообразности этой универсальной эквивалентной цепи в приложении В приводится расчет (для некоторых условий влияния, числовая оценка которых дана в [1]) максимальных значений напряжений и токов, индуцированных в проводниках кабеля, когда внешние проводники имеют "плавающий потенциал". Эти величины представлены также в виде графиков. Можно отметить, что метод расчета, рассмотренный в приложении В, дает достаточно точные результаты для практического применения.

В приложении С поясняется, как следует изменить эквивалентную цепь в тех случаях, когда внешние проводники коаксиальных пар заземлены на концах и в точках подключения к промежуточным усилителям.

Описание аналогичного метода расчета магнитных влияний линий электропередачи на системы электросвязи, использующие кабель с коаксиальными парами, внешний проводник которых изолирован, приводится в статье [2].

## 2 Достоинства эквивалентной цепи

Одной из основных исходных величин в точных формулах, приведенных в [1] и [2], является индуцированное в кабеле продольное напряжение, которое можно вычислить обычными методами (см. *Директивы МККТТ*).

Если эта величина известна, то, пользуясь формулами, можно очень точно вычислить числовые значения индуцированных напряжений и токов, но получаемые результаты будут соответствовать реальным значениям только в пределах точности определения используемых в расчете основных параметров. Практика показывает, что эта точность невысока по той причине, что некоторые важные параметры (например, эффективное удельное сопротивление земли) определить точно невозможно.

Вследствие неизбежной неточности при вычислении индуцированного продольного напряжения, значение которого берется в качестве основной исходной величины, в процессе выполнения расчета допускается дополнительная погрешность около 20%. Поэтому точные формулы можно значительно упростить для всех случаев применения (поскольку почти всегда на практике  $\Gamma \cdot l \leq 2$  и  $\bar{\Gamma} \cdot l \leq 2$ ), а для каждого случая можно подобрать соответствующие эквивалентные цепи ( $\Gamma$  и  $\bar{\Gamma}$  — соответственно коэффициенты распространения для цепей "оболочка кабеля — внешний проводник" и "внешний проводник — внутренний проводник").

## 3 Формулировка проблемы

Можно рассмотреть эквивалентные цепи для следующих четырех случаев магнитного влияния:

- 1) заземленный внешний проводник, равномерное магнитное влияние по всей длине секции дистанционного питания (ДП);
- 2) внешний проводник, находящийся под "плавающим потенциалом", равномерное магнитное влияние по всей длине секции ДП (см. рис. А-1/К.16);
- 3) заземленный внешний проводник, частичное сближение с влияющей линией на малой длине в середине секции ДП;
- 4) внешний проводник, находящийся под "плавающим потенциалом", частичное сближение с влияющей линией на малой длине в середине секции ДП (см. рис. А-2/К.16).

На практике гораздо проще иметь дело с одной эквивалентной цепью, а не с четырьмя. Кроме того, было бы целесообразно с помощью данных, изложенных в [1], составить универсальную эквивалентную цепь, которая позволила бы получить достаточно точную информацию о максимальных значениях напряжений и токов, индуцируемых в кабеле даже в случае произвольно расположенного участка секции ДП, подверженного влиянию.

Как показано в приложении А, такая эквивалентная цепь может быть получена на основе схем, представленных на рис. А-1/К.16 и рис. А-2/К.16. Эта цепь приведена на рис. 2/К.16.

## 4 Используемые параметры и обозначения

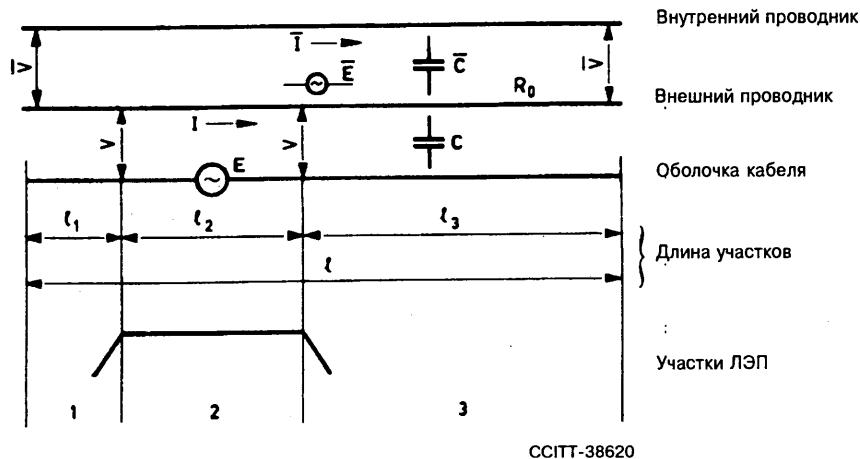
Исходя из общего предположения о том, что секция ДП с внешними проводниками, находящимися под "плавающим потенциалом", т. е. не соединенными с оболочкой кабеля или заземляющим устройством, подвергается магнитному влиянию по всей длине произвольно расположенного участка, можно получить цепь, представленную на рис. 1/К.16, где также даны пояснения используемых условных обозначений и параметров.

Символы  $E$ ,  $C$ ,  $V$ ,  $I$ , обозначающие величины, которые относятся к цепи "оболочка кабеля — внешний проводник", записываются без черточек над ними, а символы  $\bar{E}$ ,  $\bar{C}$ ,  $\bar{V}$ ,  $\bar{I}$ , обозначающие величины, которые относятся к цепи "внешний проводник — внутренний проводник", записываются с черточкой.

## 5 Универсальная эквивалентная цепь

Соображения, изложенные в приложении А, дают возможность определить универсальную эквивалентную цепь (рис. 2/К.16).

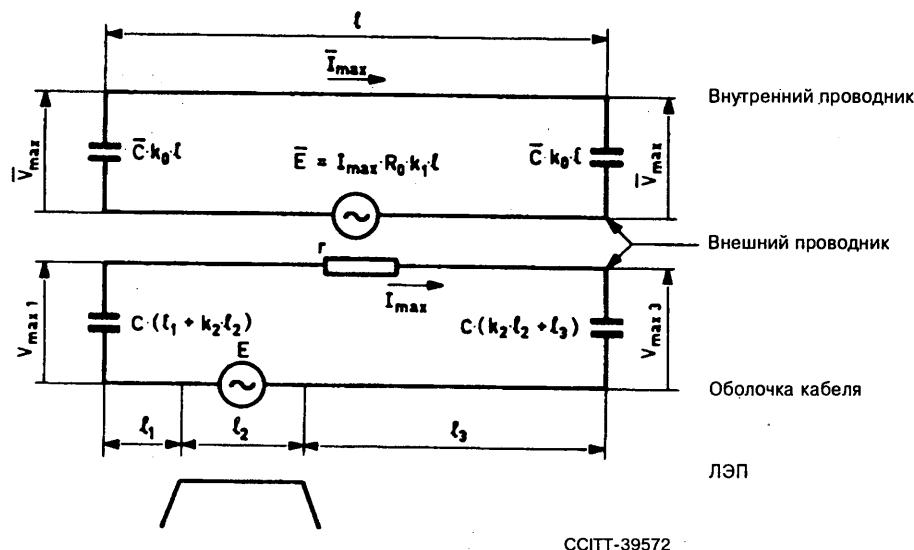
Эта эквивалентная цепь позволяет определять максимальные значения напряжений и токов, индуцируемых в двух цепях, представленных на рис. 1/К.16, с точностью около 10% для всех систем дальней связи, секции ДП которых подвержены либо равномерному по всей длине, либо частичному на малой длине в середине секции магнитному влиянию. Если эта цепь применяется для других случаев сближения, следует ожидать отклонений величиной до 20% от предполагаемых теоретических значений; однако на практике такая погрешность допустима вследствие невозможности точного определения индуцированного продольного напряжения  $E$ , а также по той причине, что рассматриваемая цепь позволяет быстро получить результаты.



- $E$  — продольное напряжение, индуцируемое в кабеле, В
- $\bar{E}$  — продольное напряжение в коаксиальной паре, В
- $l_2$  — длина участка, подверженного магнитному влиянию (участок сближения), км
- $l_1, l_3$  — длина участков, не подверженных магнитному влиянию, км
- $l$  — длина секции дистанционного питания, км ( $l = l_1 + l_2 + l_3$ )
- $V, \bar{V}, I, \bar{I}$  — максимальные значения определяемых напряжений и токов
- $C, \bar{C}$  — эффективные емкости на единицу длины, Ф/км,
- где
- $C = \frac{C_{os} \cdot l_s + C'_{os}}{l_s}$  и  $\bar{C} = \frac{C_{io} \cdot l_s + C_f}{l_s}$
- $C_{os}$  — емкость на единицу длины между внешним проводником и оболочкой кабеля, Ф/км
- $C_{os}$  — емкость между внешним проводником и оболочкой кабеля в точке включения промежуточного усилителя (если таковой имеется), Ф
- $C_{io}$  — емкость на единицу длины между внешним и внутренним проводниками, Ф/км
- $C_f$  — сумма всех емкостей между цепью дистанционного питания и внешним проводником в разделительных фильтрах питания промежуточного усилителя, Ф
- $l_s$  — длина усилительного участка, км
- $Z_t$  — эффективное сопротивление связи на единицу длины между цепями "оболочка — внешний проводник" и "внешний проводник — внутренний проводник", Ом/км
- $R_0$  — сопротивление на единицу длины внешнего проводника, Ом/км
- $R_i$  — сопротивление на единицу длины внутреннего проводника с поправкой, соответствующей величине сопротивления разделительных фильтров, Ом/км

РИСУНОК 1/К.16

Схематическое изображение цепей



ССИТ-39572

Значения параметров $k$				
при	$\ell_2 \leq \frac{\ell}{2}$	$k_0$	$k_1$	$k_2$
		$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$
при	$\ell_2 > \frac{\ell}{2}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{4}$

Примечание. — Сопротивление  $r$  следует учитывать только при заземлении внешних проводников (см. приложение С).

РИСУНОК 2/К.16

Эквивалентная цепь

Приведенные ниже замечания помогут лучше понять упрощенную схему:

- 1) предполагается, что все элементы действующих линий передачи являются сосредоточенными, что допустимо для короткой линии, разомкнутой на обоих концах, и длины волны, соответствующей 50 Гц;
- 2) сопротивление проводников в цепях принимается во внимание только тогда, когда оно представляет собой сопротивление связи между одной цепью и другой; это сопротивление вводится в эквивалентную цепь взвешенным с помощью коэффициента  $k_1$ , который зависит от длины подверженного влиянию участка, причем  $k_1 < 1$ .

В связи с этим предполагается, что представленные на рис. 2/К.16 цепи в действительности разомкнуты (для токов, индуцированных на частоте 50 Гц) на концах секции дистанционного питания. Этого может и не быть, если, в частности, источники питания включают фильтры и симметрирующие контуры для установления (фиксирования) потенциалов внутренних проводников относительно земли. Цепь "внутренний проводник — внешний проводник" нагружается большими емкостями ( $Ck_0l$ ), которые должны параллельно включаться на обоих концах (рис. 2/К.16). В этом случае следует учитывать последовательное сопротивление внутреннего проводника. Практический пример дается в приложении С;

- 3) емкости  $C l_1$  и  $C l_3$  точно соответствуют емкостям участков, расположенных вне сближения с влияющей линией; емкость участка, подверженного влиянию, вводится взвешенной с помощью коэффициента  $k_2$ , который зависит от длины этого участка, причем  $2 k_2 < 1$ ;
- 4) упрощенная схема приводит к несимметричным напряжениям в цепи "оболочка — внешний проводник". Она позволяет определить максимальные значения индуцируемых напряжений на концах цепи. Рис. 3/К.16 дает представление, приемлемое для практических целей, об изменении напряжения и тока по всей длине секции дистанционного питания. Напряжение мало изменяется за пределами участка, подверженного влиянию, и равно нулю примерно в середине этого участка. Максимальная величина тока приходится примерно на середину рассматриваемого участка, а на концах ток равен нулю, поскольку цепь разомкнута, когда внешний проводник находится под "плавающим потенциалом";

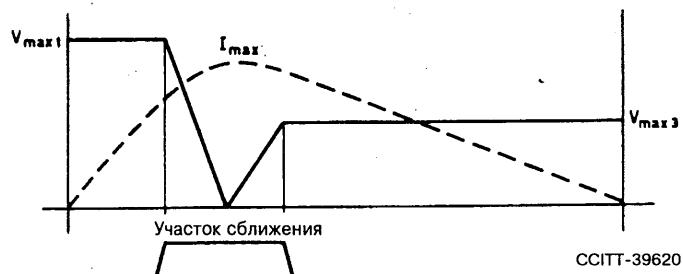


РИСУНОК 3/К.16

Распределение напряжения и тока по всей длине секции ДП  
в цепи "оболочка — внешний проводник"

- 5) с другой стороны, в цепи "внутренний проводник — внешний проводник" напряжение и ток значительно более симметричны. Емкость вводится взвешенной с помощью коэффициента  $k_0$ , который зависит от длины подверженного влиянию участка, причем  $2 k_0 < 1$ ;
- 6) упрощенная схема позволяет таким же образом, как в пункте 4), выше, вычислять в цепи "внутренний проводник — внешний проводник" максимальные величины напряжения и тока. В зависимости от типа рассматриваемой цепи эти величины могут быть значительно меньше, чем в цепи "оболочка — внешний проводник". Рис. 4/К.16 дает приемлемое для практических целей представление об изменении напряжения и тока по всей длине секции дистанционного питания. Напряжения на концах участка распределяются симметрично; точки, где напряжение равно нулю, а ток максимальный, всегда очень близки к середине секции дистанционного питания независимо от расположения участка, подверженного магнитному влиянию.

Середина секции ДП

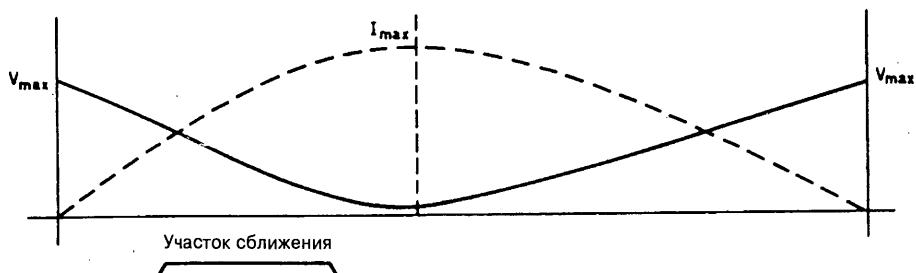


РИСУНОК 4/К.16

Распределение напряжения и тока по всей длине секции ДП  
в цепи "внутренний проводник — внешний проводник"

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(к Рекомендации К.16)

### Обоснование параметров, используемых в универсальной эквивалентной цепи

#### A.1 Общий случай

В статье [1] приводятся системы уравнений, содержащих комплексные параметры передачи двух рассматриваемых цепей.

Эти уравнения позволяют полностью решить проблему для цепей, разомкнутых на обоих концах. В формулах используется большое количество членов, являющихся гиперболическими функциями от комплексных параметров, что затрудняет их применение. Для получения простой схемы, с помощью которой можно произвести несложные вычисления, необходимо выполнить поэтапно несколько приближений.

#### A.2 Первый этап — симметричное распределение магнитного влияния — полный расчет

Общие формулы применимы к двум случаям симметричного распределения магнитного влияния, изображенным на рис. А-1/К.16 и А-2/К.16. В первом случае сближение с влияющей линией происходит на всей секции дистанционного питания, во втором оно ограничивается небольшой длиной в середине секции. Кривые, вычерченные на основании результатов вычислений, представлены в [1], а также на рис. В-1/К.16.

#### A.3 Второй этап — симметричное распределение магнитного влияния — упрощенная схема

Учитываются малая электрическая длина линий и фазовый угол около  $\pm 45^\circ$  вторичных параметров распространения. Это позволяет заменить распределенные элементы сосредоточенными конденсаторами и сопротивлениями, изображенными на рис. А-1/К.16 и А-2/К.16. Разложение в ряд комплексных гиперболических членов дает коэффициенты  $5/16$ ,  $1/4$ ,  $1/2$ ,  $1/3$ .

Эквивалентные цепи, изображенные на рис. А-1/К.16 и А-2/К.16, позволяют рассчитать максимальные величины напряжений и токов в двух случаях симметричного расположения участков сближения с влияющей линией; поскольку оба случая являются крайне редкими, следует рассмотреть также общий случай несимметричного расположения участка сближения любой длины. Это является предметом рассмотрения на следующем этапе.

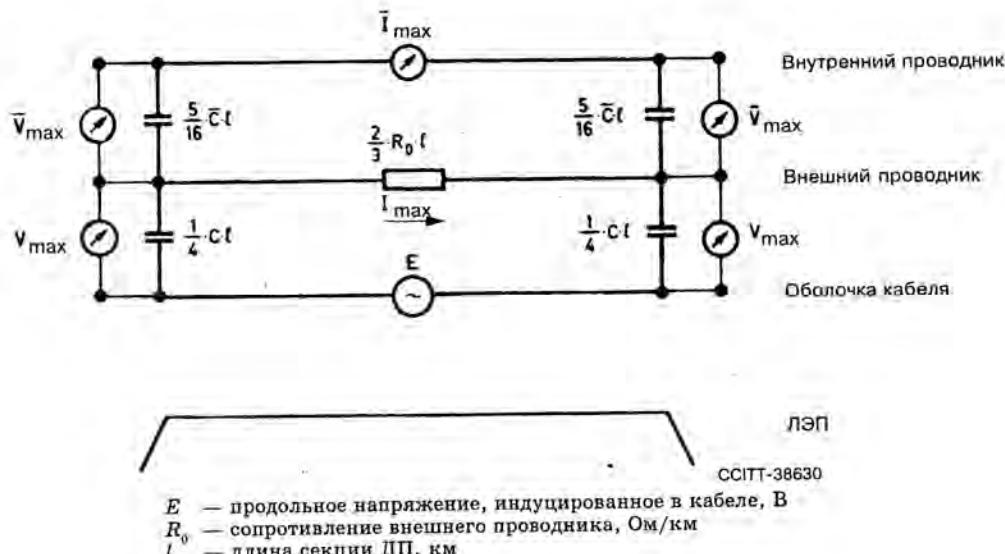


РИСУНОК А-1/К.16

Секция ДП, подверженная равномерному магнитному влиянию

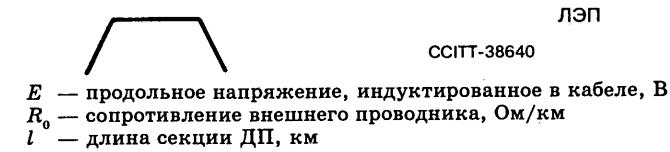
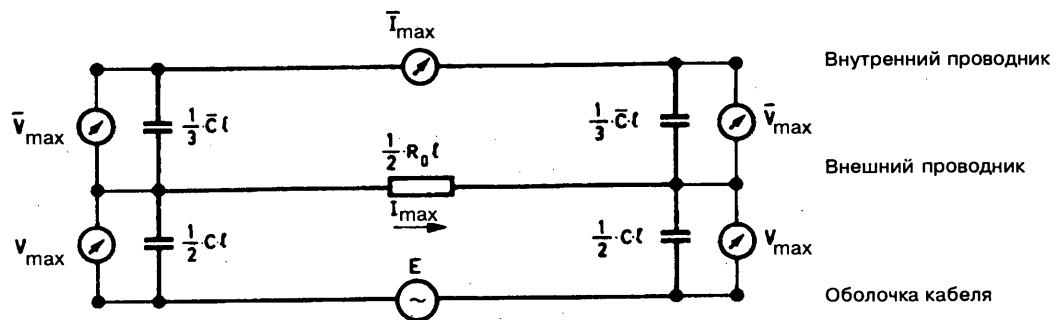


РИСУНОК А-2/К.16

Сближение с влияющей линией на малой длине в середине секции ДП

#### A.4 Третий этап — общий случай — упрощенная схема

##### A.4.1 Цепь “оболочки кабеля — внешний проводник”

На участке 2 длиной  $l_2$ , подверженном магнитному влиянию, цепь “оболочки кабеля — внешний проводник” может рассматриваться как двухпроводная линия, подверженная равномерному магнитному влиянию по всей длине, на концах которой включены линейные емкости соседних участков 1 и 3, не подверженных магнитному влиянию.

Если участок 2 значительно длиннее участков 1 и 3 ( $l_2 \gg l/2$ ), распределение величин тока и напряжения зависит в основном от параметров участка, подверженного магнитному влиянию, и полностью или почти полностью симметрично относительно середины этого участка. Эффективные значения емкостей, приведенные на рис. А-1/К.16 для двухпроводной линии, подверженной равномерному магнитному влиянию, могут быть приемлемы для участка 2. Таким образом, при  $l_2 \gg l/2$  получаем цепь, изображенную на рис. А-3/К.16.

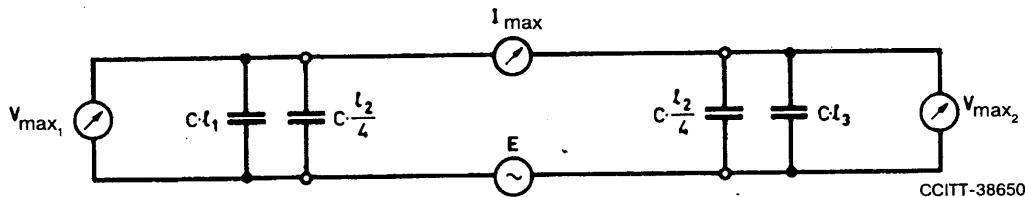


РИСУНОК А-3/К.16

Цепь “оболочка кабеля — внешний проводник” (длинный участок сближения)

Если длина участка, подверженного магнитному влиянию, значительно меньше длины участков, не подверженных магнитному влиянию ( $l_2 \ll l/2$ ), то распределение величин тока и напряжения в основном определяется полной проводимостью на концах этого участка. Точка максимального значения индуцированного тока сдвигается к концу участка 2, который находится ближе к более длинному из двух участков, не подверженных магнитному влиянию. Наибольший сдвиг этой точки имеет место, когда участок 2 расположен непосредственно в начале или конце секции дистанционного питания ( $l_1 = 0$  или  $l_3 = 0$ , соответственно). В этом крайнем случае условие распределения на участке  $l_2$  то же, что и в случае двухпроводной линии, подверженной равномерному магнитному влиянию, один конец которой закорочен.

Для определения максимального значения индуцированного тока используется эквивалентная цепь, изображенная на рис. А-4/К.16.

Эта цепь получена из половины схемы, представленной на рис. А-1/К.16 для линии длиной  $l = 2a$ ,

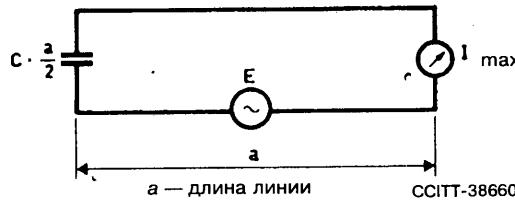


РИСУНОК А-4/К.16

Линия, закороченная на одном конце

подверженной равномерному магнитному влиянию, с двумя разомкнутыми концами, когда соединение выполнено в средней точке; это соединение не изменяет условий.

Однако, поскольку в крайнем случае конец участка 2 не закорочен, а нагружен конечной полной проводимостью ( $\omega C \cdot l_3$  и  $\omega C \cdot l_1$ , соответственно), эффективная сосредоточенная емкость  $C \cdot l_2/x$ , связанная с участком 2 в частично эквивалентной цепи, должна находиться между предельными значениями:

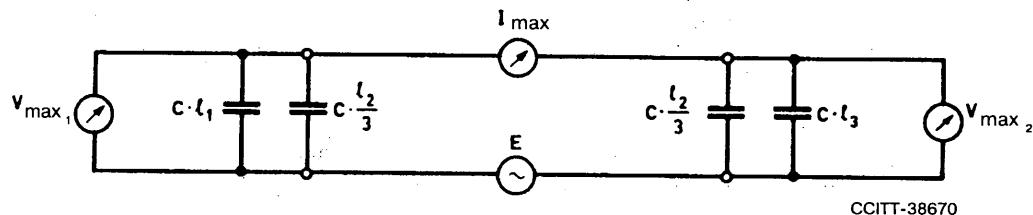
$$C \cdot \frac{l_2}{4} < C \cdot \frac{l_2}{x} < C \cdot \frac{l_2}{2}$$

на конце с самым коротким продолжением и

$$C \cdot \frac{l_2}{4} > C \cdot \frac{l_2}{x} < 0$$

на другом конце.

Как будет показано ниже, выбор  $x = 3$  на каждом конце является компромиссным решением, дающим удовлетворительные результаты при любом местоположении короткого участка, подверженного магнитному влиянию. Следовательно, для  $l_2 \ll l/2$  получаем цепь, изображенную на рис. А-5/К.16.



CCITT-38670

РИСУНОК А-5/К.16

Цепь “оболочка кабеля — внешний проводник” (короткий участок сближения)

#### A.4.2 Эффективное сопротивление передачи<sup>1)</sup>

Ток  $I$ , протекающий в цепи “оболочка кабеля — внешний проводник”, обуславливает продольное напряжение  $E$  на сопротивлении внешнего проводника коаксиальной системы. Этот ток  $I$  достигает своего максимального значения на подверженном магнитному влиянию участке и стремится к нулю на концах магистрали. Используемое при максимальном токе  $I$  эффективное сопротивление появляется в эквивалентных цепях, параметры которых определяются с помощью соответствующих упрощенных формул. Таким образом, в эквивалентную цепь вводится эффективное сопротивление. Если известны это сопротивление и ток  $I$ , то можно вычислить  $E$ . Эффективное сопротивление, обозначаемое через  $Z_t \cdot l$ , называется эффективным сопротивлением передачи; оно заменяет сопротивление  $R_0 \cdot l$ . Значение  $E$  определяется из равенства  $E = I_{\max} \cdot Z_t \cdot l$ .

При равномерном магнитном влиянии на всей секции дистанционного питания (см. рис. А-1/К.16) величина сопротивления передачи, которая должна быть использована, определяется из соотношения:

$$Z_t \cdot l = \frac{1}{2} \cdot R_0 \cdot l.$$

Эта величина также может использоваться, когда изменение тока  $I$  по всему пути в основном сходно с изменением тока при равномерном магнитном влиянии ( $l_2 \gg l/2$ ).

Если подверженный магнитному влиянию короткий участок находится в середине секции дистанционного питания (см. рис. А-2/К.16), должно использоваться значение сопротивления передачи:

$$Z_t \cdot l = \frac{1}{2} \cdot R_0 \cdot l.$$

Если подверженный магнитному влиянию короткий участок находится в начале или конце секции дистанционного питания, получаем аналогичное значение (это можно показать с помощью эквивалентной цепи для случая, когда участок, подверженный магнитному влиянию, расположен в середине секции ДП, заменив  $l$  на  $2 \cdot l$ ).

<sup>1)</sup> Сопротивление передачи часто также называется сопротивлением связи металлической оболочки кабеля.

Поэтому в первом приближении можно предположить, что полученная величина изменится незначительно даже при произвольном местоположении короткого участка, подверженного магнитному влиянию.

Таким образом, получаем следующие выражения для сопротивления передачи эквивалентной цепи:

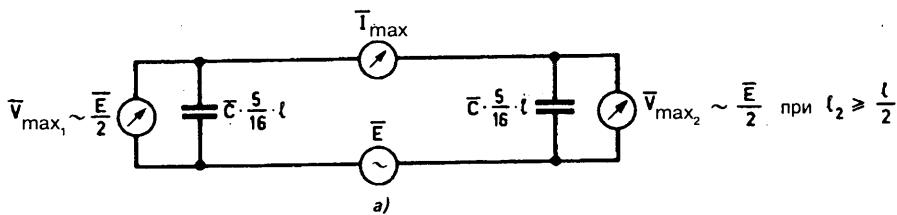
$$Z_t \cdot l = \frac{2}{3} \cdot R_0 \cdot l \text{ при } l_2 \gg \frac{l}{2} \text{ и}$$

$$Z_t \cdot l = \frac{1}{2} \cdot R_0 \cdot l \text{ при } l_2 \ll \frac{l}{2} .$$

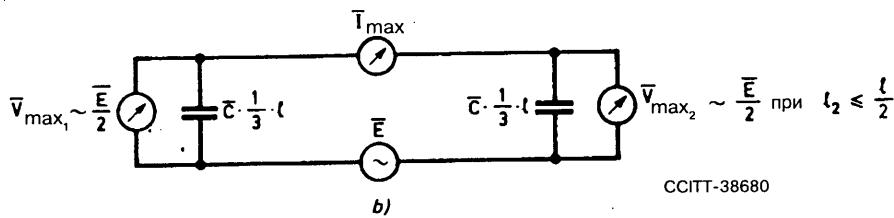
#### A.4.3 Цель "внешний проводник — внутренний проводник"

В цепи "внешний проводник — внутренний проводник" продольное напряжение  $\bar{E}$  возникает по всей длине секции дистанционного питания даже в случае частичного сближения с влияющей линией. Как можно заметить из рисунков в приложении B, минимальное значение напряжения  $\bar{V}$  между внутренним и внешним проводниками имеет место точно в середине участка при симметричном распределении магнитного влияния и почти в середине участка — во всех случаях несимметричного распределения (даже если речь идет об очень коротких участках, подверженных магнитному влиянию и расположенных в начале и конце участка дистанционного питания). Поэтому вычисленные величины тока и напряжения в коаксиальной паре будут изменяться незначительно, если предположить, что напряженность поля, возникающая за счет продольного напряжения  $\bar{E}/l$ , распределяется симметрично независимо от длины и расположения участка, подверженного магнитному влиянию.

При этом предположении схемы цепей, представленные на рис. A-6/К.16, полученные из схем, приведенных на рис. A-1/К.16 и A-2/К.16 для случая симметричного распределения участка сближения, могут, как правило, использоваться и для любых других вариантов расположения цепей.



a)



b)

CCITT-38680

РИСУНОК А-6/К.16

Цель "внешний проводник — внутренний проводник"  
a) длинный участок сближения, b) короткий участок сближения;

#### A.5 Заключение к приложению A

На основании схем, представленных на рис. A-3/К.16 — A-6/К.16, можно составить универсальную эквивалентную цепь, для которой числовые значения емкостей и сопротивлений передачи будут изменяться в зависимости от длины участка, подверженного магнитному влиянию:

$$l_2 \gg \frac{l}{2} \text{ и } l_2 \ll \frac{l}{2} , \text{ соответственно.}$$

На числовых примерах можно показать, что удовлетворительные результаты можно получить на основании параметров, принятых для случая  $l_2 \gg l/2$ , даже если  $l_2 = l/2$ ; следовательно, если заменить

$$\begin{aligned} l_2 &>> \frac{l}{2} \text{ на } l_2 > \frac{l}{2} \\ l_2 &>> \frac{l}{2} \text{ на } l_2 \leq \frac{l}{2} \end{aligned}$$

и

то все варианты распределения участка магнитного влияния будут связаны с двумя группами параметров, при этом погрешность в области перехода от одного варианта к другому остается в допустимых пределах.

Универсальная эквивалентная цепь изображена на рис. 2/К.16.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

(к Рекомендации К.16)

**Практические примеры полных и упрощенных вычислений.**  
**Случай, когда внешние проводники находятся под "плавающим потенциалом"**

С целью проверки пригодности эквивалентной цепи для случаев частичного сближения с влияющей линией при произвольном расположении участка сближения были вычислены максимальные значения напряжений и токов с помощью эквивалентной цепи для некоторых случаев расположения участка сближения, полный расчет которых был выполнен в [1]; полученные значения показаны на соответствующих графиках, воспроизведенных из [1].

Для сравнительных расчетов были использованы следующие значения, относящиеся к 300-канальной системе электросвязи по кабелю с коаксиальными парами малого диаметра:

$$C = 0,12 \text{ мкФ/км}; \quad R_0 = 6,2 \text{ Ом/км}; \quad C = 0,2 \text{ мкФ/км}; \quad l = 64 \text{ км}.$$

На рис. 1—5 настоящего приложения вычерчены кривые, которые показывают напряжения и токи, индуцированные в 300-канальной системе электросвязи. Эти кривые соответствуют кривым на рис. 4/К.16 и схемам на рис. А-1/К.16 — А-3/К.16 приложения А, воспроизведенным из [1], но в качестве опорной величины выбрано продольное напряжение  $E = 1000$  В вместо 2000 В. Максимальные значения, вычисленные приблизительно с помощью эквивалентной цепи, указаны черными точками. Во всех случаях отмечается вполне удовлетворительное согласование со значениями, полученными путем точного анализа.

*Пример вычисления для рис. В-4/К.16, ниже*

Предполагается, что 64-километровая секция дистанционного питания 300-канальной системы электросвязи по кабелю с коаксиальными парами малого диаметра, у которого внешний проводник находится под "плавающим потенциалом", подвержена магнитному влиянию линии электропередачи между 12-м и 28-м километрами. Предполагается, что продольное напряжение в кабеле составляет 1000 В на частоте 50 Гц. Необходимо найти максимальные значения индуцируемых напряжений и токов в кабеле.

В этом случае имеем:  $l_1 = 12 \text{ км}$ ,  $l_2 = 16 \text{ км}$  и  $l_3 = 36 \text{ км}$ ,  $l/2 = 32 \text{ км}$ . Поскольку  $l_2 < l/2$ , используются следующие параметры для определения эквивалентной цепи (см. рис. 2/К.16):  $k_0 = 1/3$ ,  $k_1 = 1/2$ ,  $k_2 = 1/3$ ,  $C = 0,2 \text{ мкФ/км}$ ,  $R_0 = 6,2 \text{ Ом/км}$ ,  $C = 0,12 \text{ мкФ/км}$ .

Схема вычисления:

$$\begin{aligned}
 Cl_1 &= 0,12 \times 12 \\
 &= 1,44 \text{ мкФ} \\
 Cl_2 &= 0,12 \times \frac{1}{3} \times 16 \\
 &= 0,64 \text{ мкФ} \\
 Cl_3 &= 0,12 \times 36 \\
 &= 4,32 \text{ мкФ} \\
 + & \\
 + & \\
 2,08 \text{ мкФ} & \qquad \qquad \qquad 4,96 \text{ мкФ} \\
 + & \\
 \frac{1}{\omega C} \text{ на } 50 \text{ Гц} : & \qquad \qquad \qquad 1530 \text{ Ом} \qquad \qquad \qquad + \qquad \qquad \qquad 640 \text{ Ом} \qquad \qquad \qquad = \qquad \qquad \qquad 2170 \text{ Ом}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 I_{\max} &= \frac{1000 \text{ В}}{2170 \text{ Ом}} = 0,461 \text{ А} \\
 &\xrightarrow{\quad} \times \quad 1530 \text{ Ом} = V_{\max_1} = 705 \text{ В} \\
 &\xrightarrow{\quad} \times \quad 640 \text{ Ом} = V_{\max_2} = 295 \text{ В} \\
 &\xrightarrow{\quad} \times \quad 198,5 \text{ Ом} = \bar{E} = 91,6 \text{ В}
 \end{aligned}$$

$$\frac{1}{2} R_0 l = \frac{1}{2} \times 6,2 \times 64 = 198,5 \text{ Ом}$$

$$\frac{1}{2} \bar{E} \approx \bar{V}_{\max_1} \approx \bar{V}_{\max_2} = 45,8 \text{ В}$$

$$\frac{1}{3} \omega Cl = \frac{1}{3} \times 314 \times 0,2 \times 10^{-6} \times 64 = 1,34 \times 10^{-3} \text{ Ом}$$

ТАБЛИЦА В-1/К.16

Сравнение значений, полученных с помощью эквивалентной цепи,  
и максимальных значений, вычисленных с большой точностью

(Значения взяты из рис. В.-4/К.16)

Максимальные значения	Значения точных вычислений	Значения эквивалентной цепи	Отклонения от значений точных вычислений
$V_{\max 1}$	685 В	705 В	+2,9%
$V_{\max 2}$	315 В	295 В	-6,3%
$I_{\max}$	0,455 А	0,461 А	+1,3%
$\bar{V}_{\max 1}$	48 В	45,8 В	-4,6%
$\bar{V}_{\max 2}$	37,5 В	45,8 В	+22%
$\bar{I}_{\max}$	55 мА	61,5 мА	+11,8%

Это сравнение показывает, что, за исключением значения  $\bar{V}_{\max 2}$ , все отклонения от значений, полученных в результате точного вычисления, не превышают 12%, а значения, полученные с помощью эквивалентной цепи, обычно оказываются больше значений, полученных с помощью точных вычислений. Отклонение на 22%, наблюдаемое при  $\bar{V}_{\max 2}$ , не имеет практического значения, поскольку оно касается меньшего из двух максимальных значений  $\bar{V}$ .

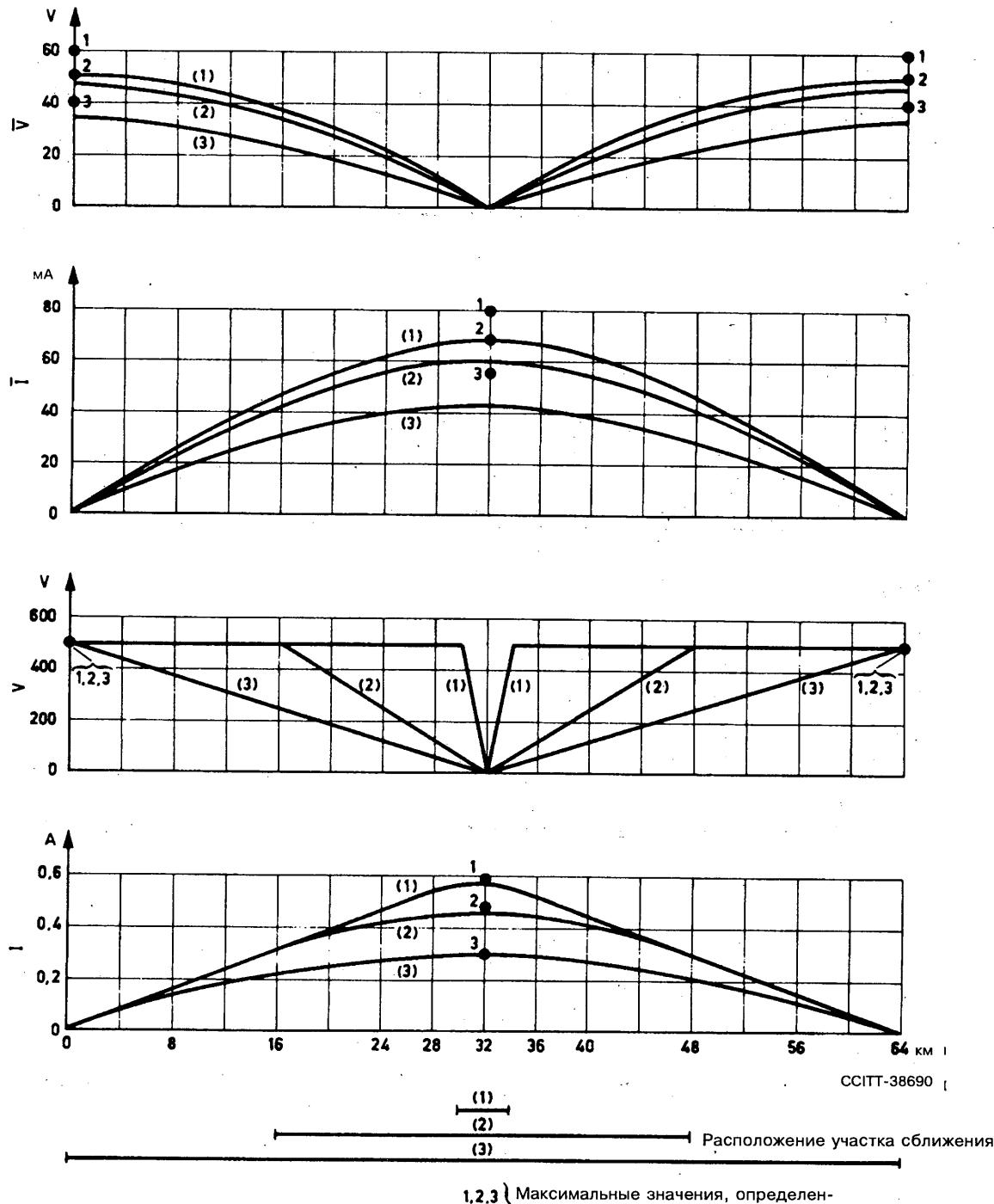


РИСУНОК В-1/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае симметричного магнитного влияния.  
Напряжение, индуцируемое по всей длине участка, 1000 В  
(внешние проводники коаксиальной пары под "плавающим потенциалом")

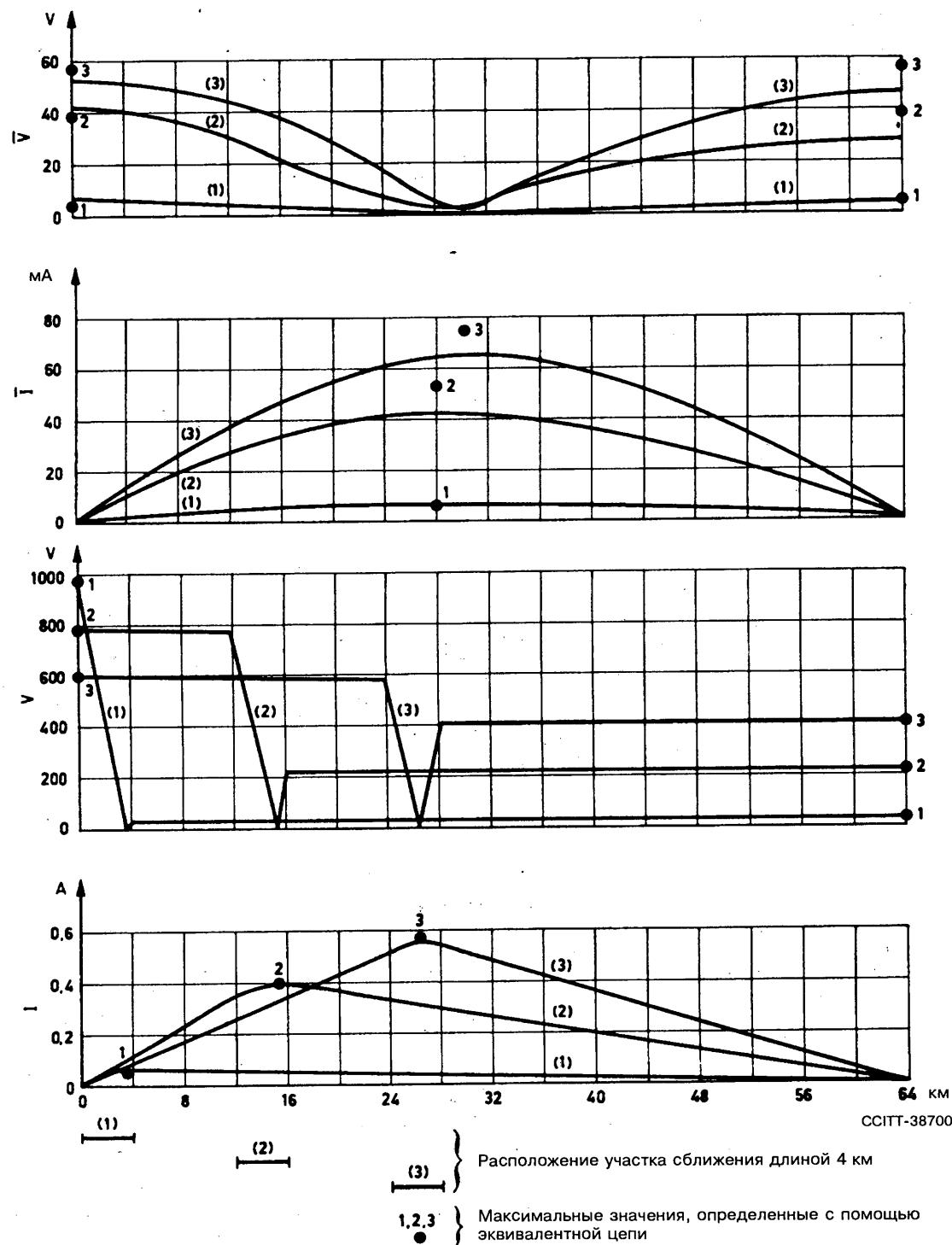


РИСУНОК В-2/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае несимметричного магнитного влияния.  
Длина участка сближения 4 км. Напряжение, индуцируемое по всей длине участка,  
1000 В (внешние проводники коаксиальной пары под "плавающим потенциалом")

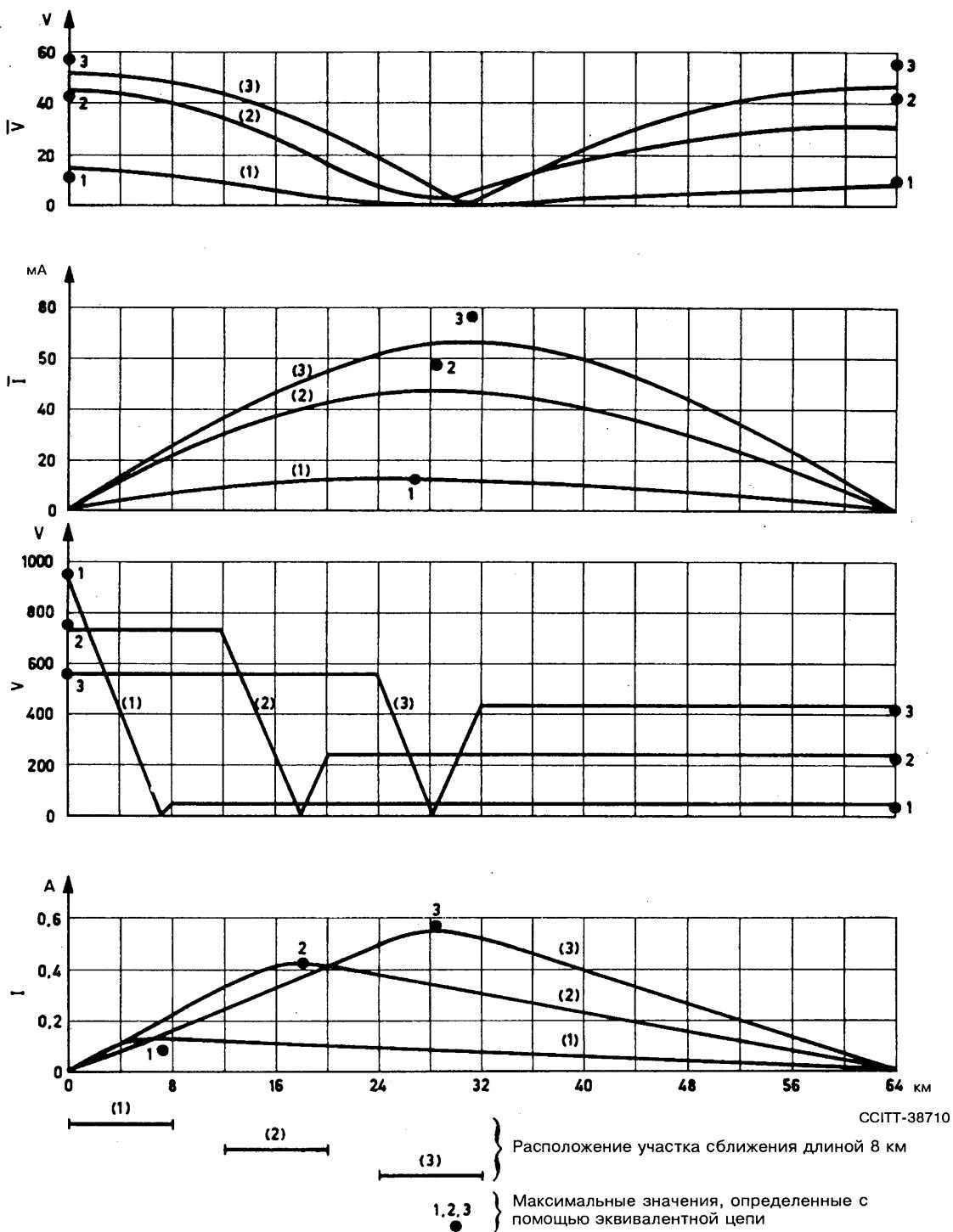


РИСУНОК В-3/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае несимметричного магнитного влияния. Длина участка сближения 8 км. Напряжение, индуцируемое по всей длине участка, 1000 В (внешние проводники коаксиальной пары под "плавающим потенциалом")

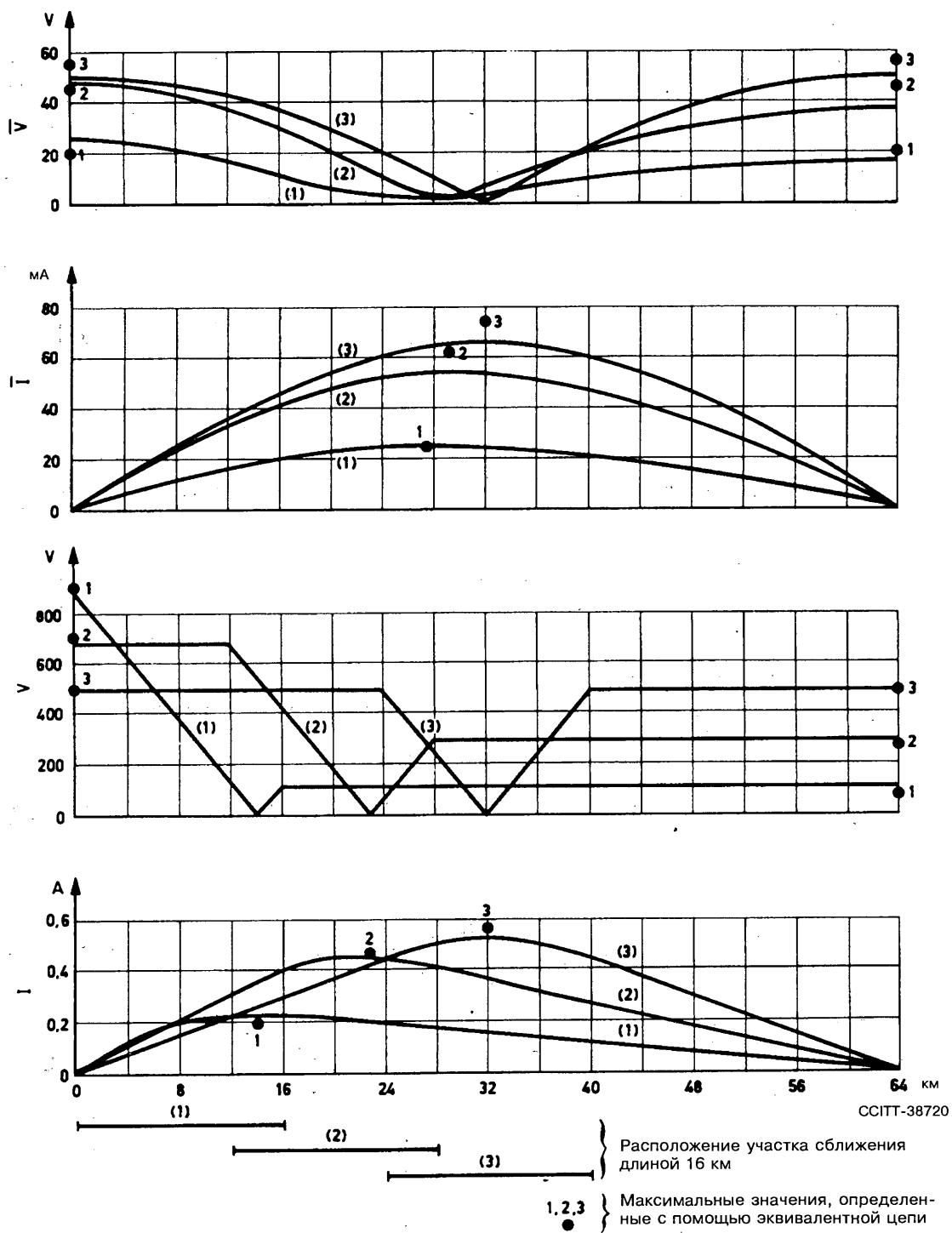


РИСУНОК В-4/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае несимметричного магнитного влияния.  
Длина участка сближения 16 км. Напряжение, индуцируемое по всей длине участка, 1000 В  
(внешние проводники коаксиальной пары под "плавающим потенциалом")

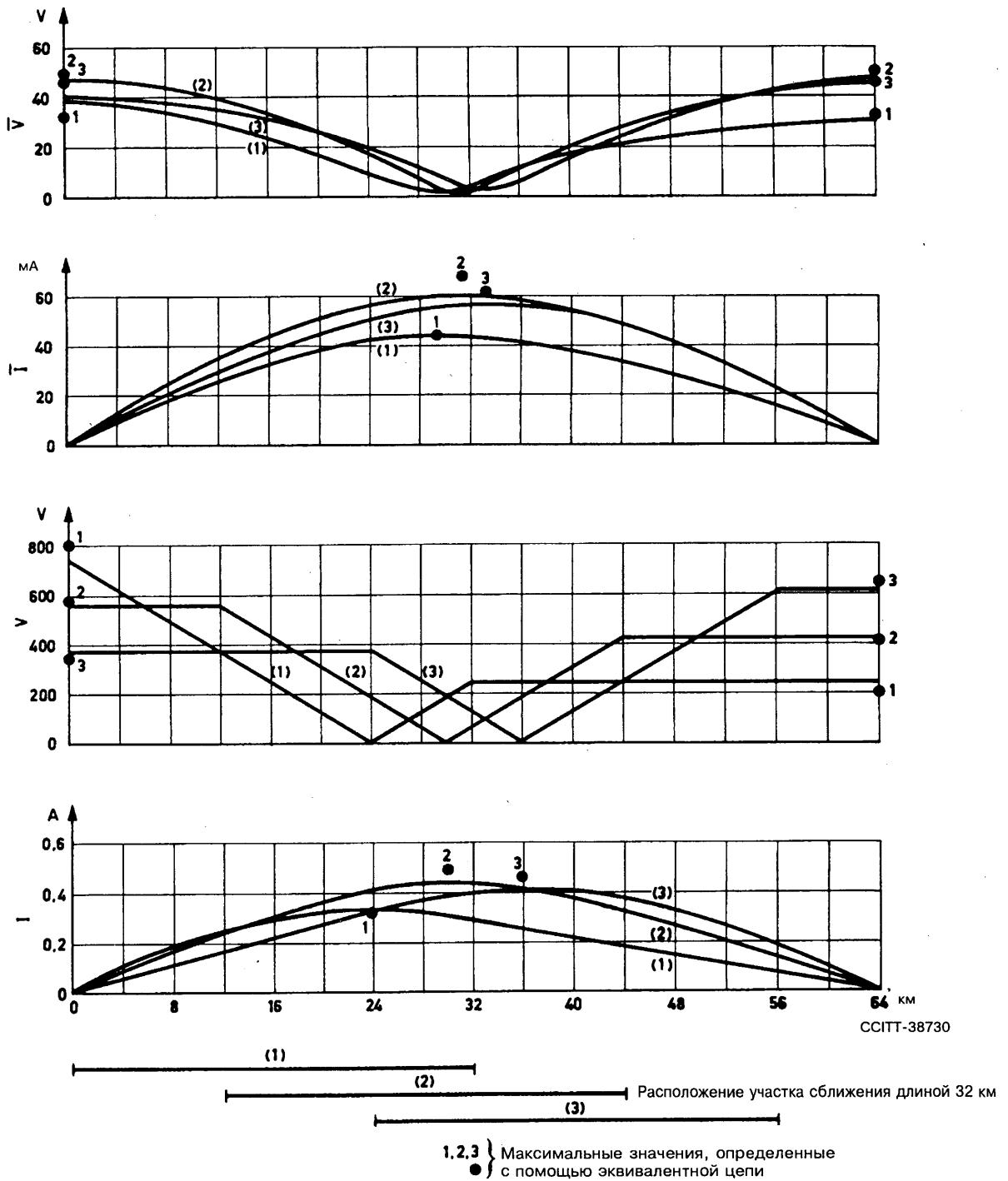


РИСУНОК В-5/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае несимметричного магнитного влияния.  
Длина участка сближения 32 км. Напряжение, индуцируемое по всей длине участка, 1000 В  
(внешние проводники коаксиальной пары под "плавающим потенциалом")

## ПРИЛОЖЕНИЕ С

(к Рекомендации К.16)

**Практические примеры полных и упрощенных вычислений.**  
**Случай, когда внешние проводники заземлены**

**C.1 Внутренние проводники находятся под постоянным напряжением и имеют слабую связь с землей**

Если внешние проводники заземлены, внутренние проводники находятся под постоянным напряжением и соединены с землей через конденсаторы малой емкости, в эквивалентной цепи в расчет следует принимать только ту ее часть, которая соответствует цепи "внешний проводник — внутренний проводник", и вместо  $\bar{C}$  включить емкость  $C$ . Сопротивление  $k_1 R_0 l$ , соответствующее сопротивлению связи, также опускается. Универсальная цепь в этом случае сводится к схеме, изображенной на рис С-1/К.16.

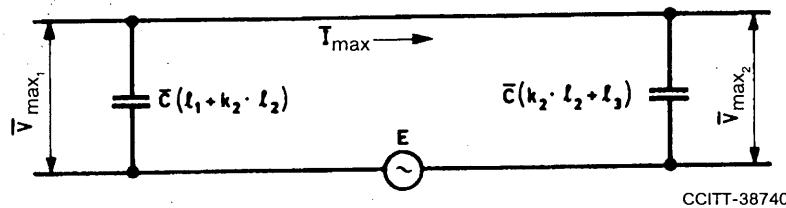


РИСУНОК С-1/К.16

Цепь "оболочки кабеля — внешний проводник"  
(длинный участок сближения)

**C.2 Внутренние проводники заземлены через низкое полное сопротивление на питающем усилительном пункте**

Универсальная цепь в этом случае сводится к схеме, изображенной на рис. С-2/К.16.

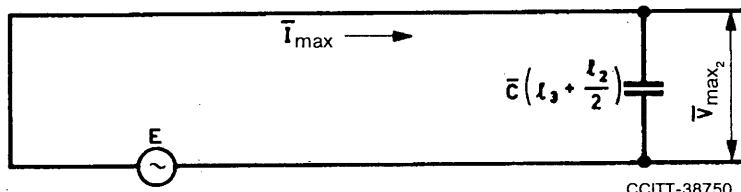


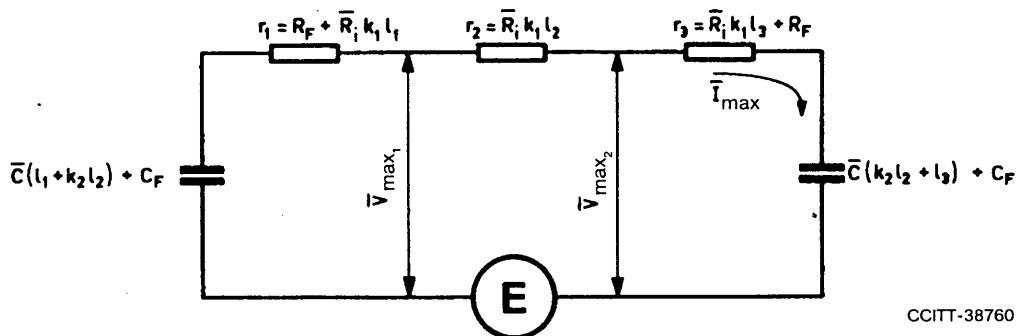
РИСУНОК С-2/К.16

Линия, закороченная на одном конце

**C.3 Внутренние проводники находятся под постоянным напряжением и имеют сильную связь с землей**

Если внешние проводники заземлены, внутренние проводники находятся под постоянным напряжением и соединены с землей через конденсаторы большой емкости (несколько мкФ), упрощенная цепь, представленная на рис. С-1/К.16, уже недостаточна. Следует учитывать также сопротивление внутренних проводников коаксиальных пар (сопротивления включены последовательно в цепь дистанционного питания промежуточных усилителей).

Для того чтобы убедиться в возможности такого преобразования эквивалентной цепи, был произведен расчет на конкретном примере, отражающем фактические условия эксплуатации. Речь опять идет о 300-канальной системе электросвязи по коаксиальным парам малого диаметра. Рассматривалась цепь длиной 66 км, емкостью  $\bar{C} = 0,11$  мкФ/км и сопротивлением  $R_s = 17$  Ом/км, причем постоянное (регулируемое) сопротивление развязки систем питания эквивалентно сопротивлению  $R_p = 50$  Ом, последовательно соединенному с емкостью  $C_p = 15$  мкФ. Соответствующая цепь изображена на рис. С-3/К.16.



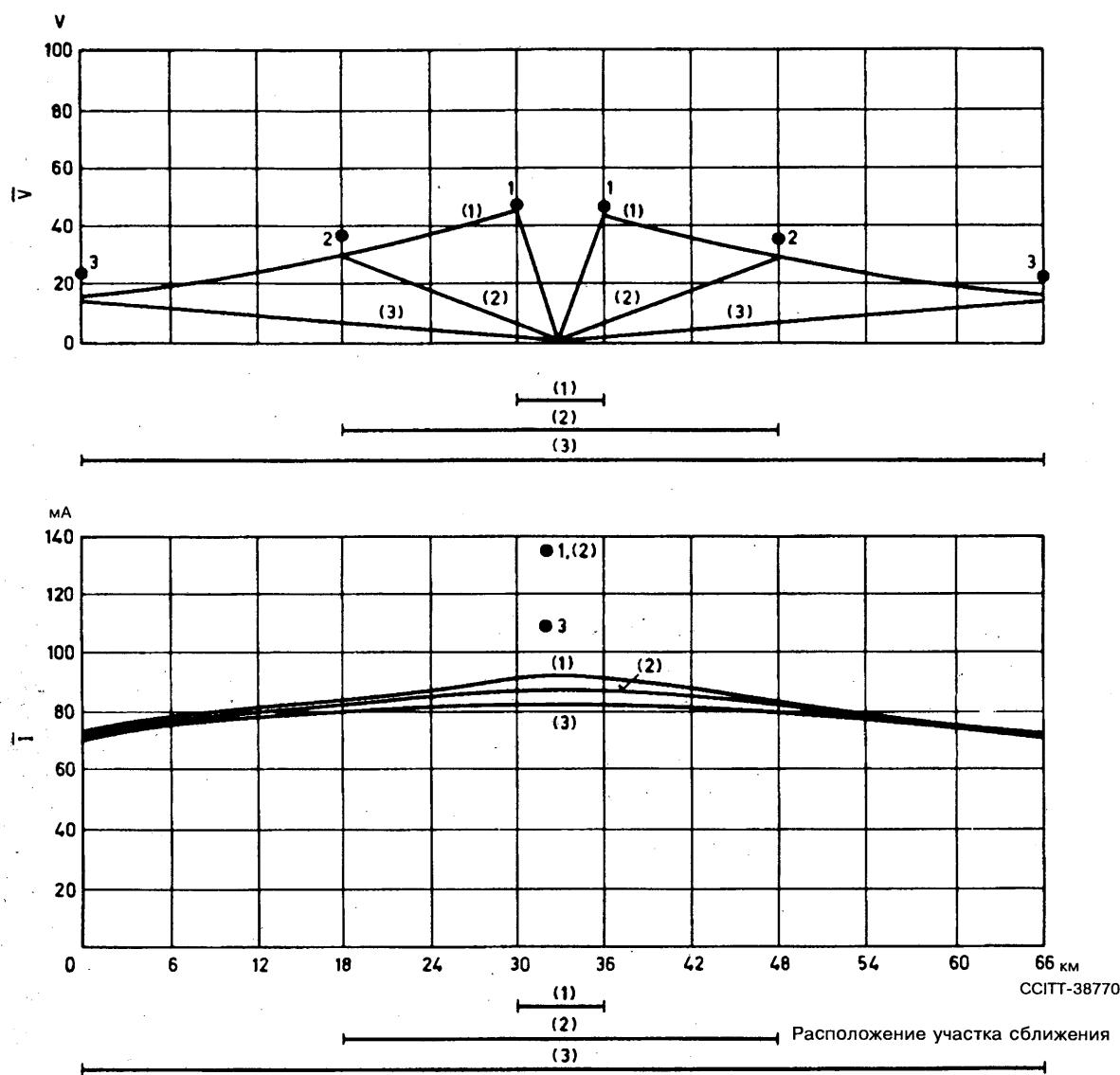
CCITT-38760

*Примечание.* —  $\bar{R}_i$  — сопротивление внутреннего проводника на 1 км плюс суммарное сопротивление всех разделительных фильтров промежуточного усилителя, приведенное к эквивалентному сопротивлению на 1 км.

РИСУНОК С-3/К.16

Эквивалентная цепь в случае, когда внешние проводники коаксиальных пар заземлены, а внутренние проводники находятся под постоянным напряжением и имеют связь с землей через конденсаторы большой емкости

Предполагается, что с учетом коэффициента защитного действия кабеля мешающее напряжение должно составлять 100 В (если напряжение нельзя ограничить до такой величины, возможно другое решение, например вариант с "плавающим потенциалом"). Для индуцируемого напряжения  $E = 100$  В с учетом общего коэффициента защитного действия оболочки кабеля и заземленного внешнего проводника на рис. С-4/К.16 — С-7/К.16, ниже, показаны значения напряжений и токов, полученные в результате вычислений по полной схеме. На этих же рисунках точками нанесены значения, полученные с помощью эквивалентной цепи (см. рис. С-3/К.16). Соответствие двух серий результатов вполне удовлетворительное.

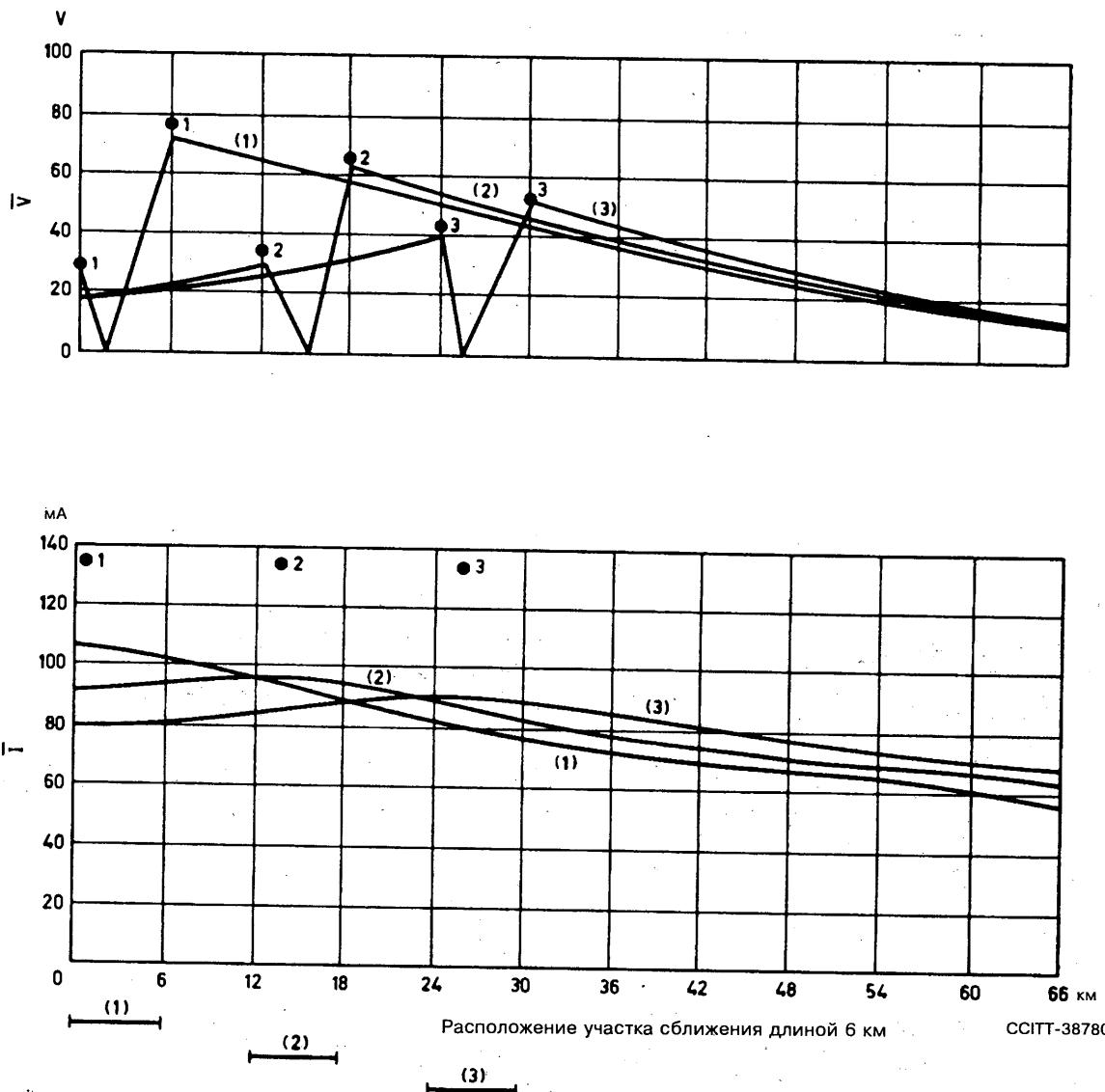


1, 2, 3 } Максимальные значения, определенные  
● } с помощью эквивалентной цепи

Длина участка сближения : 6 км, 30 км или 66 км  
Индукционное напряжение: 100 В

РИСУНОК С-4/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае симметричного магнитного влияния  
(внешний проводник коаксиальной пары заземлен)

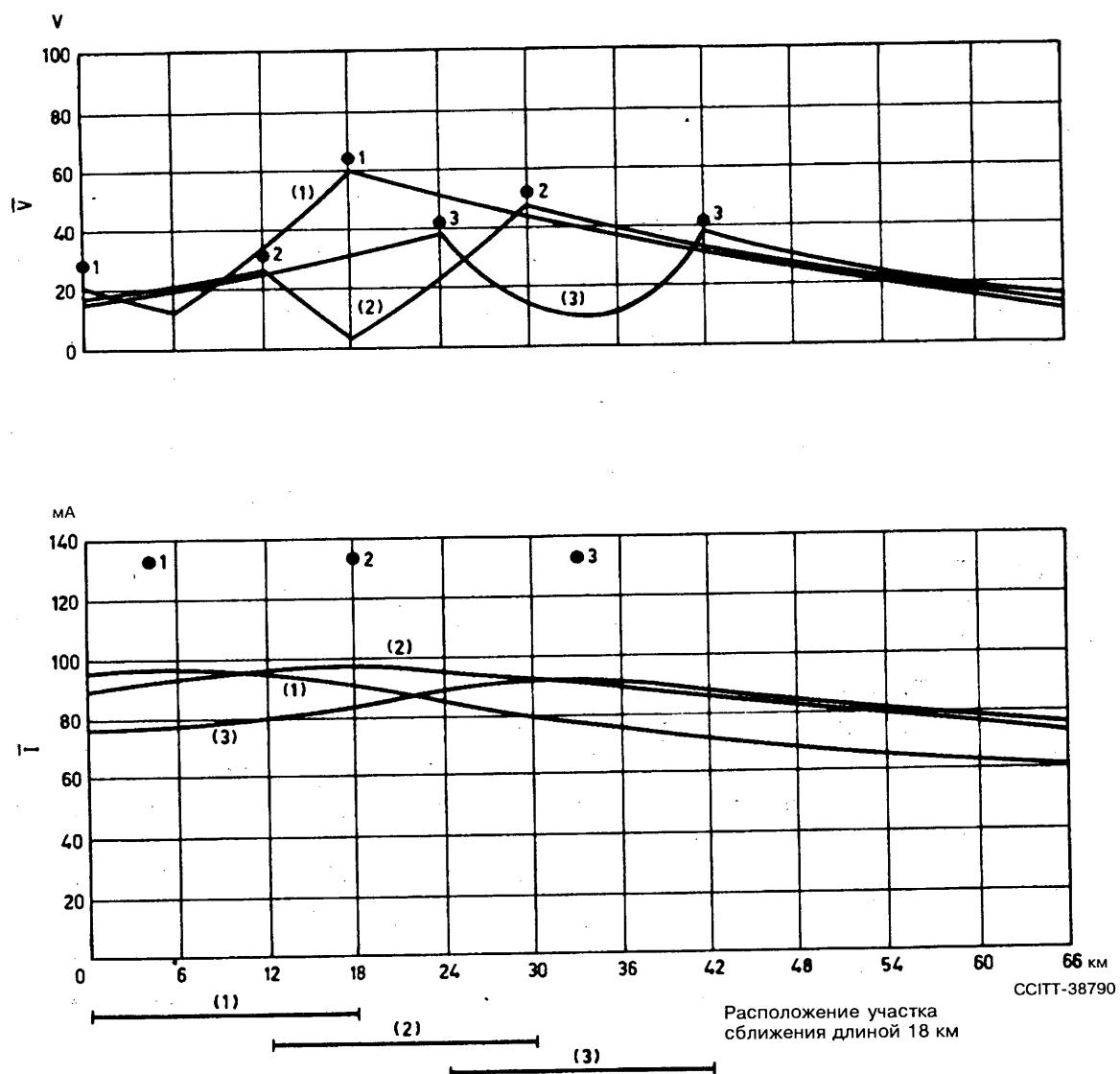


1, 2, 3      } Максимальные значения, определенные  
●            } с помощью эквивалентной цепи

Длина участка сближения : 6 км  
Индукционное напряжение: 100 В

РИСУНОК С-5/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе  
в случае несимметричного магнитного влияния (внешний проводник коаксиальной пары заземлен)

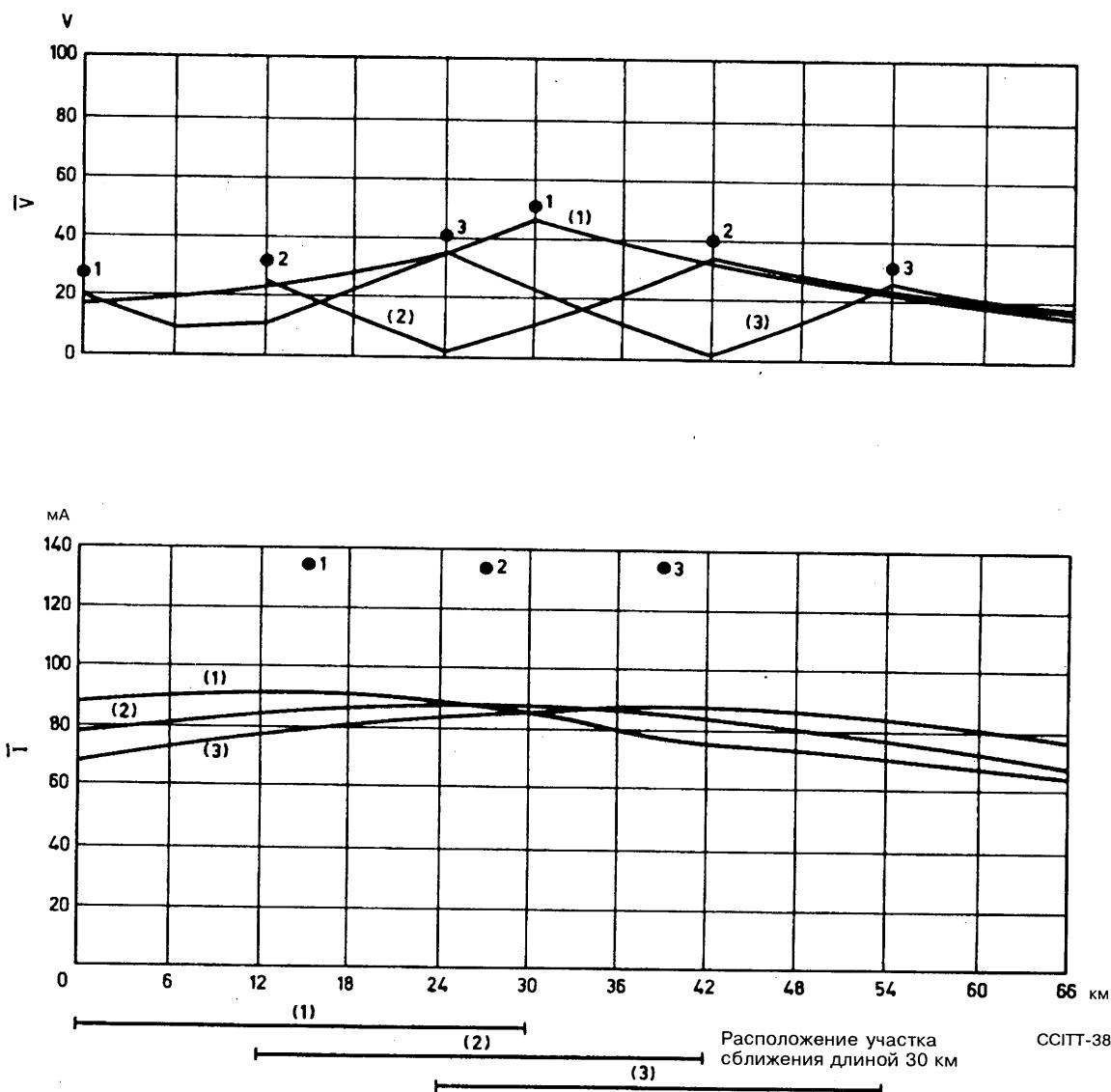


1, 2, 3 } Максимальные значения, определенные  
● } с помощью эквивалентной цепи

Длина участка сближения : 18 км  
Индукционное напряжение: 100 В

РИСУНОК С-6/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае несимметричного магнитного влияния  
(внешний проводник коаксиальной пары заземлен)



1, 2, 3 } Максимальные значения, определенные  
●      } с помощью эквивалентной цепи

Длина участка сближения : 30 км  
Индукционное напряжение: 100 В

РИСУНОК С-7/К.16

Напряжения и токи в 300-канальной системе в случае несимметричного магнитного влияния  
(внешний проводник коаксиальной пары заземлен)

## Ссылки

- [1] KEMP, J., SILCOOK, H. W., STEWARD, C.J. Power frequency induction on coaxial cables with application to transistorized systems, *Electrical Communication*, Vol. 40, No. 2, pp. 255—266, 1965.
- [2] SALZMANN, W., VOGEL, W. Berechnung der Starkstrombeeinflussung von Nachrichtenkabeln mit Koaxialpaaren und isolierten Außenleitern (Calculation of power current interference in telecommunication cables with coaxial pairs and insulated outer conductors), *Signal und Draht* 57, No. 12, pp. 205—211, 1965.

## Литература

KEMP, J. Estimating voltage surges on buried coaxial cables struck by lightning, *Electrical Communication*, Vol. 40, No. 3, pp. 381—385, 1965.

POPP, E. Lightning protection of line repeaters, *Conference Proceedings, ICC 68 of the IEEE*, pp. 169—174.

## Рекомендация К.17<sup>1), 2)</sup>

### ИСПЫТАНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ С ДИСТАНЦИОННЫМ ПИТАНИЕМ С ЦЕЛЬЮ ПРОВЕРКИ СХЕМ ЗАЩИТЫ ОТ ВНЕШНИХ ВЛИЯНИЙ

(Женева, 1976 г.; изменена в Малага-Торремолиносе, 1984 г., и Мельбурне, 1988 г.)

#### 1 Введение

1.1 В § 4.1 Рекомендации К.15 указано на целесообразность проведения подобных испытаний в условиях, возможно более близких к реальным. Поскольку некоторые администрации могут находиться в различных условиях окружающей среды, иметь разные эксплуатационные задачи или сталкиваться с ограничениями экономического характера, эти испытания могут быть изменены в соответствии с местными условиями.

Если местные условия неизвестны, следует использовать настоящую Рекомендацию.

1.2 Ни одно из предлагаемых в настоящей Рекомендации испытаний не должно приводить к каким-либо существенным изменениям параметров испытываемых промежуточных усилителей.

В частности, это относится к:

- a) величинам тока и напряжения в цепи питания;
- b) частотной характеристике усилителя;
- c) суммарному шуму;
- d) коэффициенту ошибок по битам.

Испытания состоят из:

- прототипных испытаний;
- приемочных испытаний.

Целью этих испытаний является проверка эффективности всех мер, принимаемых для защиты промежуточных усилителей на полупроводниках. К ним относятся устройства защиты, встроенные в промежуточный усилитель или установленные в том же пункте, где располагается промежуточный усилитель.

#### 1.3 Прототипные испытания

Прототипные испытания проводятся с целью проверки эффективности расчета промежуточных усилителей и устройств защиты в тяжелых условиях окружающей среды.

При определении мер защиты необходимо принимать во внимание наиболее опасные эдс, которые могут появляться на входах и выходах промежуточных усилителей на полупроводниках даже в тех случаях, когда подобные эдс возникают очень редко.

<sup>1)</sup> См. также Рекомендации К.15 и К.16.

<sup>2)</sup> Испытания, указанные в Рекомендации К.17, также применимы к оконечному оборудованию, например к усилителям с местным питанием, разделительным фильтрам, оборудованию дистанционного питания, которые подвержены внешним влияниям подобно промежуточным усилителям.

Если воздействию импульсного напряжения подвергается промежуточный усилитель на полупроводниках, на входе (или выходе) которого подключены грозоразрядники, то (остаточная) энергия, поступающая в схему усилителя за период времени от нуля до пробоя грозоразрядников, зависит также от крутизны фронта импульса.

В ходе прототипных испытаний эта остаточная энергия должна быть такой большой, как в наихудшем случае, встречающемся на практике.

Это условие обеспечивается посредством выбора испытательного импульса нужной крутизны и амплитуды. Однако оно лишь дополняет ранее описанное испытание, в соответствии с которым рекомендуется подавать в промежуточный усилитель импульс, имеющий амплитуду меньше, чем напряжение пробоя грозоразрядника, чтобы выяснить, каким образом этот промежуточный усилитель реагирует на полный импульсный сигнал.

#### 1.4 Приемочные испытания

Целью этих испытаний является проверка правильности работы устройств защиты в оборудовании после его сборки. Как правило, приемочные испытания проводятся в менее тяжелых условиях по сравнению с прототипными испытаниями, с тем чтобы не подвергать опасным воздействиям некоторые элементы, ибо возникшее в этом случае ухудшение может оказаться необнаруженным в процессе выполнения измерений. Однако потребителям предоставляется право выполнять испытания в более жестких условиях (соответствующих особым реальным условиям).

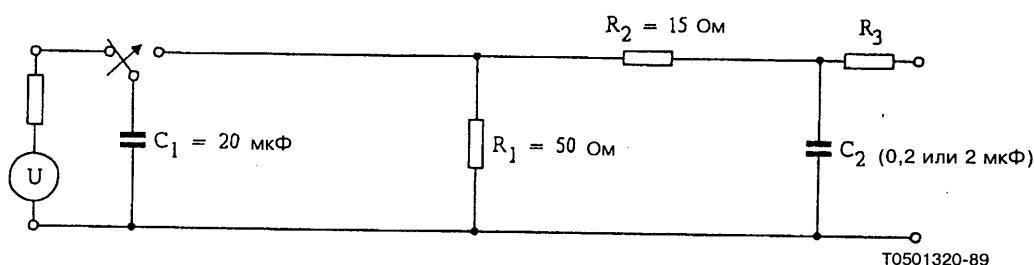
Пользователь может решать, следует ли проводить испытания каждого устройства или выборочно.

*Примечание.* — При некоторых обстоятельствах пользователи могут посчитать необходимым провести дополнительные испытания в соответствии со своими конкретными требованиями. Подобные испытания ниже не приводятся.

## 2 Методы испытаний

### 2.1 Методы испытаний устройств защиты промежуточных усилителей от перенапряжений, которые возникают при ударе молнии (импульсные испытания)

Такие испытания выполняются по схеме, представленной на рис. 1/К.17. Номиналы конденсатора  $C_1$  и сопротивления  $R_3$  указаны в таблице 1/К.17. Конденсатор  $C_1$  должен выдерживать зарядное напряжение, равное пиковому значению напряжения, указанному в таблице 1/К.17.



T0501320-89

РИСУНОК 1/К.17

Схема генератора импульсных сигналов

*Примечание.* — Если требуется выполнить испытание усилителей для симметричных или микрокоаксиальных пар, ток короткого замыкания в испытательном устройстве должен быть ограничен до соответствующих величин сопротивлением  $R_3$ , принимая во внимание более высокие сопротивления проводов линий с симметричными и микрокоаксиальными парами по сравнению с коаксиальными кабелями.

Формы волны импульсов, приведенные в таблице, соответствуют определениям в [1] (величины напряжения и формы волны импульсов относятся к генератору без нагрузки).

ТАБЛИЦА 1/К.17  
Характеристики испытательных импульсов

	Усилители на коаксиальных парах ( $\leq 1,2/4,4$ мм)				Усилители на симметричных парах				Усилители на микрокоаксиальных парах (0,7/2,9 мм)			
	Прототипные испытания		Приемочные испытания		Прототипные испытания		Приемочные испытания		Прототипные испытания		Приемочные испытания	
	Испытание 1 Испытание 2	Испытание 3 <sup>a)</sup>	Испытание 1 Испытание 2	Испытание 3 <sup>a)</sup>	Испытание 1 Испытание 1 <sup>a)</sup> Испытание 2 Испытание 2 <sup>a)</sup>	Испытание 3	Испытание 1 Испытание 1 <sup>a)</sup> Испытание 2 Испытание 2 <sup>a)</sup>	Испытание 3	Испытание 1 Испытание 2	Испытание 3 <sup>a)</sup>	Испытание 1 Испытание 2	Испытание 3 <sup>a)</sup>
Колонка №	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
Форма импульса <sup>b)</sup>	10/700	10/700	100/700	100/700	10/700	10/700	100/700	100/700	10/700	10/700	100/700	100/700
Нагрузка, Кл	0,1	макс. 0,1	0,06	макс. 0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,1	макс. 0,1	0,06	макс. 0,06
Пиковые напряжения, кВ	5	5	3	3	1,5	1,5	1,5	1,5	5	5	3	3
Ток короткого замыкания, А	333		200		37,5		37,5		125		75	
Пиковый ток в цепи ДП, А		50		50		37,5		37,5		50		50
$C_2$ , мкФ	0,2	0,2	2	2	0,2	0,2	2	2	0,2	0,2	2	2
$R_3$ , Ом	c)	c)	c)	c)	25	25	25	25	25	25	25	25
Число импульсов	10	10	2	2	10	10	2	2	10	10	2	2

<sup>a)</sup> При испытании 3 на промежуточных усилителях коаксиальных пар пиковое напряжение может быть уменьшено до такой величины, при которой протекает ток, не превышающий 50 А.

<sup>b)</sup> Приближенные значения (см. также примечание к § 2.1).

<sup>c)</sup> Резистор  $R_3$  (0—2,5 Ом) может включаться для предотвращения колебательного разряда. Его сопротивление может превышать 2,5 Ом, если  $C_2$  и  $R_2$  отрегулированы таким образом, чтобы сохранить форму импульса на зажимах испытываемой аппаратуры.

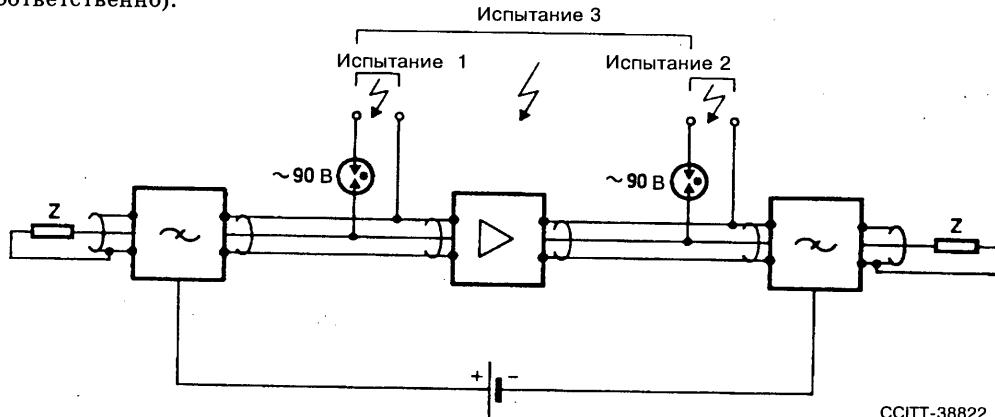
Испытания выполняются с помощью последовательно подаваемых импульсов двух полярностей; интервал между импульсами составляет 1 мин. Количество импульсов, подаваемых в каждую испытательную точку для каждого отдельного случая, указано в нижней строке таблицы 1/К.17. Испытательные импульсы должны прикладываться в следующих точках:

- испытание 1: на входе промежуточного усилителя, выход нагружен его волновым сопротивлением;
- испытание 1а: между входными зажимами усилителя и проводящим корпусом, как правило, заземленным, в случае промежуточных усилителей на симметричных парах;
- испытание 2: на выходе промежуточного усилителя, вход нагружен его волновым сопротивлением;
- испытание 2а: между выходными зажимами усилителя и проводящим корпусом, как правило, заземленным, в случае промежуточных усилителей на симметричных парах;
- испытание 3: (в продольном направлении) между внутренним проводником на стороне входа и внутренним проводником на стороне выхода при испытании промежуточных усилителей для коаксиальных пар (на зажимах цепи дистанционного питания при испытании промежуточных усилителей для симметричных пар).

Устройства, защищенные грозоразрядниками и установленные на кабелях с симметричными парами, которые подвержены влиянию линий электропередачи или электротяги переменного тока, могут испытываться переменным током, прикладываемым в течение 0,5 с. Величина тока и частота должны быть сравнимы с переменными токами, которые вероятнее всего могут встречаться на практике, но не должны превышать  $10 \text{ A}_{\text{эфф}}$ .

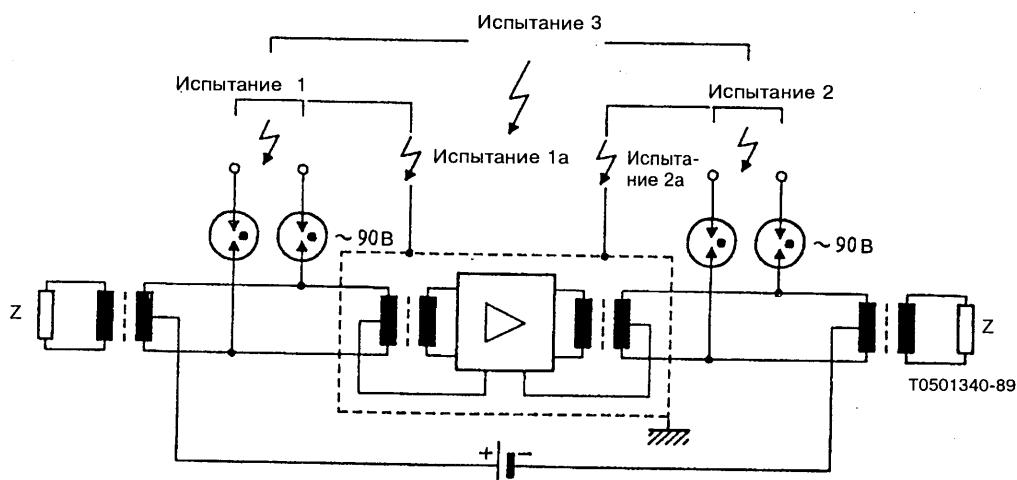
При выполнении испытаний 1, 1а, 2 и 2а в промежуточный усилитель подается электропитание, при выполнении испытания 3 усилитель обесточивается.

При проведении этих испытаний аппаратуры коаксиальных пар можно использовать схему, показанную на рис. 2/К.17, а симметричных пар — на рис. 3/К.17. Для связи генератора импульсов с промежуточным усилителем можно применять грозоразрядники с напряжением пробоя около 90 В (см. рис. 2/К.17 и 3/К.17, соответственно).



Примечание. — Величина Z выбирается в зависимости от испытываемой системы.

РИСУНОК 2/К.17



Примечание. — Величина Z выбирается в зависимости от испытываемой системы.

РИСУНОК 3/К.17

Пример схемы испытания импульсным напряжением промежуточных усилителей с дистанционным питанием на симметричных парах

2.2 *Методы испытаний устройств защиты промежуточных усилителей от влияния индуцированных переменных токов, обусловленного аварией на линии передачи*

2.2.1 *Испытания при переменном токе на входных и выходных зажимах промежуточного усилителя*

Источник электродвижущей силы (частота источника 16 2/3, 25, 50 или 60 Гц) подключается:

- на входе усилителя, при этом выход нагружен на сопротивление, вдвое превышающее волновое;
- на выходе усилителя, при этом вход загружен на сопротивление, вдвое превышающее волновое.

Величина и длительность эдс, а также внутреннее полное сопротивление источника эдс должны соответствовать местным условиям (это испытание выполняется только на усилителях коаксиальных пар).

2.2.2 *Испытания при переменном токе на зажимах дистанционного питания промежуточного усилителя*

На зажимы дистанционного питания подается переменный ток соответствующих частоты и величины.

Если дополнительное напряжение от подачи дистанционного питания мало, то при испытаниях, указанных в § 2.2, в испытываемый промежуточный усилитель дистанционное питание не подается. Однако, если это напряжение велико, при проведении испытаний при переменном токе необходимо в промежуточный усилитель подавать наибольшую величину напряжения дистанционного питания.

2.3 *Методы испытаний устройств защиты промежуточных усилителей от помех, обусловленных наличием продольных эдс переменного тока, длительно индуцируемых линиями высокого напряжения*

Чтобы промежуточный усилитель удовлетворительно работал при наличии посторонних напряжений, индуцируемых при установившемся режиме (см. Рекомендацию К.15, § 3.2), характеристики паразитной модуляции этого усилителя (см. Рекомендацию К.15, § 4.3) должны удовлетворять требованиям для участков магистрали, разработанным Исследовательской комиссией XV. Усилитель должен работать таким образом, чтобы качество передачи не подвергалось заметным изменениям (см., например, Рекомендацию в [2]) при подключении его к типовой цепи дистанционного питания при наличии:

- a) переменного напряжения соответствующей частоты (50 Гц, 16 2/3 Гц и т. д.), подаваемого на:
  - i) входные зажимы или
  - ii) выходные зажимы.

Источник переменного напряжения в точках подключения к испытательной схеме должен иметь такое внутреннее сопротивление, чтобы исключалось значительное мешающее влияние на частотнозависимые характеристики передачи этой схемы;

- b) переменного тока соответствующей частоты, наложенного на ток дистанционного питания усилителя.

Испытание, указанное в подпункте а), должно выполняться при напряжении 60 В или 150 В в соответствии с предельными значениями длительной индуцируемой эдс (см. [3]). Испытание, указанное в подпункте б), должно выполняться при величине тока, соответствующего индуцируемой эдс 60 В или 150 В, вычисленной в соответствии с Рекомендацией К.16 для наиболее неблагоприятных условий.

### 3 Испытания, которые должны выполняться в различных случаях

#### 3.1 Условия испытания промежуточных усилителей на коаксиальных парах

Ниже рассматриваются испытания, которые должны быть выполнены в том случае, когда внешний проводник соединен с металлической оболочкой кабеля. Сюда же можно отнести случай, когда внешний проводник (как правило, имеющий "плавающий потенциал") случайно соприкасается с металлической оболочкой.

##### 3.1.1 Прототипные испытания

###### 3.1.1.1 Испытания, выполняемые на входных и выходных зажимах промежуточного усилителя

###### 3.1.1.1.1 Испытания импульсным током

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 1 таблицы 1/К.17.

Если защита обеспечивается устройством, срабатывающим при пороговых значениях напряжений на входе и выходе усилителя (например, грозоразрядниками), и если оно не срабатывает в условиях испытания, то зарядное напряжение конденсатора  $C_1$  следует постепенно увеличивать (однако оно не должно превышать 7 кВ<sup>3)</sup>) до тех пор, пока устройство защиты не сработает.

<sup>3)</sup> При испытании промежуточных усилителей на микрокоаксиальных парах максимальное пиковое напряжение не должно превышать 5 кВ.

Если разрядники не срабатывают при напряжении 7 кВ или если в усилителях, подвергаемых прототипным испытаниям, отсутствуют грозоразрядники, то предложенная выше форма волн может оказаться неподходящей. Форма импульса, имитирующего пробой кабеля, может создаваться испытательным генератором, речь о котором шла выше, если параллельно цепи включить искровой промежуток, рассчитанный на соответствующее напряжение пробоя. Если же грозоразрядники предусмотрены и если они срабатывают при вышеуказанных условиях испытания, то зарядное напряжение конденсатора  $C_1$  должно постепенно уменьшаться, пока разрядники не перестанут срабатывать.

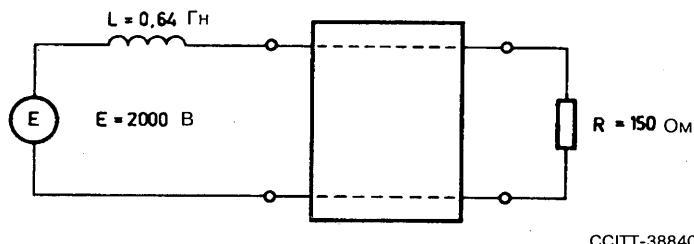
### 3.1.1.1.2 Испытания при переменном токе<sup>4)</sup>

Напряжение, среднеквадратическое значение которого на сопротивление 150 Ом равно 1200 В, в течение 0,5 с подается на:

- вход усилителя, выход которого нагружен сопротивлением 150 Ом;
- выход усилителя, вход которого нагружен сопротивлением 150 Ом.

Полное сопротивление источника напряжения должно быть таким, чтобы любой протекающий ток составлял 8—10 А.

Электродвижущая сила источника напряжения должна быть такой, чтобы при подключении сопротивления нагрузки 150 Ом на зажимах этого сопротивления создавалось напряжение со среднеквадратическим значением, по крайней мере, 1200 В. Пример испытательной схемы для частоты 50 Гц приведен на рис. 4/К.17.



CCITT-38840

РИСУНОК 4/К.17

Пример схемы испытаний при переменном токе частотой 50 Гц

### 3.1.1.1.3 Испытания при переменном напряжении, индуцированном в установленном режиме

Эти испытания должны выполняться в соответствии с § 2.3.

### 3.1.1.2 Испытания на зажимах дистанционного питания промежуточного усилителя

#### 3.1.1.2.1 Испытания импульсным током

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 2 таблицы 1/К.17.

В ходе испытаний конденсатор  $C_1$  может заряжаться либо до напряжения 5 кВ, либо до меньшего напряжения при условии, что максимальный ток в цепи дистанционного питания достигает 50 А.

#### 3.1.1.2.2 Испытания при переменном токе

Эти испытания заключаются в пропускании по цепи дистанционного питания переменного тока, по величине и частоте сравнимого с переменными токами, которые, по всей вероятности, встречаются на практике. Среднеквадратическое значение тока, пропускаемого в течение 0,5 с, не должно превышать 10 А.

#### 3.1.1.2.3 Испытания при переменном напряжении, индуцированном в установленном режиме

Эти испытания должны выполняться в соответствии с § 2.3.

<sup>4)</sup> В результате последующих изучений и испытаний эта часть настоящей Рекомендации может быть изменена. Если Администрация считает, что предлагаемые значения слишком высоки для местных условий, то могут быть применены более низкие значения.

### **3.1.2 Приемочные испытания**

#### **3.1.2.1 Испытания, выполняемые на входных и выходных зажимах промежуточного усилителя**

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 3 таблицы 1/К.17.

#### **3.1.2.2 Испытания на зажимах дистанционного питания промежуточного усилителя**

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 4 таблицы 1/К.17. В ходе испытания конденсатор  $C_1$  может заряжаться либо до напряжения 3 кВ, либо до меньшего напряжения при условии, что максимальный ток в цепи дистанционного питания достигает 50 А.

### **3.2 Условия испытания промежуточных усилителей на симметричных парах**

#### **3.2.1 Прототипные испытания**

##### **3.2.1.1 Испытания, выполняемые на входных и выходных зажимах промежуточного усилителя**

###### **3.2.1.1.1 Испытания импульсным током**

Эти испытания должны выполняться с использованием импульса, характеристики которого перечислены в колонке 5 таблицы 1/К.17.

Если электрическая прочность изоляции симметричных пар превышает электрическую прочность пар с бумажной изоляцией, то целесообразно применять более высокие пиковые напряжения, чем указано в таблице 1/К.17.

Если предусмотрены грозоразрядники и если они срабатывают при вышеуказанных условиях испытания, то зарядное напряжение конденсатора  $C_1$  должно постепенно уменьшаться, пока разрядники не перестанут срабатывать.

*Примечание.* — Если грозоразрядники включаются между входными и выходными зажимами усилителя и его корпусом, то один из зажимов поперечного напряжения должен быть соединен с корпусом перед испытаниями для имитации пробоя грозоразрядника.

###### **3.2.1.1.2 Испытания при переменном токе**

Эти испытания не определены.

##### **3.2.1.2 Испытания на зажимах дистанционного питания промежуточного усилителя**

###### **3.2.1.2.1 Испытания импульсным током**

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 6 таблицы 1/К.17.

###### **3.2.1.2.2 Испытания при переменном токе**

Эти испытания заключаются в пропускании по цепи дистанционного питания переменного тока, по величине и частоте сравнимого с переменными токами, которые, по всей вероятности, встречаются на практике. Этот ток должен применяться в течение 0,5 с.

Эти испытания не проводятся, если промежуточные усилители в реальных условиях не подвергаются влиянию продольных эдс, индуцированных линиями электропередачи, которые создают продольные токи.

###### **3.2.1.2.3 Испытания при переменном напряжении, индуцированном в установленвшемся режиме**

Эти испытания должны выполняться в соответствии с § 2.3.

### **3.2.2 Приемочные испытания**

#### **3.2.2.1 Испытания, выполняемые на входных и выходных зажимах промежуточного усилителя**

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 7 таблицы 1/К.17.

### 3.2.2.2 Испытания на зажимах дистанционного питания промежуточного усилителя

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 8 таблицы 1/К.17.

### 3.3 Условия испытаний, относящиеся к регенераторам и источникам электропитания, которые используются в волоконно-оптических системах передачи

Описываемые ниже испытания могут применяться для всех типов регенераторов.

В принципе существуют два типа регенераторов: регенераторы, корпуса которых имеют плавающий потенциал, и регенераторы, корпуса которых имеют местное заземление. Питание регенераторов может также осуществляться с помощью индивидуальных преобразователей постоянного тока. Эти автономные устройства могут рассматриваться как один "регенератор" в рамках настоящей Рекомендации.

#### 3.3.1 Прототипные испытания

##### 3.3.1.1 Испытания импульсным током

Эти испытания должны выполняться в условиях, перечисленных в колонке 1 таблицы 2/К.17.

Испытания должны проводиться по схеме, показанной на рис. 5/К.17.

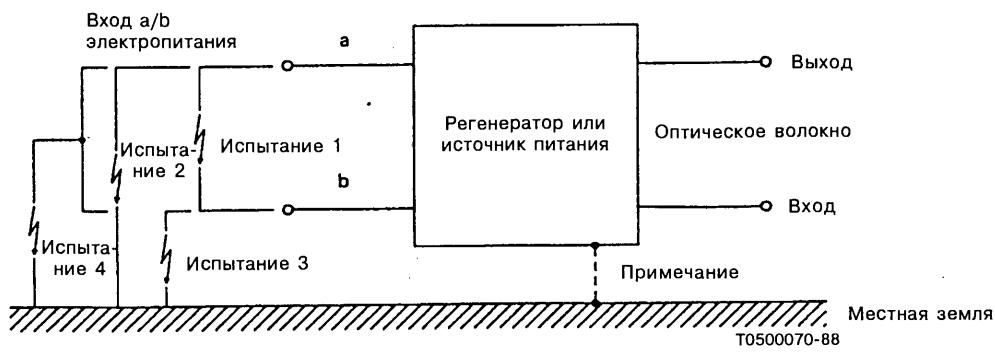
- *Испытание 1:* между зажимами *a* и *b* цепи электропитания.
- *Испытание 2:* между зажимом *a* цепи электропитания и местной землей.
- *Испытание 3:* между зажимом *b* цепи электропитания и местной землей.
- *Испытание 4:* между обоими зажимами *a* и *b* цепи электропитания и местной землей.

Заземления корпусов на местную землю должны быть аналогичны используемым на практике.

ТАБЛИЦА 2/К.17

Характеристики формы сигналов, используемых при импульсном испытании волоконно-оптических систем

Импульсные испытания		
	Приемочные испытания	Прототипные испытания
	Испытание 1 Испытание 2 Испытание 3 Испытание 4	Испытание 1 Испытание 4
Колонка №	(1)	(2)
Форма импульса	10/700	100/700
Заряд	0,1 кулона	0,06 кулона
Пиковые напряжения	5 кВ	3 кВ
Ток короткого замыкания	333 А	200 А
$C_2$	0,2 мкФ	0,2 мкФ
$R_3$	2,5 Ом	2,5 Ом
Число импульсов	10	2



*Примечание. -- Соединение с местной землей, если оно существует на практике.*

РИСУНОК 5/К.17

Схема испытаний импульсным напряжением

### 3.3.1.2 Испытания при переменном токе

#### 3.3.1.2.1 Кратковременное влияние индуцированных переменных токов

Эти испытания выполняются в соответствии с условиями, перечисленными в таблице 3/К.17.

Испытания 1, 2, 3 и 4 должны проводиться на оборудовании по схеме, приведенной на рис. 5/К.17, и с учетом пояснений, которые даны в § 3.3.1.1.

ТАБЛИЦА 3/К.17

Токи и напряжения для испытаний при переменном токе волоконно-оптических систем

Испытания при переменном токе		
	Испытание 1	Испытание 2 Испытание 3 Испытание 4
Напряжение		1200 В <sub>эфф</sub>
Ток	10 А <sub>эфф</sub>	макс. 10 А <sub>эфф</sub>
Продолжительность	0,5 с	0,5 с
Число испытаний	1	1

### 3.3.1.2.2 Влияние индуцированных переменных токов в установленном режиме

Эти испытания должны выполняться в соответствии с § 2.3 б), и оборудование во время проведения испытаний должно работать без существенного увеличения коэффициента ошибок по битам.

### 3.3.1.3 Испытание защищенности от быстрых переходных процессов, возникающих в цепи электропитания

Эти испытания могут выполняться для того, чтобы гарантировать, что регенератор имеет достаточную защиту от переходных процессов, возникающих в цепи электропитания.

Эти испытания оборудования должны проводиться по схеме, приведенной на рис. 6/К.17.

Для выполнения испытания следует использовать генератор, соответствующий требованиям публикации 801-4 МЭК. При испытательных напряжениях до 1 кВ имитируемая передача сигналов не должна испытывать серьезных помех. Это испытание рекомендуется проводить, если цепь электропитания недостаточно экранирована и можно ожидать помех, обусловленных переключениями в системах электропитания.

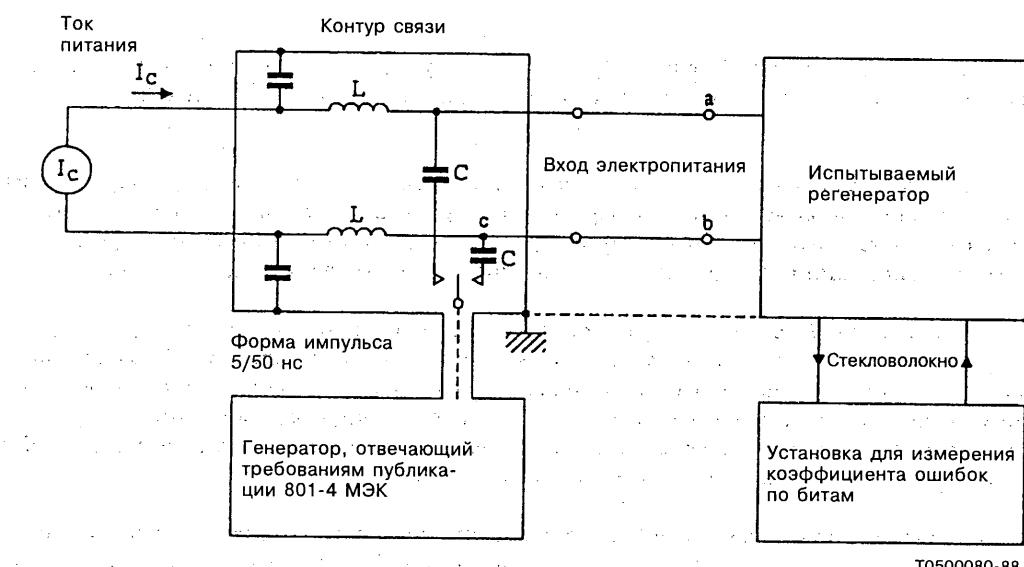


РИСУНОК 6/К.17

Испытание защищенности регенераторов для стекловолоконных систем

### 3.3.2 Приемочные испытания

Выполняются только импульсные испытания в соответствии с условиями, перечисленными в колонке 2 таблицы 2/К.17.

Испытания 1 и 4 должны выполняться с учетом замечаний, указанных в § 1.4.

## Ссылки

- [1] Публикация № 60-2 МЭК *Методы высоковольтных испытаний. Часть 2 — Процедуры испытаний*, Женева, 1973 год.
- [2] Рекомендация МККТТ *Паразитная модуляция и дрожание фазы*, Рек. G.229, § 1.3.
- [3] Руководство МККТТ *Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи и электрифицированных железных дорог*, том VI, МСЭ, Женева, 1988 год.

## Рекомендация К.18

### РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ, ИНДУЦИРУЕМЫХ В ЛИНИЯХ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫМИ СТАНЦИЯМИ, И МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ПОМЕХ

(Женева, 1980 г.; изменена в Малага-Торремолиносе, 1984 г., и в Мельбурне, 1988 г.)

## 1 Введение

Хотя в цепях подземных кабелей редко наблюдаются индуцированные помехи от радиоволн, имеется много примеров наличия таких помех в цепях воздушных линий, подвесных кабелей или кабелей, проложенных внутри зданий.

Помехи в цепях тональной частоты возникают вследствие того, что влияющая радиоволна детектируется и демодулируется нелинейными элементами в телефонном аппарате или окисными слоями металла в местах сращивания жил. Эти помехи проявляются главным образом в виде внятного шума и могут появляться на расстоянии до 5 км от радиостанции, мощность излучения которой превышает несколько десятков киловатт.

В цепях высокочастотной связи или в цепях видеосигнала индуцированная радиоволна ухудшает характеристики передачи, когда ее частота попадает в рабочую полосу частот системы. Помеха, как правило, представляет собой одночастотный тон в телефонном канале и является невнятной. Она ухудшает в цепи отношение сигнал—шум. Такая помеха может возникать в широкой зоне вокруг радиостанции. Появление помехи в цепях передачи видеосигнала было отмечено только в нескольких случаях, но ожидается, что в будущем с развитием сети видеопередачи могут возникнуть серьезные проблемы.

В исключительных случаях могут возникать помехи, при которых персонал, занятый обслуживанием линейных сооружений, может получить ожоги от токов радиочастоты. Такого рода проблемы отмечались лишь в непосредственной близости от антennы радиостанции.

## 2 Анализ помех

Для проведения теоретического анализа напряжения, индуцируемого радиоволной, принимаются следующие условия:

- удельное сопротивление земли однородно и постоянно;
- кабель или провод подвешиваются на опорах по прямой линии на постоянной высоте над поверхностью земли;
- металлический экран кабеля заземляется на обоих концах;
- электрическое поле радиоволны имеет постоянную напряженность, постоянный угол падения и одинаковый сдвиг фазы вдоль кабеля;
- первоначально радиоволна имеет вертикальную поляризацию. Однако по мере ее распространения по поверхности земли возникает горизонтальная составляющая за счет удельной проводимости земли.

Постоянные и переменные величины, используемые в теоретическом анализе, приведены в приложении А.

2.1 Для линий связи без металлического экрана горизонтальная составляющая электрического поля радиоволны непосредственно действует как эдс в проводах линии электросвязи. Вследствие этого в оконечных устройствах индуцируются помехи за счет асимметрии полных сопротивлений относительно земли. Индуцированные продольные напряжения на концах электросвязи без металлического экрана определяются уравнениями (B-1) и (B-2).

2.2 Для кабелей электросвязи с металлическим экраном горизонтальная составляющая электрического поля радиоволны действует как эдс, создавая индуцируемый ток в цепи, состоящей из металлического экрана кабеля и земли. Вследствие наличия тока в экране в жилах индуцируется эдс через сопротивление связи между жилами и металлическим экраном. Эта эдс может обусловить мешающее напряжение в двухпроводных цепях кабеля в зависимости от степени асимметрии цепей по отношению к металлическому экрану (или земле).

Индуцируемые продольные напряжения на концах кабеля электросвязи с металлическим экраном определяются уравнениями (B-3) и (B-4). В [1] показано, что величины, полученные с помощью этих уравнений, согласуются с измеренными значениями.

2.3 Уравнения, приведенные в приложении В, очень сложны и включают большое число параметров. Поэтому полезно оценить приближенное значение максимального индуцируемого продольного напряжения с помощью следующего упрощенного уравнения:

$$V_2(0) \text{ дБ} [\approx V_2(l)] = 20 \log_{10} V_2(0) \\ = 20 \log_{10} \frac{PE_v(\cos \theta) Z_K}{4Z_{01}} - 30 \log_{10} f - 20 \log_{10} \alpha_{20} + 300, \quad (2-1)$$

где

$$l \geq \frac{1,5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8 \quad (2-2)$$

$$20 \text{ Ом} < |Z_{1R}|, |Z_{1L}| \leq |Z_{01}| \quad (2-3)$$

$$\gamma_2 = \alpha_2 + j\beta_2$$

$$\alpha_2 = \alpha_{20} \sqrt{f} \times 10^{-3} \text{ (дБ/км)}$$

$\alpha_{20}$  — коэффициент затухания на частоте 1 МГц, дБ/км;

$f$  — частота радиоволны, Гц.

Прочие постоянные и переменные величины приведены в приложении А.

Уравнение (2-1), выражающее максимальное индуцируемое продольное напряжение в дБ (0 дБ = 0,775 В), получено, исходя из следующего.

Индуцируемое продольное напряжение, рассчитанное с помощью уравнений, приведенных в приложении В, достигает начального пикового значения при длине кабеля

$$l = \frac{1,5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8,$$

а затем ряда пиковых значений. Его максимальная величина возникает при одном из первых пиковых значений вдоль длины кабеля.

$$l \geq \frac{1,5 \beta_0}{f \cdot \beta_2} \times 10^8.$$

Индуцируемое продольное напряжение достигает своего максимума при одном из первых пиковых значений вследствие затухания индуцированной радиоволны вдоль кабеля (рис. З/К.18).

В приложении С подробно описаны погрешности, связанные с применением уравнения (2-1) вместо полных уравнений, приведенных в приложении В.

2.4 При очень сложной конфигурации линии ее необходимо разбить на несколько участков и определить индуцируемое продольное напряжение для каждого участка с помощью уравнений (B-1) — (B-4). Затем с учетом параметров передачи и граничных условий рассматриваемой линии вычисленные величины индуцированных напряжений на каждом участке суммируются для получения общего индуцированного напряжения.

В тех случаях, когда упрощенное уравнение (2-1) применяется к сложной линии, для расчета максимального индуцированного продольного напряжения может быть использована модель прямой линии. Расчеты следует начинать с точки, ближайшей к радиостанции, и при этом должна быть использована наименьшая величина угла падения радиоволны.

2.5 В тех случаях, когда проведены полевые измерения напряженности электрического поля радиоволны, измеренное значение может быть использовано в качестве  $E_v$  в уравнении (2-1).

При отсутствии измерений напряженность электрического поля радиоволны  $E_v$  может быть вычислена с помощью уравнения (2-4) с учетом расстояния от радиостанции и мощности ее передатчика (см. [2]).

$$E_v = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{1,5 P Z_0}{2\pi}} , \quad (2-4)$$

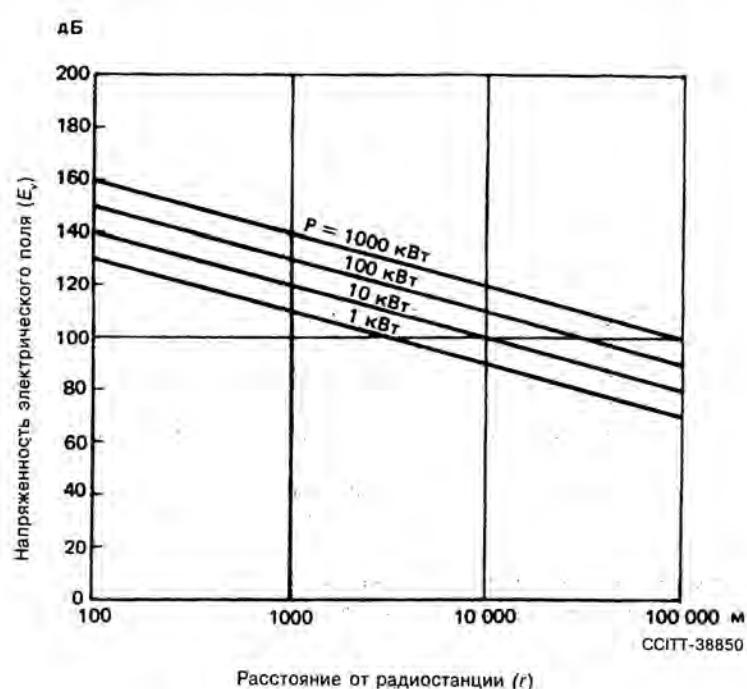
где

$P$  — мощность передатчика радиостанции, Вт;

$r$  — расстояние от радиостанции, м;

$Z_0$  — волновое сопротивление свободного пространства ( $\approx 377$  Ом).

На рис. 1/К.18 показаны значения  $E_v$ , полученные из уравнения (2-4) при различных значениях  $P$ .



Примечание. —  $E_v$  выражена в дБ (0 дБ = 1 мкВ/м).

РИСУНОК 1/К.18

Напряженность электрического поля радиоволны  
в зависимости от расстояния до радиостанции

2.6 Угол падения радиоволны на линию электросвязи может изменяться в зависимости от обстоятельств.

При прокладке линии электросвязи на открытой местности может применяться либо измеренное значение угла падения, либо его вычисленное значение, исходя из относительного расположения радиостанции и линии электросвязи.

При прокладке линии электросвязи вблизи сооружений, препятствующих распространению радиоволн, угол падения может быть принят равным нулю; при этом предполагаются наиболее неблагоприятные условия.

2.7 Индуцируемое продольное напряжение на концах кабеля электросвязи, показанного на рис. 2/К.18, может быть вычислено следующим упрощенным методом.

Подставляя значения параметров  $P$ ,  $f$ ,  $\alpha_{20}$ ,  $\beta_2$  и  $\theta$ , указанные на рис. 2/К.18, и вычисленные значения для  $E_v$  и  $Z_k$  в уравнения (2-1) и (2-2), получаем следующие результаты:

$$V_2(0) \approx V_2(l) = -35,0 \text{ дБ},$$

$$l \geq 210 \text{ м.}$$

Кроме того, при  $\theta = 0^\circ$  — как самом неблагоприятном значении — получаем:

$$V_2(0) \approx V_2(l) = -32,0 \text{ дБ},$$

$$l \geq 210 \text{ м.}$$

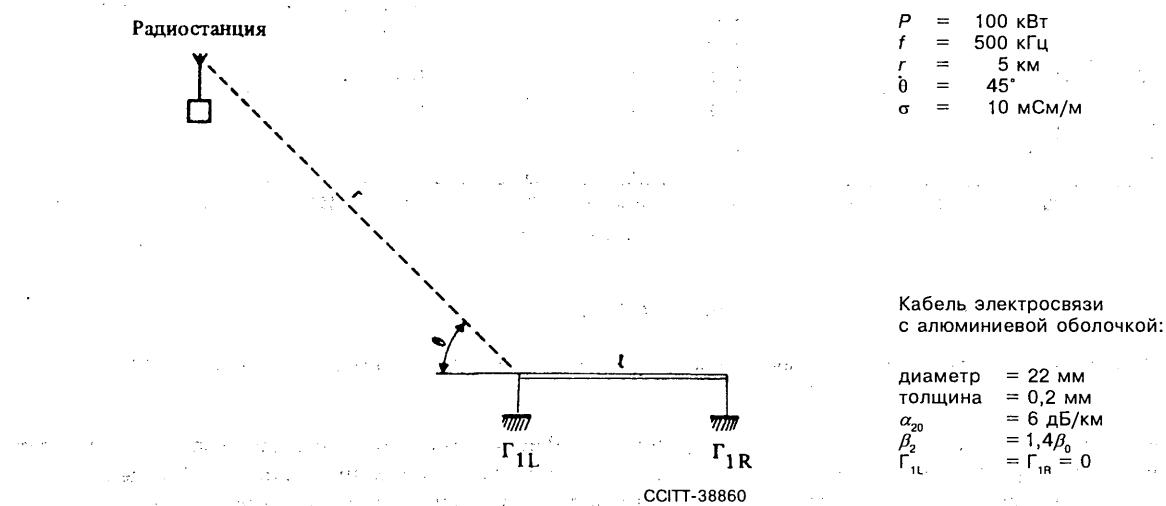


РИСУНОК 2/К.18

Относительное расположение радиостанции и линии электросвязи

На рис. 3/К.18 сравниваются результаты, полученные с помощью упрощенных расчетов, и результаты, полученные более точными методами расчетов, которые описаны в приложении В, где приведены значения  $V_2$ , связанные с длиной кабеля. По-видимому, упрощенный метод вполне приемлем для оценки самых сильных помех, какие только могут встретиться.

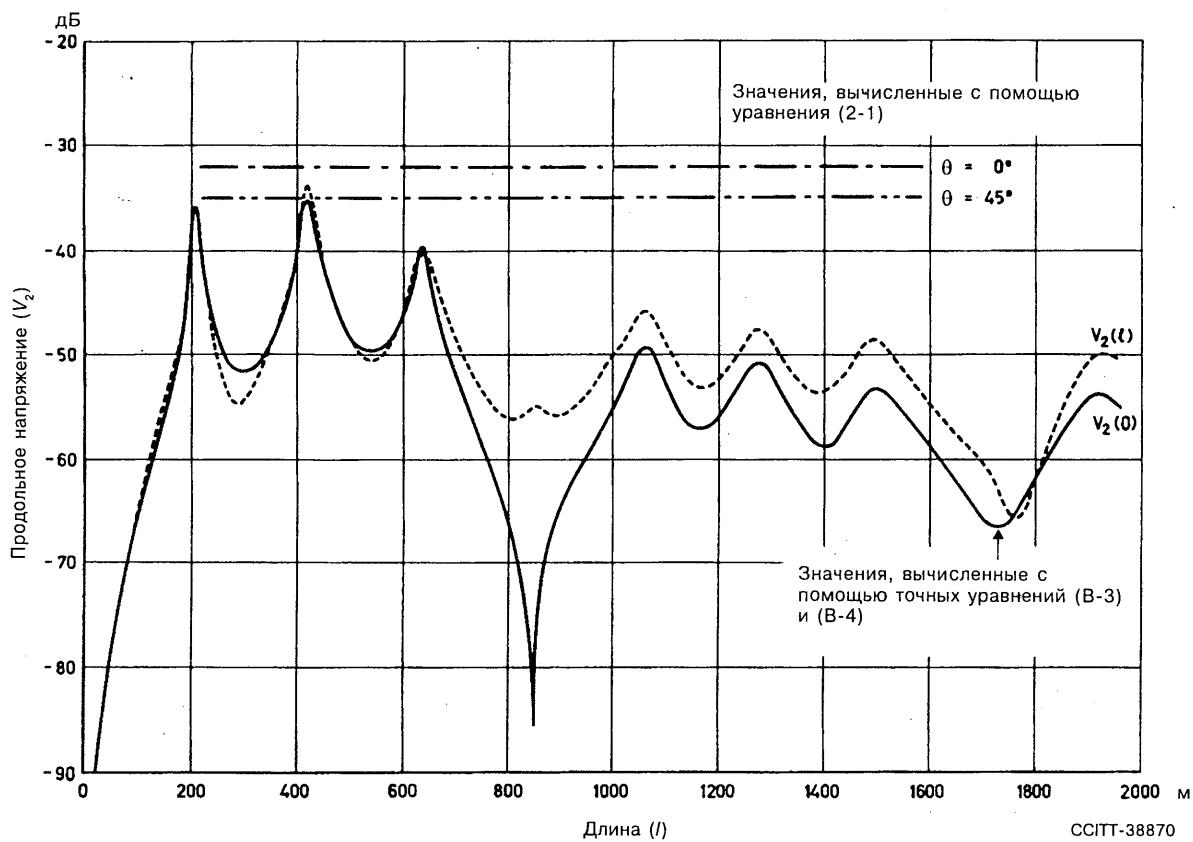


РИСУНОК 3/К.18

Вычисленное индуцируемое продольное напряжение на концах кабеля, показанного на рис. 2/К.18

2.8 Поперечные напряжения (напряжения в двухпроводной цепи), вызывающие шумы, возникают вследствие недостаточной симметрии цепи относительно металлического экрана (или земли). Если коэффициент  $\lambda$  устанавливает соотношение между продольным и поперечным напряжениями, то уровни помех можно получить по вычисленным или измеренным значениям индуцированного продольного напряжения:

$$V = \lambda \times V_2,$$

где

$V_2 [V_2(0)$  или  $V_2(l)]$  — продольное напряжение на концах цепи при холостом ходе;

$V [V(0)$  или  $V(l)]$  — поперечное напряжение на концах цепи, нагруженной с обеих сторон на волновые сопротивления.

Например, для случая, показанного на рис. 2/К.18, и  $\lambda = -40$  дБ получается следующий уровень помехи  $V$ :

(в этом случае  $V_2 = -35$  дБ [ $0$  дБ = 0,775 В])

$$V = -35 -40 \text{ дБ} = -75 \text{ дБ.}$$

### 3 Уменьшение помех

Для уменьшения помех можно принять следующие меры.

3.1 Помехи в цепях тональной частоты могут быть снижены посредством включения конденсатора 0,01~0,05 мкФ между жилами и заземлением на входной клемме или в телефонном аппарате для шунтирования индуцируемых токов радиоволн.

3.2 Помехи в высокочастотных системах передачи и в системах передачи видеосигнала могут быть снижены следующим образом.

3.2.1 В кабель необходимо ввести соответствующий экран; например, алюминиевый экран толщиной 0,2 мм, наложенный вокруг кабельного сердечника, обеспечивает снижение помехи приблизительно на 70 дБ. Алюминиевый экран должен быть заземлен на обоих концах с сопротивлением заземления, меньшим чем  $|Z_{01}|$  Ом, при удельной проводимости земли менее 0,1 См/м. Если толщину экрана увеличить с 0,2 до 1,0 мм, то снижение помехи увеличится еще на 50—60 дБ.

3.2.2 Жилы должны быть полностью экранированы металлическим экраном в местах соединения кабелей и на концах кабеля.

*Примечание.* — Если металлический экран снимается на длине около 30 см, индуцируемые напряжения возрастают почти на 30 дБ, даже если этот экран электрически соединен. Если снять всего 5 см металлического экрана на конце кабеля, то и тогда индуцируемые напряжения увеличатся примерно на 10 дБ.

3.2.3 На участках, подверженных радиопомехам, следует прокладывать подземный кабель или использовать другие маршруты для прокладки кабеля.

3.2.4 Чтобы обеспечить приемлемое отношение сигнал—шум для системы передачи, необходимо уменьшать расстояния между промежуточными усилителями.

3.2.5 Необходимо уменьшать асимметрию полной проводимости оконечной аппаратуры и промежуточных усилителей относительно земли на частоте радиоволны.

3.2.6 Необходимо использовать установку уровня предыскажения системы передачи.

3.3 Для снижения индуцируемых напряжений, опасных для обслуживающего персонала, между жилами и землей с определенными промежутками в пределах участка влияния могут включаться конденсаторы для шунтирования индуцируемого тока.

В этом случае при выборе подходящего конденсатора необходимо обратить внимание на сочетание минимального затухания на частотах передачи с эффективным заземлением на радиочастоте. Необходимо также предусмотреть меры по предотвращению повреждения конденсатора от перенапряжений, возникающих в жилах.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(к Рекомендации К.18)

### Постоянные и переменные величины, используемые в Рекомендации К.18

A.1 Отношение горизонтальной составляющей к вертикальной составляющей  $P$  электрического поля радиоволны, распространяющейся по поверхности земли, имеет вид:

$$P = \frac{E_h}{E_v} = \left| \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r - j\omega\sigma}} \right| \approx \sqrt{\frac{\omega\epsilon_0}{\sigma}}, \quad (\text{A-1})$$

где

$E_h$  — горизонтальная составляющая напряженности электрического поля радиоволны, В/м;

$E_v$  — вертикальная составляющая напряженности электрического поля радиоволны, В/м;

$\epsilon_r$  — относительная диэлектрическая проницаемость земли;

$\epsilon_0$  — диэлектрическая проницаемость свободного пространства, Ф/м;

$Z_0$  — волновое сопротивление свободного пространства, Ом;

$\beta_0$  — фазовая постоянная свободного пространства, рад/м;

$\sigma$  — удельная проводимость земли, См/м;

$\omega$  — угловая частота радиоволны, рад/с;

$f$  — частота радиоволны, Гц.

A.2 Полное сопротивление связи металлического экрана оболочки кабеля  $Z_K$  определяется из выражения:

$$Z_K = \frac{Kt}{\sinh Kt} \cdot R_{dc} \quad \text{Ом/м}, \quad (\text{A-2})$$

где

$R_{dc}$  — сопротивление постоянному току на единицу длины металлического экрана, Ом/м;

$$K = \sqrt{j_0 \mu g};$$

$\mu$  — абсолютная магнитная проницаемость металлического экрана, Гн/м;

$g$  — удельная проводимость металлического экрана, См/м;

$t$  — толщина металлического экрана, м.

A.3 Приводимые ниже обозначения относятся к рис. А-1/К.18:

$\theta$  — угол падения радиоволны на линию связи, рад;

$l$  — длина кабеля, м;

$x$  — расстояние вдоль кабеля от ближнего к радиостанции конца кабеля, м;

$Z_{01}$  — радиоволновое сопротивление цепи с возвратом тока через землю, Ом;

$\gamma_1$  — коэффициент распространения цепи с возвратом тока через землю;

$Z_{02}$  — волновое сопротивление продольной цепи, Ом;

$\gamma_2$  — коэффициент распространения продольной цепи;

$Z_{1L}, Z_{1R}$  — нагрузочное сопротивление цепи с возвратом тока через землю, Ом;

$Z_{2L}, Z_{2R}$  — нагрузочное сопротивление продольной цепи, Ом;

$$\Gamma_{1L} = \frac{Z_{01} - Z_{1L}}{Z_{01} + Z_{1L}} \quad \text{коэффициент отражения по току цепи с возвратом тока через землю в точке } x = 0;$$

$$\Gamma_{1R} = \frac{Z_{01} - Z_{1R}}{Z_{01} + Z_{1R}} \quad \text{коэффициент отражения по току цепи с возвратом тока через землю в точке } x = l;$$

$$\Gamma_{2L} = \frac{Z_{02} - Z_{2L}}{Z_{02} + Z_{2L}} \quad \text{коэффициент отражения по току продольной цепи в точке } x = 0;$$

$$\Gamma_{2R} = \frac{Z_{02} - Z_{2R}}{Z_{02} + Z_{2R}} \quad \text{коэффициент отражения по току продольной цепи в точке } x = l;$$

$V_{1m}(x)$  (для  $m = 0$ ) — напряжение в цепи с возвратом тока через землю при согласованной нагрузке на обоих концах;

$V_{1m}(x)$  (для  $m = L$ ) — напряжение в цепи с возвратом тока через землю при несогласованной нагрузке в точке  $x = 0$ ;

$V_{1m}(x)$  (для  $m = R$ ) — напряжение в цепи с возвратом тока через землю при несогласованной нагрузке в точке  $x = l$ ;

$V_{2m}(x)$  (для  $m = 0$ ) — напряжение в продольной цепи при согласованной нагрузке на обоих концах;

$V_{2m}(x)$  (для  $m = L$ ) — напряжение в продольной цепи при несогласованной нагрузке в точке  $x = 0$ ;

$V_{2m}(x)$  (для  $m = R$ ) — напряжение в продольной цепи при несогласованной нагрузке в точке  $x = l$ .

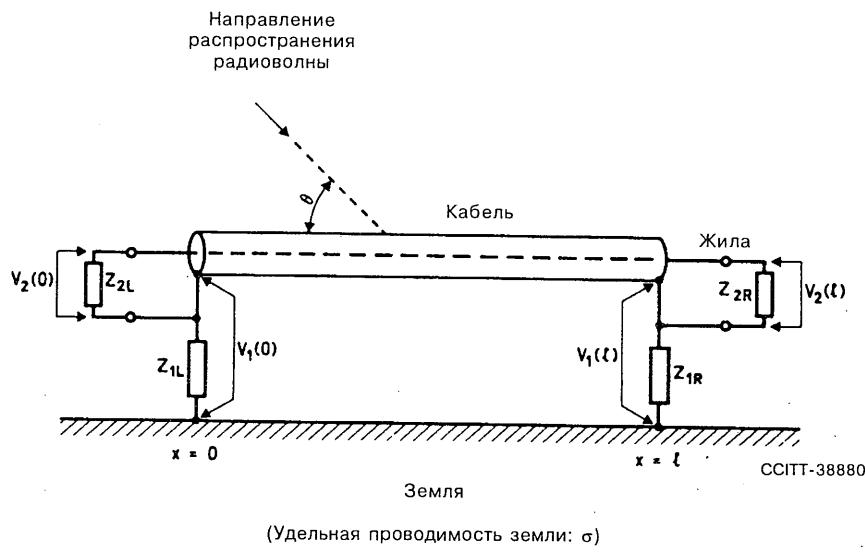


РИСУНОК А-1/К.18

Оконечная нагрузка цепи с возвратом тока через землю ( $Z_{1L}, Z_{1R}$ ) и продольной цепи ( $Z_{2L}, Z_{2R}$ )

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

(к Рекомендации К.18)

### Расчет индуцируемых продольных напряжений

#### B.1 Линии электросвязи без металлического экрана

Индуктуемые продольные напряжения на концах линии электросвязи без металлического экрана определяются уравнениями (B-1) и (B-2).

Индуктуемое продольное напряжение на ближайшем к радиостанции конце:

$$V_1(0) = V_{10}(0) + V_{1L}(0) + V_{1R}(0)$$

$$V_{10}(0) = - \frac{PE_V \cos \theta}{2} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta}$$

$$V_{1L}(0) = \frac{-\Gamma_{1L} [1 - \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(0)$$

$$V_{1R}(0) = \frac{-\Gamma_{1R} e^{-\gamma_1 l} [1 - \Gamma_{1L}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(l)$$

} (B-1)

Индукцируемое продольное напряжение на дальнем от радиостанции конце:

$$\left. \begin{aligned}
 V_1(l) &= V_{10}(l) + V_{1L}(l) + V_{1R}(l) \\
 V_{10}(l) &= \frac{PE_V \cos \theta}{2} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \\
 V_{1L}(l) &= \frac{-\Gamma_{1L} e^{-\gamma_1 l} [1 - \Gamma_{1R}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(0) \\
 V_{1R}(l) &= \frac{-\Gamma_{1R} [1 - \Gamma_{1L} e^{-2\gamma_1 l}]}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{10}(l),
 \end{aligned} \right\} \quad (B-2)$$

где постоянные и переменные величины соответствуют принятым в приложении А.

## B.2 Кабели электросвязи с металлическим экраном

Индукцируемые продольные напряжения на концах кабеля электросвязи с металлическим экраном определяются уравнениями (B-3) и (B-4).

Индукцируемое продольное напряжение на ближайшем к радиостанции конце:

$$\left. \begin{aligned}
 V_2(0) &= V_{20}(0) + V_{2L}(0) + V_{2R}(0) \\
 V_{20}(0) &= -\frac{PE_V (\cos \theta) Z_K}{4 Z_{01}} \left[ \left\{ \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} \right\} \cdot \right. \\
 &\quad \left. \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_2 + j\beta_0 \cos \theta} + \left\{ -\frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \cdot \left( \Gamma_{1L} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} e^{-\gamma_1 l} \cdot \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + \gamma_1)l}}{\gamma_2 + \gamma_1} + \left\{ -\frac{e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left( \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 (\cos \theta)l} e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - \gamma_1)l}}{\gamma_2 - \gamma_1} \right] \\
 V_{2L}(0) &= \frac{-\Gamma_{2L} [1 - \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(0) \\
 V_{2R}(0) &= \frac{-\Gamma_{2R} e^{-\gamma_2 l} [1 - \Gamma_{2L}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_2 l}} V_{20}(l),
 \end{aligned} \right\} \quad (B-3)$$

Индукцируемое продольное напряжение на дальнем от радиостанции конце:

$$V_2(l) = V_{20}(l) + V_{2L}(l) + V_{2R}(l)$$

$$\begin{aligned}
 V_{20}(l) &= \frac{PE_V \cos \theta Z_K}{4 Z_{01}} \left[ \left\{ \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} \right\} \cdot \right. \\
 &\quad \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_2 - j\beta_0 \cos \theta} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} + \left\{ - \frac{1}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} + \right. \\
 &\quad + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left( \Gamma_{1L} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} \cdot \right. \\
 &\quad \cdot e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \left. \right\} \frac{1 - e^{-(\gamma_2 - \gamma_1)l}}{\gamma_2 - \gamma_1} e^{-\gamma_1 l} + \\
 &\quad + \left. \left\{ - \frac{e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \frac{1}{1 - \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l}} \left( \Gamma_{1L} \Gamma_{1R} e^{-2\gamma_1 l} \cdot \right. \right. \\
 &\quad \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 + j\beta_0 \cos \theta} + \Gamma_{1R} e^{-j\beta_0 \cos \theta l} e^{-\gamma_1 l} \frac{1 - e^{-(\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta)l}}{\gamma_1 - j\beta_0 \cos \theta} \left. \right) \right\} \cdot \\
 &\quad \cdot \frac{1 - e^{-(\gamma_2 + \gamma_1)l}}{\gamma_2 + \gamma_1} e^{\gamma_1 l} \Big] \\
 V_{2L}(l) &= \frac{-\Gamma_{2L} e^{-\gamma_1 l} [1 - \Gamma_{2R}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{20}(0) \\
 V_{2R}(l) &= \frac{-\Gamma_{2R} [1 - \Gamma_{2L} e^{-2\gamma_1 l}]}{1 - \Gamma_{2L} \Gamma_{2R} e^{-2\gamma_1 l}} V_{20}(l),
 \end{aligned} \tag{B-4}$$

где постоянные и переменные величины соответствуют принятым в приложении А.

## ПРИЛОЖЕНИЕ С

(к Рекомендации К.18)

### Погрешности, связанные с применением упрощенного уравнения (2-1)

Упрощенное уравнение (2-1) может быть использовано, при  $3 \text{ дБ/км} \leq \alpha_{20} \leq 30 \text{ дБ/км}$ ;  $1,2 \beta_0 \leq \beta_2 \leq 3 \beta_0$ ;  $500 \text{ кГц} \leq f \leq 1,6 \text{ МГц}$ ;  $10 \text{ мм} \leq d \leq 50 \text{ мм}$ ;  $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ ;  $0,1 \text{ мСм/м} \leq \sigma \leq 500 \text{ мСм/м}$  и  $-1 \leq \Gamma \leq 1$ . Эти условия более применимы к подвесным кабелям.

Погрешность, возникающая при использовании уравнения (2-1) вместо более точного метода, описанного в приложении В, зависит от значений  $\sigma$  и  $\Gamma$  и не зависит от других параметров. Пример этой зависимости показан на рис. С-1/К.18. В таблице С-1/К.18 приведены погрешности, соответствующие областям значений  $(\sigma, \Gamma)$  на рис. С-2/К.18. Здесь рассматриваются только значения  $\Gamma_1 \geq 0$ , поскольку условие  $|Z_1| \leq Z_{01}$  может быть легко реализовано. Область (I) на рис. С-2/К.18 является обычной, тогда как области (II) и (IV) встречаются редко, а область (III) реализовать трудно. Для области значений с большой погрешностью (например, области II, III, и IV) или в случае, когда длина кабеля слишком мала, чтобы удовлетворять условию уравнения (2-2), целесообразно выполнять расчет с помощью точного метода, описанного в приложении В.

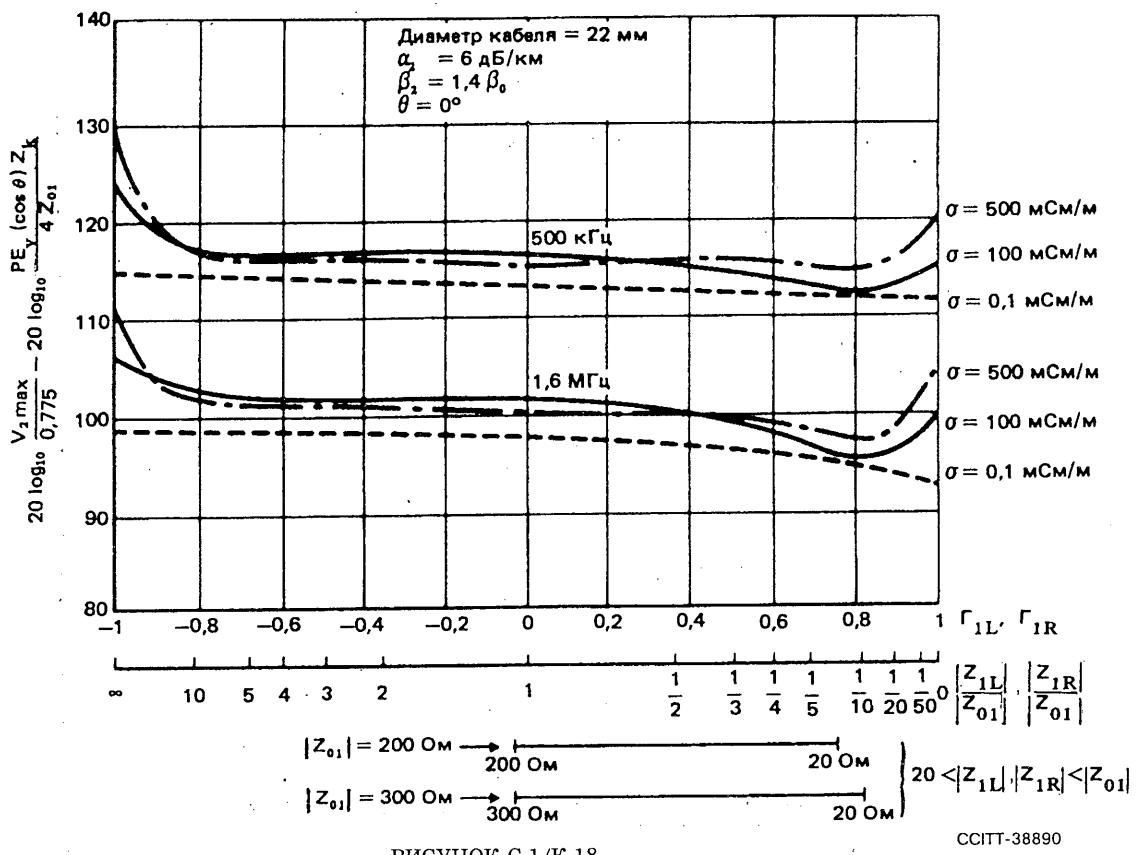


РИСУНОК С-1/К.18

Пример зависимости между индуцируемым продольным напряжением и ( $\sigma, \Gamma$ )

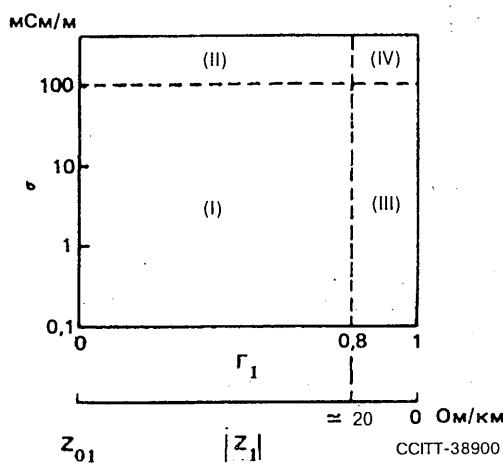


РИСУНОК С-2/К.18

Области значений ( $\sigma, \Gamma$ )

ТАБЛИЦА С-1/К.18

Погрешность при использовании уравнения (2-1)  
вместо точного метода расчета, описанного в приложении В

Область	Погрешность
(I) (обычный случай)	$\pm 5 \text{ дБ}$
(II) (редкий случай)	$\pm 8 \text{ дБ}$
(III) (редкий случай)	$-5 + 15 \text{ дБ}$
(IV) (редкий случай)	$-5 + 23 \text{ дБ}$

## ПРИЛОЖЕНИЕ D

(к Рекомендации К.18)

### Влияние внешних условий вблизи линии электросвязи на измеряемое электрическое поле радиоволны

(Отчет NTT)

Внешние условия вблизи линии электросвязи не оказывают влияния на напряженность электрического поля радиоволны, которая может быть принята равной теоретически рассчитанному значению (см. рис. D-1/К.18).

С другой стороны, угол падения радиоволны на линию электросвязи может зависеть от ряда факторов, в связи с чем трудно определить его точное значение. Однако на открытой местности измеренный угол падения между направлением распространения радиоволны и линией электросвязи хорошо согласуется со значением, вычисленным на основании известного расположения радиостанции и линии электросвязи относительно друг друга (рис. D-2/К.18).

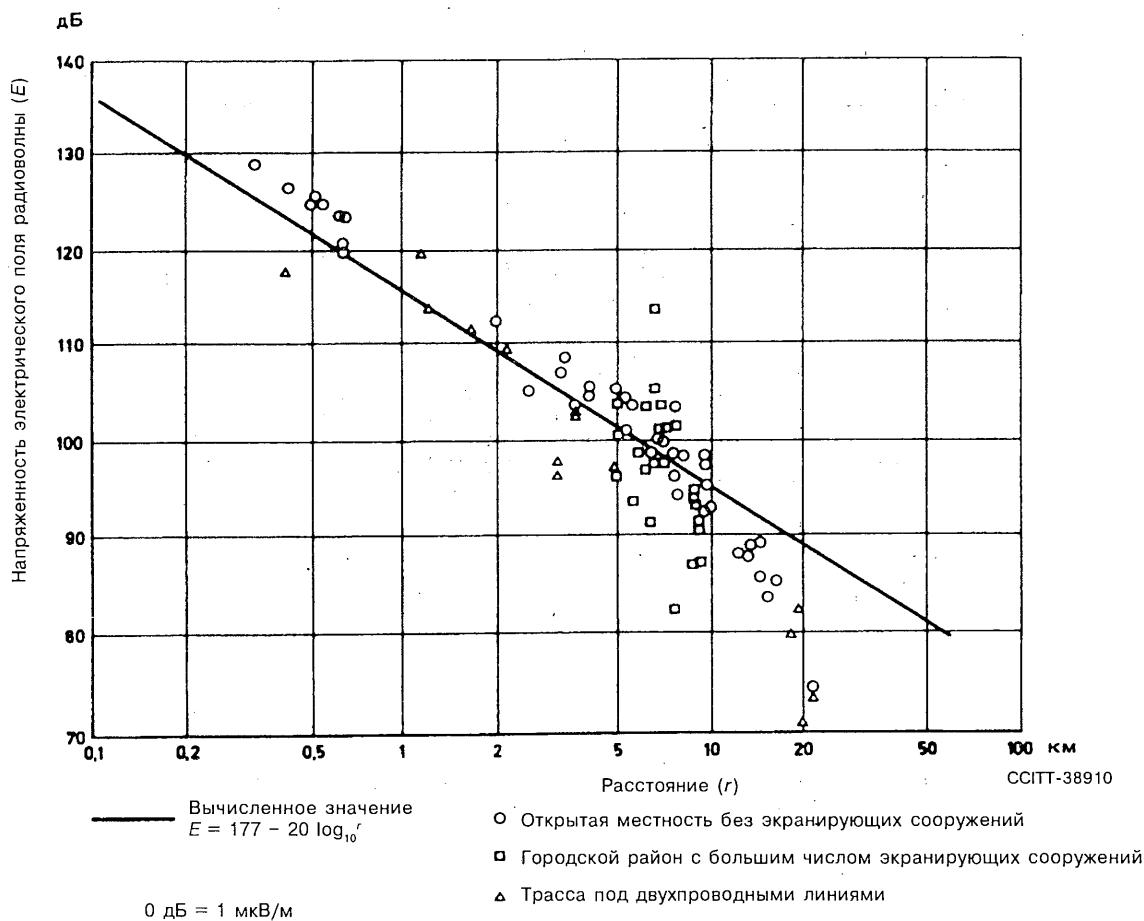


РИСУНОК D-1/К.18

Напряженность электрического поля радиоволны в зависимости  
от расстояния до радиостанции

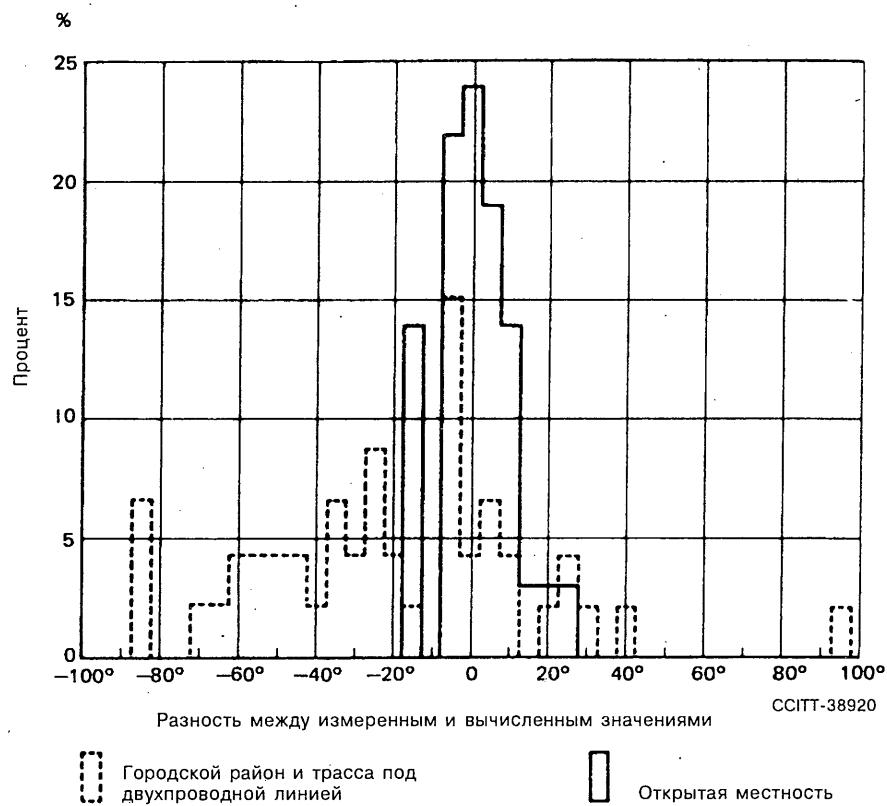


РИСУНОК D-2/К.18

Гистограмма разности между измеренным и вычисленным значениями  
угла падения радиоволны на линию электросвязи

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

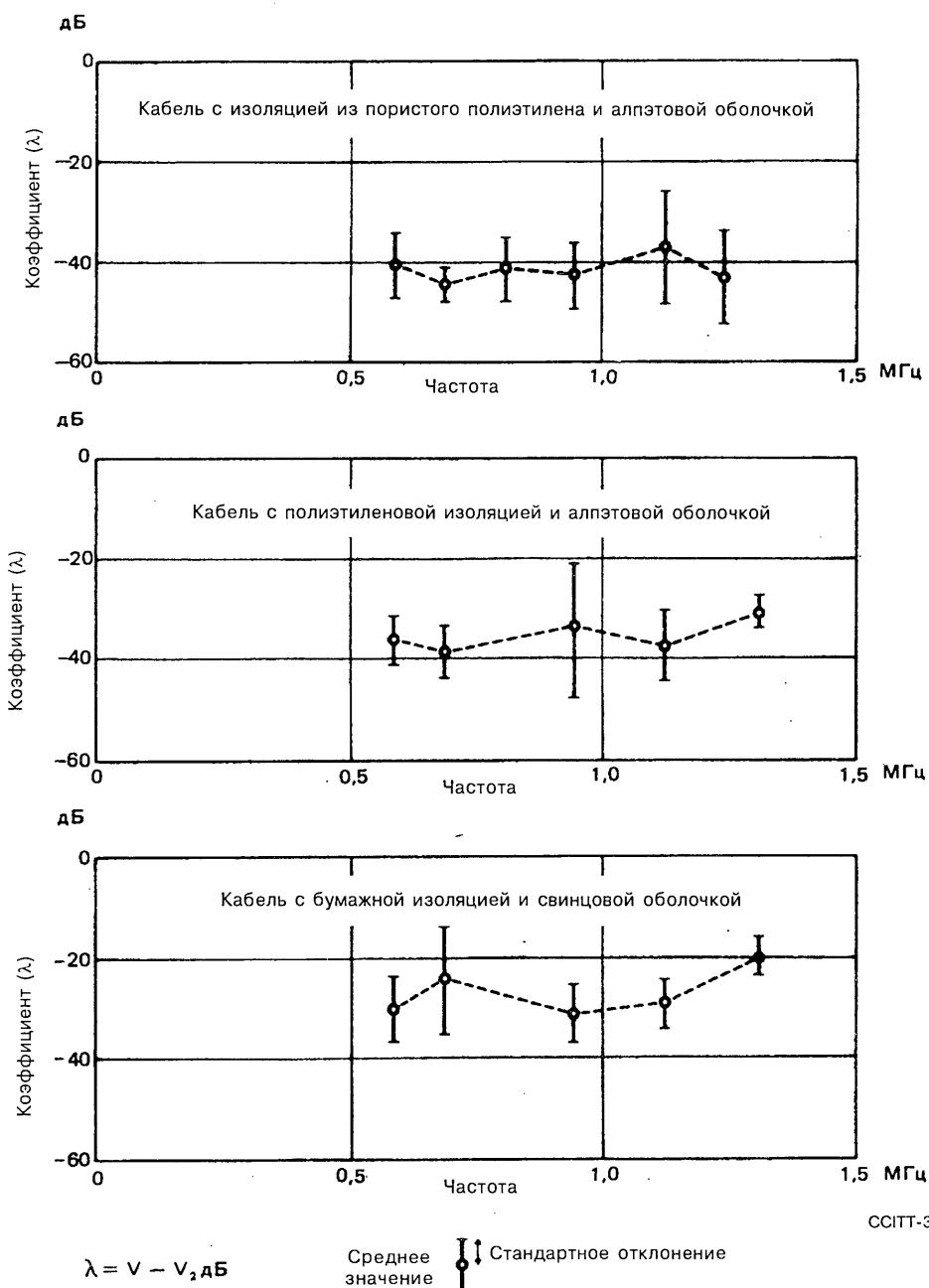
(к Рекомендации К.18)

**Примеры коэффициента  $\lambda$ , устанавливающего соотношение между индуцируемыми продольными и поперечными напряжениями**

(Отчет NTT)

Продольные и поперечные напряжения (шумы), индуцируемые радиоволной на подвесных кабелях, были измерены в полевых условиях.

На рис. Е-1/К.18 показаны примеры  $\lambda$ , полученные по результатам измерений продольного напряжения  $V_2$  и поперечного напряжения  $V$  ( $\lambda = V - V_2$  дБ).



CCITT-38930

РИСУНОК Е-1/К.18

Примеры коэффициента  $\lambda$

**ПРИЛОЖЕНИЕ F**

(к Рекомендации К.18)

**Примеры радиопомех и мер защиты в разных странах**

(Составлено на основе отчета специального докладчика  
Исследовательской комиссии V в 1978 году)

Примеры индуцированных радиопомех в системах электросвязи и некоторые меры защиты сведены в таблицу F-1/К.18.

Установлено, что радиопомехи редко наводятся в загрунтованных или подземных цепях и кабелях.

ТАБЛИЦА F-1/К.18

## Индукционные радиопомехи и меры защиты

Тип цепи	Характеристики радиостанции		Напряженность электрического поля в зоне влияния	Вид линии электросвязи, подверженной влиянию	Помехи	Меры защиты
	частота	мощность				
Цепь тональной частоты	НЧ СЧ (главным образом радиовещание)	Несколько десятков кВт	До 5 км от радиостанции (несколько В/м)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Подвесной кабель (с пластмассовой оболочкой, с металлическим экраном и без экрана, со свинцовой оболочкой)</li> <li>- Воздушная линия</li> </ul>	Демодулированный внешний шум от программы радиовещания, иногда невнятный шум	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Включение конденсаторов (на входных клеммах телефонного аппарата)</li> <li>- Замена на кабель с металлическим экраном</li> <li>- Экранирование линейного ввода</li> <li>- Включение в цепь запирающей катушки</li> </ul>
Цепь высокой частоты, например высокочастотной связи	НЧ СЧ (главным образом СЧ)	Несколько кВт	<ul style="list-style-type: none"> <li>- До нескольких десятков км</li> <li>- В случае абонентской ВЧ системы помехи были зарегистрированы до расстояния приблизительно 1000 км (0,03–1,8 В/м)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Главным образом подвесной кабель с металлическим экраном (симметричная пара, коаксиальная пара)</li> <li>- Кабельная проводка в здании (между аппаратурой уплотнения и антенной, между ступенями демодуляции)</li> <li>- Воздушная линия</li> </ul>	Одиночный тон или невнятный шум в демодулированном телефонном канале (ухудшение отношения сигнал-шум в системе передачи)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Улучшение коэффициента экранирования кабеля, кабельной проводки и т. д.</li> <li>- Улучшение заземления оболочки кабеля, промежуточного усилителя, оконечной аппаратуры и т. п.</li> <li>- Переход на кабели, укладываемые в грунт, или на подземные кабели</li> <li>- Выбор другого маршрута трассы кабеля</li> <li>- Повышение уровня сигнала, уменьшение длины усилительного участка</li> <li>- Компенсация асимметрии полной проводимости жил цепи относительно земли</li> <li>- Дополнительное включение компандера на конце канала передачи по воздушному кабелю</li> <li>- Установка дроссельной катушки с достаточной симметрией относительно канала передачи</li> </ul>
Радиочастотный нагрев	СЧ (радиовещание)	-	В непосредственной близости от антенны радиостанции	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Воздушная линия</li> <li>- Линейный ввод</li> </ul>	Прожоги от воздействия радиочастот	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Включение конденсаторов между жилами и заземлением</li> </ul>

## ПРИЛОЖЕНИЕ G

(к Рекомендации К.18)

### Радиопомехи в промежуточных усилительных пунктах системы передачи по коаксиальному кабелю и меры защиты

#### G.1 Подверженные влиянию системы передачи и помехи

В промежуточных усилительных пунктах высокочастотных систем передачи на практике наблюдались помехи, обусловленные радиоизлучением.

В тех случаях, когда частота наводимой радиоволны попадает в частотную полосу передачи, она вызывает появление одиночного тона или невнятного шума в демодулированном телефонном кабеле. Причиной помех в промежуточных усилительных пунктах являются индуцированные токи во внешних проводниках или экранах коаксиальных кабелей.

Частоты радиопомех в основном являются средними (СЧ) и высокими (ВЧ) (порядка 1—15 МГц).

#### G.2 Напряженность электрического поля

Радиопомехи возникают при напряженности электрического поля, превышающей 100 дБмкВ/м снаружи или 80 дБмкВ/м внутри здания усилительного пункта.

Степень вносимого зданием затухания зависит от типа используемого строительного материала. Например, для железобетонного здания затухание может составлять 20—30 дБ на частоте 1—15 МГц.

Электрическое поле внутри здания не является однородным; наблюдались значительные изменения его напряженности (около 20—30 дБ).

#### G.3 Меры защиты

Одной из наиболее эффективных мер защиты является улучшение экранирующих свойств коаксиальных кабелей. Коэффициент экранирования коаксиального кабеля зависит от его сопротивления связи ( $Z_t$ ), поэтому целесообразно выбирать коаксиальные кабели с более низким сопротивлением связи. Например, используются микрокоаксиальные кабели с ферромагнитным экраном ( $Z_t \approx 0,01$  мОм/м на 1 МГц) и трехплеточные (экранированные) коаксиальные кабели ( $Z_t \approx 0,1$  мОм/м на 1 МГц). Заменой двухплеточного коаксиального кабеля на трехплеточный может быть получено ослабление помехи на 15—20 дБ.

Хорошие результаты дает также применение соединения с низким сопротивлением связи между станционным кабелем и аппаратурой, а также обеспечение эффективных заземляющих устройств на промежуточных усилительных пунктах.

#### Ссылки

- [1] SATO, T., NAKAHIRA, M., KOJIMA, N. Radio wave interference in overhead communication cables, *Proceedings of the 22nd IWCS*, 1973.
- [2] SCHULTZ, E., VOGEL, W. Beeinflussung von Tragerfrequenz-Nachrichtensystemen durch hochfrequente Beeinflussungsquellen, *ETZ-A*, Bd. 85, H. 20, 1964.

СОВМЕСТНАЯ ПРОКЛАДКА КАБЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ  
И СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ В ТРАНШЕЯХ И ТУННЕЛЯХ

(Женева, 1980 г.)

1      Общие положения

Совместная прокладка кабелей электросвязи и силовых кабелей в траншеях и туннелях при благоприятных условиях может иметь следующие преимущества:

- снижение общих затрат;
- более рациональное использование доступной площади для подземных сооружений;
- сокращение объема дорожно-ремонтных работ и, как следствие, сокращение задержек транспорта;
- более точно выполняемое разделение силовых кабелей и кабелей электросвязи.

2      Электрическая безопасность

Если силовые кабели и кабели электросвязи трудно отличить друг от друга, необходимо их четко маркировать.

Силовые кабели следует, как правило, прокладывать в земле глубже, чем кабели электросвязи.

Силовые кабели и кабели электросвязи должны располагаться на надлежащем расстоянии друг от друга в зависимости от:

- a) напряжения силового кабеля;
- b) типа силового кабеля;
- c) типа кабеля электросвязи;
- d) вида изоляционного материала, разделяющего кабели.

Минимальное расстояние часто оговаривается в национальных стандартах.

Национальные стандарты могут допускать меньшие расстояния при следующих условиях:

- силовой трехфазный кабель с общей оболочкой в качестве нейтрали имеет низкое напряжение, а кабель электросвязи имеет заземленную броню;
- кабели разделены бетонными перегородками или аналогичными материалами.

Для безопасности персонала, занятого земляными работами, высоковольтные силовые кабели должны иметь надежные защитные ограждения, выполненные из подходящих материалов (кирпич, бетон и т. д.).

3      Электромагнитное влияние

Во избежание чрезмерно большой опасности повреждений и помех в кабелях электросвязи от влияния силовых кабелей необходимо соблюдать указания *Директивы*. Такие последствия можно особенно ожидать, когда:

- a) силовой кабель является частью сети с глухозаземленной нейтралью;
- b) все три фазовых провода силовой линии являются отдельными кабелями (например, силовая линия с тремя отдельными однофазными кабелями);
- c) токи в силовых линиях содержат большое число гармоник.

Опасность и помехи отсутствуют, если:

- силовой кабель работает в нормальном режиме эксплуатации, а в случае трех отдельных однофазных кабелей они должны образом расположены и транспонированы;
- длина параллельного участка сближения сравнительно невелика (например, несколько сотен метров).

Правильное расположение и транспозиция фазовых проводов сети силовых кабелей позволяют эффективно снизить электромагнитное влияние.

Другие металлические проводники в туннеле (например, трубопроводы, железобетонная арматура) обычно снижают индуцируемые продольные напряжения. Величина их коэффициента экранирования в значительной степени зависит от расположения различных устройств в туннеле и от конструкции самого туннеля и, следовательно, может быть определена только для каждого конкретного случая.

## 4      Другие опасности

При совместной прокладке в траншеях и туннелях может возрасти опасность проведения работ для персонала электросвязи вследствие:

- повреждения силовых кабелей при земляных работах;
- трудностей подхода и проблем изоляции при работе внутри туннелей;
- взрывов при утечке газа из труб газопровода, если они проложены в том же туннеле;
- скопления в туннелях вредных газов.

Соответствующие меры по обеспечению безопасности во избежание несчастных случаев должны включаться в соглашение о совместном проведении работ.

## 5      Практические ограничения

Успешное совместное использование траншей и туннелей требует скоординированных действий всех заинтересованных сторон. Должны быть точно определены обязанности и ответственность каждой стороны. Для преодоления трудностей, вызванных дефицитом площади при прокладке кабелей под землей, и облегчения последующего технического обслуживания могут потребоваться специальные меры; они должны согласовываться до начала совместных строительных работ.

### Рекомендация К.20

#### СТОЙКОСТЬ КОММУТАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ К ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯМ И ИЗБЫТОЧНЫМ ТОКАМ

(Малага-Торремолинос, 1984 г.)

## 1      Общие положения

Целью настоящей Рекомендации является установление основных методов испытания и критерии стойкости коммутационного оборудования электросвязи к перенапряжениям и избыточным токам. При чтении Рекомендации следует пользоваться руководством МККТТ "Защита линий и оборудования электросвязи от ударов молнии" и Рекомендацией К.11, в которой рассматриваются общие экономические и технические аспекты защиты. Методы испытания могут изменяться с учетом конкретных местных условий и уровня технического развития.

## 2      Область применения

Настоящая Рекомендация относится к оборудованию телефонных станций и подобных центров коммутации электросвязи и рассматривает главным образом условия проведения испытаний в точках подключения двухпроводных абонентских линий. Оборудование, к которому подключены более сложные линии или с большей концентрацией нагрузки (такие как соединительные линии или цепи, включаемые в многоканальную аппаратуру), может быть испытано либо в соответствии с этой Рекомендацией, либо в соответствии с другими Рекомендациями, например К.15 и К.17, по целесообразности.

Данные испытания являются типовыми; хотя они применимы ко всему центру коммутации, допускается проводить эти испытания и на отдельных частях оборудования в ходе их разработки и проектирования. При проведении испытаний необходимо учесть все возможные условия коммутации как в испытываемом блоке, так и в других частях оборудования, которые могут повлиять на результаты испытаний.

## 3      Условия возникновения перенапряжений и избыточных токов

В настоящей Рекомендации рассмотрены следующие виды перенапряжений и избыточных токов:

- импульсные напряжения, возникающие при грозовых разрядах непосредственно в линейных сооружениях или вблизи них (оборудование, удовлетворяющее требованиям этой Рекомендации, не гарантировано от повреждений в результате мощных прямых ударов молнии);
- кратковременные переменные напряжения, возникающие обычно при отказах на соседних линиях электропередачи или электрифицированных железных дорогах;
- напряжения, возникающие при прямом соприкосновении линий электросвязи с линиями электропередачи, обычно низковольтные.

Общепризнанным является тот факт, что при некоторых обстоятельствах могут возникнуть проблемы, если перенапряжения или избыточные токи появляются одновременно на ряде линий и вызывают большие токи в общей проводке или общих устройствах. Такие условия в настоящей Рекомендации не рассматриваются. Не рассматриваются также вопросы увеличения потенциала земли, которые в настоящее время изучаются МККТТ.

#### 4 Уровни стойкости оборудования

4.1 Рассматриваются только два уровня стойкости: низкий уровень, приемлемый для районов, не подверженных влияниям, в которых возникающие напряжения и токи малы, и высокий уровень для районов, более подверженных влияниям. Принимается во внимание, что в районах, более подверженных влияниям, снаружи коммутационного оборудования в главных щитах переключений (ГЩП) или других местах может быть установлена защита.

4.2 Экстремальные условия не рассматриваются. В хорошо защищенных от влияний районах оборудование с меньшей стойкостью, чем определенная в Рекомендации, может работать удовлетворительно. С другой стороны, в районах, подверженных исключительно сильным влияниям, может потребоваться оборудование даже с более высокой стойкостью, чем определенная в Рекомендации. В равной степени возможны и другие сочетания стойкости оборудования и внешней защиты. Например, некоторые виды оборудования могут потребовать защиты даже в районах, не подверженных влияниям, а другое оборудование может работать удовлетворительно без внешней защиты в районах, подверженных влияниям. Хотя в этой Рекомендации описаны только две категории стойкости, они охватывают большую часть современных потребностей.

4.3 Администрациям предлагается самим классифицировать местные условия размещения конкретного центра коммутации, принимая во внимание коммерческую политику, экономические и технические соображения. Рекомендация К.11 содержит полезную информацию для принятия решения.

4.4 Условия испытаний и испытательные напряжения, указанные в таблице 1/К.20, отражают те условия, которые предположительно будут иметь место на линиях в районах, не подверженных влияниям.

4.5 Условия испытаний и испытательные напряжения, указанные в таблице 2/К.20, воспроизводят условия влияния на оборудование с устройствами защиты, установленными в ГЩП, в районах, подверженных влияниям, и представляют собой дополнительные требования обеспечения совместимости с внешней защитой и нормального функционирования в районах с еще более тяжелыми условиями. На линиях вполне могут возникнуть более высокие напряжения, но, поскольку действует защита ГЩП, их влияние на оборудование слабее.

4.6 Оборудование, удовлетворяющее требованиям для районов, подверженных влияниям, может применяться в любых условиях; оборудование, удовлетворяющее только требованиям для районов, не подверженных влияниям, должно применяться исключительно в этих районах.

#### 5 Граница станционного оборудования

Многообразие типов оборудования вынуждает рассматривать каждую станцию в виде "черного ящика" с тремя зажимами: А, В и Е (земля). Может оказаться, что некоторые защитные устройства уже установлены в оборудовании, размещены на его линейных платах и т. д. или подключены к оконечным зажимам оборудования. Для проведения испытаний требуется, чтобы изготовители определили границы "черного ящика", при этом любое защитное устройство, установленное в оборудовании, должно рассматриваться как неотъемлемая часть данной станции.

#### 6 Условия испытаний

Следующие условия относятся ко всем испытаниям, определенным в § 8.

6.1 Все испытания являются типовыми.

6.2 Входные зажимы, на которых следует проводить испытания оборудования, должны быть определены изготовителем и обозначены как А, В и Е.

6.3 Оборудование должно быть испытано в каждом рабочем режиме, имеющем значительную продолжительность.

6.4 Оборудование должно выдерживать испытания, указанные в § 8, во всем предполагаемом эксплуатационном диапазоне температур и влажности.

6.5 При проведении испытаний оборудования, предназначенного для работы в районах, подверженных влияниям, необходимо иметь в виду, что в настоящее время обычно принято защищать абонентские линии в ГЩП с помощью устройств защиты от перенапряжений, таких как газонаполненные разрядники. Ввиду того что, по всей вероятности, в большинстве случаев такие устройства будут необходимы для отвода больших импульсных токов и что работа этих устройств защиты подвергает коммутационное оборудование станции дополнительным воздействиям, характеристики подлежащих применению внешних защитных устройств должны быть согласованы между поставщиком оборудования и Администрацией. Устройства защиты, имеющие характеристики в пределах согласованного диапазона, должны применяться в случаях, указанных в таблице 2/К.20. После завершения каждой серии испытаний может быть установлен новый блок устройств защиты. С другой стороны, некоторые администрации могут принять решение не включать внешние устройства защиты, а изменять подаваемые напряжения и их длительность таким образом, чтобы условия испытаний оборудования остались такими же, каких следует разумно ожидать при испытаниях в соответствии с таблицей 2/К.20.

6.6 Во всех случаях, когда задано максимальное значение напряжения, испытания должны проводиться и при более низких напряжениях, если это необходимо для подтверждения того, что оборудование будет выдерживать любое напряжение вплоть до установленного максимального значения.

6.7 Каждое испытание должно быть проведено столько раз, сколько указано в соответствующей таблице. Между отдельными подачами напряжения должен быть соблюден интервал времени в 1 мин, а в случае импульсных испытаний должна меняться полярность последовательных импульсов.

6.8 Испытания на влияние линий электропередачи и соприкосновения с проводами электросети должны проводиться на частоте сети переменного тока или электрифицированных железных дорог, которая используется в данной стране.

## 7 Допустимое нарушение нормальной работы или повреждение

Различают два уровня нарушений нормальной работы или повреждений.

*Критерий А.* Оборудование должно выдерживать испытание без повреждений или других нарушений нормальной работы (как, например, искажения программного обеспечения или неправильная работа устройств защиты от отказов) и должно работать, как обычно, в установленных пределах после испытания. (Не требуется, чтобы оборудование правильно работало во время проведения испытания.) Если имеется специальное разрешение Администрации, то испытание может привести к срабатыванию плавких предохранителей или других устройств, которые подлежат замене или установке в исходное состояние перед возобновлением нормальной работы оборудования.

*Критерий В.* В результате испытаний не должно возникать опасности загорания оборудования. Любое повреждение или постоянное нарушение нормальной работы не должны выходить за пределы небольшого числа схем интерфейса внешней линии.

Считается, что условия испытаний, которые могут привести к применению критерия В, в действительности возникают настолько редко, что полная защита от них является экономически нецелесообразной.

## 8 Испытания

### 8.1 Общие положения

Для трех ситуаций возникновения перенапряжений и избыточных токов используются следующие испытательные схемы:

- рис. 1/К.20: грозовые разряды;
- рис. 2/К.20: влияние линий электропередачи;
- рис. 3/К.20, соприкосновение с проводами электросети.

*Примечание.* — В приложении А к настоящей Рекомендации приведены некоторые соображения, которые поясняют предлагаемые испытания. Реакция оборудования на действие грозовых импульсов зависит от величины его входного сопротивления. Для объяснения этой зависимости в приложении А приведен пример, в котором для ясности входному сопротивлению присвоены такие значения, при которых возможно сравнение мгновенных значений напряжения в различных точках схемы. Эти значения входного сопротивления приведены лишь для примера и не входят в настоящую Рекомендацию.

### 8.2 Районы, не подверженные влияниям

Испытание оборудования, предназначенного для использования в районах, не подверженных влияниям, без внешней защиты, должно проводиться в соответствии с таблицей 1/К.20.

### 8.3 Районы, подверженные влияниям

Оборудование, предназначенное для использования в районах, подверженных влияниям, должно выдерживать испытания, указанные в таблицах 1/К.20 и 2/К.20.

ТАБЛИЦА 1/К.20

Условия испытаний и испытательные напряжения для районов, не подверженных влияниям

№	Испытание	Зажимы	Схема испытания	Максимальное значение испытательного напряжения и его длительность	Число испытаний	Приемочный критерий
1	Грозовые разряды (моделирование)	A и E, В заземлен	Рис. 1a)/К.20	$U_{c(max)} = 1 \text{ кВ}$ См. примечание 1	10	§ 7, Критерий А
		B и E, A заземлен	Рис. 1a)/К.20	$U_{c(max)} = 1 \text{ кВ}$ См. примечание 1	10	
		A + B и E	Рис. 1b)/К.20	$U_{c(max)} = 1 \text{ кВ}$ См. примечание 1	10	
2	Влияние линий электропередачи	A + B и E	Рис. 2/К.20  $R_1 = R_2 = 600 \Omega$ $S_2$ в положении "выключено". Испытания проводятся при $S_1$ в положениях "включено" и "выключено"	$U_{ac(max)} = 300 \text{ В}_{\text{эфф}}$ 200 мс См. примечание 2	5 для каждого положения $S_1$	§ 7, Критерий А
3	Соприкосновение с проводами электросети	A + B и E	Рис. 3/К.20  Испытания проводятся для каждого положения $S$ . См. примечание 3	$U_{ac(max)} = 220 \text{ В}_{\text{эфф}}$ 15 мин См. примечание 2	1 для каждого положения $S$	§ 7, Критерий В

Примечание 1. — Администрации могут выбрать меньшее значение  $U_{c(max)}$ .

Примечание 2. — Администрации могут выбрать меньшее значение  $U_{ac(max)}$  и могут изменить продолжительность испытания в соответствии с местными требованиями (например, напряжением местной распределительной сети).

Примечание. — Во время этих испытаний в схеме могут быть оставлены термические катушки, плавкие предохранители, кабели с плавкими вставками и т. д.

ТАБЛИЦА 2/К.20

Условия испытаний и испытательные напряжения для районов, подверженных влияниям.

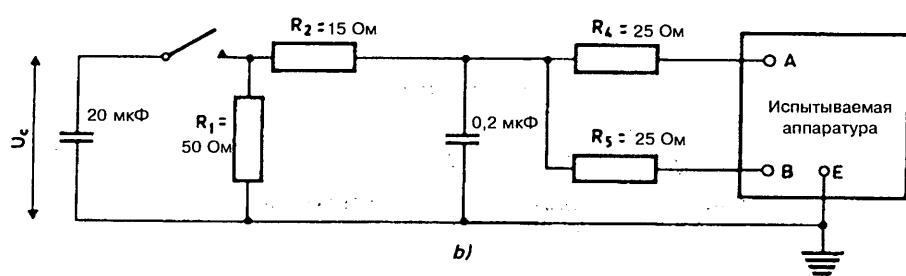
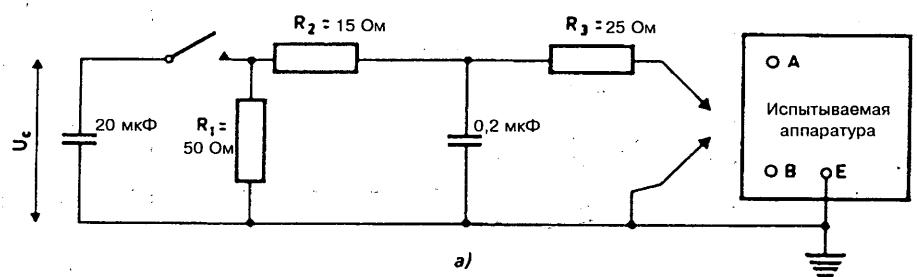
№	Испытание	Зажимы	Схема испытания	Максимальное значение испытательного напряжения и его длительность	Число испытаний	Дополнительная защита (см. § 6.5)	Приемочный критерий
1	Грозовые разряды (моделирование)	А и Е, В заземлен	Рис. 1а)/К.20	$U_{c(max)} = 1 \text{ кВ}$ См. примечание 1	10	Нет	§ 7, Критерий А
		В и Е, А заземлен	Рис. 1а)/К.20	$U_{c(max)} = 1 \text{ кВ}$ См. примечание 1	10	Нет	
		А + В и Е	Рис. 1б)/К.20	$U_{c(max)} = 1 \text{ кВ}$ См. примечание 1	10	Нет	
2	Грозовые разряды (моделирование)	А и Е, В заземлен	Рис. 1б)/К.20	$U_{c(max)} = 4 \text{ кВ}$ См. примечание 2	10	Согласованная первичная защита	§ 7, Критерий А
		В и Е, А заземлен	Рис. 1а)/К.20	$U_{c(max)} = 4 \text{ кВ}$ См. примечание 2	10	Согласованная первичная защита	
		А + В и Е	Рис. 1б)/К.20	$U_{c(max)} = 4 \text{ кВ}$ См. примечание 2	10	Согласованная первичная защита	
3(а)	Влияние линий электропередачи	А + В и Е	Рис. 2/К.20 $R_1 = R_2 = 600 \Omega$ $S_2$ в положении "включено"	$U_{ac(max)} = 300 \text{ В}_{\text{эфф}}$ 200 мс См. примечание 3	5	Согласованная первичная защита	§ 7, Критерий А
3(б)	Влияние линий электропередачи	А + В и Е	Рис. 2/К.20 $R_1 = R_2 = 600 \Omega$ $S_2$ в положении "включено"	См. примечание 4	1	Согласованная первичная защита	§ 7, Критерий В

*Примечание 1.* — Если максимальное значение динамического (импульсивного) напряжения пробоя согласованной первичной защиты меньше 1 кВ, то администрации могут выбрать меньшее значение  $U_{c(max)}$ .

*Примечание 2.* — Администрации могут изменять  $U_{c(max)}$  в соответствии с местными требованиями.

*Примечание 3.* — Администрации могут выбрать меньшее значение  $U_{ac}$  и изменить продолжительность испытания.

*Примечание 4.* — Значения испытательных напряжений и их длительности должны соответствовать *Директивам МККТТ* или таким другим требованиям, которые могут установить сами администрации.



CCITT-57252

РИСУНОК 1/К.20

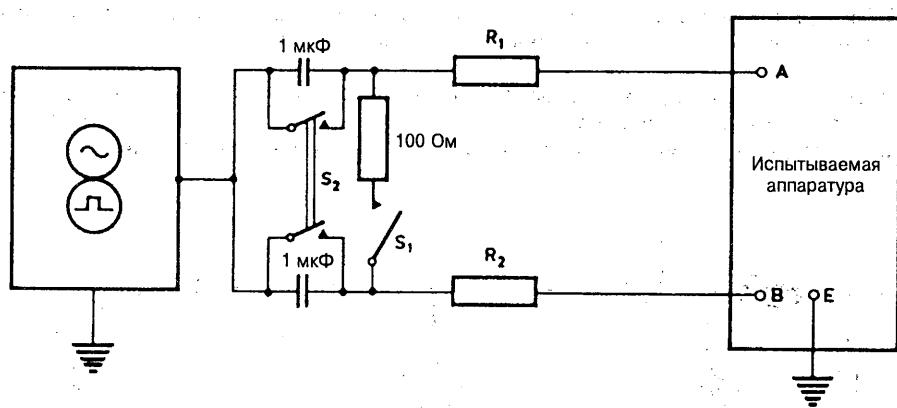


РИСУНОК 2/К.20

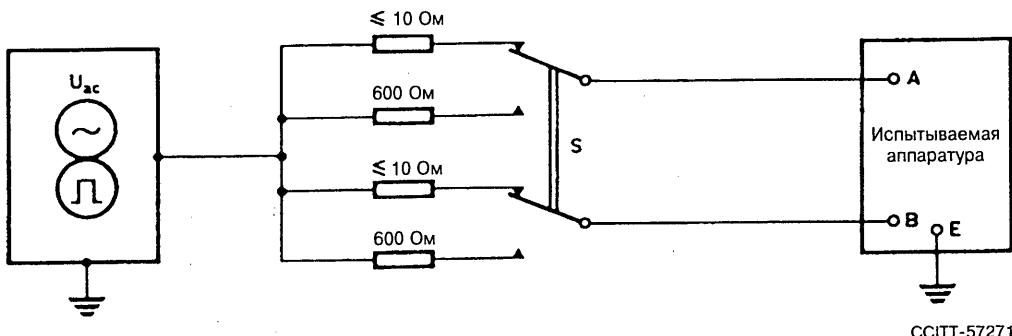


РИСУНОК 3/К.20

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(к Рекомендации К.20)

### Пояснения условий проведения испытаний

#### A.1 Грозовые разряды

##### A.1.1 Работа схемы моделирования

На рис. А-1/К.20 показан испытательный генератор (см. рис. 1/К.20), который подключен к стационарной цепи с первичной защитой, установленной в ГЩП, и вторичной защитой — самом стационарном оборудовании. За исключением испытательного генератора, взятого из рис. 1/К.20, как схема цепи, так и все параметры элементов выбраны лишь с целью пояснения работы схемы испытания, и они не предлагаются в качестве рекомендаций для практического применения.

На рис. А-2/К.20 показана кривая зависимости напряжений и токов, возникающих в различных точках схемы на рис. А-1/К.20 при постепенном увеличении зарядного напряжения  $U_c$ .

При  $U_c = 0$ —300 В ток протекает только через сопротивление 100 Ом в оборудовании.

При  $U_c = 300$  В срабатывает вторичная защита и ток  $I_E$  увеличивается быстрее.

При  $U_c = 2385$  В напряжение  $U$  на устройствах первичной защиты в рассматриваемом примере достигает значения  $U_s = 700$  В, а ток  $I_E$  достигает своего максимального значения 3 А.

Первичная защита срабатывает при  $U_c = 2385$  В, и после этого общий ток возрастает значительно быстрее, достигая 100 А при  $U_c = 4$  кВ. Несмотря на это, напряжение  $U$  падает до низкой величины, а ток  $I_E$ , протекающий в оборудовании, уменьшается до очень малого значения и становится практически независимым от  $U_c$ .

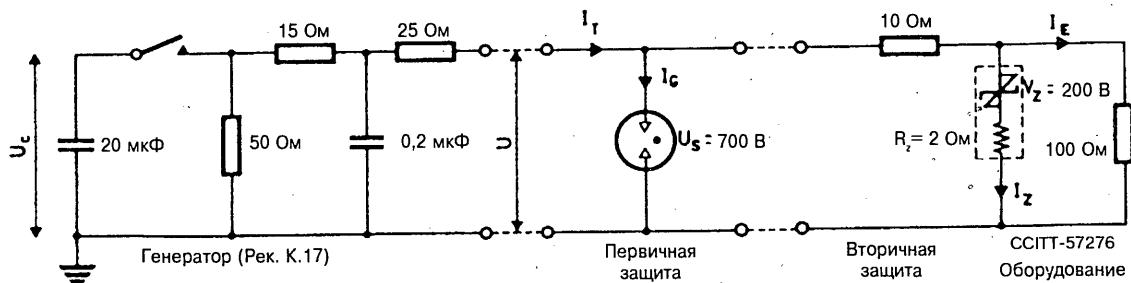
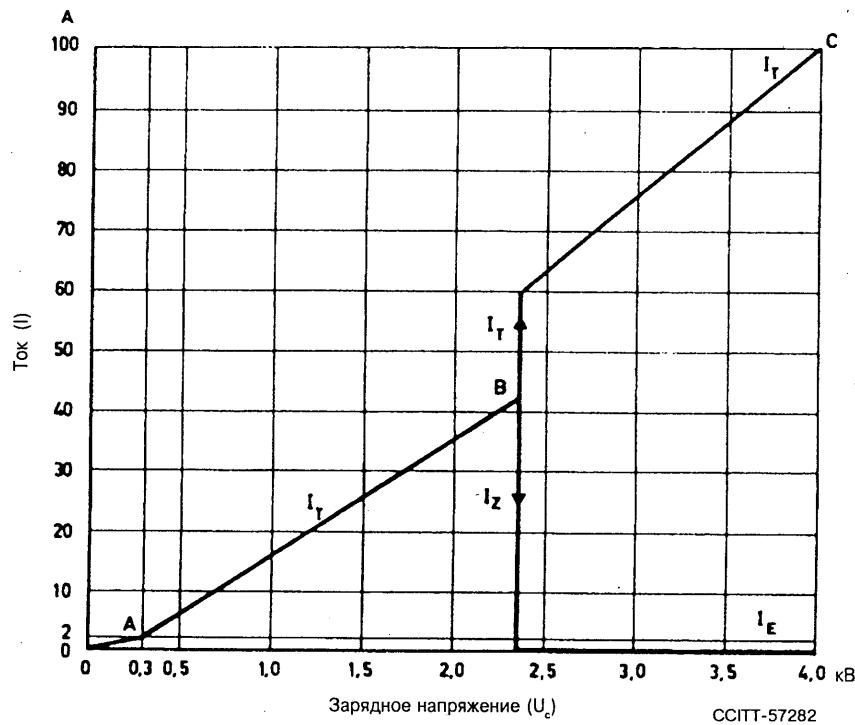


РИСУНОК А-1/К.20



ССИТ-57282

Значение напряжений и токов на кривой:

Точка кривой	$U_c$	$U$	$I_T$	$I_G$	$I_Z$	$I_E$
	(B)	(A)				
A : Срабатывание вторичной защиты	300	200	2	0	0	2
B : Перед пробоем газонаполненного разрядника	2385	700	42	0	39	3
B : После пробоя газонаполненного разрядника	2385	30	59	59	0	0.3
C : Максимальное значение $U_c$	4000	30	100	100	0	0.3

РИСУНОК А-2/К.20

#### A.1.2 Действие устройств защиты

Срабатывание первичной защиты при  $U = U_s$  приводит к следующим двум результатам:

- оно ограничивает максимальное значение напряжения, приложенного к оборудованию, и, следовательно, в зависимости от его внутреннего сопротивления ограничивает максимальное значение тока, который должно выдерживать оборудование;
- оно вызывает очень быстрое изменение  $U$  и  $I$ , которые вследствие индуктивных или емкостных связей могут попасть в те чувствительные части коммутационного оборудования станции, которые не подвержены непосредственному воздействию напряжений, возникающих на линии.

По этим причинам важно, чтобы администрации и поставщики оборудования договорились о первичной защите, которая должна применяться, а потребитель оборудования обеспечил или смоделировал эту защиту во время испытаний. При проведении испытаний необходимо учитывать допуски на элементы первичной защиты.

#### A.2 Влияние линий электропередачи

Индуктированные напряжения наиболее вероятны на длинных линиях, и в общем случае, когда абонентские линии не имеют низкоомных заземлений, можно считать, что источник индуцируемых напряжений имеет высокое входное сопротивление, состоящее из активного сопротивления провода 600 Ом, включенного последовательно с емкостью линии по отношению к земле 1 мкФ, как показано на рис. А-3/К.20. Испытания 3(а)

и 3(b) в таблице 2/К.20 представляют типичные требования соответственно к длинным и коротким линиям, но они необязательно воспроизводят предельные условия. Газонаполненные разрядники, показанные на рис. А-3/К.20, имеются только на линиях, подверженных влияниям. На рис. 2/К.20 работа таких разрядников имитируется переключателем  $S_2$ , а телефонного аппарата — переключателем  $S_1$ .

Директивы МККТТ допускают предельное значение 430 В для индуцированных напряжений в линиях электросвязи от обычных линий электропередачи и 650 В — от ЛЭП высокой надежности, однако большинство администраций полагают, что индуцированные напряжения в линиях электросвязи будут ниже 300 В, за исключением линий, проложенных в районах, подверженных влияниям.

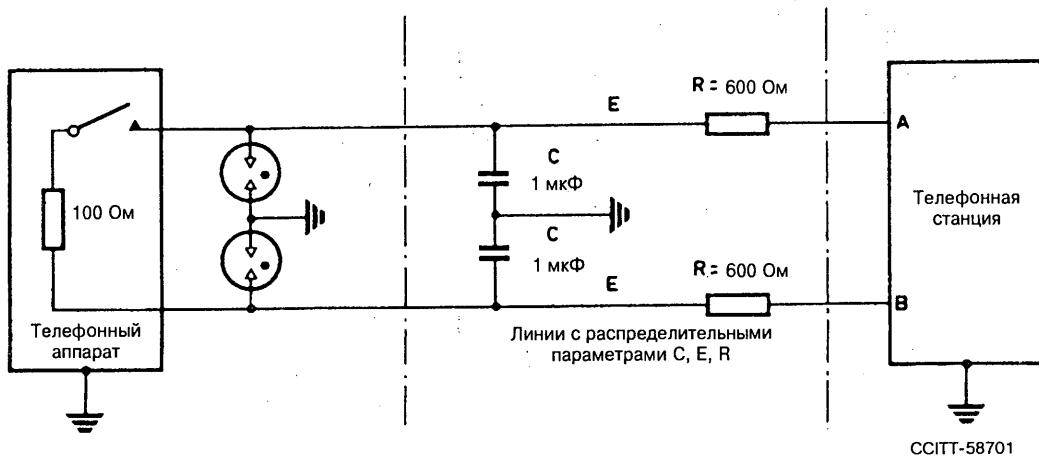


РИСУНОК А-3/К.20

### A.3 Соприкосновение с проводами электросети

Прямое соприкосновение с электрической распределительной сетью может произойти вследствие повреждений проводов или кабелей, применения неисправного или непредусмотренного абонентского оборудования, а также по другим причинам. Соприкосновение может и не привести к срабатыванию автоматических выключателей электрической системы. Защита от переменных токов, возникающих в результате прямого соприкосновения, может оказаться дорогой и сложной. Поскольку такие случаи крайне редки, то не требуется, чтобы оборудование полностью выдерживало опасные напряжения и токи, возникающие при соприкосновениях, но оно может повреждаться в допустимой степени.

Особую опасность для оборудования представляют следующие два случая:

- соприкосновение вблизи станции, когда общее сопротивление кабельной цепи и станционной нагрузки мало и протекает большой ток. Эта ситуация имитируется испытанием, показанным на рис. А-4/К.20, при подаче напряжения 220 В через сопротивление 10 Ом;
- соприкосновение на максимальном расстоянии от станции, когда общее сопротивление кабельной цепи и станционной нагрузки велико и длительно протекает небольшой, но опасный ток. Эта ситуация имитируется испытанием, показанным на рис. А-4/К.20, при подаче напряжения 220 В через сопротивление 600 Ом.

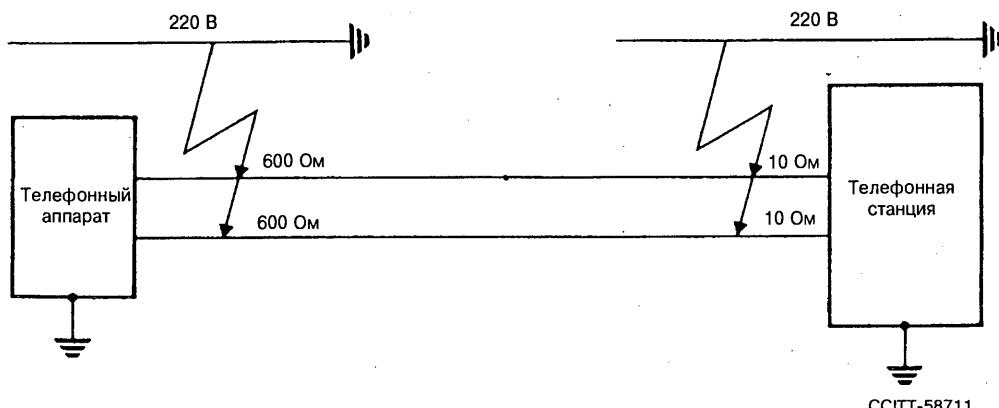


РИСУНОК А-4/К.20

СТОЙКОСТЬ АБОНЕНТСКИХ ТЕРМИНАЛОВ К ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯМ И  
ИЗБЫТОЧНЫМ ТОКАМ

(Мельбурн, 1988 г.)

**Введение**

Настоящая Рекомендация была разработана Исследовательской комиссией V по срочным требованиям со стороны администраций и изготовителей, которые занимаются эксплуатацией или разработкой абонентского оборудования. Внимание читателей обращается на следующие вопросы, изучение которых МККТТ продолжает в настоящее время:

- увеличение потенциала земли,
- быстрые переходные процессы,
- эксплуатационные испытания изоляционных барьеров между сетевыми зажимами и зажимами электросвязи,
- высокочастотные сетевые импульсные перенапряжения,
- кратковременные перерывы сетевого напряжения.

Настоящая Рекомендация может быть расширена после завершения этих исследований.

**1 Назначение Рекомендации**

При подключении современного оборудования электросвязи к местным абонентским линиям это оборудование может быть повреждено от перенапряжений или избыточных токов, которые возникают в таких линиях при определенных условиях. Вероятность и численное выражение этих условий изменяются под влиянием многих факторов, например географического положения, климата, методов прокладки, экранирующих эффектов. Перенапряжения или избыточные токи, возникающие при электростатических разрядах или перенапряжениях при переходных процессах, которые происходят в источниках питания, работающих от сетевого напряжения, могут также разрушать оборудование или обуславливать его неправильную работу. В настоящей Рекомендации делается попытка определить основные методы испытаний, детали которых могут изменяться в соответствии с конкретными местными условиями и которые помогают прогнозировать вероятность сохранения работоспособности оборудования, когда оно подвергается воздействию таких перенапряжений или избыточных токов.

В своей нынешней форме Рекомендация описывает испытания, которые должны проводиться на оборудовании, подключенном металлическими проводами непосредственно к симметричным двухпроводным линиям. В настоящее время продолжаются исследования, относящиеся к оборудованию, которое подключается к коаксиальным и волоконно-оптическим кабелям.

В данной Рекомендации предполагается, что линейные разрядники подключаются к оборудованию с внешней стороны в районах, подверженных вредным влияниям. Администрации самостоятельно решают вопрос о своей политике в области защиты. При принятии такого решения необходимо следовать указаниям Рекомендации К.11, а также учитывать направления линий к оборудованию помимо учета его местоположения.

**2 Область применения**

В настоящей Рекомендации рассматривается главным образом настольное оборудование. Коммутационное оборудование, питаемое центральной батареей, рассматривается в Рекомендации К.20. Что же касается более сложного оборудования, то администрациям — по необходимости — следует пользоваться либо Рекомендацией К.20, либо Рекомендацией К.21.

Настоящая Рекомендация относится только к типовым испытаниям. Признавая трудности, с которыми связано проведение испытания любого сложного блока абонентского оборудования, Рекомендация сосредоточена на серии испытаний, которые проводятся главным образом на линии электросвязи и на выходных сетевых зажимах. Такие испытания должны применяться на любом выбранном этапе в процессе нормальной эксплуатации рассматриваемого оборудования.

Поскольку оборудование может использоваться в условиях как наличия источников влияния, так и при их отсутствии, испытания проводятся как с включением разрядников, так и без них.

Испытания при перенапряжениях, возникающих при ударе молнии, проводятся в предположении, что может возникнуть электрическое соединение между системой заземления энергосистемы и заземлением оборудования электросвязи. В настоящее время проводится изучение конкретных требований испытаний в тех условиях, когда это невозможно.

Испытания, относящиеся к влиянию линий электропередачи, применяются только к продольным влияниям; в настоящее время продолжается изучение требований испытания поперечных перенапряжений.

Некоторые вопросы роста потенциала земли, который, например, может возникать в результате отказа в системе линий электропередачи, в настоящее время не рассматриваются, но изучение их проводится.

Еще не включены требования, предъявляемые к быстрым переходным процессам, но проводится изучение требований на испытание как линий электросвязи, так и линий энергоснабжения.

В настоящей Рекомендации рассматривается главным образом эксплуатационная надежность оборудования, и хотя с ее помощью можно обеспечить определенный уровень безопасности, одной только ее недостаточно для обеспечения полной защиты пользователя. Должны соблюдаться национальные стандарты безопасности каждой страны, в которой используется оборудование. Кроме того, настоящая Рекомендация не ставит своей целью определить, может ли оборудование создавать вредные влияния на сеть при подключении к ней. Не рассматриваются помехи работе оборудования от низкочастотных индуцируемых напряжений или радиочастотные помехи.

### 3 Условия возникновения перенапряжений и избыточных токов

В настоящей Рекомендации рассматриваются следующие случаи возникновения перенапряжений или избыточных токов:

- перенапряжения, возникающие при прямых или непрямых ударах молнии в линейное сооружение или вблизи него;
- кратковременная индукция напряжений 50/60 Гц от соседних линий электропередачи или электрифицированных железных дорог, как правило, когда на этих линиях или системах имеют место отказы;
- непосредственное соприкосновение линий электросвязи с проводами линий электропередачи, как правило, низковольтными;
- электростатические разряды, создаваемые при прикосновениях пользователя к оборудованию или соседней установке;
- перенапряжения в неустановившемся режиме в источниках сетевого питания оборудования.

### 4 Границы оборудования

Многообразие типов оборудования вынуждает рассматривать каждый блок как "черный ящик", имеющий три или более зажима: А, В и т. д. и Е (земля). Внутри оборудования уже могут быть установлены некоторые защитные устройства, например, либо размещены на платах, либо подключены к внутренним зажимам. Для выполнения этих испытаний ожидается, что изготовители определят границы "черного ящика", и любое защитное устройство, которое при этом включается, должно рассматриваться как неотъемлемая часть оборудования. Когда предусматривается какой-либо дополнительный провод электросвязи, например, удлинительный или предназначенный для заземления сигнализации, следует считать, что эти провода увеличивают число зажимов, подлежащих испытанию, например А, В, С, Д и т. д. и Е (земля).

### 5 Условия испытаний

Для всех испытаний, рассматриваемых в § 7, 8 и 9, за исключением сформулированных в других пунктах, применимы следующие основные условия:

- 1) Все испытания являются типовыми.
- 2) Входные зажимы, на которых следует проводить испытания оборудования, должны быть определены изготовителем и иметь обозначения А, В, С, Д и т. д. и Е (земля).
- 3) Для выполнения испытаний, рассматриваемых только в § 7 и 9, те части оборудования, к которым, по всей вероятности, в процессе эксплуатации будет прикасаться человек, должны иметь предохранительный кожух, соединенный с зажимом Е (земля).
- 4) Оборудование должно испытываться в каждом рабочем режиме, имеющем значительную продолжительность.
- 5) Оборудование должно выдерживать испытания, указанные в § 7 и 9, во всем предполагаемом эксплуатационном диапазоне температур и влажности.
- 6) Некоторые испытания, указанные в таблице 1/К.21, требуют обеспечения дополнительной согласованной защиты. В настоящее время обычно принято защищать абонентские линии, подвергающиеся вредным влияниям, с помощью устройств защиты от перенапряжений, таких как газонаполненные разрядники. Ввиду того что, по всей вероятности, в большинстве случаев такие устройства будут необходимы для отвода больших импульсных токов и что работа этих устройств защиты подвергает абонентское оборудование дополнительным воздействиям, характеристики подлежащих применению внешних защитных устройств должны быть согласованы между поставщиком оборудования и Администрацией. При выполнении испытаний с подключаемой внешней защитой администрации, проводящие включенные в данную Рекомендацию испытания, должны самостоятельно выбирать такие устройства защиты с любыми характеристиками в пределах диапазона, принятого для указанных устройств.

Устройства защиты, имеющие характеристики в пределах согласованного диапазона, должны применяться в случаях, указанных в таблице 1/К.21. Новая группа разрядников может использоваться после завершения каждой серии испытаний. С другой стороны, некоторые администрации могут принять решение не включать внешние устройства защиты, а изменять подаваемые напряжения и их длительность таким образом, чтобы условия испытаний оборудования остались такими же, какие следует разумно ожидать при испытаниях в соответствии с таблицей 1/К.21.

- 7) Во всех случаях, когда задано максимальное значение напряжения, испытания должны проводиться и при низких напряжениях, если это необходимо для подтверждения того, что оборудование будет выдерживать любое напряжение вплоть до установленного максимального значения.
- 8) Каждое испытание должно быть проведено столько раз, сколько указано в таблице 1/К.21. Между отдельными подачами напряжения должен быть соблюден интервал времени в одну минуту, а в случае импульсных испытаний должна меняться полярность последовательных импульсов.
- 9) Испытания на влияние линий электропередачи и соприкосновения с проводами электросети должны проводиться на частоте сети переменного тока или электрифицированных железных дорог, которая используется в данной стране.

## 6 Допустимое нарушение нормальной работы или повреждение

Различают два уровня нарушений нормальной работы или повреждений:

- *Критерий А.* Оборудование должно выдерживать испытание без повреждений или других нарушений нормальной работы, например, без нарушения программного обеспечения или неправильной работы устройств защиты от отказов, и должно работать, как обычно, в установленных пределах после проведения испытания. Не требуется, чтобы оборудование правильно работало во время проведения испытания. Если имеется специальное разрешение Администрации, то испытание может привести к срабатыванию плавких предохранителей или других устройств, которые подлежат замене или установке в исходное состояние перед возобновлением нормальной работы оборудования.
- *Критерий В.* В результате испытаний не должно возникать опасности загорания оборудования. Любое повреждение или постоянное нарушение нормальной работы не должны выходить за пределы небольшого числа схем интерфейса внешней линии.

Считается, что условия испытаний, которые могут привести к применению критерия В, в действительности возникают настолько редко, чтобы полная защита от них была просто экономически нецелесообразной.

## 7 Испытания, связанные с грозовыми разрядами, влиянием линий электропередачи и соприкосновением с проводами электросети

Для трех ситуаций возникновения перенапряжений или избыточных токов используются следующие испытательные схемы:

- рис. 1/К.21: грозовые разряды;
- рис. 2/К.21: влияние линий электропередачи;
- рис. 3/К.21: соприкосновение с проводами электросети.

Испытания оборудования должны проводиться в соответствии с таблицей 1/К.21.

## 8 Испытания, связанные с электростатическими разрядами

Необходимо придерживаться требований публикации 801-2 МЭК [1]. Оборудование должно удовлетворять критерию А настоящей Рекомендации при проведении испытаний в соответствии с уровнями жесткости испытания как 2, так и 4, которые указаны в публикации 801-2 МЭК. Эти два уровня жесткости проведения испытаний были выбраны по той причине, что при уровне 2 время роста значительно меньше, чем при уровне 4. Это малое время роста может привести к установлению связи в чувствительных схемах и потребовать оценки нарушения нормальной работы вследствие искаżenia программного обеспечения, а не просто рассеяния энергии.

Однако, если Администрация сочтет это допустимым, могут использоваться и другие уровни жесткости проведения испытаний. Кроме того, в ограниченной степени Администрация может смягчить условия критерия А.

## 9 Испытания оборудования, питаемого от сети

Рассматриваемые ниже испытания проводятся на оборудовании, которое питается от сети, с тем чтобы гарантировать, что данное оборудование может надлежащим образом выдерживать высоковольтные перенапряжения, которые могут появляться на проводах линий электропередачи вследствие удара молнии или каких-либо других причин, например вследствие переключения нагрузки.

Оборудование должно испытываться при нормальной рабочей мощности и при том, что линия электросвязи должна быть нагружена таким образом, чтобы смоделировать условия каждого состояния работы значительной длительности.

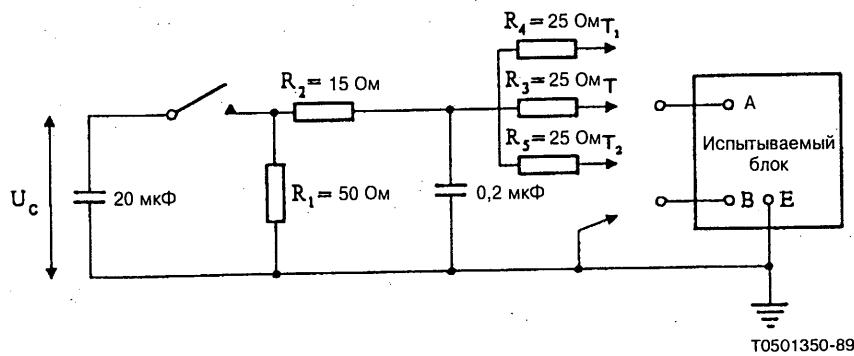


РИСУНОК 1/К.21  
Схема проведения испытаний при грозовом разряде

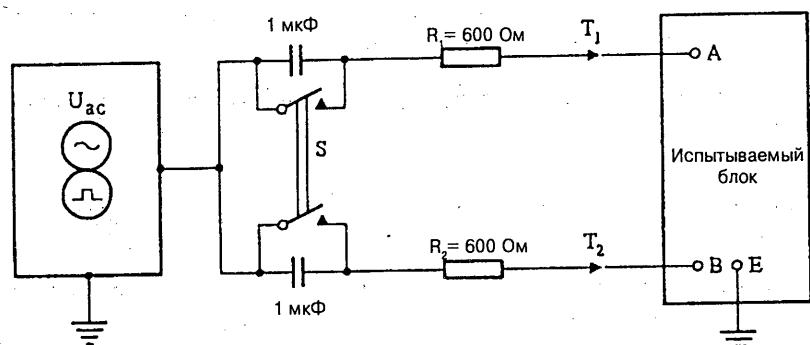


РИСУНОК 2/К.21  
Схема проведения испытаний при влиянии линий электропередачи

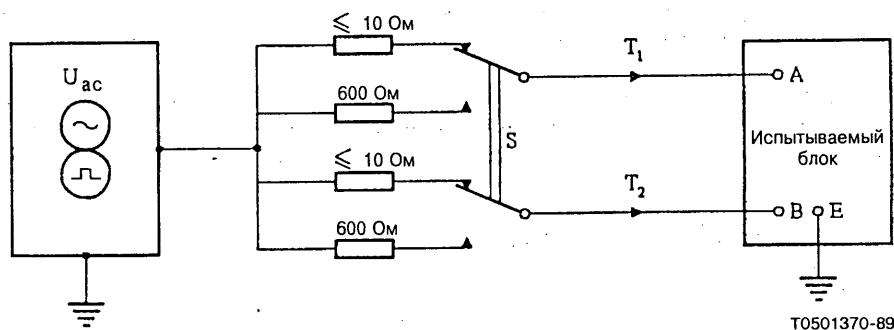


РИСУНОК 3/К.21  
Схема проведения испытания при соприкосновении с проводами электросети

ТАБЛИЦА 1/К.21

№	Испытание	Соединение зажимов	Схема испытаний	Максимальное значение испытательного напряжения и его длительность	Число испытаний	Дополнительная защита [см. 6) § 5]	Критерии приемки (см. § 6)
1	Грозовой разряд (моделирование)	Т и А, В и т. д. поочередно со всеми другими заземленными зажимами оборудования (примечание 1)	Рис. 1/К.21	$U_c = 1,0 \text{ кВ}$ (примечание 2)	10	Не требуется	Критерий А
				$U_c = 4 \text{ кВ}$ (примечание 3)	10	Согласованная первичная защита	Критерий А
		$T_1$ и А $T_2$ и В	Рис. 1/К.21	$U_c = 1,5 \text{ кВ}$ (примечание 2)	10	Не требуется	Критерий А
				$U_c = 4 \text{ кВ}$ (примечание 3)	10	Согласованная первичная защита	Критерий А
2	Влияние линий электропередачи	$T_1$ и А $T_2$ и В	Рис. 2/К.21 S в положении "выключено"	$U_{ac(max)} = 300 \text{ В}_{\text{эфф.}}$ в течение 200 мс (примечание 4)	5	Не требуется	Критерий А
			Рис. 2/К.21 S в положении "включено"	(примечание 5)	1	Согласованная первичная защита	Критерий В
3	Соприкосновение с проводами электросети	$T_1$ и А $T_2$ и В	Рис. 3/К.21 Испытания проводятся при S в каждом положении (примечание 6)	$U_{ac(max)} = 230 \text{ В}_{\text{эфф.}}$ в течение 15 мин (см. примечание 4)	1 для каждого положения S	Не требуется	Критерий В

Примечание 1. — Заземленное соединение может препятствовать установлению нормальных рабочих условий при выполнении испытания. В этих случаях необходимо прибегнуть к альтернативным испытательным процедурам с целью удовлетворять требованиям данного испытания (например, следует использовать низковольтный грозоразрядник или другой вариант схемы заземления).

Примечание 2. — Администрации могут выбирать другие значения  $U_{c(max)}$  в соответствии с местными условиями, например избегать применения разрядников или учитывать динамическое (импульсное) напряжение пробоя разрядников, которые обычно используются.

Примечание 3. — Администрации могут изменять  $U_{c(max)}$  в соответствии с местными требованиями.

Примечание 4. — Администрации могут выбрать меньшее значение  $U_{ac(max)}$  и могут изменить продолжительность испытания в соответствии с местными требованиями (например, напряжением местной распределительной сети).

Примечание 5. — Значения испытательных напряжений и их длительности должны соответствовать Директивам МККТТ или таким другим требованиям, которые могут установить сами администрации.

Примечание 6. — Во время этих испытаний ток, протекающий в кабельной проводке, не должен быть источником опасности загорания в помещениях, где размещается оборудование. В схеме могут быть оставлены плавкие предохранители, кабели с плавкими вставками и т. п.

Оборудование, не соответствующее пункту а), ниже, должно удовлетворять критерию А, указанному в настоящей Рекомендации, если оно испытывается импульсными напряжениями, прикладываемыми между линейными зажимами, нейтральной точкой и защитным заземлением оборудования, в соответствии с пунктом б), ниже.

a) *Координация изоляции*

Публикация 664 МЭК [2] рассматривает категории перенапряжений для оборудования с питанием от сети, включая оборудование электросвязи, с точки зрения перенапряжений, возникающих в сети питания. Большая часть абонентского оборудования, как ожидается, должна быть отнесена к категории перенапряжения 11, в которой максимальное перенапряжение, поступающее на сетевые зажимы оборудования, составляет пиковых 2,5 кВ. Исходя из этого и некоторых других предположений относительно атмосферного загрязнения (например, пыли) и качества изоляции, публикация 664 МЭК дает указания комитетам по стандартам МЭК относительно согласования безопасных расстояний между электродами по поверхности диэлектрика и минимальных допустимых расстояний между проводами, которые, как ожидается, могут обеспечить необходимые рабочие характеристики в течение срока службы оборудования.

Указания публикации 664 МЭК были приняты в публикации 950 МЭК [3]. В зависимости от случаев, упомянутых в пункте с), ниже, оборудование электросвязи, где применяются изоляционные прокладки, измеренные и испытанные в соответствии с публикацией 950 МЭК, не должно подвергаться дополнительно испытаниям, которые описаны в настоящей Рекомендации.

b) *Отсутствие координации изоляции*

В тех случаях, когда отсутствует координация изоляции, оборудование должно подвергнуться испытаниям в соответствии с указаниями в [3]—[5].

c) *Исключительно высокие перенапряжения*

В тех случаях, когда электрические помехи могут иметь очень большие величины или просто превышать величины, принятые для подобных испытаний, рекомендуется применять дополнительные меры защиты, внешние по отношению к окончательному оборудованию, например:

- разделительные трансформаторы с высокой электрической прочностью (или порядка 10 кВ) в отношении линейных проводов;
- устройства для ограничения перенапряжений, например молниепроводы, искровые разрядники, нелинейные сопротивления и т. п.;
- комбинации указанных выше устройств.

*Примечание 1.* — Для случая а) практический опыт одной страны показывает, что генератор, предложенный в Рекомендации К.17 (форма волны 10/700 мкс и внутреннее сопротивление 40 Ом), может быть заменен. Испытательное напряжение  $V_{c(max)} = 2,5$  кВ обеспечивает удовлетворительные рабочие характеристики оборудования, питаемого через интерфейс на уровне нагрузки от низко-вольтных распределительных сетей с номинальным напряжением 230/400 В.

*Примечание 2.* — Обращается внимание на вопросы безопасности, которые связаны с электрическими изоляционными барьерами между сетевым питанием и зажимами линии электросвязи. Они обычно регулируются национальными инструкциями, которым необходимо следовать в каждой стране.

## Ссылки

- [1] Публикация 801-2 МЭК Электромагнитная совместимость оборудования для измерения и контроля промышленных процессов, Часть 2: Требования к электростатическим разрядам, Женева, 1984 год.
- [2] Публикация 664 МЭК Координация изоляции в низковольтных системах, включая минимальные допустимые расстояния между проводами и расстояниями между электродами по поверхности диэлектрика, для оборудования, Женева, 1980 год.
- [3] Публикация 950 МЭК Безопасность информационно-технологического оборудования, включая электрическое коммерческое оборудование, Женева, 1986 год.
- [4] Стандарт C 62.41 ANSI/IEEE Руководство IEEE по перенапряжениям в низковольтных цепях питания переменного тока, Нью-Йорк, 1980 год.
- [5] CENELEC ENV 41003 Особые требования к информационно-технологическому оборудованию, подключаемому к сети электросвязи, Брюссель, 1988 год.

СТОЙКОСТЬ К ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯМ ОБОРУДОВАНИЯ,  
ПОДКЛЮЧАЕМОГО К ШИНЕ Т/S СЕТИ ЦСИС

(Мельбурн, 1988 г.)

1      Общие положения

Настоящая Рекомендация имеет целью установить основные методы испытания и критерии стойкости оборудования электросвязи, подключаемого к шине Т/S сети ЦСИС.

При оценке стойкости оборудования, которое должно подключаться непосредственно к сети электросвязи, следует придерживаться Рекомендации К.21.

2      Область применения

Настоящая Рекомендация относится ко всякому оконечному оборудованию, которое предназначено для подключения к четырехпроводнойшине Т/S сети ЦСИС. Предполагается, что между сетью электросвязи и шиной Т/S сетевого окончания предусмотрена соответствующая изоляция. Предполагается также, что шина S не имеет соединения с землей, например нельзя использовать никакие устройства, ограничивающие напряжение при соединении с землей, если они имеют нелинейные характеристики. В тех случаях, когда эти предположения сделать невозможно, следует придерживаться Рекомендации К.21.

3      Условия возникновения перенапряжений и избыточных токов

В настоящей Рекомендации рассматриваются следующие случаи возникновения перенапряжений или избыточных токов:

- перенапряжения, возникающие при ударах молний в линии электросвязи или в здание, в котором размещается оборудование;
- электростатические разряды, создаваемые при прикосновениях пользователя к оборудованию или соседней установке;
- перенапряжения в неустановившемся режиме, возникающие вследствие удара молний в источниках сетевого питания оборудования.

4      Границы оборудования

Многообразие типов оборудования вынуждает рассматривать каждый блок как "черный ящик", имеющий три или более зажимов: А, В, ... и т. д. Внутри оборудования уже могут быть установлены некоторые защитные устройства, например, либо размещены на платах, либо подключены к внутренним зажимам. Для выполнения этих испытаний ожидается, что изготовители определят границы "черного ящика", и любое защитное устройство, которое при этом включается, должно рассматриваться как неотъемлемая часть оборудования.

5      Условия испытаний

Применимы следующие основные условия:

- 1) Все испытания являются типовыми.
- 2) Входные зажимы, на которых следует проводить испытания оборудования, должны быть определены изготовителем и иметь обозначения А, В и т. д.
- 3) Для выполнения испытаний, рассматриваемых только в § 7 и 9, те части оборудования, к которым, по всей вероятности, в процессе эксплуатации будет прикасаться человек, должны иметь предохранительный кожух, соединенный с зажимом заземления (если таковой предусмотрен).
- 4) Оборудование должно испытываться в каждом рабочем режиме, имеющем значительную продолжительность.
- 5) Оборудование должно выдерживать испытания, указанные в § 7 и 9, во всем предполагаемом эксплуатационном диапазоне температуры и влажности.
- 6) Во всех случаях, когда задано максимальное значение напряжения, испытания должны проводиться и при низких напряжениях, если это необходимо для подтверждения того, что оборудование будет выдерживать любое напряжение вплоть до установленного максимального значения.

## 6 Соответствие результатов испытаний техническим условиям

Оборудование должно выдерживать все испытания без повреждений или других нарушений нормальной работы, например без нарушения программного обеспечения или неправильной работы устройств защиты от отказов, и должно работать, как обычно, в установленных пределах после проведения испытания. Не требуется, чтобы оборудование правильно работало во время проведения испытания.

Если имеется специальное разрешение Администрации, то испытание может привести к срабатыванию плавких предохранителей или других устройств, которые подлежат замене или установке в исходное состояние перед возобновлением нормальной работы оборудования.

## 7 Импульсные испытания

### 7.1 Испытательные схемы

Могут быть использованы следующие три альтернативные испытательные схемы:

- импульсный генератор, создающий импульсы напряжения формой 1,2/50 мкс на холостом ходу и импульсы тока в короткозамкнутой цепи формой 8/20 мкс;
- импульсный генератор, создающий импульсы напряжения формой 2/10 мкс на холостом ходу и импульсы тока такой же формой в короткозамкнутой цепи;
- импульсный генератор, создающий импульсы напряжения формой 1,2/50 мкс на холостом ходу и импульсы тока соответствующей формой в короткозамкнутой цепи. Типовая испытательная схема представлена на рис. 1/К.22.

Величина тока короткозамкнутой цепи, обеспечиваемая генератором, должна приблизительно составлять 100 А.

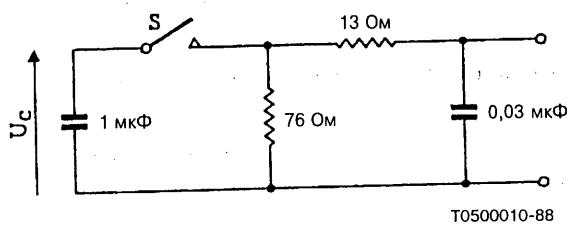


РИСУНОК 1/К.22

Типовая схема импульсного генератора (см. § 7.1)

### 7.2 Испытания

Величина амплитуды импульсного напряжения на холостом ходу генератора должна составлять 1 кВ. Генератор должен подключаться к испытываемому оборудованию с помощью схемы, представленной на рис. 2/К.22. Должны быть выполнены десять испытаний с меняющимися поочередно положительной и отрицательной полярностями.

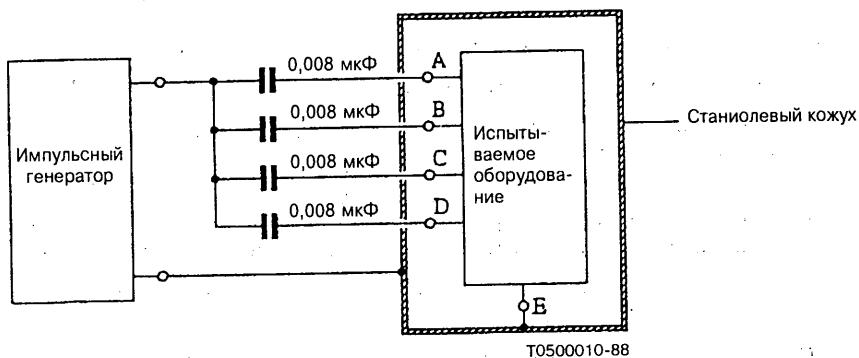


РИСУНОК 2/К.22

Подключение импульсного генератора к испытываемому оборудованию (см. § 7.2)

## 8 Испытания, связанные с электростатическими разрядами

Оборудование должно удовлетворять требованиям публикации 801-2 МЭК [1] при проведении испытаний в соответствии с уровнями жесткости испытаний как 2, так и 4. Эти два уровня жесткости проведения испытаний были выбраны для того, чтобы гарантировать проведение испытания оборудования как при значениях малого времени роста, так и при значениях высокого испытательного напряжения.

## 9 Испытания оборудования, питаемого от сети

Рассматриваемые ниже испытания проводятся на оборудовании, которое питается от сети, с тем чтобы гарантировать, что данное оборудование может надлежащим образом выдерживать высоковольтные перенапряжения, которые могут появляться на проводах линии электропередачи вследствие удара молнии или каких-либо других причин, например вследствие переключения нагрузки.

Оборудование должно испытываться при нормальной рабочей мощности и при том, что линия электросвязи должна быть нагружена таким образом, чтобы смоделировать условия каждого состояния работы значительной длительности.

Оборудование, не соответствующее пункту а), ниже, должно удовлетворять требованиям § 6 настоящей Рекомендации, если оно испытывается импульсными напряжениями, прикладываемыми между линейными зажимами, нейтральной точкой и защитным заземлением оборудования, в соответствии с пунктом б), ниже.

### a) Координация изоляции

Публикация 664 МЭК [2] рассматривает категории перенапряжений для оборудования с питанием от сети, включая оборудование электросвязи, с точки зрения перенапряжений, возникающих в сети питания. Большая часть абонентского оборудования, как ожидается, должна быть отнесена к категории перенапряжения 11, в которой максимальное перенапряжение, поступающее на сетевые зажимы оборудования, составляет пиковых 2,5 кВ. Исходя из этого и некоторых других предложений относительно атмосферного загрязнения (например, пыли) и качества изоляции, публикация 664 МЭК дает указания комитетам по стандартам МЭК относительно согласования безопасных расстояний между электродами по поверхности диэлектрика и минимальных допустимых расстояний между проводами, которые, как ожидается, могут обеспечить необходимые рабочие характеристики в течение срока службы оборудования.

Указания публикации 664 МЭК были приняты в публикации 950 МЭК [3]. В зависимости от случаев, упомянутых в пункте с), ниже, оборудование электросвязи, где применяются изоляционные прокладки, измеренные и испытанные в соответствии с публикацией 950 МЭК, не должно подвергаться дополнительно испытаниям, которые описаны в настоящей Рекомендации.

### b) Отсутствие координации изоляции

В тех случаях, когда отсутствует координация изоляции, оборудование должно подвергнуться испытаниям в соответствии с указаниями в [3]—[5].

### c) Исключительно высокие перенапряжения

В тех случаях, когда электрические помехи могут иметь очень большие величины или просто превышать величины, принятые для подобных испытаний, рекомендуется применять дополнительные меры защиты, внешние по отношению к оконечному оборудованию, например:

- разделительные трансформаторы с высокой (порядка 10 кВ) электрической прочностью в отношении линейных проводов;
- устройства для ограничения перенапряжений, например молниезащитные устройства, искровые разрядники, нелинейные сопротивления и т. п.
- комбинации указанных выше устройств.

*Примечание 1.* — Для случая а) практический опыт одной страны показывает, что генератор, предложенный в Рекомендации К.17 (форма волны 10/700 мкс и внутреннее сопротивление 40 Ом), может быть заменен. Испытательное напряжение  $V_{c(max)} = 2,5$  кВ обеспечивает удовлетворительные рабочие характеристики оборудования, питаемого через интерфейс на уровне нагрузки от низко-вольтных распределительных сетей с номинальным напряжением 230/400 В.

*Примечание 2.* — Обращается внимание на вопросы безопасности, которые связаны с электрическими изоляционными барьерами между сетевым питанием и зажимами линии электросвязи. Они обычно регулируются национальными инструкциями, которым необходимо следовать в каждой стране.

*Примечание 3.* — Внимание читателя обращается на следующие вопросы, изучение которых МККТТ продолжает в настоящее время:

- усиление потенциала земли,
- быстрые переходные процессы,
- эксплуатационные испытания изоляционных барьеров между сетевыми зажимами и зажимами электросвязи,
- высокочастотные сетевые импульсные напряжения,
- кратковременные перерывы сетевого напряжения.

Настоящая Рекомендация может быть расширена после завершения этих исследований.

## Ссылки

- [1] Публикация 801-2 МЭК Электромагнитная совместимость оборудования для измерения и контроля промышленных процессов, Часть 2: Требования к электрическим разрядам, Женева, 1984 год.
- [2] Публикация 664 МЭК Координация изоляции в низковольтных системах, включая минимальные допустимые расстояния между проводами и расстояния между электродами по поверхности диэлектрика, для оборудования, Женева, 1980 год.
- [3] Публикация 950 МЭК Безопасность информационно-технологического оборудования, включая электрическое коммерческое оборудование, Женева, 1986 год.
- [4] Стандарт C 62.41 ANSI/IEEE Руководство IEEE по перенапряжениям в низковольтных цепях питания переменного тока, Нью-Йорк, 1980 год.
- [5] CENELEC ENV 41003 Особые требования на информационно-технологическое оборудование, подключаемое к сети электросвязи, Брюссель, 1988 год.

## Рекомендация К.23

### ТИПЫ ИНДУЦИРОВАННЫХ ПОМЕХ И ОПИСАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАПРЯЖЕНИЯ ШУМОВ НА ОСНОВНЫХ СЕТЯХ АБОНЕНТСКИХ ЛИНИЙ СЕТИ ЦСИС

(Мельбурн, 1988 г.)

#### 1 Назначение Рекомендации

Настоящая Рекомендация была разработана Исследовательской комиссией V по срочным требованиям со стороны администраций, изготовителей и пользователей, которые должны оценивать оборудование на сетях ЦСИС по защищенности от индуцированных помех в процессе его разработки, изготовления и эксплуатации.

В Рекомендации определяются типы индуцированных помех, которые приводят к снижению качества передачи и сбоям в работе оборудования, а также параметры напряжения шумов, подлежащие оценке.

#### 2 Область применения

Настоящая Рекомендация рассматривает вопросы снижения качества работы оборудования под влиянием напряжения шумов, в кабелях с металлическими парами (включая кабельную проводку внутри жилых помещений), которые создаются источником, внешним по отношению к кабелю, или какой-либо другой системой электросвязи. В Рекомендации, однако, не рассматриваются помехи, обусловленные характеристиками передачи кабелей (например, за счет переходного разговора).

В данной Рекомендации рассматриваются также характеристики напряжения шумов, индуцируемого в интерфейсах металлических пар сети ЦСИС в помещении абонентов. В Рекомендации анализируются интерфейсы S и T (см. Рекомендацию I.430), а также двухпроводный интерфейс сетевого окончания NT1.

Линия связи, являющаяся шиной S/T, может быть ограничена пределами здания, либо соединять два отдельно стоящих здания. Соединительная линия сети электросвязи может быть либо воздушной, либо проложенной в земле.

#### 3 Типы индуцируемых помех, оказывающих мешающее влияние на сеть ЦСИС

##### 3.1 Вид напряжения

Необходимо рассмотреть два вида напряжения: продольное и поперечное. На рис. 1/К.23 дается иллюстрация определения продольного напряжения, индуцируемого в линиях электросвязи, и поперечного напряжения.

Когда в интерфейсах оборудования наблюдается продольное напряжение, оно может служить причиной нарушения нормальной работы. Поперечное напряжение индуцируется в результате преобразования продольного напряжения за счет асимметрии линии электросвязи и входных сопротивлений оконечного оборудования, а также вследствие прямой связи с источником индукции. Это может привести к снижению качества передачи. Следовательно, необходимо рассматривать как продольное, так и поперечное напряжения (рис. 2/К.23).

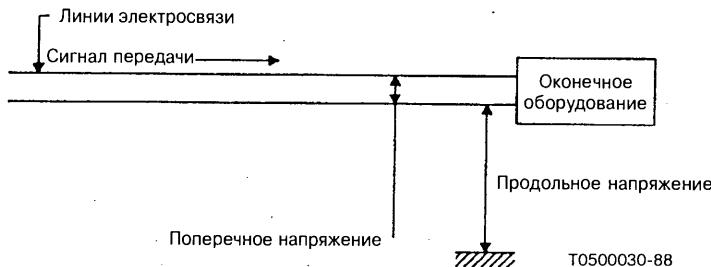


РИСУНОК 1/К.23

Тип индуцируемого напряжения

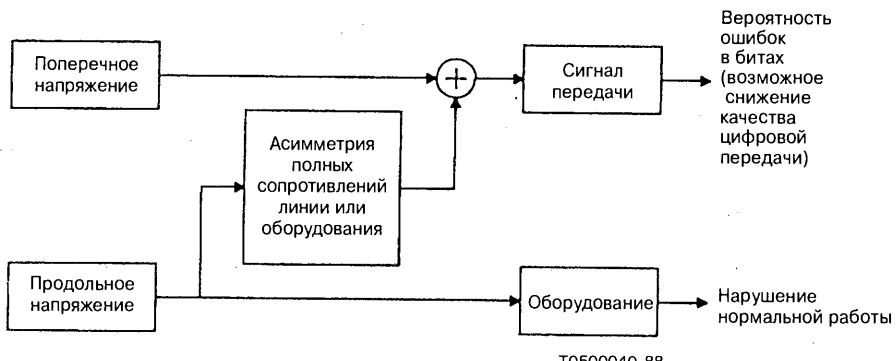


РИСУНОК 2/К.23

Влияние продольного и поперечного напряжений на линию цифровой передачи

### 3.2 Форма волны индуцированного напряжения помех

С точки зрения формы волны индуцированное мешающее напряжение можно разделить на две категории: напряжение непрерывной помехи (например, сигнал радиовещания) и напряжение переходной в неустановившемся режиме на влияющей линии помехи (например, напряжение помехи при переключении).

Форма волны напряжения непрерывной помехи может быть воспроизведена по составляющим частотного спектра. Непрерывная помеха служит причиной ухудшения отношения сигнал—помеха, которое может привести к повышению коэффициента ошибок.

С другой стороны, волна переходной помехи, т. е. помехи, индуцируемой в неустановившемся режиме на влияющей линии, состоит из волн искрового типа, т. е. волн, подобных тем, которые возникают при искрении. Поскольку ширина импульса одной переходной волны гораздо меньше интервала между двумя переходными волнами, каждая из таких волн может рассматриваться как самостоятельная. Следовательно, знание суммарного времени переходной помехи, превышающей допустимое напряжение, очень важно для оценки качества цифровой передачи. При оценке нарушения нормальной работы оборудования необходимо учитывать вышеуказанные характеристики формы волны помехи.

### 3.3 Категории качества работы оборудования

Описанная выше индуцированная помеха может оказывать различные функциональные влияния на качество работы оборудования и качество передачи. Эти влияния можно разделить на следующие категории:

- 1) качество работы или функционирование оборудования не ухудшаются;
- 2) возникает временное ухудшение качества работы или функционирования оборудования, которые восстанавливаются автоматически после прекращения влияния;
- 3) наступает временное ухудшение качества работы или функционирования оборудования, которые требуют вмешательства обслуживающего персонала или повторного запуска системы;
- 4) наступает потеря функционирования, которое не может быть восстановлено из-за повреждения оборудования (или его элементов) или за-за непрерывного характера помехи.

В таблице 1/К.23 перечислены различные источники помех, которые обусловливают появление в линиях электросвязи мешающего напряжения. В ней перечислены также вышеприведенные категории 1)—4) снижения качества работы оборудования и качества передачи и интерфейсы, которые необходимо рассматривать для каждого источника помех.

ТАБЛИЦА 1/К.23

Источники помех, форма волны, подлежащая оценке, оцениваемое мешающее влияние и соответствующие интерфейсы линии

Источник помех (Примечание 1)	Оцениваемая форма волны	Категория качества работы оборудования (см. § 3.3)				Интерфейс, который должен приниматься в расчет			
		Непрерывная помеха	Переходная помеха	1	2	3	4	Двухпроводное сетевое окончание	S и T
Помехи, индуцированные внешним источником	Влияние электросети переменного тока внутри здания на линии электросвязи	① Радиовещание	X		X			X	X
		② Подвижный приемо- передатчик	X		X	X	X	X	X
		③ Линия электроподачи (внешняя)	X	X	X	X	X	X	
		④ Электрифицированная железная дорога	X	X	X	X	X	X	
		⑤ Удар молнии		X	X	X	X	X	X
		⑥ Система зажигания автомобиля		X	X	X	X	X	X
		⑦ Электростатический разряд		X	X	X	X	X	(Примеч. 2) (Примеч. 2)
	Влияние источника излучения на линии электросвязи	⑧ Непрерывная работа электроприборов	X		X			X	X (Примеч. 3) X (Примеч. 3)
		⑨ Переключение		X	X	X	X		X (Примеч. 3) X (Примеч. 3)
Источник индуцируемых помех в системе электросвязи	⑩ Импульсная помеха от аналоговой цепи электросвязи			X	X	X	X	X	X
	⑪ Шум от плохих контактов (например, в местах сращивания)			X	X	X	X	X	X

Примечание 1. -- Некоторые из этих источников помех в настоящее время изучаются в рамках других вопросов Исследовательской комиссии V.

Примечание 2. -- Испытание оборудования, а не интерфейса.

Примечание 3. -- Испытание подачи сетевого напряжения в сетевое окончание (NT) и оконечное оборудование (TE).

#### 4 Параметры напряжения индуцируемых помех, которые подлежат оценке

Оценка качества передачи и нарушения нормальной работы оборудования с использованием необработанных данных, полученных от различных индуцируемых мешающих напряжений, является в высшей степени неэффективной. Следовательно, целесообразно для описания форм волны использовать некоторые параметры, определяемые путем анализа характеристик формы волны, и установить стандартный метод измерения и процедуру проведения стандартных испытаний. Это позволит эффективно оценить влияние, оказываемое индуцирующим мешающим напряжением на качество цифровой передачи и на нарушение нормальной работы оборудования.

Напряжение непрерывной помехи должно оцениваться по амплитудам частот спектра как основному параметру, поскольку по этим амплитудам могут быть воспроизведены формы волн. Напряжение переходных помех должно оцениваться по распределениям вероятности амплитуды, частотному спектру, а также по параметрам формы волны во временной области (например, пиковое значение, продолжительность периода, время затухания колебания, время продолжительности импульса и т. п.). Эти основные параметры могут использоваться для расчета устройства моделирования переходных помех.

В таблице 2/К.23 перечислены некоторые параметры индуцируемого мешающего напряжения, подлежащие оценке.

ТАБЛИЦА 2/К.23

Параметры индуцируемого мешающего напряжения, подлежащие оценке

Тип формы волны помехи (примечание)	Частотная область			Временная область					
	Амплитуда	Частота	Пиковое значение	Длитель- ность фронта	Время спадания импульса до половины пикового значения	Продолжи- тельность периода	Время затухания колебания	Время продолжительности импульса	Распределение вероятности амплитуды
Напряжение непре- рывной помехи	Узкая полоса ①, ②	×	×						
	Широкая полоса ③, ④	×	×						
Напряже- ние им- пульсной помехи	Тип I ⑤, ⑦	×	×	×	×	×			×
	Тип II ⑤, ⑥, ⑧ ⑨, ⑩, ⑪	×	×	×	×	×	×	×	×

Примечание. — Цифры, указанные в кружочке, обозначают источник индуцированной помехи, который указан в таблице 1/К.23.



Тип I – Переходная помеха большой мощности



Тип II – Быстро повторяющаяся переходная помеха

T0500050-88

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ПОМЕХ, ИНДУЦИРУЕМЫХ  
В ДВУХПРОВОДНЫХ ЦЕПЯХ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

(Мельбурн, 1988 г.)

1 Назначение Рекомендации

Настоящая рекомендация предназначена для стандартизации метода измерения индуцируемых высокочастотных помех, которые могут явиться причиной ухудшения работы оборудования и снижения качества передачи. Стандартизация метода измерения индуцируемых помех позволяет осуществить международную стандартизацию качества систем электросвязи.

2 Область применения

В Рекомендации рассматриваются методы измерения индуцируемых высокочастотных помех в любой паре линий электросвязи. Измерения выполняются как в месте ввода кабеля в здание, так и в точке стыка с оконечным оборудованием.

Рассматриваемый диапазон частот — от 10 кГц до 30 МГц.

*Примечание.* — На частотах выше 30 МГц технические проблемы, связанные с проведением измерений, еще не решены. В настоящее время они изучаются.

3 Схемы для измерения напряжения индуцируемых высокочастотных помех

1) Тип измеряемого мешающего напряжения

Измерению подлежат как поперечное, так и продольное напряжения.

2) Состояние линии электросвязи при проведении измерений

Измерения должны проводиться с помощью оконечной измерительной схемы при отключении всех устройств электросвязи на конце, где проводится измерение.

i) Оконечная схема для измерений

Измерения должны проводиться как в точке ввода кабеля в помещение абонента, так и в точке установки оконечного оборудования. При измерениях должна использоваться схема Т, представленная на рис. 1/К.24. Затухание асимметрии схемы Т должно по крайней мере на 10 дБ превышать значение затухания асимметрии для кабеля, на котором должно производиться измерение (например, кабель с затуханием асимметрии 60 дБ требует оконечной измерительной схемы с затуханием асимметрии 70 дБ).

*Примечание.* — Значения  $R_x$  и  $R_y$  на схеме рис. 1/К.24 в настоящее время изучаются. Администрациям и признанным частным эксплуатационным организациям предлагается выполнять измерения для обоих наборов значений, указанных на рис. 1/К.24.

ii) Эталонная точка заземления

Может использоваться любая из двух эталонных точек заземления (в порядке предпочтения): 1) экран кабеля или 2) зажим основного защитного заземления, защитное заземление или соседняя заземленная металлическая конструкция. Поскольку она оказывает влияние на результат, необходимо указать эталонную точку, при которой выполнялось измерение.

*Примечание.* — Для измерений поперечных напряжений соединение с эталонной точкой может не потребоваться. Однако необходимо принимать в расчет емкость измерительного устройства по отношению к земле. С этой целью можно использовать измерительное устройство с батарейным питанием. В случае устройства с питанием от сети при выполнении измерения поперечного напряжения необходимо использовать разделительный трансформатор или симметрирующий контур.

iii) Оконечная схема для использования на центральной телефонной станции

В кабельной проводке внутри здания (например, линия интерфейса S/T сети ЦСИС) крайне важно нагружать дальний конец кабеля. Однако при выполнении измерения в точке ввода местной сети в аппаратную абонента (например, двухпроводный интерфейс для NT1 сети ЦСИС) необязательно иметь нагрузку на дальнем конце, если длина кабеля превышает 1 км. Если же она меньше 1 км, то все еще можно выполнять измерения без нагрузки дальнего конца в зависимости от частоты мешающего сигнала и устройства местной сети.

3) Тип детектора

Основные характеристики детектора должны соответствовать указанным в разделе 1 спецификации СИСПР для измерительной аппаратуры и метода измерения радиочастотных помех, публикация № 16 СИСПР, 1987 год.

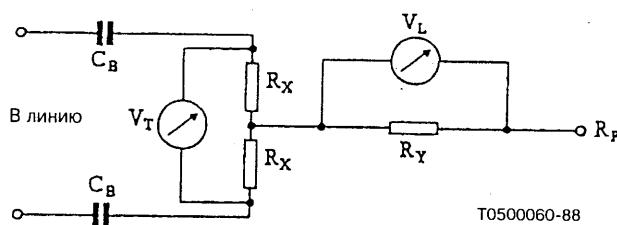
4) Ширина полосы измерения

Основные характеристики ширины полосы измерения должны соответствовать указанным в разделе 1 спецификации СИСПР для измерительной аппаратуры и метода измерения радиочастотных помех, публикация № 16 СИСПР, 1987 год.

Улучшения, обусловленные сужением ширины полосы, и стандартизация соответствующего измерительного устройства требуют дальнейшего изучения совместно с СИСПР (Международный специальный комитет по радиопомехам).

5) Защищенность измерительного устройства к воздействию электрического поля

Испытательное оборудование должно иметь полную защиту от воздействия электромагнитных полей в соответствии с публикацией № 16 СИСПР. При использовании оборудования в местах с большой напряженностью поля от 3 В/м до 10 В/м необходимо обеспечить надлежащую точность измерений.



$C_B > 5 \text{ мкФ}$

$R_M (=2R_X)$ Ом	$R_L (= [R_X/2] + R_Y)$ Ом
135	90
400	150

$R_p$  — эталонная точка заземления

РИСУНОК 1/К.24

Окончательная схема для измерений напряжений индуцируемых высокочастотных помех

## Рекомендация К.25

### ЗАЩИТА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ ОТ УДАРОВ МОЛНИИ

(Мельбурн, 1988 г.)

#### 1 Введение

Широко распространено мнение о том, что линии связи, организованные по оптическим волокнам, невосприимчивы к повреждениям, которые вызываются импульсными токами, возникающими, например, при ударе молнии. Однако не все волоконно-оптические кабели не содержат металлических элементов. Элементы, которые обеспечивают прочность на растяжение при прокладке, водонепроницаемый барьер, защиту от грызунов или используются при ремонте линий связи, могут иметь металлические элементы. Эти элементы могут подвергаться ударам молний, что может служить причиной повреждения кабеля.

Такие повреждения можно свести к минимуму, если предусмотреть надлежащую изоляцию между металлическими элементами и если конструкция кабеля позволяет выдерживать тепловые и механические воздействия в месте удара молнии. Достаточно высокая электрическая прочность между металлическими элементами может предотвратить случаи возникновения искрения между ними.

Общая информация, относящаяся к защите линий электросвязи от ударов молний и содержащаяся в руководстве “Защита линий и оборудования электросвязи от ударов молний” [1], может быть использована как для воздушных, так и для подземных линейных сооружений, выполненных из волоконно-оптических кабелей, содержащих металлические элементы.

В настоящей Рекомендации в качестве временных даются следующие указания:

- предписания по использованию руководства [1] для оценки необходимости обеспечить защиту волоконно-оптических кабелей (§ 2) и по выбору мер защиты для сведения к минимуму повреждения вследствие удара молнии (§ 3);
- предлагаются методы испытаний для оценки стойкости волоконно-оптических кабелей (§ 3.4).

Будущие работы, относящиеся к настоящей Рекомендации, рассматриваются в § 5.

## 2 Необходимость применения защиты

Необходимость применения защиты волоконно-оптического кабеля от удара молнии зависит от числа повреждений волокна в год  $N_d$  и от допустимого числа повреждений  $N_t$ .

Коэффициент повреждений в год можно оценить по руководству [1], глава 7: *Частота повреждений в системах электросвязи в результате грозовых разрядов*. См. также § 5, ниже.

Максимальный ток при ударе молнии, который не вызывает повреждений в кабеле, — допустимый ток, указанный в формулах этой главы, и он учитывает вторичные повреждения, т. е. пробой диэлектрика в кабеле.

Допустимый ток, относящийся к первичному повреждению, т. е. прерыванию передачи или нарушению герметичности, приводящей к проникновению влаги в кабель, может оцениваться с помощью методов испытаний, описанных в § 3.4, ниже.

Если количество повреждений за год  $N_d$  окажется выше допустимого числа повреждений  $N_t$ , то необходимо принять определенные меры защиты для уменьшения величины  $N_d$  и сведения к минимуму опасности подобных повреждений.

Каждая Администрация может самостоятельно установить допустимое число повреждений.

## 3 Защитные меры

Устройства и меры защиты сетей электросвязи указаны в главах 5 и 6 руководства [1].

Что касается волоконно-оптических кабелей, то обычно рассматриваются следующие защитные меры:

### 3.1 Правильное соединение металлических влагонепроницаемых оболочек

Влагонепроницаемая металлическая оболочка в волоконно-оптическом кабеле должна быть непрерывной, т. е. должна иметь продольные соединения во всех муфтах, регенераторах и т. п. по всей длине кабеля. Влагонепроницаемая металлическая оболочка должна быть заземлена либо непосредственно, либо через газоразрядники при концевой заделке на каждом конце длины кабеля.

### 3.2 Применение экранирующих проводов поверх кабеля

Может потребоваться защита пластмассовой оболочки влагонепроницаемого барьера от перфораций вследствие грозовых разрядов. Подобные перфорации могут появиться, если потенциал грунта около кабеля относительно удаленной точки земли при ударе молнии превысит напряжение пробоя полимерной оболочки влагонепроницаемого барьера.

Прокладка экранирующего провода поверх волоконно-оптического кабеля уменьшит вероятность возникновения перфораций в полимерной оболочке влагонепроницаемого барьера.

Эффективность экранирующих проводов может быть весьма значительной; она вычисляется, как указано в главе 7 руководства [1].

### 3.3 Применение кабелей без металлических элементов

Кабель такого типа может подходить для применения в районах с высокой грозоактивностью или при наличии сильного влияния линий высокого напряжения. Хотя повреждения, обусловленные этими причинами, можно свести к минимуму или предотвратить, однако следует принимать во внимание тот факт, что кабели такого типа, проложенные непосредственно в грунте, имеют меньшую водонепроницаемость, и такие места с большим трудом поддаются обнаружению при проведении работ по техническому обслуживанию.

### **3.4      Применение кабелей, содержащих металлические элементы, но обладающих достаточной стойкостью к определенного уровня избыточным токам, возникающим при ударе молнии**

По кабелям подобного типа во время грозы могут протекать токи, возникающие при ударе молнии, но это, как правило, не вызывает пробоя диэлектрика или снижения качества передачи. Для этих кабелей разработаны два испытания: одно из них позволяет определить, что в общих случаях обеспечена надлежащая электрическая прочность, а другое — определить пороговые значения стойкости к импульсным токам и перенапряжениям при выборе кабеля. Этими испытаниями являются:

#### **— Испытание электрической прочности**

Металлические элементы, электрически изолированные друг от друга, должны рассматриваться попарно. Должна исследоваться любая такая пара, в которой разряд между металлическими элементами может пройти либо через оптическое волокно, либо через неметаллический влагонепроницаемый барьер. Если в кабеле используется металлический водонепроницаемый барьер (оболочка), то необходимо выполнить дополнительные испытания между этой оболочкой и каждым изолированным от нее металлическим элементом. Для выполнения подобных испытаний электрической прочности можно использовать переменный либо постоянный ток. В случае испытаний при переменном токе эффективное напряжение 10 кВ на частоте 50 или 60 Гц должно прикладываться к паре металлических элементов в течение пяти секунд. В случае испытаний при постоянном токе напряжение 20 кВ должно прикладываться к паре металлических элементов также в течение пяти секунд. После выполнения этих испытаний должны отсутствовать какие бы то ни было повреждения диэлектрика или снижение качества передачи.

#### **— Испытание стойкости к импульсным токам**

Образец кабеля длиной 1 м должен погружаться во влажный песок, содержащийся в непроводящем прочном ящике-коробке длиной примерно 0,75 м. Используется песок в виде гранул 20—40 кварцевого песка, насыщенного водой и осущененного. Образец кабеля укладывается в эту коробку, вокруг него утрамбовывается влажный песок. Примерно в центре коробки на расстоянии от 2,5 до 5,0 см от кабеля размещается разрядный электрод. Все проводящие элементы кабеля должны быть электрически соединены вместе таким образом, чтобы образовать один зажим; между этим зажимом и электродом пропускается испытательный ток. Очень важно, чтобы этот ток протекал через образец; этого можно добиться, если изолирующая оболочка, наложенная поверх внешнего металлического экрана или влагонепроницаемого барьера, имеет небольшой надрез или отверстие со стороны электрода. Испытательный ток может быть либо в виде одиночного (однополярного) импульса, либо в виде затухающих колебаний. Время нарастания до пикового значения должно быть 15 мкс. Частота тока в виде затухающих колебаний находится в пределах от 16 до 30 кГц, а время спадания до половины амплитуды — от 50 до 80 мкс. Время спадания амплитуды однополярного импульса — от 40 до 60 мкс. После пропускания разрядных токов возрастающей амплитуды образец проверяется на снижение качества передачи или уменьшение его стойкости к проникновению влаги. Это испытание позволяет установить пороговое значение импульсного тока, при котором возникает ухудшение параметров кабеля или снижение качества передачи, и помогает администрациям выбрать кабели, которые будут достаточно надежными с точки зрения их стойкости к повреждениям вследствие ударов молний.

## **4      Защита цепей дистанционного питания в волоконно-оптическом оборудовании**

Целесообразно предусматривать защиту цепей дистанционного питания, подключенных к кабелям, от перенапряжений, если могут иметь место помехи от линий электропередачи или при ударе молнии. Хотя такие цепи представляют собой, как правило, симметричные пары, все же — что касается связанного с ними оборудования электропитания — уровни испытания будут приблизительно такими же, как и в случае коаксиальных систем (см. Рекомендацию К.17).

## **5      Будущая работа**

В настоящей Рекомендации описаны защитные меры и методы вычисления, которые могут быть подтверждены в настоящее время.

Будет проводиться дальнейшее изучение вопросов защиты волоконно-оптических кабелей. Работу предполагается вести в следующих областях:

- согласование защиты кабелей и обслуживающего персонала от перенапряжений, возникающих при авариях на соседних ЛЭП, с защитой от ударов молнии. Предельные значения и меры предосторожности для защиты персонала и кабелей, указанные в *Директивах [2]*, применимы также и к волоконно-оптическим кабелям с металлическими элементами во всех случаях, когда имеют место помехи, создаваемые линиями электропередачи. См. также Вопрос 6/V Исследовательской комиссии V за исследовательский период 1988—1992 годов;
- прогнозирование количества повреждений, ожидаемых на волоконно-оптических кабелях. См. также Вопрос 22 Исследовательской комиссии V за исследовательский период 1988—1992 годов и вклад COM V-58, 1987 год, которые будут изучаться.

## Ссылки

- [1] Руководство МККТТ *Защита линий и оборудования электросвязи от ударов молнии*, МСЭ, Женева, 1974 и 1978 годы.
- [2] Руководство МККТТ *Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи и линий электрифицированных железных дорог*, МСЭ, Женева, 1988 год.

## Рекомендация К.26

### ЗАЩИТА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ ОТ ВРЕДНЫХ ВЛИЯНИЙ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ И ЛИНИЙ ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

(Мельбурн, 1988 г.)

МККТТ обращает внимание на необходимость достаточной и надежной защиты линий электросвязи от опасных и мешающих влияний, возникающих от соседних линий электропередачи и электрифицированных железных дорог. Опасные и мешающие влияния могут возникать вследствие гальванической, электрической и магнитной связей между этими системами; должна быть гарантирована безопасность людей, эксплуатирующих установки электросвязи или работающих на них.

С этой целью МККТТ опубликовал "Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи и электрифицированных железных дорог", Женева, 1988 год, в которых даются указания по оценке возможных перенапряжений или избыточных токов и рекомендации, относящиеся к предельным значениям для этих условий. В Директивах рекомендуются также методы, которые используются для измерения перенапряжений, избыточных токов и соответствующих параметров, защитные устройства и меры защиты и безопасности.

В состав Директив (издание 1988 года) входят девять томов, перечисленных ниже, а именно:

- тот I — Принципы проектирования, сооружения и эксплуатации линий электросвязи, электропередачи и электрифицированных железных дорог
- тот II — Вычисления наводимых напряжений и токов для практических случаев
- тот III — Электрическая, магнитная и гальваническая связь: физическая теория и методы вычисления
- тот IV — Влияющие токи и напряжения в системах передачи и распределения электрической энергии
- тот V — Влияющие токи и напряжения в системах передачи и распределения электрической энергии
- тот VI — Опасность и помехи
- тот VII — Меры защиты и безопасности
- тот VIII — Защитные устройства
- тот IX — Контрольно-измерительные приборы и методы измерений

Эти тома были разработаны МККТТ при тесном сотрудничестве с Международной конференцией по крупным электрическим сетям (СИГРЭ) и Международным союзом железнодорожников (МСЖ).

МККТТ рекомендует, чтобы при проверке ожидаемого влияния соседних линий электропередачи или электрифицированных железных дорог на линии электросвязи администрации применяли методы, указанные в этих Директивах (издание 1988 года).

Директивы (издание 1988 года) заменяют Директивы по защите линий электросвязи от вредных влияний линий электропередачи (Женева, 1963 год, исправленное и дополненное в 1965, 1974, 1978 и 1982 годах).

## ЧАСТЬ II

### Рекомендации серии L

**КОНСТРУКЦИЯ, ПРОКЛАДКА И ЗАЩИТА КАБЕЛЕЙ  
И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИНЕЙНО-КАБЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

**PAGE INTENTIONALLY LEFT BLANK**

**PAGE LAISSEE EN BLANC INTENTIONNELLEMENT**

## КОНСТРУКЦИЯ, ПРОКЛАДКА И ЗАЩИТА КАБЕЛЕЙ И ДРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИНЕЙНО-КАБЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

### Рекомендация L.1

#### КОНСТРУКЦИЯ, ПРОКЛАДКА И ЗАЩИТА КАБЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ НА СЕТЯХ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

(Мельбурн, 1988 г.)

МККТТ,

учитывая,

- a) что определение мест повреждений подземных кабелей и устранение этих повреждений могут повлечь за собой большие затраты;
- b) что перерывов в связи, обусловленных повреждениями, следует избегать самым тщательным образом;
- c) что возникновение повреждений, обусловленных иными факторами, чем внешние, зависит главным образом от конструкций, прокладки и применяемых мер защиты,

единодушно рекомендует,

чтобы администрации при выборе и прокладке кабелей для своей же пользы применяли руководство МККТТ Технологии линейно-кабельных сооружений для сетей общего пользования.

Это руководство заменяет Рекомендации по конструкции, прокладке и защите кабелей электросвязи на сетях общего пользования МККТТ, МСЭ, Женева, пересмотрены в 1974 году, с дополнениями и поправками 1977 и 1986 годов. Данное руководство состоит из следующих пяти частей:

- Часть I: Основная информация по конструкции кабелей электросвязи
- Часть II: Прокладка и монтаж кабелей электросвязи и их несущих конструкций
- Часть III: Содержание кабелей электросвязи под давлением газа
- Часть IV-A: Защита кабелей электросвязи и относящегося к ним оборудования от коррозии
- Часть IV-B: Защита кабелей электросвязи, их опор и подземных сооружений от других опасных влияний
- Часть V: Определение мест повреждений и ремонт кабелей электросвязи.

### Рекомендация L.2

#### ПРОПИТКА ДЕРЕВЯННЫХ ОПОР

МККТТ обращает внимание на важность (по экономическим соображениям) пропитки деревянных опор для воздушных линий электросвязи.

Для обеспечения администраций, особенно в странах с недостаточно развитой сетью, информацией о процессах пропитки опор МККТТ выпустил руководство *Предохранение деревянных опор воздушных линий электросвязи*, МСЭ, Женева, 1974 год.

В основе этого руководства лежит первый проект, разработанный в 1968—1972 годах Администрацией Аргентины, измененный и дополненный с учетом информации, представленной Администрациями Австралии, Австрии, Италии, Соединенного Королевства, Федеративной Республики Германии, Франции, Чили и Швейцарии.

## БРОНЕПОКРОВ КАБЕЛЕЙ

(Мар-дель-Плата, 1968 г.; изменена в Мельбурне, 1988 г.)

### 1 Тип бронепокрова

1.1 Наиболее распространенными типами бронепокрова являются:

- a) **ленточный бронепокров**, образуемый одной или несколькими стальными лентами, наложенными внахлестку спиралью с малым шагом на оболочку кабеля;
- b) **проволочный бронепокров**, образуемый плоской стальной проволокой или стальной проволокой круглого или трапециевидного сечения, наложенной спиралью со сравнительно большим шагом вокруг оболочки кабеля.

1.2 Эти два типа бронепокрова используются в комбинации с другими средствами внешней защиты (слой джута, пластмассовое покрытие) по конструкционным или механическим соображениям или для обеспечения защиты от коррозии.

### 2 Выбор бронепокрова

При решении вопроса о необходимости использования бронированных кабелей и при выборе той или иной конструкции следует тщательно учитывать местные условия прокладки кабеля, а именно:

- a) прокладка кабеля в канализации или непосредственно в земле;
- b) расположение траншеи вдоль дороги или на участке, принадлежащем частному лицу;
- c) материалы, используемые для оболочки кабеля;
- d) другие кабели, которые проложены или могут быть проложены по той же трассе;
- e) вид почвы: скалистая, песчаная, агрессивная или неагрессивная; присутствие микроорганизмов;
- f) глубина траншеи, которая во всех случаях должна быть не менее 50 см, а для кабелей большого диаметра — не менее 80 см;
- g) опасность магнитного влияния;
- h) опасность повреждения грызунами или насекомыми;
- i) опасность повреждения от ударов молнии;
- j) оправдывают ли величина и важность линии связи особые меры предосторожности; в этом случае проволочная стальная броня обеспечивает дополнительную защиту, особенно в смотровых колодцах;
- k) требуется ли протаскивание кабеля под землей на большое расстояние, например при подводном пересечении рек (эти случаи встречаются редко, поэтому нет необходимости предусматривать новую конструкцию сухопутного кабеля с центральным натяжным проводом).

### 3 Обеспечиваемая защита

Что касается кабелей, проложенных непосредственно в земле, бронепокров способствует безопасности прокладки и надежности функционирования линии, обеспечивая защиту кабелей от:

- a) механических повреждений, причиняемых камнями, машинами или инструментами для земляных работ;
- b) грызунов и насекомых;
- c) химической или электролитической коррозии;
- d) влияния атмосферных разрядов;
- e) магнитного влияния от соседних линий электропередачи.

### 4 Ленточный бронепокров

Ленточный бронепокров является предпочтительным для защиты от повреждения острыми заточенными инструментами при земляных работах, остроугольными камнями и т. д. Кроме того, эта броня создает магнитный экран, защищающий цепи внутри кабеля; стальная проволочная броня в этом отношении гораздо менее эффективна, так как воздушные зазоры между отдельными стальными проволоками,ложенными вокруг кабеля, значительно уменьшают индуктивную связь между бронированной оболочкой и жилами кабеля.

## 5 Проволочный бронепокров

Бронепокров из стальной проволоки обеспечивает кабелю значительную дополнительную прочность на растяжение. Поэтому он рекомендуется в тех случаях, когда велико механическое напряжение при натяжении кабеля (протаскивание под землей на длинных участках), или когда напряжение велико из-за условий эксплуатации (оседание почвы в районах горных выработок, прокладка кабелей в воде или болотах либо в колодцах, ведущих к пластам глубокого залегания).

## 6 Основной тип бронепокрова

Для кабелей с металлической оболочкой из свинца или алюминия обычно используется бронепокров из двух стальных лент, наложенных спиралью между слоями пропитанной бумаги или джути с внешней защитой из джутовой пряжи или другого волокнистого материала. Бронепокров этого типа обеспечивает надежную защиту во всех пяти случаях, перечисленных в § 3, выше.

Для кабелей с пластмассовой оболочкой можно использовать легкую броню из металлических лент (стальных, алюминиевых, медных) между двумя покрытиями из пластмассы (полиэтилен или полихлорвинил). Кабели такой конструкции имеют защиту в основном от повреждений, указанных в 3 b) и c), и в некоторой степени — от повреждений, о которых шла речь в 3 a) и d), выше.

## 7 Бронепокров для магистральных кабелей

Для магистральных кабелей междугородней сети наиболее надежной защитой безусловно являются герметичная металлическая оболочка и обычный бронепокров, описанный выше, однако стоимость такой защиты сравнительно велика.

Можно уменьшить стоимость кабеля, применив оболочку из тонкой сварной стали, защищенной от коррозии битумным компаундом и пластмассовым покрытием. Тем самым обеспечивается защита кабелей от повреждений, указанных в 3 a), b), c) и d), хотя и в меньшей степени; некоторая защита от магнитного влияния может быть обеспечена путем размещения проводников или лент из меди или алюминия под стальной оболочкой.

## 8 Электрическая непрерывность брони

Если международные или аналогичные кабели связи имеют металлическую броню, то она должна быть электрически непрерывной в точках сращивания. Это требуется для обеспечения максимальной защиты от помех, вызываемых электромагнитным влиянием и атмосферными разрядами.

Металлическая броня кабелей, образующих распределительную сеть, также должна быть электрически непрерывной, если требуется такая защита.

Если кабели с металлической броней имеют также металлическую оболочку, то целесообразно выполнить электрическое соединение оболочки и брони в точках сращивания и/или подключения промежуточных усилителей. Целью этой операции являются нейтрализация всех разностей потенциала между броней и металлической оболочкой и получение максимальной защиты от электромагнитных помех. Такое соединение может создавать проблемы коррозии, которая, как правило, уменьшает срок службы металлической брони.

## 9 Кабели без металлической брони

В случае кабелей, проложенных непосредственно в грунте, можно вообще обойтись без металлической брони, если для кабеля предусмотрена прочная пластмассовая оболочка, выполненная, например, из полиэтилена. Другими необходимыми предпосылками являются благоприятное состояние грунта и благоприятные условия прокладки кабеля.

Например, дополнительную защиту волоконно-оптических кабелей может обеспечить оболочка, имеющая внешний слой из полиамида (толщиной 0,4 — 0,5 мм). Он улучшает механические свойства кабеля, поскольку является амортизирующей поверхностью, что очень важно при протаскивании кабеля на большие расстояния. Кроме того, этот слой обеспечивает определенную степень защиты от легких механических повреждений.

## 10 Защита от коррозии — кабели с металлической оболочкой

Бронепокров из ленты или проволоки играет важную роль при защите от коррозии, главным образом потому что он позволяет сохранить в хорошем состоянии покрытие из пропитанного материала, на которое этот бронепокров накладывается, и тем самым предохранить металлическую оболочку от действия дифференциальной аэрации и т. д.

## 11 Грызуны и насекомые

В некоторых районах повреждения кабелей, проложенных непосредственно в грунте, грызунами и насекомыми могут быть весьма существенными. В подобных местах целесообразно рассмотреть возможность применения какой-либо защиты. Более подробная информация, относящаяся к защите от повреждений грызунами и/или насекомыми с помощью брони, содержится в части 1У-В главы II руководства МККТТ *Технологии линейно-кабельных сооружений для сетей общего пользования*, которое упомянуто в Рекомендации L.1.

## 12 Тропические районы

Что касается тропических районов, то следует обратить особое внимание на § 6 и 7, выше, и на опасность присутствия микроорганизмов.

Как правило, разумно отказываться от бронепокрова только в тех случаях, когда:

- кабель прокладывается в канализации;
- не требуется магнитный экран или его функции выполняет слой какого-либо металла, специально включенного с этой целью в конструкцию кабеля;
- исключается опасность коррозии или защита от коррозии обеспечивается каким-либо другим защитным слоем, включенным с этой целью;
- кабель прокладывается непосредственно в грунте, при этом почва однородна и не содержит очень твердых скальных пород, способных повредить кабель, а также нет опасности повреждения кабеля грызунами или насекомыми.

Однако местные особенности могут обуславливать необходимость бронепокрова даже в перечисленных выше случаях.

## Рекомендация L.4

### АЛЮМИНИЕВАЯ КАБЕЛЬНАЯ ОБОЛОЧКА

(Женева, 1972 г.; изменена в Женеве, 1976 г., Малага-Торремолиносе, 1984 г., и Мельбурне, 1988 г.)

#### 1 Общие положения

Благодаря техническому прогрессу в использовании алюминия все шире применяются алюминиевые оболочки для кабелей, и теперь имеется возможность полностью использовать их положительные свойства.

К числу таких свойств относятся:

- низкая плотность (почти 1/4 плотности свинца);
- более высокая механическая прочность, чем у свинца, так что оболочка может быть легче не только за счет того, что алюминий легче свинца, но и за счет ее меньшей толщины;
- очень высокая прочность на вибрацию;
- большая удельная проводимость, позволяющая получить лучший коэффициент экранирования и более эффективную защиту от перенапряжений атмосферного происхождения.

В настоящее время установлено, что жесткость алюминиевых оболочек не вызывает никаких серьезных дополнительных проблем при прокладке.

Однако поскольку алюминий в большей степени, чем свинец, подвержен воздействию электрохимической и электролитической коррозии, то для алюминиевых кабельных оболочек и мест сращивания отдельных строительных длин (соединительные муфты и прилегающие к ним участки кабеля) требуется внешнее защитное покрытие из пластмассы класса II (см. [1]).

Как видно из вышеуказанного, алюминиевые оболочки имеют много преимуществ перед свинцовыми. Поэтому желательно для кабельных оболочек широко использовать алюминий, по крайней мере в тех случаях, когда стоимость таких кабелей будет не больше стоимости кабелей со свинцовой оболочкой и когда алюминиевые оболочки кабелей в большей степени удовлетворяют техническим требованиям. Особенно целесообразно применение кабелей с алюминиевыми оболочками на междугородных сетях.

## 2 Типы алюминиевых оболочек

### 2.1 Опрессованные оболочки

Оболочка этого типа создается путем опрессовывания алюминием непосредственно сердечника кабеля. В зависимости от типа пресса опрессовка может идти непрерывно или прерывисто. В последнем случае следует принимать меры к тому, чтобы на участках, где будет сказываться влияние прерывистого характера процесса опрессовки, никаких проблем не возникало.

### 2.2 Сварные оболочки

Этот тип оболочки образуется путем наложения на сердечник кабеля алюминиевой полосы, которая сваривается вдоль.

### 2.3 Качество материала оболочки

Для повышения эффективности средств защиты от коррозии следует обращать особое внимание на качество материала оболочки. При использовании только алюминиевой оболочки чистота алюминия должна быть не менее 99,5% как для опрессованной, так и для сварной оболочки.

### 2.4 Выбор формы и толщины оболочки

После опрессовки или сварки оболочки ее либо сжимают до полного прилегания к сердечнику кабеля (негофрированная оболочка), либо гофрируют различными способами (гофрированная оболочка).

Оболочка может быть гофрированной или негофрированной в зависимости от диаметра сердечника кабеля, минимального радиуса изгиба при прокладке и механических характеристик используемого алюминия (см. [2]). Например, можно приблизительно указать, что оболочку следует гофрировать, если диаметр сердечника кабеля превышает 40 мм.

Как указывалось в § 1, толщина алюминиевых оболочек обычно меньше, чем свинцовых.

В таблице 1/L.4 приведены рекомендуемые значения толщины, хотя они применимы как для опрессованных, так и для сварных оболочек; однако толщина опрессованных оболочек должна быть не меньше 0,9 мм, а для сварных — не более 1,4 мм, т. е. максимальной толщины, допускаемой при сварке существующими способами.

Не исключается применение оболочек меньшей толщины, чем указанная в таблице 1/L.4. И наоборот, в случае небронированных коаксиальных кабелей может оказаться необходимым применить во всех случаях оболочку большей толщины для улучшения механической защиты. Такое увеличение толщины может составлять приблизительно 0,3 мм.

Естественно, что в отдельных случаях (например, если требуются чрезвычайно высокие коэффициенты защитного действия) могут использоваться значения, отличающиеся от указанных в таблице 1/L.4.

## 3 Защитные покрытия

Как указывалось выше, поскольку алюминий, используемый в подземных сооружениях, в большей степени подвержен коррозии, чем свинец, то для защиты кабельной оболочки и мест сращивания строительных длин кабеля (соединительные муфты и прилегающие к ним участки кабеля) следует применять герметичное покрытие (класс II) в соответствии с [1].

В настоящее время для защитных покрытий могут использоваться два вида пластмасс:

- a) полихлорвинил;
- b) полиэтилен.

Предпочтение отдается полиэтилену, поскольку его общие характеристики и малая проницаемость для водяных паров обеспечивают лучшую защиту алюминия.

Для того чтобы влага, которая может проникнуть сквозь защитный покров (например, из-за какого-либо дефекта в покрытии), не распространялась вдоль поверхности оболочки и не расширяла тем самым области коррозии, необходимо применять водонепроницаемый слой, состоящий из клейкой ленты или соответствующей массы (компаунда).

Водонепроницаемый слой должен иметь хорошую адгезию к алюминию, особенно когда для покрытия используется полихлорвинил, который, в отличие от полиэтилена, неплотно прилегает к оболочке после опрессовки.

Защитное покрытие алюминиевой оболочки должно быть неповрежденным. Одной из форм испытания кабеля на барабане является измерение изоляционной стойкости покрытия.

ТАБЛИЦА 1/L.4  
Рекомендуемые значения толщины оболочек

Диаметр сердечника кабеля, мм		Толщина оболочки, мм	
Минимум	Максимум	Негофрированная	Гофрированная <sup>a)</sup>
—	10	0,7–1,0	0,5–0,9
10	15	0,7–1,0	0,6–0,9
15	20	0,9–1,0	0,7–0,9
20	25	1,1	0,8–0,9
25	30	1,1–1,2	0,9
30	35	1,1–1,3	0,9–1,0
35	40	1,1–1,4	1,1
40	45	1,5	1,1–1,2
45	50	1,6	1,1–1,2
50	60		1,1–1,3
60	70		1,1–1,4
70	80		1,3–1,5

<sup>a)</sup> Если для гофрированной оболочки желательно получить приблизительно такой же коэффициент защитного действия, что и для негофрированной, толщина этой оболочки должна быть такой же, как у негофрированной оболочки.

В случае использования гофрированных оболочек битумная масса должна заполнять гофры таким образом, чтобы образовался полный контакт с внешним покрытием.

Эффективность водонепроницаемого слоя должна проверяться специальными испытаниями. Обычное испытание состоит из удаления части защитного покрытия с образца алюминиевой оболочки и прикладывания к нему электрического тока от внешнего источника эдс. Через некоторое время следует проверить, ограничились ли коррозия тем местом, с которого был удален защитный покров. Эффективность защитного покрытия можно оценить с помощью испытания на плотность прилипания битумного компаунда к алюминиевой оболочке и к пластмассовому покрытию.

Для обеспечения постоянной эффективности защитного покрытия при прокладке кабелей в районах с высокой грозоактивностью (в частности, во избежание пробоя оболочки вследствие удара молнии) следует принимать во внимание указания, приведенные в руководстве [3].

Если испытание защитного покрытия необходимо выполнить в процессе изготовления кабеля, то можно с успехом использовать метод электрического пробоя или метод определения сопротивления покрытия на кабеле, погруженном в воду. Если в процессе прокладки и эксплуатации необходимо установить факторы, которые могут явиться причиной повреждения защитного покрытия или могут снизить сопротивление изоляции защитного покрытия, следует выполнить соответствующие испытания и устранить обнаруженные дефекты.

#### 4 Сращивание алюминиевых оболочек

Сращивание алюминиевых оболочек является, несомненно, более трудной операцией, чем свинцовых, хотя эти трудности с развитием техники были сведены до минимума.

Сращивание алюминиевых оболочек производится несколькими методами, а именно с помощью:

- свинцовых муфт;
- свинцовых колец или конусов, устанавливаемых обычным способом или путем нанесения на алюминиевую оболочку специального клея с последующей припайкой свинцовых муфт;
- алюминиевых муфт, соединяемых с алюминиевой оболочкой посредством сварки под давлением (взрыв, давление или холодная сварка);
- клейких лент и эпоксидных паст, а также другими способами.

Методы, используемые для сращивания алюминиевых оболочек, должны удовлетворять условиям, рекомендуемым в руководстве [4].

Если кабель в алюминиевой оболочке подвергается сильным температурным изменениям, то напряжения, вызываемые сжатием кабеля, не должны прилагаться к местам сращивания, поскольку это может привести к их повреждению, особенно в случае негофрированных оболочек.

## 5 Катодная защита

Защита алюминиевых оболочек от коррозии зависит главным образом от качества антикоррозийного защитного покрытия. Однако если существует достаточно серьезная опасность повреждения защитного покрытия и, в частности, если невозможно после ремонта повторно нанести защитное покрытие, отвечающее исходным техническим требованиям, то для защиты этой оболочки должны быть использованы специальные меры, например электрохимическая защита с помощью протекторного анода. Протектор из алюминиевого сплава, преимуществами которого являются высокий выход тока на единицу веса, соответствующий потенциал защиты, практически неограниченная сырьевая база и простота изготовления, представляет собой эффективную меру защиты кабеля с алюминиевой оболочкой. Испытания показывают, что хорошие результаты можно получить, если потенциал защиты алюминиевой оболочки по отношению к земле ограничивается диапазоном от -0,85 до 1,2 В (относительно электрода Cu/CuSO<sub>4</sub>).

6 Если отсутствуют специальные требования по использованию алюминиевой оболочки для волоконно-оптического кабеля, то материал и способ изготовления оболочки кабеля могут быть аналогичными применяемым для кабелей с металлическими жилами.

## Ссылки

- [1] Руководство МККТТ *Технологии линейно-кабельных сооружений для сетей общего пользования*, часть IV-А, глава III, § 1.2.2, МСЭ, Женева, 1988 года.
- [2] Там же, часть I, глава III, § 6.2.2.
- [3] Руководство МККТТ *Защита линий и оборудования электросвязи от ударов молний*, МСЭ, Женева, 1974, 1978 годы.
- [4] Руководство МККТТ *Монтаж кабелей с пластмассовыми оболочками*, МСЭ, Женева, 1978 год.

## Рекомендация L.5

### МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ОБОЛОЧКИ КАБЕЛЕЙ КРОМЕ СВИНЦОВЫХ ИЛИ АЛЮМИНИЕВЫХ

(Женева, 1972 г.)

## 1 Типы кабелей с металлической оболочкой

1.1 Наиболее распространенным типом металлической оболочки, используемой вместо свинцовой или алюминиевой, является оболочка из гофрированной стали. Она представляет собой изготовленную из стальной ленты трубку, которая надевается на сердечник кабеля и сваривается соответствующим методом (дуговой сваркой в инертном газе, низкочастотным или высокочастотным нагревом) по всей длине с последующим гофрированием. Внешняя защита стальной оболочки обеспечивается с помощью специального вязкого антикоррозийного компаунда, который наносится на оболочку таким образом, что целиком заполняет все углубления гофров, и одной или нескольких покрывающих его пластмассовых лент. Сверху на защищенную компаундом и лентами поверхность методом опрессовки наносится внешнее пластмассовое покрытие, образующее гладкую внешнюю оболочку.

1.2 Для защиты от индуцированных токов в кабеле, описанном в § 1.1, можно использовать алюминиевые или медные ленты, наложенные продольно или по спирали под оболочкой из гофрированной стали. Вместо оболочки из гофрированной стали можно также использовать оболочку из гофрированной меди.

## 2 Конструкция

- 2.1 Металлической ленте придается форма длинной трубки, надетой на сердечник кабеля, которая затем сваривается по всей длине и гофрируется.
- 2.2 Незащищенная сталь особенно подвержена коррозии; защита обычно состоит из слоя компаунда, в который погружаются пластмассовые ленты, причем так, чтобы гофры были целиком заполнены компаундом. Поверх компаунда методом опрессовки наносится внешняя оболочка из полиэтилена или сходного с ним материала класса II (см. [1]).
- 2.3 Обычно кабель не нуждается в бронировании, но в особых случаях можно применить броню.

## 3 Использование

Оболочки из гофрированной стали или меди могут использоваться для всех видов кабелей электросвязи. Ниже приведены основные соображения, определяющие применение таких кабелей:

- a) с учетом всех факторов (например, затрат на прокладку, размеров труб канализации, себестоимости кабеля) и несмотря на то, что общий диаметр такого кабеля больше диаметра кабелей с пластмассовой, свинцовой или негофрированной алюминиевой оболочкой, кабели электросвязи со стальными оболочками могут быть более экономичны, чем со свинцовыми;
- b) стальная оболочка устойчива к вибрации, вызванной движением железнодорожного и автомобильного транспорта;
- c) оболочка из гофрированной стали обладает хорошей гибкостью;
- d) оболочка из гофрированной стали с гладким внешним покрытием проста в обращении в процессе прокладки;
- e) один и тот же тип кабеля может прокладываться непосредственно в земле и в кабельной канализации;
- f) такая оболочка выдерживает сжатие средней силы и обеспечивает защиту от большинства механических повреждений камнями или землеройными инструментами;
- g) если пластмассовое покрытие кабелей со стальной оболочкой повреждено, то можно ожидать быстрого распространения коррозии.

### Ссылка

- [1] Руководство МККТТ *Технологии линейно-кабельных сооружений для сетей общего пользования*, МСЭ, Женева, 1988 год, часть IV-A, глава III, § 1.2.2.

## Рекомендация L.6

### МЕТОДЫ СОДЕРЖАНИЯ КАБЕЛЕЙ ПОД ГАЗОВЫМ ДАВЛЕНИЕМ

(Женева, 1972 г.)

МККТТ обращает внимание на возможность повышения надежности электросвязи за счет обеспечения защиты кабелей от проникновения влаги в случае пробоя или повреждения оболочки. В целях обеспечения непрерывности связи до конца проведения ремонтных работ МККТТ рекомендует администрациям следовать указаниям, изложенным в руководстве *Защита кабелей электросвязи путем содержания их под газовым давлением*, МСЭ, Женева, 1970 год.

## ПРИМЕНЕНИЕ СОВМЕСТНОЙ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ

(Женева, 1976 г.)

### 1 Общие положения

Под совместной катодной защитой подземных металлических конструкций подразумевается защита от коррозии путем использования общих защитных устройств.

Совместная система защиты для нескольких подземных металлических конструкций состоит из электрических перемычек между ними, а также общих для них защитных устройств, удовлетворяющих условиям катодной защиты и электрического дренажа.

Использование совместной защиты увеличивает надежность линий, проложенных непосредственно в грунте, повышает эффективность устройств катодной защиты, а также сокращает общие капиталовложения и стоимость обслуживания системы защиты.

### 2 Условия применения совместной катодной защиты

Совместную катодную защиту подземных металлических конструкций целесообразно применять в тех случаях, когда различные конструкции располагаются вблизи друг от друга или пересекаются и когда нужно избежать вредного влияния защищенных конструкций на соседние незащищенные конструкции, при условии что это экономически выгодно и нет других, более подходящих средств исключения такого влияния. Вредное влияние, оказываемое на соседние подземные металлические конструкции катодной поляризацией или защищенным сооружением, проявляется в том случае, когда:

- a) измеренные потенциалы больше или меньше рекомендуемых значений;
- b) возрастает опасность коррозии соседних подземных металлических конструкций.

Совместная защита кабелей электросвязи и других конструкций наиболее целесообразна в том случае, если:

- a) расстояние между соседними металлическими конструкциями не превышает 50 м;
- b) проложенные в грунте линии пересекаются;
- c) заземлители или реактивные аноды системы катодной защиты оказывают вредное влияние на соседние незащищенные конструкции.

Согласно [1], совместная защита кабелей электросвязи и электропередачи может рассматриваться в том случае, если потенциал кабеля электросвязи по отношению к земле не превышает допустимого напряжения, предписанного местными или национальными правилами безопасности при аварийном заземлении или коротком замыкании в сети электропередачи.

Совместная катодная защита должна обеспечивать на защищаемых конструкциях потенциалы в пределах значений, указанных в [1].

При совместной защите можно воспользоваться автоматическими устройствами, ограничивающими величину тока катодной защиты.

### 3 Условия применения электрических перемычек

В целях обеспечения электрического контакта между конструкциями, имеющими совместную защиту, используются специальные перемычки. Перемычки могут быть прямыми, или сключенными в них сопротивлениями (с целью ограничения величины тока), или поляризованными.

Прямые перемычки применяются в следующих случаях:

- a) когда подземные металлические конструкции одного и того же типа пересекаются или сближаются;
- b) когда включение перемычек между подземными конструкциями различных видов не снижает эффективности первичной системы катодной защиты.

Перемычки с сопротивлениями, которые ограничивают величину тока, прикладываемого к конструкциям различного типа, следует применять в том случае, когда нужно воздействовать на величину потенциалов, возникающих в этих конструкциях.

Поляризованные перемычки следует применять:

- a) в совместных системах электрического дренажа и катодной защиты;
- b) в целях предотвращения прохождения тока из трубопровода в сооружение электросвязи;
- c) для предотвращения повреждения устройства катодной защиты.

Перемычки не должны устанавливаться между проложенными в грунте кабелями электросвязи и электропередачи, если это небезопасно при повреждении электросети и не предусмотрено местными и национальными правилами безопасности.

#### 4 Контроль за работой устройств совместной катодной защиты

Работа устройств совместной катодной защиты должна контролироваться путем:

- a) периодического осмотра устройств и оборудования защиты;
- b) периодического измерения разности потенциалов между сооружением и землей; при этом оборудование защиты включается и отключается от всех сооружений, для которых предусмотрена система совместной защиты, в соответствии с принятыми местными процедурами.

Испытания или изменения в системе совместной катодной защиты рекомендуется проводить в присутствии представителей эксплуатационных организаций, подземные сооружения которых обеспечиваются совместной защитой, или с их согласия.

#### Ссылка

- [1] Руководство МККТТ *Технологии линейно-кабельных сооружений для сетей общего пользования*, МСЭ, Женева, 1988 год.

#### Рекомендация L.8

### КОРРОЗИЯ, ВЫЗЫВАЕМАЯ ПЕРЕМЕННЫМ ТОКОМ

(Женева, 1976 г.)

Результаты лабораторных опытов и наблюдений в процессе эксплуатации проложенных кабелей показывают, что буждающие переменные токи могут вызывать коррозию.

Однако другие опыты, проведенные на свинце с целью выявления действия постоянного и переменного токов (по потере массы металла), показывают, что переменный ток вызывает очень слабую коррозию по сравнению с постоянным. Коррозия в этом случае проявляется в питтинговой форме.

Однако следует заметить, что:

- хотя и редко, коррозия под влиянием переменного тока легче возникает на частотах ниже 50 или 60 Гц (обычная промышленная частота);
- могут иметь место процессы выирмления тока; они обусловлены характером грунта, а также наличием окисей или загрязняющих веществ на поверхности металлов.

Практически невозможно установить, при каких значениях плотности тока и напряжения возникает коррозия. Точечный характер повреждения, анодные и катодные реакции на одной и той же поверхности металлов и изменение химических характеристик среды не позволяют в настоящее время получить сколько-нибудь точное представление о критической плотности тока или дать ее определение.

Можно предположить, что переменный ток при малом напряжении обычно не опасен для стали или свинца, но в некоторых случаях может вызывать коррозию алюминия.

## МЕТОДЫ КОНЦЕВОЙ ЗАДЕЛКИ КАБЕЛЕЙ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ЖИЛАМИ

(Мельбурн, 1988 г.)

### 1 Общие положения

Концевая заделка кабелей с металлическими жилами производится в различных точках кабельной сети. Типы окончаний и оконечных устройств, применяемых в этих точках, зависят от различных факторов, относящихся к конкретным сооружениям:

- тип кабеля и жил, подлежащих концевой заделке;
- месторасположение и назначение данной концевой заделки;
- число или объем требуемых концевых заделок;
- вид связи или тип линии передач;
- требования, предъявляемые к гибкости и защите.

В принципе все станции коммутации, оконечные усилители (усилители или регенераторы), а также основные окончания в кроссах относятся к "постоянному" типу и выполняются с помощью применения различных методов: соединения навивом, пайки или соединения путем смещения изоляции (IDC).

Для местного распределения и абонентских окончаний используется комбинация концевых заделок "постоянного" и "временного" (вывод под винт) типов в зависимости от конкретных условий. При необходимости в качестве защиты от перенапряжения в оконечное устройство может входить специальный элемент или отдельное "дополнительное" устройство.

На кабельной сети существуют два способа концевой заделки кабелей. Как правило, их можно называть прямым и непрямым способами.

Прямая концевая заделка предполагает, что жилы, относящиеся к определенному кабелю, напрямую соединяются с зажимом, образуя "конец" кабельной линии, например жила кабеля и зажим соединяются напрямую.

Непрямая концевая заделка предполагает, что жила кабеля соединяется с оконечным зажимом с помощью устройства, в состав которого входит заранее выполненная или заводская концевая заделка.

Прямые концевые заделки используются, как правило, на оконечных зажимах, например на главных кроссах телефонных станций или в аппаратных абонентов, хотя некоторые прямые концевые заделки используются на распределительной кабельной сети. В большинстве других промежуточных окончаний (распределительные шкафы и стойки, корпуса промежуточных усилителей и точки окончания симметричных и коаксиальных кабелей) применяются непрямые концевые заделки, при которых ответвительные кабели с заранее выполненной концевой заделкой спаиваются с основным кабелем.

Электропроводящие части устройств концевой заделки выполняются из таких металлов, как медь, бронза, или других аналогичных сплавов с соответствующим покрытием для защиты от коррозии и других воздействий окружающей среды; они обеспечивают хорошее электрическое соединение, используя либо контакт, либо давление, либо пайку, либо намотку.

Механическая прочность и электрическая изоляция металлических элементов обеспечиваются посредством применения различных изоляционных материалов (пластмассовая опрессовка и заливка смолой).

### 2 Типы концевой заделки

#### 2.1 Типы концевой заделки жил симметричных пар

##### 2.1.1 Соединения навивом

Конец жилы защищается от изоляции и обрезается, затем вставляется в навивочное устройство и соединяется с зажимом путем навива.

##### 2.1.2 Пайка

Конец жилы защищается от изоляции и обрезается, затем вставляется в прорезь и припаивается.

### **2.1.3 Соединение путем навивы и пайки**

После выполнения соединения навивом жила припаивается к концу зажима.

### **2.1.4 Механические зажимы**

Существуют разные формы концевой заделки такого типа:

- a) концевая заделка с помощью винтов. Конец жилы зачищается от изоляции, обрезается и закрепляется винтами с помощью отвертки;
- b) концевая заделка с помощью гаек. Она выполняется с помощью фиксированного бронзового штыря с резьбой, шайб и шестигранной гайки с резьбой. Жилы зажимаются гайкой между шайбами.

### **2.1.5 Соединение со смещением изоляции (IDC)**

Как правило, жила вставляется и зажимается в U-образном контакте с помощью специального инструмента.

U-образный контакт имеет различные формы и чаще всего используется при концевой заделке.

### **2.1.6 Концевая заделка неиспользуемых жил**

Такая концевая заделка выполняется с помощью пластмассовых соединений без U-образных контактных элементов и применяется для защиты неиспользуемых жил в шкафу или в соединительной муфте.

## **2.2 Типы концевой заделки коаксиальных пар**

### **2.2.1 Типы соединителей**

Коаксиальные пары заканчиваются соединителями, которые установлены на металлической плате, позволяющей получить доступ к промежуточному усилителю или оконечному оборудованию.

Соединитель, имеющий в своем составе газонепроницаемое устройство, соединяет жесткую коаксиальную пару с гибкой, идущей внутрь здания или станции.

### **2.2.2 Прямое соединение**

Иногда производится прямое соединение кабеля с жесткими коаксиальными парами с гибким коаксиальным кабелем.

## **3 Использование концевой заделки**

Вышеупомянутые типы концевой заделки используются в различных устройствах и точках окончания кабеля во всех случаях их применения: на главном кроссе, в регенераторах, кабельных шкафах, распределительных коробках и в аппаратных абонентов.

Физические характеристики таких устройств могут сильно различаться в разных странах, но их технические характеристики (т. е. электрические и точки зрения окружающей среды) весьма схожи.

## **4 Требования, предъявляемые к устройствам концевой заделки кабеля на главном кроссе**

Основными требованиями, которые предъявляются к устройствам концевой заделки кабеля на главном кроссе станции, являются:

- постоянная концевая заделка жил внешних кабелей в многопарных блоках (как правило, 100) и соответствующие кроссировочные провода;
- простота выполнения концевой заделки (а в случае необходимости, и повторной концевой заделки) кабеля и кроссировочных проводов;
- защита от перенапряжения с помощью стационарных или съемных газоразрядников;
- разделение цепей посредством включения или отключения соответствующего устройства;
- раздельный доступ к цепям и их испытание на стороне оборудования и на стороне линий;
- схемы параллельного действия;
- точки или шины заземления;
- величина отношения окончания исходящих/входящих цепей составляет не менее 2;
- многоточечные соединения пар (штексерные разъемы и провода);

- цветовой код для специальных цепей;
- шины для расшивки кабелей и направляющие для укладки кроссировок;
- нумерация и идентификация постоянных цепей;
- хорошая видимость.

#### **4.1 Технические требования**

Разработка, конструкция и материалы, применяемые в устройствах концевой заделки, должны быть рассчитаны на предполагаемый срок службы порядка 40 лет. Эти устройства должны быть совместимы с существующей практикой конструирования и использования главных кроссов, допускать взаимозаменяемость с существующими устройствами концевой заделки и поддерживать или увеличивать нормальную плотность цепей на единицу площади.

Зажимы со стороны линии должны обеспечивать концевую заделку всех внешних кабелей с медными жилами диаметром от 0,32 до 0,90 мм и изоляцией из сплошной или пористой пластмассы. Зажимы со стороны оборудования должны обеспечивать концевую заделку всех существующих внутренних кабелей с медными жилами.

Должна быть предусмотрена возможность в течение срока службы системы от 100 до 200 раз выполнять надежную повторную концевую заделку жил. Концевая заделка жил большего диаметра не должна влиять на последующую концевую заделку жил меньшего диаметра.

Концевая заделка кабелей со стороны линии должна обеспечивать возможность выполнения испытаний на месте установки и приемочных испытаний внешних кабелей (автоматический одновременный доступ через главный кросс для всех пар из 100-парного блока или др.).

Концевая заделка должна выдерживать воздействие нормальных концентраций влажности, хлористого натрия, сероводорода, сернистого газа, хлористого аммония и муравьиной кислоты, которые могут проникать в здания или в них образовываться.

Предполагается, что концевая заделка будет удовлетворительно функционировать в диапазоне температур от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  с суточными перепадами до  $15^{\circ}\text{C}$ . Предполагается также, что температура будет держаться на верхних пределах в течение 25% всего времени. Допускается среднегодовая относительная влажность порядка 75% с максимальными значениями, не превышающими 95%.

Помимо вышеизложенного, концевая заделка должна удовлетворять требованиям при следующих испытаниях на:

- холод,
- сухое тепло,
- влажное тепло,
- тепло с возрастающей влажностью,
- вибрацию,
- хранение,
- плесень,
- коррозию,
- прочность зажимов.

#### **4.2 Требования безопасности**

При разработке систем концевой заделки должны учитываться требования безопасности. В связи с этим необходимо:

- свести к минимуму вероятность непреднамеренного электрического контакта и/или случайного смещения проводов,
- использовать пластмассовые материалы с показателем кислорода не менее 28, определяемым в соответствии с международными стандартами,
- использовать пластмассовые материалы, которые не испускают вредных запахов или дыма при нагревании,
- избегать острых углов или краев.

#### **4.3 Электрические требования**

Все блоки концевой заделки должны иметь надлежащие электрические характеристики, чтобы свести к минимуму опасность электрического воздействия на обслуживающий персонал, пользователей и население во время установки, эксплуатации и технического обслуживания этих устройств.

В случае необходимости желательно рекомендовать соответствующие значения для следующих параметров:

- сопротивление изоляции;
- контроль напряжения;
- емкость между парами и зажимами.

## 5 Требования, предъявляемые к устройствам концевой заделки кабелей

### 5.1 Электрические характеристики концевых заделок

Основными электрическими характеристиками концевых заделок, спецификацию которых осуществляют большинство администраций, являются:

- электрическая прочность;
- сопротивление изоляции;
- коэффициент отражения (только для коаксиальных кабелей);
- контактное сопротивление.

Эти характеристики будут разными для концевых заделок коаксиальных пар, для междугородных и местных кабелей с симметричными парами.

### 5.2 Требования, предъявляемые окружающей средой

Выполнение этих требований должно обеспечиваться в течение срока службы не менее 20 лет в условиях эксплуатации при постоянном использовании в местах, частично защищенных от погодных условий. Стандарты МЭК должны соблюдаться по вопросам, которые касаются:

- температурных циклов, нижнему и верхнему пределам;
- изменений температуры;
- влажному теплу, без колебаний;
- стандартной климатической последовательности:
  - 1) сухое тепло;
  - 2) влажное тепло, циклично;
  - 3) холод;
  - 4) влажное тепло, циклично;
- газонепроницаемости;
- ударов или вибраций.

## Рекомендация L.10

### ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ, ПРОКЛАДЫВАЕМЫЕ В КАБЕЛЬНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ, ТУННЕЛЯХ, НЕПОСРЕДСТВЕННО В ГРУНТЕ И ПОДВЕШИВАЕМЫЕ НА СТОЛБАХ

(Мельбурн, 1988 г.)

#### Введение

Последние достижения в технологии производства волоконно-оптических кабелей дали возможность использовать оптические волокна для целей электросвязи в соединительных и абонентских сетях, кабельной проводке внутри зданий и морских кабелях. Существуют различные способы прокладки: подвеска на столбах, прокладка в кабельной канализации, туннелях, непосредственно в грунте, внутри помещений под водой. Таким образом, оптические волокна подвергаются различным внешним естественным и создаваемым человеком воздействиям.

Необходимо определить механические характеристики оптических волокон и их реакции на воздействие окружающей среды, которые будут удовлетворять требованиям эксплуатации, а также соответствующие методы испытаний.

В настоящей Рекомендации рассматриваются волоконно-оптические кабели, которые должны использоваться в определенных условиях прокладки. Кабели, применяемые в подводных системах и для проводки внутри зданий, подлежат дальнейшему изучению.

## **1      Область применения**

В настоящей Рекомендации:

- рассматриваются многомодовые, градиентные и одномодовые волоконно-оптические кабели, которые используются на сетях электросвязи и прокладываются в кабельной канализации, туннелях, непосредственно в грунте и подвешиваются на столбах;
- рассматриваются механические характеристики указанных волоконно-оптических кабелей и их устойчивость к воздействию окружающей среды. Размеры и физические характеристики передачи волоконно-оптических кабелей, а также методы их испытаний должны соответствовать Рекомендациям G.651 и G.652, в которых речь идет о многомодовых, градиентных и одномодовых оптических волокнах соответственно;
- рассматриваются основные соображения, относящиеся к волоконно-оптическому кабелю с точки зрения механических воздействий и воздействий окружающей среды;
- принимается во внимание тот факт, что в некоторых волоконно-оптических кабелях могут содержаться металлические элементы, в связи с которыми необходимо обращаться к руководству *Технологии линейно-кабельных сооружений для сетей общего пользования* (см. Рекомендацию L.1) и другие Рекомендации серии L;
- рекомендуется предусматривать для волоконно-оптического кабеля концевую заделку и защиту в процессе доставки и хранения кабеля, как это обычно делается для кабелей с металлическими жилами. Если элементы сращивания установлены в заводских условиях, то для них должна быть обеспечена соответствующая защита;
- рекомендуется устанавливать в случае необходимости устройства для протяжки кабеля в его конце.

## **2      Характеристики оптических волокон и кабелей**

### **2.1     Механические характеристики**

#### **2.1.1    Микроизгиб волокна**

Значительный изгиб оптического волокна, который влечет за собой местное осевое смещение порядка нескольких микронов на коротких расстояниях, обусловленное локализованными боковыми усилиями по всей длине волокна, называется микроизгиблом. Он может быть вызван механическими деформациями при изготовлении и прокладке, а также изменениями геометрических размеров материалов кабеля вследствие изменений температуры окружающей среды в процессе эксплуатации.

Микроизгиб может вызвать увеличение оптических потерь. Для уменьшения потерь, обусловленных микроизгиблом, необходимо исключить усилие, случайно прикладываемое к волокну вдоль его оси при заделывании волокна в кабель, а также во время и после прокладки кабеля.

#### **2.1.2    Макроизгиб волокна**

Макроизгиб является результирующим искривлением оптического волокна после изготовления и прокладки кабеля.

Макроизгиб может вызывать увеличение оптических потерь. Оптические потери увеличиваются с уменьшением радиуса изгиба.

#### **2.1.3    Изгиб кабеля**

При изменяющихся динамических условиях, которые возникают во время прокладки кабеля, волокна подвергаются механической деформации, обусловливаемой как натяжением кабеля, так и его изгибом. Для ограничения этого объединенного динамического напряжения необходимо выбрать кабель с соответствующими силовыми элементами и радиусом изгиба прокладки. Радиус изгиба волокна, остающийся после прокладки кабеля, должен быть достаточно большим, чтобы ограничить потери, обусловленные макроизгиблом или долговременным напряжением, ограничивающим срок службы волокна.

#### **2.1.4    Прочность на растяжение**

Волоконно-оптический кабель подвергается кратковременным нагрузкам в процессе изготовления и прокладки; он может подвергаться также постоянной статической и/или циклической нагрузкам в процессе эксплуатации (например, колебаниям температуры). В случае использования воздушных кабелей особенно может иметь место постоянная нагрузка в течение всего срока службы кабеля. Напряжение волокон может обуславливаться натяжением, скручиванием и изгибом, которые имеют место при прокладке кабеля и/или в зависимости от типа прокладки (например, воздушные кабели) и/или окружающих условий (например, ветер, лед).

Чрезмерно большое натяжение увеличивает оптические потери и может обусловить увеличение числа остаточных дефектов волокна, если натяжение кабеля невозможно ослабить. Чтобы избежать такого положения, не следует превышать величину максимально допустимой прочности на растяжение, определяемой конструкцией кабеля и в особенности его силовыми элементами.

*Примечание 1.* — Когда кабель подвергается постоянной нагрузке в течение срока его службы, желательно, чтобы волокно не подвергалось дополнительному напряжению.

*Примечание 2.* — Воздушный кабель может прикрепляться к несущему тросу. В этом случае силовой элемент кабеля следует рассчитать таким образом, чтобы он выдерживал нагрузку только в процессе изготовления и прокладки кабеля.

### 2.1.5 *Раздавливание и удар*

Кабель может подвергаться раздавливанию и удару как в процессе прокладки, так и в течение срока службы.

Раздавливание и удар могут увеличивать оптические потери (постоянно или в течение времени приложения усилия), а чрезмерное напряжение может привести к разрыву волокна.

В случае цилиндрических воздушных кабелей с несущим тросом их конструкция должна выдерживать сжатия и исключать дополнительные оптические потери.

### 2.1.6 *Скручивание кабеля*

В динамических условиях, которые встречаются при прокладке и эксплуатации, кабель может подвергаться скручиванию, что приводит к остаточной деформации волокон и/или повреждению оболочки. В таких случаях конструкция кабеля должна допускать определенное число скруток кабеля на единицу длины без увеличения потерь волокна и/или повреждения оболочки.

## 2.2 *Действие окружающей среды*

### 2.2.1 *Газообразный водород*

Газообразный водород может образоваться в присутствии влаги и металлических элементов. Газообразный водород может дифундировать в кремниевое волокно и вызывать увеличение оптических потерь. Рекомендуется такая степень концентрации водорода в кабеле, связанной с наличием в нем металлических элементов, чтобы воздействие водорода на увеличение оптических потерь в долгосрочном плане было приемлемым.

Используя метод содержания кабеля под избыточным давлением газа, водородопоглощающие материалы, тщательно подходя к выбору и возведению (оболочка с водонепроницаемым барьером) металлических элементов или же исключая их, можно поддерживать увеличение оптических потерь в допустимых пределах.

### 2.2.2 *Проникновение влаги*

Когда влага проникает сквозь оболочку кабеля и появляется в его сердечнике, происходят снижение прочности волокна на растяжение и уменьшение времени, в течение которого она сохраняется. Для обеспечения достаточно большого срока службы кабеля необходимо ограничить уровень ухудшения волокна в долгосрочном плане.

Для уменьшения скорости проникновения влаги в качестве барьеров можно использовать различные материалы. Можно также использовать кабель с заполнением, не содержащим металлических элементов.

*Примечание.* — При необходимости минимальное проникновение влаги достигается за счет продольного наложения металлической фольги внахлест. Непрерывный металлический барьер позволяет предотвратить проникновение влаги.

### 2.2.3 *Просачивание воды*

В случае повреждения оболочки кабеля или соединительной муфты может иметь место продольное просачивание воды в сердечник кабеля или между оболочками. Просачивание воды вызывает эффект, аналогичный проникновению влаги. Продольное просачивание воды должно быть сведено к минимуму, а при возможности — предотвращено. С этой целью могут применяться такие методы, как заполнение сердечника кабеля компаундом, использование отдельных водонепроницаемых барьеров или лент, разбухающих под воздействием воды, содержание не заполненного компаундом сердечника кабеля под давлением сухого воздуха.

Вода в кабеле может замерзать и при определенных условиях сдавливать волокна, что приводит к увеличению оптических потерь и даже к разрыву волокон.

## **2.2.4 Удары молнии**

Волоконно-оптические кабели с такими металлическими элементами, как традиционные медные пары или металлическая оболочка, уязвимы к ударам молнии.

Для предотвращения или сведения к минимуму повреждений, обусловленных ударами молнии, необходимо придерживаться Рекомендации К.21.

В случае применения кабеля без металлических элементов его сердечник должен иметь гидрофобное заполнение, а также защиту от механических и тепловых повреждений.

## **2.2.5 Биотические повреждения**

Чем меньше диаметр волоконно-оптического кабеля, тем в большей степени он подвержен нападению грызунов. Если избавиться от грызунов невозможно, то следует предусмотреть защиту в виде металлической брони. Дополнительную информацию можно найти в главе II части IV-В руководства *Технологии линейно-кабельных сооружений для сетей общего пользования*.

## **2.2.6 Вибрация**

Когда волоконно-оптические кабели проложены на мостах, они подвергаются сравнительно сильным вибрациям низкой частоты, что зависит от конструкции моста и интенсивности движения. Кабели должны выдерживать эти вибрации без повреждений или снижения качества передачи. Однако необходимо тщательно выбирать метод прокладки.

Подземные волоконно-оптические кабели могут подвергаться вибрациям от движения автомобилей, железных дорог, забивки свай и взрывных работ. И в этом случае кабели без каких бы то ни было ухудшений должны выдерживать вибрации, которые создаются этими источниками.

Хорошо организованная работа по изысканию трассы позволит определить виды и источники вибраций и тщательно выбрать маршрут прокладки кабеля, чтобы свести к минимуму возможные воздействия.

## **2.2.7 Изменения температуры**

В течение срока службы кабели могут подвергаться резким изменениям температуры. В подобных условиях увеличение затухания волокон не должно превышать установленные предельные значения.

## **2.2.8 Ветер**

Когда речь идет о волоконно-оптических воздушных кабелях, давление, обусловленное силой ветра, может вызвать напряжение волокна из-за натяжения, скручивания и вибрации. Создаваемое динамическое и остаточное напряжение волокна может привести к его разрыву, если будет превышена предельная долговременная величина напряжения.

Во избежание какой бы то ни было деформации волокна под влиянием давления, создаваемого ветром, и для ограничения такой деформации до безопасных уровней должен быть выбран соответствующий силовой элемент, а конструкция кабеля должна механически отделять волокно от оболочки для сведения напряжения к минимуму. Для снятия напряжения с волокна кабель можно также подвешивать на очень прочном несущем тросе.

Что касается воздушных кабелей, то ветры будут вызывать вибрации, а в случае подвесных кабелей с несущим тросом или с несущим тросом в общей оболочке могут возникать сильнейшие колебания на всем пролете. Кабели должны быть рассчитаны и/или подвешены таким образом, чтобы в подобных ситуациях обеспечивалась стабильность характеристик передачи.

## **2.2.9 Снег и лед**

Что касается воздушного волоконно-оптического кабеля, то деформация волокна может быть вызвана натяжением, возникающим в связи с налипанием снега и/или образованием льда вокруг кабеля. Создаваемое напряжение волокна может привести к чрезмерно большим оптическим потерям и разрыву волокна, если будет превышена установленная для волокна предельная долговременная величина напряжения.

Динамическое напряжение волокна может создаваться вибрацией, обусловленной падением снега и/или льда с кабеля. Это может привести к разрыву волокна.

При нагрузке, создаваемой снегом и/или льдом, под давлением ветра может легко возникать чрезмерно большое напряжение волокна.

Во избежание деформации волокна под тяжестью снега и/или образовавшегося льда и для ограничения такой деформации до безопасных уровней должен быть выбран соответствующий силовой элемент, а профиль кабеля должен сводить нагрузку, созданную снегом, к минимальной. Для снятия напряжения с волокна кабель можно также подвешивать на очень прочном несущем тросе.

## **2.2.10 Сильные электрические поля**

Неметаллические воздушные кабели, подвешиваемые на высоковольтных линиях электропередачи, подвержены влиянию электрического поля этих линий, которое может привести к таким явлениям, как корона, искрение и образование дуги с оболочкой кабеля.

Во избежание повреждения может оказаться необходимым использовать для изготовления оболочки кабеля специальные материалы в зависимости от уровня электрического поля.

## **3 Конструкция кабелей**

### **3.1 Покрытия волокон**

#### **3.1.1 Первичное покрытие**

Кремниевое волокно само по себе обладает высокой прочностью, которая, однако, уменьшается при образовании трещин на поверхности. Поэтому первичное покрытие должно наноситься сразу же после вытяжки волокна нужного размера.

Оптическое волокно должно быть проверено на прочность. Чтобы гарантировать долговременную эксплуатационную надежность в рабочих условиях, можно определить прочность волокна на растяжение, принимая во внимание допустимое напряжение и требуемый срок службы.

Чтобы подготовить волокно к сращиванию, необходимо иметь возможность удалить первичное покрытие без повреждения волокна и без применения материалов или методов, которые считаются опасными или вредными.

При выборе материала для первичного покрытия, которое при необходимости может быть окрашено, следует учитывать характеристики оборудования, используемого для местного ввода и обнаружения света при определении затухания сростка в зависимости от методов сращивания волокон.

*Примечание 1.* — Покрытие должно иметь名义альный диаметр 250 мкм.

*Примечание 2.* — Волокна с первичным покрытием должны подвергаться испытанию на прочность с помощью эквивалента напряжения не менее 0,5% в течение одной секунды. Метод испытания должен соответствовать публикации 793-1 МЭК [1]. Что касается воздушных кабелей, то, принимая в расчет большие изменения температуры и сильные ветры, может понадобиться приложение более сильного напряжения при выполнении испытания волокна на прочность.

*Примечание 3.* — Для определения необходимых методов испытания для местного ввода и обнаружения света изучение должно быть продолжено.

#### **3.1.2 Вторичная защита**

Необходимо предусмотреть вторичную защиту волокна в кабеле.

*Примечание 1.* — Методы вторичной защиты описаны в руководстве по конструкции, прокладке, сращиванию и защите волоконно-оптических кабелей [2].

*Примечание 2.* — При применении плотного вторичного покрытия может оказаться затруднительным использовать оборудование для местного ввода и обнаружения света при применении соответствующих методов сращивания волокон.

*Примечание 3.* — Для ограничения осевых напряжений волокна необходимо свести к минимуму механическую связь между волокнами и кабелем.

#### **3.1.3 Идентификация волокон**

Волокна должны легко идентифицироваться по цвету или их позиции в сердечнике кабеля. Если используется метод цветовой идентификации, то цвета должны быть четко различимы и обладать хорошими свойствами с точки зрения прочности окраски в присутствии других веществ в течение всего срока службы кабеля.

#### **3.1.4 Свойства сростков**

Необходимо продолжить изучение соответствующих методов испытания для местного ввода и обнаружения света.

## **3.2 Сердечник кабеля**

Необходимо четко определить конструкцию сердечника кабеля, в частности число волокон, метод их защиты и идентификации, размещение силовых элементов и металлических жил или пар, если таковые требуются.

### 3.3 Силовой элемент

Кабель должен быть оснащен соответствующими силовыми элементами, чтобы удовлетворять условиям прокладки и эксплуатации, не допускающим чрезмерных нагрузок волокна.

Силовой элемент может быть либо металлическим, либо неметаллическим и размещаться либо в сердечнике кабеля, либо/и в оболочке.

Например, в неметаллическом воздушном кабеле с несущим тросом силовой элемент может состоять из повива арамидных нитей, которые размещаются между внутренней и внешней оболочками, либо представлять собой силовой элемент, состоящий из отдельных стекловолокон в конструкции подвесного кабеля с несущим тросом в общей оболочке. Для расчета такого кабеля необходимо знать длину пролета, стрелу провеса, силу ветра и нагрузку при обледенении.

### 3.4 Гидрофобные материалы

Заполнение кабеля гидрофобными материалами является одним из средств защиты волокон от доступа воды. Все применяемые гидрофобные материалы должны быть безвредными для персонала. Используемые в кабеле материалы должны быть совместимы друг с другом и, в частности, не должны оказывать вредных влияний ни на рабочие характеристики, ни на цветовую идентификацию волокон.

Кроме того, гидрофобный материал не должен служить питательной средой для плесени и проводить электричество, он должен быть однородным и не иметь никаких загрязнений.

### 3.5 Пневматическое сопротивление

Если в процессе эксплуатации кабеля его требуется содержать под давлением сухого воздуха, то необходимо определить его пневматическое сопротивление.

*Примечание.* — Предполагается, что кабель может содержаться под давлением воздуха только в том случае, когда имеется возможность для циркуляции воздуха в соответствии с критериями, которые определены в части III руководства *Технологии линейно-кабельных сооружений для сетей общего пользования* (см. Рекомендацию L.1).

### 3.6 Оболочка

Сердечник кабеля должен быть покрыт оболочкой, соответствующей требованиям механических условий и условий окружающей среды, в которых хранится, прокладывается и эксплуатируется кабель. Оболочка может иметь сложную конструкцию и включать силовые элементы.

Соображения, относящиеся к оболочкам волоконно-оптических кабелей, в целом аналогичны относящимся к кабелям с металлическими жилами. Необходимо также учитывать объем водорода, образуемого металлическим водонепроницаемым барьером. Должны быть определены минимальная допустимая толщина оболочки, а также минимальный и максимальный допустимые диаметры кабеля.

*Примечание 1.* — Одним из наиболее часто используемых для оболочки материалов является политилен. Однако могут иметь место такие условия окружающей среды, когда необходимо свести к минимуму воспламеняемость кабеля и ограничить выделения газов, дыма и продуктов коррозии. В подобных ситуациях для оболочки кабеля должны применяться специальные материалы.

*Примечание 2.* — Что касается кабелей, непосредственно прокладываемых в грунте в районах, где почвы имеют химические загрязнения (кислоты, углеводороды и т. п.), то в этих случаях могут применяться специально разработанные конструкции оболочки кабеля.

*Примечание 3.* — В случае воздушных кабелей внешняя оболочка должна быть стойкой к воздействию, обусловленному ультрафиолетовым излучением.

### 3.7 Броня

Когда требуется дополнительная прочность на растяжение или механическая защита от внешних повреждений, необходимо предусмотреть бронепокрытие, накладываемое поверх оболочки кабеля.

Соображения, относящиеся к броне волоконно-оптических кабелей, в целом аналогичны относящимся к кабелям с металлическими жилами. Однако следует принимать в расчет образование водорода, обусловленное коррозией. Следует помнить о том, что применение брони снижает такие достоинства волоконно-оптических кабелей, как их легкость и гибкость.

Для бронепокрытия неметаллических кабелей могут применяться арамидные нити, прочные стекловолоконные силовые элементы, выполненные из отдельных стекловолокон, или ленты и т. п.

### 3.8 Идентификация кабеля

Чтобы различать волоконно-оптический и металлический кабели, требуется визуальная индикация. Она может быть выполнена в виде четко различимой маркировки оболочки волоконно-оптического кабеля.

## 4 Методы испытания

### 4.1 Методы испытания, относящиеся к механическим характеристикам

В данном разделе рекомендуются соответствующие испытания и методы их проведения для проверки механических характеристик волоконно-оптических кабелей.

#### 4.1.1 Прочность на растяжение

Этот метод испытания применяется для волоконно-оптических кабелей, которые могут прокладываться при любых условиях окружающей среды.

Измерения проводятся для проверки изменения затухания волокна в зависимости от нагрузки, прикладываемой к кабелю во время его прокладки.

Это испытание должно выполняться по методу, описанному в публикации 791-1-Е1 МЭК [3].

Величина механической развязки между волокном и кабелем может быть определена посредством измерения удлинения волокна с помощью устройства для измерения сдвига оптической фазы одновременно с измерением растяжения кабеля.

Этот метод может не влечь за собой разрушения, если величина прикладываемого растяжения находится в рабочих пределах.

#### 4.1.2 Испытание на изгиб

Этот метод испытания применяется для волоконно-оптических кабелей, которые могут прокладываться при любых условиях окружающей среды.

Он служит для определения способности волоконно-оптических кабелей выдерживать изгиб вокруг шкива, роль которого выполняет испытательная оправка.

Данное испытание должно выполняться в соответствии с методом, описанным в публикации 794-1-Е11 МЭК [3].

#### 4.1.3 Испытание на изгиб при растяжении (гибкость)

Этот метод испытания применяется для волоконно-оптических кабелей, которые могут прокладываться при любых условиях окружающей среды.

Этот вопрос требует дальнейшего изучения.

#### 4.1.4 Испытание на раздавливание

Этот метод испытания применяется для волоконно-оптических кабелей, которые могут прокладываться при любых условиях окружающей среды.

Данное испытание должно выполняться в соответствии с методом, описанным в публикации 794-1-Е3 МЭК [3].

#### 4.1.5 Испытание на сжатие (абразивный износ)

Этот метод испытания применяется для волоконно-оптических кабелей, которые могут прокладываться при любых условиях окружающей среды.

Данный вопрос требует дальнейшего изучения. В настоящее время он рассматривается в рамках метода, описанного в публикации 794-1-Е2 МЭК [3].

#### 4.1.6 Испытание на скручивание

Этот метод испытания применяется для волоконно-оптических кабелей, которые могут прокладываться при любых условиях окружающей среды.

Данное испытание должно выполняться в соответствии с методом, описанным в публикации 794-1-Е7 МЭК [3].

#### 4.1.7 Испытание на удар

Этот метод испытания применяется для волоконно-оптических кабелей, которые могут прокладываться при любых условиях окружающей среды.

Данное испытание должно выполняться в соответствии с методом, описанным в публикации 794-1-Е4 МЭК [3].

## **4.2 Методы испытаний, относящиеся к воздействию на кабель условий окружающей среды**

В данном разделе рекомендуются соответствующие испытания и методы их проведения для проверки воздействия условий окружающей среды на волоконно-оптические кабели.

### **4.2.1 Циклические изменения температуры**

Этот метод испытания применяется для волоконно-оптических кабелей, которые могут прокладываться при любых условиях окружающей среды.

Целью испытания при циклическом изменении температуры является определение стабильности затухания кабеля, обусловленного изменениями температуры окружающей среды, которые могут возникать в процессе хранения, транспортировки и эксплуатации.

Данное испытание должно выполняться в соответствии с методом, описанным в публикации 794-1-F1 МЭК [3].

*Примечание.* — Что касается воздушных кабелей с несущим тросом, то стабильность затухания может измеряться при определенном растяжении, которое прикладывается к образцу кабеля.

### **4.2.2 Продольное просачивание воды**

Этот метод испытания применяется только к целиком заполненным наружным кабелям, которые могут прокладываться при любых условиях окружающей среды. Целью такого испытания является проверка полноты заполнения компаундом всех промежутков в сердечнике кабеля, чтобы воспрепятствовать просачиванию воды в кабель.

Данное испытание должно выполняться в соответствии с методом, описанным в публикации 794-1-F5 МЭК [3].

### **4.2.3 Влагонепроницаемый барьер**

Этот метод испытания применяется для волоконно-оптических кабелей, которые могут прокладываться при любых условиях окружающей среды.

Данное испытание применимо к кабелям, в которых металлическая фольга накладывается поверх сердечника кабеля в продольном направлении внахлест. Испытание на просачивание влаги может быть выполнено по методу, описание которого приведено в главе III части I руководства *Технологии линейно-кабельных сооружений для сетей общего пользования* (см. Рекомендацию L.1).

### **4.2.4 Замораживание**

Этот метод испытания применяется для волоконно-оптических кабелей, которые могут прокладываться при любых условиях окружающей среды.

Данный вопрос требует дальнейшего изучения; в настоящее время он рассматривается в рамках метода, описанного в публикации 794-1-F6 МЭК [3].

### **4.2.5 Водород**

Этот метод испытания применяется для волоконно-оптических кабелей, которые могут прокладываться при любых условиях окружающей среды.

Необходимо определить соответствующую процедуру кратковременного испытания на строительной длине кабеля. Результаты заводских испытаний позволяют прогнозировать увеличение потерь волокна в долгосрочном плане.

### **4.2.6 Ядерная радиация**

Этот метод испытания позволяет оценить пригодность волоконно-оптических кабелей в случае воздействия ядерной радиации.

Данный вопрос требует дальнейшего изучения; в настоящее время он рассматривается в рамках метода, описанного в публикации 794-1-F7 МЭК [3].

### **4.2.7 Испытание на вибрацию (кабелей, прокладываемых по мостам и непосредственно в земле)**

Этот метод испытания позволяет оценить пригодность волоконно-оптических кабелей для прокладки на мостах и непосредственно в земле.

Данный вопрос требует дальнейшего изучения.

#### 4.2.8 Испытание на вибрацию (воздушных кабелей)

Этот метод испытания позволяет оценить пригодность волоконно-оптических кабелей для применения в качестве воздушных.

Данный вопрос требует дальнейшего изучения.

#### 4.2.9 Испытание на стойкость к воздействию ультрафиолетовых лучей

Этот метод испытания применяется для воздушного волоконно-оптического кабеля и позволяет оценить способность оболочки кабеля выдерживать ультрафиолетовое излучение.

Данный вопрос требует дальнейшего изучения.

#### 4.2.10 Перфорация оболочки

Этот метод испытания применяется для воздушного волоконно-оптического кабеля, который подвешивается на опорах высоковольтных линий электропередачи.

Данный вопрос требует дальнейшего изучения.

### Ссылки

- [1] Публикация 783-1 МЭК Оптические волокна. часть 1: Общие спецификации, Женева, 1987 год.
- [2] Руководство МКЕТТ Конструкция, прокладка, сращивание и защита волоконно-оптических кабелей, МСЭ, Женева, 1985 год.
- [3] Публикация 794-1 МСЭ Волоконно-оптические кабели, часть 1: Общие спецификации, Женева, 1987 год.

### Рекомендация L.11

#### СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТУННЕЛЕЙ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ И СТАНДАРТИЗАЦИЯ ПЛАНОВ ПОДЗЕМНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ

(Мельбурн, 1988 г.)

МКЕТТ,

учитывая,

- a) что многие страны заинтересованы в совместном использовании туннелей и им известно об их достоинствах, недостатках и связанных с ними конкретных опасностях;
- b) что правила, регламентирующие сооружение кабеле- и трубопроводов для прокладки в таких условиях весьма различны в разных странах;
- c) что значение совместного использования туннелей возрастает с ростом плотности населения и сокращением свободных площадей, т. е. в крупных городах,

рекомендует

администрациям, которые в будущем проявят интерес к этому типу прокладки, придерживаться правил, которые рассматриваются в настоящей Рекомендации.

#### 1 Общие соображения

Туннели и траншеи, предназначенные для подземной прокладки кабелей и трубопроводов, представляют собой сооружения, в которых располагается один или, как правило, несколько каналов, принадлежащих различным сетям. Туннели, в которые возможен доступ обслуживающего персонала (туннели, сооружения в которых могут непосредственно осматриваться персоналом), имеют один или несколько штреков для проведения первоначальных монтажных работ и последующего контроля, технического обслуживания и выполнения ремонтных работ. Туннель, в котором нельзя работать стоя, а только лишь лежа, должен иметь внутренний диаметр не менее 0,8 м. Штреки в этих туннелях могут быть недоступными для входа.

Вышеизложенные принципы относятся к туннелям, в которых может проводиться осмотр сооружений персоналом, и по аналогии — к туннелям, работать в которых можно только лежа.

В туннелях могут находиться кабеле- и трубопроводы, относящиеся к сетям следующих типов:

- коллективные антенны,
- электросвязь,
- электропередача,
- газоснабжение,
- водоснабжение,
- районное теплоснабжение,
- пневматические трубы (транспортные трубопроводы),
- дренаж воды.

## 2 Составление схемы прокладки

### 2.1 Структура

При составлении схемы туннеля необходимо учитывать структуру сетей и уровень их приоритетности.

Как правило, транспортные кабеле- и трубопроводы разных сетей направляются по разным маршрутам, так как ни промышленные узлы (например, электростанции, водонасосные станции или телефонные станции), ни пункты перехода от транспортных к первичным распределительным сетям не совпадают. С другой стороны, в районах с большой плотностью населения зачастую кабеле- и трубопроводы первичного и вторичного распределения следуют по одним и тем же маршрутам; поэтому целесообразно прокладывать туннели под магистралями, содержащими кабеле- и трубопроводы первичного и вторичного распределения.

### 2.2 Критерии принятия решения

При выборе метода прокладки — траншеи или туннели — необходимо учитывать следующие факторы:

#### 2.2.1 Безопасность распределения

Высокий уровень безопасности распределения зависит от следующих факторов:

- долговечность используемого материала и надежность сростков (соединений);
- быстрота определения места повреждения, когда оно возникает, простота доступа и минимальная продолжительность ремонта;
- малая подверженность внешним влияниям (например, повреждениям, причиняемым третьими сторонами или вследствие землетрясений).

Кабеле- и трубопроводы, проложенные в туннеле, обеспечивают, как правило, большую долговечность и небольшой риск износа и повреждения. Их можно быстро отремонтировать.

#### 2.2.2 Опасность от третьих сторон, нарушения нормальной деятельности, обусловленные работами по прокладке и ремонту

Необходимо учитывать нарушения нормальной деятельности, обусловленные работами по прокладке и ремонту кабеле- и трубопроводов (изменение направления уличного движения, шумы), и возможные последствия повреждения коммуникаций (ущерб от наводнений и пожаров).

#### 2.2.3 Экономические соображения

В основу экономических соображений должны быть положены не только стоимость сооружения и технического обслуживания туннелей, но и экономия, которую даст в будущем возможность избежать вторичных эффектов подземных сооружений. Под вторичными эффектами понимается воздействие, оказываемое на местное население, местную деятельность, уличное движение и окружающую среду в целом прокладкой, сбоями в работе, проведением работ по ремонту и техническому обслуживанию кабеле- и трубопроводов.

#### 2.2.4 Технические соображения

Прежде чем выбрать тот или иной метод прокладки, необходимо рассмотреть следующие факторы:

- тип сооружения, сеть, размеры (поперечное сечение), мощность (пропускная способность), материалы, защита от коррозии, число, приоритетность распределения, маршрут кабелепровода, совместимость с другими коммуникациями, состояние сооружений, ремонтные работы, капитальный ремонт, замена, резервирование, расширение, аварийные сооружения, временные прокладки, ввод в здания;
- проезжая часть дороги, ширина дороги, ширина замощенной части, полоса растительности, интенсивность движения, дренаж поверхностных вод, наземная часть сооружения;
- подпочвы, тип грунта, уровень грунтовых вод, существующие кабеле- и трубопроводы, существующие подземные сооружения;
- план-графики, начало работ, продолжительность этапов работы, ввод в эксплуатацию.

При проектировании туннеля особое внимание должно быть уделено ответвлениям, предназначенным для ввода в здание, которые могут напрямую отходить от туннеля, если были предусмотрены необходимые отверстия. Альтернативным методом является укладка в грунте кабеле- и трубопроводов вторичного распределения вдоль данного туннеля.

### 3 Рекомендации, относящиеся к туннелям

#### 3.1 Этапы

Необходимо рассматривать следующую последовательность этапов:

- этап строительства;
- этап эксплуатации.

#### 3.2 Общие рекомендации

На обоих этапах — строительства и эксплуатации — должны соблюдаться следующие требования:

— *Доставка элементов сооружений в туннель*

Необходимо располагать возможность вводить все элементы сооружения либо через обычные точки доступа, либо через специальные отверстия.

— *Протяжка кабеля*

В туннелях кабели должны находиться в соответствующих технических контейнерах, с тем чтобы облегчить их прокладку, перемещение или удаление.

— *Вспомогательные средства при строительстве*

При ведении строительных работ, особенно при прокладке мощных трубопроводов, в соответствующих местах должны быть предусмотрены крепежные устройства.

— *Перемещение элементов сооружений в туннеле*

Для транспортировки элементов сооружений при строительстве внутри туннеля должны быть предусмотрены необходимые средства.

— *Возможность резерва для расширения сети*

Поскольку сети, вероятнее всего, будут расширяться, при проектировании туннеля в плане поперечного разреза необходимо предусмотреть резервные места.

— *Свободное пространство вокруг кабеле- и трубопроводов*

Между стеной туннеля и сооружением, а также между кабеле- и трубопроводами пропорционально их диаметрам должно быть предусмотрено достаточное свободное пространство (для облегчения проведения работ по техническому обслуживанию, ремонту и устройству ответвлений).

— *Окружающая температура*

В туннелях, где имеются теплоизлучающие коммуникации, могут возникать высокие температуры. Следует позаботиться о поддержании физиологически приемлемых экологических условий во избежание нанесения ущерба здоровью персонала во время проведения работ или осмотров. Вопросы, касающиеся кабелей электросвязи, рассматриваются в § 3.3.2.

— *Коррозия сооружений, арматуры и вспомогательного оборудования*

Срок службы арматуры и вспомогательного оборудования должен быть таким же, как и срок службы сооружений. Вследствие высоких уровней влажности может создаваться конденсация, которая служит причиной возникновения коррозии металлов, не имеющих антикоррозийной защиты. Возникновение коррозии должно рассматриваться в свете Рекомендации L.1. Металлические элементы (стеллажи, стойки, опорные конструкции) должны по возможности изготавливаться из оцинкованной стали. В некоторых случаях должна применяться катодная защита.

— *Вибрации*

Некоторые сооружения могут быть весьма чувствительными к вибрации. В ряде случаев вибрация может создаваться под влиянием уличного движения; эти вибрации распространяются внутри туннелей.

#### 3.3 Замечания, относящиеся к распределительным сетям

##### 3.3.1 Коллективные антенны

Должно быть предусмотрено дополнительное пространство для размещения усилительного оборудования. Помимо этого, кабели коллективных антенн не предъявляют никаких особых требований.

### 3.3.2 Кабели электросвязи

Должны приниматься в расчет следующие требования:

- *Расстояния от линий электропередачи*

Необходимо соблюдать минимальные расстояния от главных кабелей проводов (см. § 5).

- *Защита от перегрева*

Поскольку кабели электросвязи весьма чувствительны к перегреву, должны учитываться тепловые условия в туннелях. Это особенно важно для волоконно-оптических кабелей.

- *Защита от коррозии и ударов молнии*

Как правило, кабели электросвязи должны быть защищены металлическими оболочками или экранами. Такая защита может быть использована, однако применение общих заземлений либо не предусматривается, либо не разрешается.

- *Защита от электромагнитных влияний*

Как правило, не требуется никаких специальных мер, хотя в некоторых случаях могут использоваться конструкции кабелей с высоким коэффициентом экранирования или с высоковольтными реле.

- *Защита от механических воздействий*

Для защиты кабелей от таких механических воздействий, как вибрации или удары, может применяться металлический экран. В случае свинцовых оболочек необходимо применять сплавы, устойчивые к вибрации.

- *Защита от внешних влияний*

Кабели с пластмассовыми оболочками могут иметь броню, выполненную из стекловолокна или из арамидного волокна, для защиты от грызунов.

Термоусаживаемые кабельные муфты могут обеспечивать защиту от землетрясений.

- *Изгибы*

Поскольку возможности изгиба кабелей ограничены, при проектировании прокладки кабелей необходимо учитывать радиусы их допустимого изгиба.

- *Специальные работы*

Поскольку работы на сооружениях электросвязи должны проводиться довольно часто, особенно на сростках, необходимо предусмотреть соответствующее пространство для выполнения подобных работ (например, ниши или колодцы).

### 3.3.3 Кабели электропередачи

Необходимо принимать в расчет следующие требования:

- *Изгибы*

Применимы те же правила, по аналогии, что и для кабелей электросвязи.

- *Окружающая температура*

Пропускная способность кабелей электропередачи помимо прочих параметров зависит от окружающей температуры, которая должна определяться для каждого отдельного случая, чтобы достичь идеального равновесия между охлаждением туннеля и пропускной способностью кабеля.

### 3.3.4 Газопроводы

В туннелях, в которых проложены газопроводы, должна быть предусмотрена вентиляция (естественная или искусственная). Температурныестыки должны быть герметичны и размещаться в отдельных колодцах.

### 3.3.5 Водопроводы

При выборе схемы или поперечного сечения туннеля необходимо принимать в расчет габариты специальных элементов водопровода. Водоводы могут потребовать применения специальных мер предосторожности для защиты от климатических влияний во избежание перегрева или замерзания. Водоводы, имеющие номинальный диаметр 150 мм, могут создавать особые трудности; в этом случае необходимо принимать в расчет следующие факторы:

- *Повышение температуры*

Повышение температуры в туннеле весьма незначительно влияет на качество питьевой воды.

— *Замерзание водоводов*

Температура в туннелях, в которых можно проводить осмотр сооружений персоналом, редко падает ниже точки замерзания. Если все же имеется опасность замерзания, для защиты трубопровода необходимо принять соответствующие меры.

— *Просачивание воды и дренаж*

Устройства для устранения просачивания воды и для дренажа должны размещаться, как правило, вне туннелей.

### 3.3.6 Районное теплоснабжение

Необходимо принимать в расчет следующие требования:

— *Местоположение теплопроводов*

Для обеспечения монтажных работ расстояние между теплопроводами районного теплоснабжения (не включая изоляцию) и стенкой туннеля должно быть не меньше 0,3 м.

— *Защита от утечки тепла*

Непрерывная тепловая изоляция будет уменьшать теплопотери и оказывать помощь в предотвращении возникновения в туннеле теплового удара в случае прорыва водопровода.

— *Стыки и пересечения*

В местах стыков и пересечений должны соблюдаться допустимые радиусы кривизны теплопроводов.

— *Температурные стыки*

Необходимо предусмотреть достаточно большое пространство для размещения температурных стыков.

### 3.3.7 Дренаж воды

Необходимо принимать во внимание следующие аспекты:

— *Общие положения*

В большинстве случаев трубы будут осушаться естественным путем. Это означает, что их уровень и наклон могут быть приспособлены к схемам туннелей только в определенных пределах.

— *Связь между водоотводами и туннелем*

Исходя из опасности возникновения противотока, между туннелем и водоводом не должно быть открытой связи.

## 4 План безопасности

### 4.1 Цели безопасности

Необходимо рассматривать самые разные аспекты безопасности:

- безопасность лиц, работающих в туннеле;
- безопасность лиц и имущества вне туннеля;
- безопасность распределения.

Что касается двух первых пунктов, то цели безопасности состоят в том, чтобы предотвратить нанесение ущерба отдельным лицам.

Безопасность распределения не зависит от личной безопасности. Однако не следует пренебрегать значением распределительных сооружений не только из-за тех удобств, которые они обеспечивают населению в целом, но также и по той причине, что они в определенных обстоятельствах являются важными факторами выживания.

### 4.2 План безопасности

#### 4.2.1 Безопасность на этапах строительных работ и работ по прокладке

План безопасности должен соответствовать существующим правилам, регламентирующими безопасность при выполнении работы. Особое внимание необходимо обратить на правила, относящиеся к проведению строительных работ в замкнутом пространстве. Во всех случаях не должны превышаться максимально допустимые уровни вредного воздействия веществ или паров, определенные страховыми компаниями.

#### 4.2.2 Безопасность на этапе эксплуатации

Компания, владеющая сооружением, несет ответственность за составление инструкций, которые должны соблюдаться с момента ввода его в эксплуатацию.

В случае проведения работ по техническому обслуживанию или расширению сооружения должны соблюдаться меры безопасности, заложенные на этапе проведения строительных работ.

Противопожарные меры безопасности и средства должны быть определены по согласованию со службой пожарной охраны.

В таблицах А-1/L.11 и А-2/L.11 представлена модель плана безопасности, предназначенная для этапа эксплуатации, в которой указываются также возможные профилактические меры.

Правила, применимые при строительстве туннеля и приведенные в § 5, должны определяться в свете плана безопасности.

#### 4.3 Специальные проблемы, которые необходимо принимать в расчет

При необходимости следует рассматривать специальные проблемы безопасности с учетом следующих вопросов:

- помехи между линиями электросвязи и высоковольтными линиями или электрифицированными железными дорогами, работающими на постоянном токе;
- проектирование туннеля;
- вентиляция;
- теплозащита;
- водоотвод;
- электрические установки;
- системы обнаружения газа или пожара.

### 5 Строительство

#### 5.1 Поперечное сечение

##### 5.5.1 Общие положения

Поперечное сечение туннеля включает следующие элементы:

- кабеле- и трубопроводы с относящимся к ним оборудованием, в том числе свободные пространства до выполнения ремонтных работ и работ по техническому обслуживанию;
- резервные пространства;
- пересечения и стыки кабеле- и трубопроводов;
- служебные штреки.

##### 5.1.2 Размещение кабеле- и трубопроводов

Сверх и помимо требований, предъявляемых к монтажным работам, необходимо соблюдать следующие правила:

###### — Кабели электросвязи и коллективных антенн

По отношению к линиям электропередачи должны соблюдаться следующие расстояния:

- |   |   |
|---|---|
| — низковольтные, до 1000 В:                 | 0,3 м   |
| — высоковольтные, с малой индуктивностью:   | 0,3 м   |
| — высоковольтные, с большой индуктивностью: | подлежит определению<br>(жесткие системы заземления). |

###### — Кабели линий электропередачи

Если кабели укладываются на кронштейн или стойки, то необходимо принимать в расчет тепловое и электромагнитное взаимодействие.

###### — Газопроводы для природного газа

Они должны размещаться в туннеле как можно выше. Это защитит их от механического повреждения, а в случае утечки газ будет скапливаться под потолком.

###### — Водопроводы

Водопроводы должны размещаться в туннеле по поперечному сечению как можно ниже, что облегчает их прокладку и крепление. Дополнительным фактором является то, что окружающая температура бывает, как правило, ниже на полу туннеля.

##### 5.1.3 Служебный штреек

Для облегчения свободного и безопасного прохода по туннелю в служебном штреке не допускается устройство ступеней.

Габариты служебного штрека должны быть следующими:

- максимальная ширина: 0,7 м
- минимальная высота: 1,9 м
- габариты самого большого элемента, вводимого в штрек, должны быть по крайней мере на 0,2 м меньше диаметра штрека;
- габариты должны увеличиваться в зависимости от обстоятельств, в особенности в местах изгибов, пересечений и в рабочих нишах.

#### 5.1.4 Поперечный уклон

Поперечный уклон необходимо предусматривать для обеспечения водоотвода.

#### 5.1.5 Примеры профилей туннеля

На рис. В-1/L.11 и В-2/L.11 представлены тунNELи, имеющие круглое и прямоугольное поперечное сечение, соответственно. На этих рисунках показано, каким образом можно разделить имеющееся пространство между различными сетями.

### 5.2 Отверстия, доступ и перегородки

#### 5.2.1 Отверстия для оборудования

Для доставки в туннель самых крупных элементов оборудования в процессе проведения монтажных работ и работ по техническому обслуживанию в туннеле должны быть предусмотрены достаточно большие отверстия. Они должны располагаться непосредственно над служебным штреком. При строительстве могут быть проделаны дополнительные отверстия, которые перед началом эксплуатации должны быть заделаны. Необходимо предусмотреть доступ для транспорта, доставляющего оборудование.

#### 5.2.2 Двери для персонала

Точки доступа персонала должны размещаться с учетом запасных выходов и устройств аварийной сигнализации. Как правило, расстояние между двумя точками доступа не должно превышать 500 м. Необходимо рассмотреть возможность организации аварийных выходов в промежутке между обычными дверями.

Эти двери должны быть устроены таким образом, чтобы их нельзя было блокировать и чтобы они не пропускали в туннель воду или дым.

Отверстия для оборудования и двери для доступа обслуживающего персонала должны запираться и, как правило, быть герметичными.

#### 5.2.3 Перегородки

Особое внимание следует уделить устройству поперечных перегородок. Они все должны располагаться с учетом выходов и запасных выходов.

#### 5.2.4 Устройства для транспортировки оборудования и принадлежностей для проведения монтажных работ

В плане обеспечения эксплуатации в служебном штреке должны быть предусмотрены устройства для транспортировки (например, рельсы, смонтированные на потолке) и вспомогательное оборудование для выполнения строительных работ (например, крюки для блоков и подъемных механизмов или крепления для арматуры).

### 5.3 Опоры и арматура

#### 5.3.1 Нагрузки, которые необходимо учитывать

Необходимо принимать в расчет следующие требования:

- *Постоянные нагрузки*  
Постоянные нагрузки должны указываться в плане эксплуатации.
- *Подъемная сила*  
Как правило, все сооружения (кабели, трубопроводы) должны закрепляться против воздействия подъемной силы.
- *Сейсмические воздействия*  
Все скобы, опоры и кабельные стойки коммуникаций должны выдерживать воздействия сейсмических сил в соответствии с национальными стандартами.

#### — *Взрывы*

Кабеле- и трубопроводы и другие туннельные сооружения могут подвергаться сильным механическим воздействиям при взрывах. Если в плане безопасности указано, что важнейшие кабеле- и трубопроводы могут подвергаться подобным перегрузкам, то необходимо гарантировать:

- что функционирование таких коммуникаций не будет нарушено в результате повреждения или деформации;
- что не может происходить никакое движение, которое могло бы сместить трубопроводы, поставляющие важнейшие материалы, с их опор или допустить их удар стены туннеля или другие части сооружения.

Таких опасностей можно избежать благодаря применению противоударных креплений и соответствующего размещения кабеле- и трубопроводов. По таким вопросам необходимо получить консультацию у специалистов.

#### 5.3.2 *Защита от коррозии*

С учетом длительного срока работы сооружений важно предусмотреть защиту опор и их растяжек от коррозии (см. § 3.2).

#### 5.4 *Пункты перехода между туннелями и открытым грунтом*

В точках, где происходит переход кабеле- и трубопроводов из туннелей в открытый грунт, необходимо учитывать относительные смещения, которые могут возникать между этими двумя типами среды.

Точки выхода из туннелей должны по возможности быть герметизированы во избежание проникновения газа или воды в туннель.

#### 5.5 *Устройства перекрытия*

Необходимо уделить должное внимание размещению устройств перекрытия каналов и трубопроводов газа, воды, районного теплоснабжения и водоотводов на входе и выходе из туннеля. Должна быть предусмотрена возможность управления всеми этими устройствами вне туннеля.

#### 5.6 *Вентиляция*

##### 5.6.1 *Цели и правила*

Вентиляция должна отвечать следующим целям:

###### — *Окружающая среда*

Линии электропередачи и районного теплоснабжения излучают тепло. Поскольку оно не передается в окружающую землю через стены туннеля, должно быть предусмотрено охлаждение воздуха в туннеле посредством вентиляции.

Регулируемая вентиляция является также средством уменьшения влажности воздуха и содействует активной защите от коррозии.

###### — *Безопасность*

Будучи частью плана безопасности, вентиляция имеет целью уменьшение опасности взрыва, предотвращение попадания в туннель выхлопных газов автомобилей и сохранение выделения ядовитых газов, возникающих при выполнении сварки или пайки, на допустимом рабочем уровне.

##### 5.6.2 *Вентиляционные системы*

Вентиляционные системы бывают:

###### — *Естественными*

Естественная вентиляция обуславливает движение воздуха, которое возникает в результате разности температуры и давления. Во многих случаях такая вентиляция обеспечивает достаточно сильное движение воздуха.

###### — *Механическими*

При механической вентиляции воздух под давлением извне нагнетается в туннель с помощью вентилятора. Помимо движения воздуха это приводит к повышению давления, что препятствует попаданию в туннель опасных газов.

### 5.6.3 Выбор между естественной и механической вентиляцией

Критериями выбора между этими системами вентиляции являются:

- Технические критерии и критерии безопасности

Механическая вентиляция нужна, как правило, в следующих случаях:

- когда в туннеле проложены старые газопроводы, которые могут иметь плохую герметичность;
- если существует опасность попадания в туннель ядовитых или горючих материалов.

Что касается безопасной эксплуатации, то одно из достоинств естественной вентиляции заключается в том, что, поскольку она не связана ни с механическими, ни с электрическими элементами, отсутствует опасность прекращения циркуляции воздуха в результате поломки.

- Технические критерии окружающей среды

В подземных сооружениях неглубокого залегания, стены которых находятся в контакте с окружающим грунтом, изменения температуры внутри туннеля зависят от тепловой инерции грунта. Именно по этой причине, как правило, бывает достаточно естественной вентиляции для обеспечения требуемых климатических условий окружающей среды.

- Защита от коррозии

Высокий уровень влажности и в особенности конденсация ускоряют коррозию кабелепроводов и арматуры. Высокий уровень влажности в туннеле может возникать вследствие:

- просачивания воды через стены туннеля,
- спуска или очистки воды,
- охлаждения теплого влажного воздуха, поступающего снаружи в процессе вентиляции.

Высокой относительной влажности следует избегать посредством отсасывания воды, поступающей снаружи, по кратчайшему пути. Механическая вентиляция должна выключаться, если теплый влажный воздух снаружи начинает поступать в холодный туннель, при условии, что это не повлечет за собой нежелательного увеличения других опасностей.

### 5.6.4 Определение объема механической вентиляции

При устройстве внутренних перегородок следует учитывать вентиляционные участки.

- Объемы вентиляции соответствующие температурным границам

Температурные границы определяются, как правило, в соответствии с физиологически приемлемыми рабочими условиями или в соответствии с пропускной способностью кабелей, передающих электро-энергию. Вследствие сильного влияния окружающего грунта на передачу тепла, а также тепловых эффектов, обусловленных конструкцией, за счет вентиляции достигается сравнительно небольшой эффект охлаждения. Кроме того, он также мало зависит от наружной температуры воздуха.

- Определение объема вентиляции, учитываящего возможность утечки газа

При определении объема механической вентиляции при нормальной эксплуатации должна учитываться возможность небольших утечек из газопровода при условии, что концентрация газа всегда поддерживается ниже минимального уровня, при котором происходит взрыв, что позволяет иметь достаточный коэффициент безопасности.

### 5.6.5 Указания по устройству системы вентиляции

В случае естественной вентиляции поперечное сечение отверстий для входа воздуха будет определяться главным образом по требуемому объему воздуха.

Необходимо также рассматривать вопрос об обеспечении соответствующих отверстий для входа воздуха, в которых могут быть установлены передвижные вытяжные вентиляторы (подобные применяемым пожарной командой) в случае нарушений в работе вентиляции или проведения специальных работ.

## 5.7 Дренаж воды (водоотвод)

### 5.7.1 Цель и правила

Целью является удаление следующих типов воды:

- грунтовые и фильтрующие воды, попадающие в туннель из-за проницаемости стен туннеля;
- вода, используемая для промывки туннеля;
- вода, спускаемая из водопроводных труб;

- вода из трубопроводов горячего водоснабжения;
- утечка воды из водопроводных труб;
- конденсационная вода.

План безопасности должен предусматривать дренаж в случае повреждения водопроводных труб.

Дренажная система должна отвечать следующим требованиям:

- из туннеля в дренажную трубу не должен попадать газ;
- из трубопроводов в туннель не должны попадать никакие запахи (должны быть предусмотрены улавливатели).

#### **5.7.2 Внутренняя сеть для удаления небольших объемов излишней воды**

Дренажная система аналогична применяемой в зданиях. Если речь идет только о небольших объемах воды, то в том случае, когда туннель имеет наклон, может быть предусмотрен дренажный канал.

#### **5.7.3 Дренаж в случае повреждения водопроводных труб**

В случае повреждения водопроводных труб, как правило, применения только обычного дренажного канала недостаточно для удаления излишка воды, возможно, из-за малой пропускной способности дренажной трубы, к которой данный туннель подсоединен. В плане безопасности должно быть определено, сколько именно поступающей воды должна удалять дренажная система туннеля в сочетании с соответствующими устройствами по возведению перемычек и отводу воды.

#### **5.7.4 Дренаж по трубам, которые располагаются под туннелем**

Такая система позволяет осуществлять дренаж под действием силы тяжести. Особое внимание необходимо уделить возможности возникновения противотока.

#### **5.7.5 Дренаж по трубам, которые располагаются выше уровня дна канала**

В этом случае вода должна откачиваться из дренажного колодца. В плане безопасности должно быть указано, сколько насосов требуется: один или несколько. Эти же соображения применимы к обеспечению отдельного аварийного дренажа. Помимо электрического насоса должен быть предусмотрен еще один, работающий от другого источника энергии. Как правило, должна быть предусмотрена также определенная система сигнализации.

### **5.8 Системы сигнализации**

#### **5.8.1 Общие положения**

Системы сигнализаций и аварийной сигнализации должны устанавливаться только в том случае, если были рассмотрены все активные меры безопасности, но их посчитали недостаточными. Системы сигнализации и аварийной сигнализации должны быть отражены в особом плане безопасности, но следует помнить о том, что эффективность таких систем весьма ограничена и что их содержание является весьма дорогостоящим.

#### **5.8.2 Системы аварийной сигнализации, срабатывающие при утечке газа**

Эти системы включают аварийную сигнализацию (в точках доступа), как только обнаружат наличие опасной смеси газа и воздуха. В туннелях, оборудованных вентиляционной системой, эта последняя может включаться для уменьшения концентрации смеси. Системы сигнализации должны быть отрегулированы таким образом, чтобы аварийный сигнал включался самое позднее тогда, когда концентрация газа достигнет порядка 50% от минимального порогового значения детонации. Для обеспечения бесперебойной работы сигнализации даже в случае отключения электроэнергии должна быть предусмотрена какая-либо система. Должны обнаруживаться все утечки. Детекторы присутствия газа должны размещаться с регулярными интервалами, а в случае необходимости и над муфтами, вентилями и т. п.

В тех случаях, когда туннели напрямую подсоединены к зданиям, детекторы газа должны использоваться в обязательном порядке. Служебные вводы в здание должны быть герметичными. Если стационарные системы обнаружения газа не предусмотрены или не срабатывают, то, прежде чем войти в туннель, необходимо с помощью портативного детектора убедиться в отсутствии в нем ядовитых или взрывоопасных газов.

#### **5.8.3 Системы аварийной сигнализации, срабатывающие при наводнении**

Подобные системы должны иметь в своем составе буйки, устанавливаемые в низких точках и в дренажных колодцах; дополнительно буйки должны размещаться на разных уровнях, чтобы обеспечить тем самым последовательность подачи сигналов аварии.

#### **5.8.4 Системы аварийной сигнализации, срабатывающие при возникновении пожара**

Необходимость в использовании системы противопожарной аварийной сигнализации должна рассматриваться конкретно в каждом случае.

### **5.9 Прочие служебные системы**

#### **5.9.1 Системы электросвязи**

Для проведения инспекционных и ремонтных работ должна быть предусмотрена внутренняя служебная связь. Выбор системы связи будет зависеть от протяженности туннеля, частоты проведения осмотров и планов различных пользователей по выполнению технического обслуживания.

#### **5.9.2 Электропитание**

Может возникнуть необходимость использовать в туннеле пожаробезопасное служебное оборудование.

#### **5.9.3 Освещение**

Как правило, туннели должны оборудоваться системой постоянного электрического освещения. Следует также предусматривать независимую аварийную систему освещения.

#### **5.9.4 Очистка туннеля**

Необходимо с самого начала учитывать возможность использования механической очистки (ширина проходов, наличие водопроводных кранов).

#### **5.9.5 Маркировка и сигнализация**

Все препятствия, загораживающие проход, и устройства безопасности должны иметь четкую маркировку (ступени, аварийные выходы, направление выхода). Кабеле- и трубопроводы должны иметь присущую только им, ясно видимую и долговечную маркировку. В сложных туннельных системах должны быть промаркованы маршруты, чтобы помочь лицам, которые незнакомы со схемой расположения, найти дорогу.

#### **5.9.6 Правила пользования**

При посещении туннелей должны соблюдаться правила безопасности; необходимо обратить внимание на устройства связи, безопасности и эвакуаций.

### **6 Стандартизация планов для подземных сооружений в туннелях, совместно используемых для трубопроводов и кабелей электросвязи**

#### **6.1 Введение**

В настоящем разделе рассматривается графическое изображение подземных сооружений в совместно используемых туннелях и траншеях.

В нескольких странах графическое изображение подземных сооружений в совместно используемых туннелях стандартизовано; поэтому в настоящем документе дается лишь общее представление. Управляющие рассматриваемыми сетями несут ответственность за обновление планов и документов.

В планах должны быть отражены все детали, необходимые для эксплуатации, технического обслуживания и расширения сети подземных кабеле- и трубопроводов, а также для их защиты и поддержания в рабочем состоянии во время выполнения ремонтных работ.

#### **6.2 Терминология**

В настоящей Рекомендации термин "подземное сооружение" означает направление распределения какого-либо потока, связывающее место его производства с местом его потребления или отвода. Он охватывает трубопроводы для электрических кабелей и кабелей электросвязи.

#### **6.3 Область применения**

Планы подземных сооружений образуют часть общей информационной системы. Эти сооружения независимо от того, находятся они в зонах общественного или частного пользования, составляют сети общего пользования для распределения и дренажа, а также для защиты окружающей среды.

## **6.4 Правила, относящиеся к планам подземных сооружений**

### **6.4.1 Охват информации**

В интересах пользователей планы подземных сооружений должны содержать полную и новейшую информацию по следующим вопросам:

- характеристики различных кабеле- и трубопроводов;
- их местоположение и уровень;
- их сетевые соединения.

### **6.4.2 Характеристики**

В планах должны быть отражены все детали, необходимые для эксплуатации, технического обслуживания и расширения сети подземных сооружений, а также для их защиты и поддержания в рабочем состоянии во время выполнения ремонтных работ; они должны соответствовать характерным особенностям каждой сети.

### **6.4.3 Местоположение и уровень**

Планы должны давать возможность точно определить положение сооружений и частей сооружений, перенести его на другие документы и однозначно привязать к официальным геодезическим пунктам. Измерения должны выполняться в соответствии с существующими правилами топографической съемки.

### **6.4.4 Сетевые соединения**

Планы должны давать возможность определить соединения кабеле- и трубопроводов с сетью, к которой они принадлежат. Зачастую требуются общие планы или диаграммы.

## **6.5 Основной план**

### **6.5.1 Специальные правила**

Основной план является главным справочным материалом для планов подземных сооружений. Он предназначен для представления карты районов, где расположены подземные кабеле- и трубопроводы.

### **6.5.2 Содержание**

Как правило, в основном плане содержится информация по следующим вопросам:

- постоянные точки (геодезические пункты, базовые пункты, пункты нивелирования);
- границы владений, административные границы;
- здания;
- типы и границы сельскохозяйственных угодий.

## **6.6 Планы сети и отдельного сооружения**

### **6.6.1 Типы планов**

План сети содержит информацию обо всем оборудовании и устройствах дистанционного управления распределительной или дренажной сети. Планы сетей бывают следующих типов:

- дренажные;
- электрические;
- электросвязи;
- теплоснабжения;
- газоснабжения;
- коллективных антенн;
- водоснабжения.

## **6.6.2 Специальные правила**

План каждого кабеле- и трубопровода или сети должен удовлетворять требованиям, которые предъявляются к эксплуатации рассматриваемой сети. Должны соблюдаться следующие правила:

- в плане должна содержаться вся законно требуемая информация;
- для отдельных сооружений он должен указывать информацию по их проектированию, строительству, эксплуатации и техническому обслуживанию;
- в нем должны содержаться инструкции по использованию кабеле- и трубопровода или сети в случае повреждения или нарушения нормальной работы;
- в нем должна содержаться информация по местоположению и уровню сооружений, которая нужна операторам и третьим лицам.

## **6.6.3 Содержание**

Как правило, план сооружения должен содержать следующие сведения:

### *Геометрические данные*

- местоположение сооружения;
- уровень сооружения.

### *Данные о сооружении*

- транспортируемый поток;
- предприятие, осуществляющее эксплуатацию;
- функция;
- тип и содергимое;
- профиль;
- размеры;
- материал;
- условия эксплуатации;
- элементы конструкции или сооружения;
- идентификация.

### *Данные о вспомогательном оборудовании*

- устройства защиты.

## **6.6.4 Масштаб плана**

Выбор масштаба зависит от плотности сооружений. Масштаб плана сооружений должен соответствовать, по возможности, масштабу основного плана, составленного в соответствии с топографической съемкой.

Рекомендуются следующие масштабы: 1:100, 1:200, 1:250 или 1:500 в зависимости от плотности застройки рассматриваемой местности.

## **6.7 Подготовка плана**

### **6.7.1 Определение**

Под “подготовкой планов и управлением данных” понимаются получение, обновление, обработка и представление всех данных, относящихся к подземным сооружениям. Таким образом, любая информационная система по подземным сооружениям может управляться вручную или с помощью компьютера.

### **6.7.2 Съемка**

Принципы съемок таковы:

При прокладке или замене сооружений необходимо делать съемку их местоположения, а в случае необходимости — и их уровня.

Если при земляных работах встретятся кабеле- и трубопроводы, о которых ничего не известно или местоположение которых было неопределенным, то необходимо произвести съемку этих сооружений. Этого правила следует придерживаться также в случае сооружений, обнаруженных с помощью приборов.

### **6.7.3 Точность определения местоположения**

Точность точек, используемых для определения местоположения сооружений, должна соответствовать указаниям правил топографической (кадастровой) съемки.

#### **6.7.4    Методы съемки**

Должен использоваться один из следующих методов съемки:

- в полярных координатах;
- в ортогональных координатах;
- с обратной засечкой расстояний;
- с удлинениями.

#### **6.7.5    Процедура подготовки планов**

- система с одним планом. Основной план и данные, относящиеся к сооружениям, должны находиться на одном и том же носителе информации. Сооружения должны быть перенесены на основной план;
- система с раздельными планами, которые могут накладываться друг на друга. При такой системе данные каждого уровня приводятся на отдельном листе. Основной план, данные по сооружениям и данные по сетям могут быть приведены как разные уровни данных.

#### **6.7.6    Представление**

Графическое представление сооружений выполняется с помощью условных знаков, описание которых дается в специальных стандартах.

#### **6.7.7    Надписи**

Надписи должны быть четкими, разборчивыми и единообразными и должны быть пригодными для сокращения и воспроизведения.

### **6.8    Использование систем обработки данных — общий анализ**

Необходимо получать, хранить, обновлять, обрабатывать и воспроизводить очень большой объем данных о подземных кабеле- и трубопроводах; кроме того, должна быть предусмотрена возможность получить эти данные в различных комбинациях. Поэтому целесообразно использовать компьютер, и это является единственным способом создания интегральной системы информации по подземным сооружениям. Подобная система может удовлетворять самым разным требованиям, например объединять различные уровни данных посредством автоматического способа обработки отдельных планов, которые могут быть наложены друг на друга; она позволяет также получать выдержки (планы, перечни и т. п.) различного содержания.

Система информации по подземным сооружениям должна разрабатываться как непрерывная последовательность операций, включая получение данных в полевых условиях и в конторе, хранение в памяти и обработку, а также распечатку планов и перечней.

### **6.9    Обновление планов**

#### **6.9.1    Обновление**

Планы подземных сооружений не будут выполнять своего назначения, если они не будут постоянно обновляться. Необходимо соблюдать следующие принципы:

- данные, относящиеся к новым или замененным сооружениям, должны быть собраны и обработаны сразу же после завершения работы;
- должно быть обеспечено обновление основных планов.

#### **6.9.2    Доступ к данным, относящимся к определению местонахождения**

Документы, относящиеся к определению местонахождения подземного сооружения, должны предоставляться для справок в любое время в период между завершением строительства данного сооружения и занесением сведений о нем в план.

### **6.10    План-модель**

#### **6.10.1    Содержимое**

План-модель, представленный в приложении С, помимо туннелей с магистральными подземными кабеле- и трубопроводами показывает распределительные подземные сооружения.

## 6.10.2 Графическое представление

Чертеж туннелей и кабеле- и трубопроводов должен выполняться в масштабе, соответствующем по ширине внутреннему диаметру труб.

## 6.10.3 Представление сооружений

Поскольку внутри туннелей подвешено, проложено или смонтировано огромное количество трубопроводов и кабелей, не имеется возможности представить каждое из сооружений в отдельности. Поэтому они представляются в поперечных сечениях туннеля, которые помещены рядом с соответствующим трубопроводом или на отдельных листах с указанием их местоположения.

Ответвления, места соединений и сращиваний кабеля, прочие детали наносятся либо на планы, либо указываются на отдельных листах. Сооружения, предназначенные для распределения разных потоков, должны указываться условными знаками.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(к Рекомендации L.11)

ТАБЛИЦА А-1/L.11

План обеспечения безопасности от внешних воздействий

Опасность	Последствия	Степень риска	Требование в отношении безопасности	Возможные меры защиты <sup>a)</sup>		
				в источнике опасности	при строительстве	при эксплуатации
Поступление газа из параллельных кабеле- и трубопроводов или мест пересечения	Взрыв, пожар, асфиксия, отравление	Случается редко  Происходит только при разрушении сооружения  Серьезное повреждение (для персонала, сооружений и туннеля)	То же, что и для несущих конструкций сооружения	Герметизация выхода кабеле- или трубопровода из туннеля в грунт  Естественная вентиляция  Принудительная вентиляция (содержание туннеля под давлением воздуха)  Туннель следует разделить на участки противопожарными перегородками	Герметизация выхода кабеле- или трубопровода из туннеля в грунт  Естественная вентиляция  Принудительная вентиляция (содержание туннеля под давлением воздуха)  Туннель следует разделить на участки противопожарными перегородками	Замер концентрации газа до входа в туннель  Регулярный контроль концентрации газа
Появление воды снаружи	Возможность затопления  Повреждение сооружения	Случается редко	Безопасность распределения	Защита от паводковых вод	Правильно расположенные отверстия  Герметичные двери, смотровые колодцы и крышки  Все трубы должны быть защищены от действия подъемной силы  Эффективная дренажная система	Система непрерывного контроля
Неустойчивость земляного основания	Разрушение сооружения, в особенности на границе перехода между туннелем и грунтом	Прогнозируемые влияния	То же, что и для несущих конструкций сооружения	Уплотнение земляного основания	Гибкая арматура  Соответствующее устройство точек перехода канала из туннеля в грунт	Непрерывный контроль посредством измерений

<sup>a)</sup> Вышеприведенный перечень мер защиты не является исчерпывающим.

ТАБЛИЦА А-1/L.11 (*продолжение*)

Опасность	Последствия	Степень риска	Требование в отношении безопасности	Возможные меры защиты <sup>a)</sup>		
				в источнике опасности	при строительстве	при эксплуатации
Сейсмические толчки	Разрушение сооружения, в особенности на границе перехода между туннелем и грунтом	С меняющейся степенью вероятности, в зависимости от районов Сильные влияния	Гарантия непрерывного функционирования всех сооружений		Арматура, устойчивая к толчкам Специальное устройство точек выхода сооружений	
Воздействие стрельбы из оружия, взрывов	Разрушение сооружений	Во время ведения военных действий подобное воздействие приведет, по всей вероятности, к серьезным повреждениям	Гарантия непрерывного функционирования всех сооружений		Противоударная арматура	
Диверсия	Разрушение сооружений Взрыв Пожар	Случается редко	Гарантия непрерывного функционирования всех сооружений		Запираемые точки входа	Контроль за входами

<sup>a)</sup> Вышеприведенный перечень мер защиты не является исчерпывающим.

ТАБЛИЦА А-2/Л.11

**План обеспечения безопасности для подземных сооружений,  
проложенных непосредственно в туннелях**

Описание опасности		Последствия	Степень риска	Требования в отношении безопасности	Возможные меры защиты <sup>a)</sup>		
сеть	опасность				в источнике опасности	при строительстве	при эксплуатации
Электрическая	Пожар, дым	Физическое повреждение Разрушение сооружения Загорание кабелей Разрушение антикоррозийных защитных покрытий и изоляции	Случается редко  Ведет к опасности для персонала и причиняет большой материальный ущерб	Для персонала тоже, что и для несущих конструкций внутри туннеля	Тщательная прокладка сооружений	Разделение туннеля на участки противопожарными перегородками	Система сигнализации о пожаре
	Ядовитые и вызывающие коррозию испарения	Отравление персонала Повреждение сооружений и металлических элементов в туннеле			Ограничение применения кабелей с полихлорвиниловым покрытием  Исключение кабелей с полихлорвиниловым покрытием		
	Утечка масла из кабелей, заполненных маслом	Загрязнение грунтовых и талых вод	Случается редко, вызывает непрямую опасность для персонала	Для персонала тоже, что и для несущих конструкций внутри туннеля	Кабели, заполненные маслом, должны размещаться в туннеле как можно выше	Устройство для отвода масла	Непрерывный контроль давления масла
Газовая	Взрыв и возгорание вследствие утечки	Физическое повреждение Разрушение сооружения Повреждение туннеля	Случается редко  Ведет к опасности для персонала и причиняет большой материальный ущерб	Для персонала тоже, что и для несущих конструкций внутри туннеля	Стальные трубы для прокладки сооружения и сварныестыки, подлежащие контролю	Естественная вентиляция  Механическая вентиляция  Газонепроницаемые и противопожарные перегородки	Регулярные проверки возможных утечек  Проверки сооружений на наличие коррозии  Регулярные замеры концентрации газа  Замер концентрации газа при каждом осмотре
	Наличие газа, не вызывающее взрыва	Асфиксия и отравление	Случается редко  Физическое повреждение				

<sup>a)</sup> Вышеприведенный перечень мер защиты не является исчерпывающим.

ТАВЛИЦА А-2/L.11 (*продолжение*)

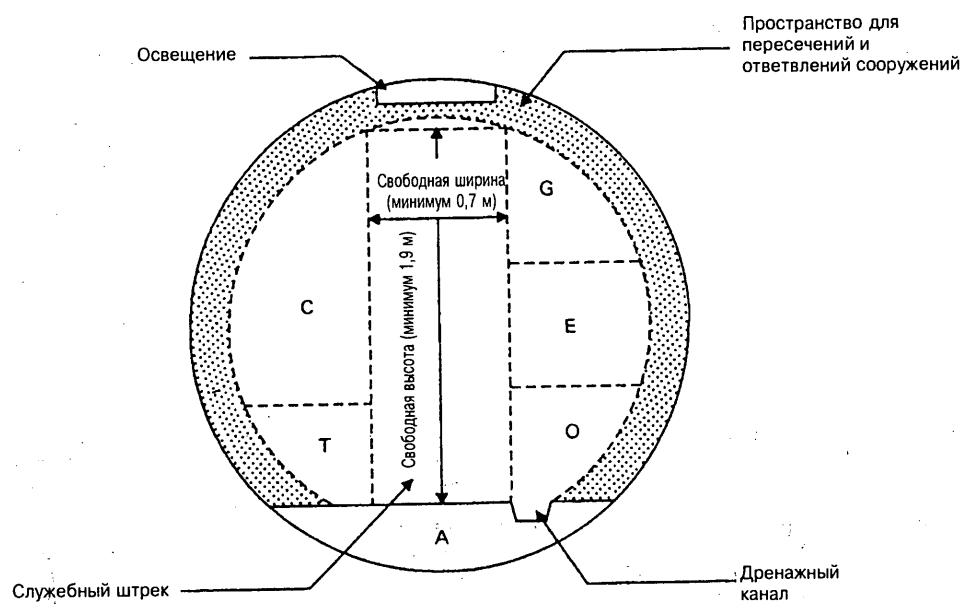
Описание опасности		Последствия	Степень риска	Требования в отношении безопасности	Возможные меры защиты <sup>a)</sup>		
сеть	опасность				в источнике опасности	при строительстве	при эксплуатации
Водоснабжение	Наводнение в туннеле вследствие разрушения сооружения (водопровода)	Возможность затопления Повреждение сооружений	Случается редко Опасность для персонала и незначительный материальный ущерб	Для персонала тоже, что и для несущих конструкций внутри туннеля	Тщательное проектирование и прокладка сооружений	Использование прочной арматуры Автоматические клапаны Эффективная дренажная система Все трубы должны иметь защиту от воздействия подъемной силы	Регулярные проверки возможных утечек Проверки сооружений на наличие коррозии Система аварийной сигнализации (с буйками)
Теплоснабжение	Выход пара или горячей воды вследствие разрушения трубопровода или утечки	Физическое повреждение Разрушение и другие повреждения сооружений вследствие быстрого роста температуры	Случается редко Серьезное повреждение	Для персонала тоже, что и для несущих конструкций внутри туннеля	Тщательная прокладка сооружений	Перекрывающие краны, устанавливаемые на концах туннеля с внешним управлением Дистанционно управляемые перекрывающие краны Перегородки	Система аварийной сигнализации
Дренажные воды	Частичное затопление туннеля	Повреждение сооружений	Случается редко Небольшой материальный ущерб	Ограничение материального ущерба	Сооружения должны располагаться выше самого высокого уровня воды		
	Полное затопление туннеля	Физическое повреждение и материальный ущерб	Случается редко	Для персонала тоже, что и для несущих конструкций внутри туннеля	Герметичные и запираемые двери и крышки в точках доступа и смотровых отверстиях	Задача сооружений от воздействия подъемной силы	

<sup>a)</sup> Вышеприведенный перечень мер защиты не является исчерпывающим.

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

(к Рекомендации L.11)

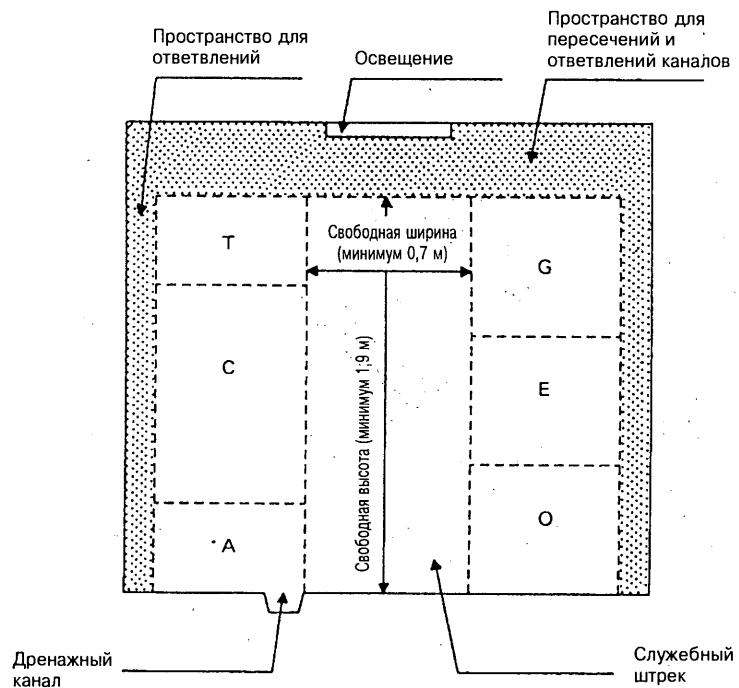
### Примеры профилей туннеля



Т0600010-89

- T** — зона расположения кабелей электросвязи (в трубах)
- E** — зона расположения кабелей электропередачи
- G** — зона расположения газопроводов
- O** — зона расположения водопроводов
- C** — зона расположения труб теплоснабжения
- A** — зона расположения труб канализации использованной воды

РИСУНОК В-1/L.11  
Пример круглого сечения



Т0600020-89

- Т — зона расположения кабелей электросвязи (открытые кабели)
- Е — зона расположения кабелей электропередачи
- Г — зона расположения газопроводов
- О — зона расположения водопроводов
- С — зона расположения труб теплоснабжения
- А — зона расположения труб канализации использованной воды

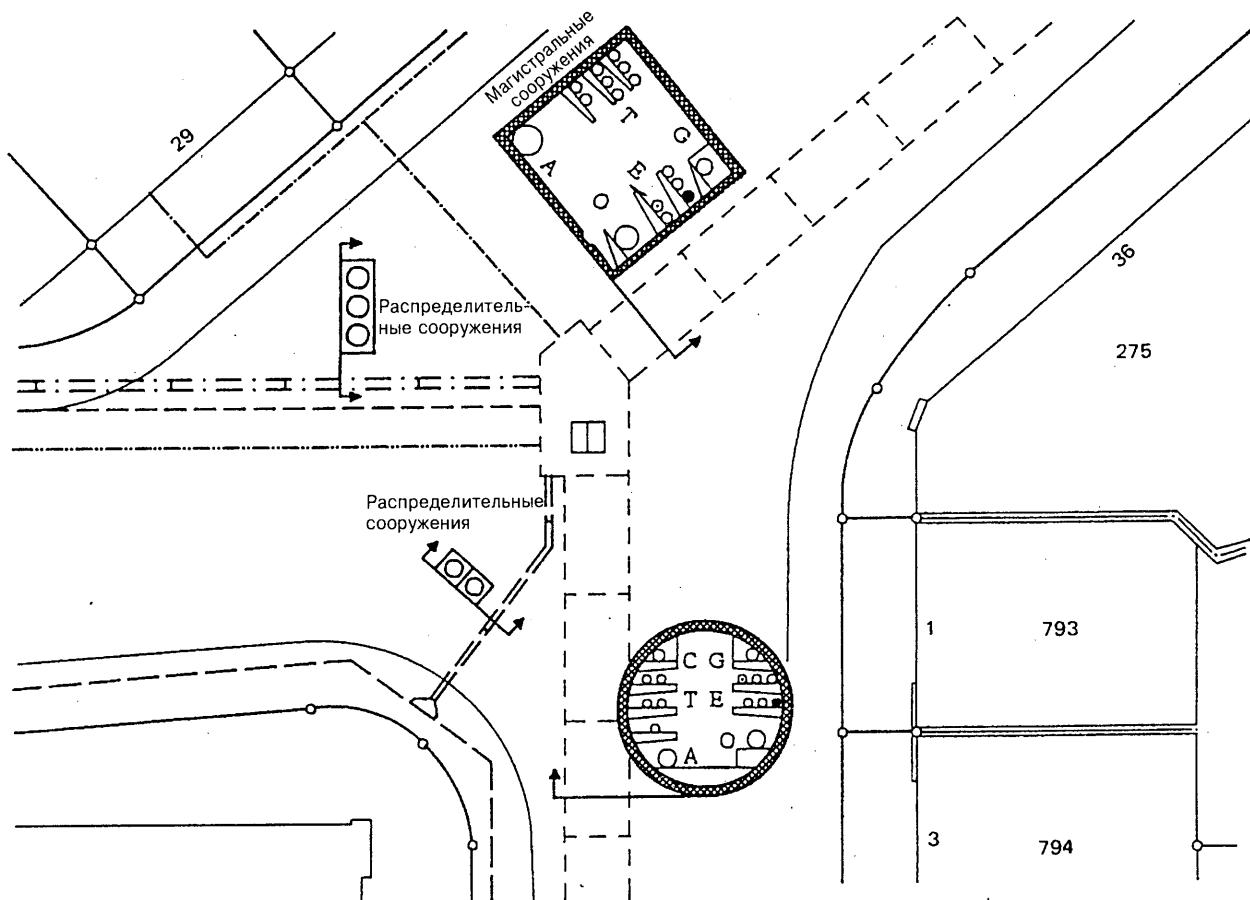
РИСУНОК В-2/L.11

Пример прямоугольного сечения

ПРИЛОЖЕНИЕ С

(к Рекомендации L.11)

План-модель



T0600030-89

*Условные обозначения*

- — — — — Элементы конструкций или невидимые сооружения
- — — — — Видимые элементы сооружений
- — — — — Информация, взятая из топографического (кадастрового) плана (улицы, небольшие участки земли, здания и т. п.)
- — — — — Воды, подлежащие отводу, А
- — — — — Передача электроэнергии, Е
- — — — — Сооружения электросвязи, Т
- — — — — Газ, Г
- — — — — Теплоснабжение, С
- — — — — Коллективные антенны, В
- — — — — Вода, О

РИСУНОК С-1/L.112

План-модель

**ISBN 92-61-03744-5**