



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

**МСЭ-Т**

СЕКТОР СТАНДАРТИЗАЦИИ  
ЭЛЕКТРОСВЯЗИ МСЭ

**К.46**

(07/2003)

СЕРИЯ К: ЗАЩИТА ОТ ПОМЕХ

---

**Защита линий связи с металлическими  
симметричными жилами от  
электромагнитных волн, индуцированных  
молнией**

Рекомендация МСЭ-Т К.46

---



## **Рекомендация МСЭ-Т К.46**

### **Защита линий связи с симметричными металлическими жилами от электромагнитных волн, индуцированных молнией**

#### **Резюме**

Настоящая Рекомендация устанавливает порядок действий по защите линий связи, имеющих металлические симметричные жилы, от перенапряжений и сверхтоков, наведенных в линии при близких разрядах молнии. Порядок действий по защите связан с подверженностью линии воздействиям близких разрядов молнии и включает соединение кабельных оболочек и установку защитных устройств.

#### **Источник**

Рекомендация К.46 МСЭ-Т утверждена 29 июля 2003 года 5-й Исследовательской комиссией МСЭ-Т (2001–2004 гг.) в соответствии с процедурой, изложенной в Рекомендации МСЭ-Т А.8.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Международный союз электросвязи (МСЭ) является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций в области электросвязи. Сектор стандартизации электросвязи МСЭ (МСЭ-Т) – постоянный орган МСЭ. МСЭ-Т отвечает за изучение технических, эксплуатационных и тарифных вопросов и за выпуск Рекомендаций по ним с целью стандартизации электросвязи на всемирной основе.

Всемирная ассамблея по стандартизации электросвязи (ВАСЭ), которая проводится каждые четыре года, определяет темы для изучения Исследовательскими комиссиями МСЭ-Т, которые, в свою очередь, вырабатывают Рекомендации по этим темам.

Утверждение Рекомендаций МСЭ-Т осуществляется в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции 1 ВАСЭ.

В некоторых областях информационных технологий, которые входят в компетенцию МСЭ-Т, необходимые стандарты разрабатываются на основе сотрудничества с ИСО и МЭК.

## ПРИМЕЧАНИЕ

В настоящей Рекомендации термин "администрация" используется для краткости и обозначает как администрацию электросвязи, так и признанную эксплуатационную организацию.

Соответствие положениям данной Рекомендации является добровольным делом. Однако в Рекомендации могут содержаться определенные обязательные положения (для обеспечения, например, возможности взаимодействия или применимости), и тогда соответствие данной Рекомендации достигается в том случае, если выполняются все эти обязательные положения. Для выражения требований используются слова "shall" ("должен", "обязан") или некоторые другие обязывающие термины, такие как "must" ("должен"), а также их отрицательные эквиваленты. Использование таких слов не предполагает, что соответствие данной Рекомендации требуется от каждой стороны.

## ПРАВА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

МСЭ обращает внимание на то, что практическое применение или реализация этой Рекомендации может включать использование заявленного права интеллектуальной собственности. МСЭ не занимает какую бы то ни было позицию относительно подтверждения, обоснованности или применимости заявленных прав интеллектуальной собственности, независимо от того, отстаиваются ли они членами МСЭ или другими сторонами вне процесса подготовки Рекомендации.

На момент утверждения настоящей Рекомендации МСЭ не получил извещения об интеллектуальной собственности, защищенной патентами, которые могут потребоваться для реализации этой Рекомендации. Однако те, кто будет применять Рекомендацию, должны иметь в виду, что это может не отражать самую последнюю информацию, и поэтому им настоятельно рекомендуется обращаться к патентной базе данных БСЭ.

© МСЭ 2004

Все права сохранены. Никакая часть данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких-либо средств без письменного разрешения МСЭ.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Область применения .....	1
2 Ссылки .....	1
3 Определения .....	2
4 Базовое расположение узлов.....	2
5 Общие требования .....	3
5.1 Уровни сопротивляемости.....	3
5.2 Выбор SPD.....	4
6 Характеристики окружающей среды .....	4
6.1 Коэффициент среды ( $K_e$ ) и коэффициент воздействия ( $K_x$ ) .....	4
6.2 Коэффициент прокладки ( $K_l$ ).....	4
6.3 Коэффициент экранирования ( $K_s$ ).....	5
6.4 Условная длина.....	5
7 Методика выполнения соединений .....	6
7.1 Телефонная станция (узел E).....	6
7.2 Внешние сооружения (узлы M, P, C и D).....	6
7.3 Помещения абонента (узлы S и I) .....	6
8 Защитные устройства (SPD).....	7
8.1 Установка защитных устройств (SPD) .....	7
8.2 Определение необходимости защиты узла .....	7
8.3 Определение схемы защиты .....	8
Приложение А – Коэффициент экранирования с учетом влияния заземления ( $K_{se}$ ) .....	9
Добавление I – Коэффициенты среды ( $K_e$ ).....	10
Добавление II – Сопротивление оболочки для кабелей с металлическими симметричными жилами .....	11
Добавление III – Примеры применения .....	12
III.1 Линия связи с экранированными и неэкранированными секциями в пригородных зонах .....	12
III.2 Линия связи с одной экранированной секцией в пригороде .....	13
III.3 Линия связи с экранированными и неэкранированными секциями в пригородных зонах .....	14



### Защита линий связи с металлическими симметричными жилами от электромагнитных волн, индуцированных молнией

#### 1 Область применения

Настоящая Рекомендация устанавливает порядок действий по защите линий связи с металлическими симметричными жилами от перенапряжений и сверхтоков, наведенных в линии при близких разрядах молнии. В случае линий, подверженных прямым ударам молнии (как самих линий, так и оборудования, к которому они подключены) в дополнение к порядку действий, установленному данной Рекомендацией, пользователь должен обратиться к Рекомендации МСЭ-Т К.47 [1] для выбора дополнительной защиты.

#### 2 Ссылки

Нижеследующие Рекомендации МСЭ-Т и другие источники содержат положения, которые путем ссылок на них в данном тексте составляют положения настоящей Рекомендации. На момент публикации указанные издания были действующими. Все Рекомендации и другие источники являются предметом пересмотра; поэтому всем пользователям данной Рекомендации предлагается рассмотреть возможность применения последнего издания Рекомендаций и других ссылок, перечисленных ниже. Перечень действующих на настоящий момент Рекомендаций МСЭ-Т публикуется регулярно. Ссылка на документ, приведенный в настоящей Рекомендации, не придает ему как отдельному документу статус Рекомендации.

- [1] ITU-T Recommendation K.47 (2000), *Protection of telecommunication lines using metallic conductors against direct lightning discharges.*
- [2] IEC 61663-2:2001, *Lightning Protection – Telecommunication lines – Part 2: Lines using metallic conductors.*
- [3] ITU-T Recommendation K.20 (2003), *Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunications centre to overvoltages and overcurrents.*
- [4] ITU-T Recommendation K.21 (2003), *Resistibility of telecommunication equipment installed in customer premises to overvoltages and overcurrents.*
- [5] ITU-T Recommendation K.22 (1995), *Overvoltage resistibility of equipment connected to an ISDN T/S bus.*
- [6] ITU-T Recommendation K.12 (2000), *Characteristics of gas discharge tubes for the protection of telecommunications installations.*
- [7] ITU-T Recommendation K.28 (1993), *Characteristics of semi-conductor arrester assemblies for the protection of telecommunications installation.*
- [8] ITU-T Recommendation K.31 (1993), *Bonding configurations and earthing of telecommunications installations inside a subscriber's building.*
- [9] ITU-T Recommendation K.27 (1996), *Bonding configurations and earthing inside a telecommunication building.*
- [10] ITU-T Recommendation K.45 (2003), *Resistibility of telecommunication equipment installed in the access and trunk networks to overvoltages and overcurrents.*

### 3 Определения

**3.1 металлические симметричные жилы:** Направляющая среда передачи, состоящая из пар витых проводников, уравновешенных по отношению к земле, обычно объединенных в группы, чтобы сформировать кабель связи.

**3.2 экранированный кабель:** Группа из одной и более пар витых проводников, уравновешенных по отношению к земле, объединенных вместе и покрытых непрерывной металлической оболочкой.

**3.3 неэкранированный кабель:** Группа из одной и более пар витых проводников, уравновешенных по отношению к земле, объединенных вместе без металлической оболочки.

**3.4 экранированный узел:** опорная точка (муфта, разветвление) линии связи, где кабель (кабели) экранирован(ы).

**3.5 неэкранированный узел:** опорная точка (муфта, разветвление) линии связи, где кабель (кабели) не экранирован(ы).

**3.6 защитное устройство (SPD):** устройство, предназначенное для ограничения перенапряжений и отвода сверхтоков на оконечном пункте. Газонаполненные разрядники (ГНР) – наиболее распространенный тип SPD.

**3.7 коэффициент защитного действия SPD ( $K_p$ ):** Коэффициент, показывающий величину эффекта, создаваемого установкой SPD на данном узле.

**3.8 волна:** кратковременное перенапряжение и/или сверхток, которые могут быть наведены в проводнике в результате электромагнитного влияния.

### 4 Базовое расположение узлов

На рисунке 1 показано базовое расположение узлов для линии связи с металлическими симметричными жилами, где можно видеть опорные пункты и секции кабеля между ними. Обычно линия связи начинается на узле E (телефонная станция) и заканчивается на узле S (помещения абонента), но должны быть рассмотрены также следующие ситуации.

- Если оборудование, установленное на линии связи, имеет собственную защиту от перенапряжений общего характера в виде SPD, включенного между проводами линии связи (как со стороны входа, так и со стороны выхода) и заземлением, тогда это оборудование может рассматриваться как оконечная точка линии, приходящей от узла E, и начальная точка линии, которая ведет к помещениям абонента. Это же относится к оборудованию сети доступа (узел M).
- Если оборудование, установленное на линии связи, не имеет заземленных металлических частей, и его внутренняя защита от перенапряжений общего вида обеспечивается изоляцией линии от земли и SPD, установленным внутри оборудования между входной и выходной точками, тогда в рамках данной Рекомендации наличием этого оборудования можно пренебречь.
- Если линии связи или сигнальные линии подключены к оборудованию, размещенному в разных зданиях в пределах помещений абонента (линии ISDN или соединительные линии между компьютерами), тогда такая линия связи начинается и заканчивается в пределах помещений абонента (Секция S/I).

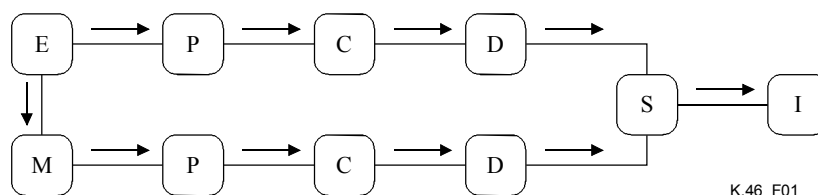


Рисунок 1/К.46 – Базовое расположение узлов (стрелки показывают направление передачи)



Узлы на рисунке 1 имеют следующие описания:

- узел E: здание телефонной станции, где размещено главное коммутационное оборудование;
- узел M: оборудование сети доступа, обычно установленное в укрытии снаружи;
- узел P: переход между кабелями с бумажной и пластмассовой изоляцией;
- узел C: переход между подземным и воздушным кабелями;
- узел D: переход между экранированным и неэкранированным кабелями;
- узел S: абонентское оборудование, подключенное к внешним линиям;
- узел I: абонентское оборудование, подключенное к линиям между зданиями.

ПРИМЕЧАНИЕ – Использование термина “узел” аналогично применению термина “точка перехода” в МЭК [2].

Иногда два или более перехода могут встретиться в одном и том же узле или в последовательности, отличной от показанной на рисунке 1. Условное обозначение PC, например, может быть использовано для обозначения узла, где имеется переход от бумажной к пластмассовой изоляции и от подземной к воздушной установке.

Дополнительные узлы могут быть включены в схему линии, чтобы обозначить другие изменения в характеристиках линии, таких, как тип кабеля (число пар), или в окружающей среде (городской/пригородный) и т. д. Эти узлы называются “виртуальные узлы” V1, V2 и т. д. Однако оценка защиты, которую необходимо выполнить, делается только для узлов, которые могут быть классифицированы в соответствии с базовым расположением. В таблице 1 приведены некоторые типичные конфигурации:

**Таблица 1/К.46 – Типичные конфигурации опорных точек**

Узлы E/PC/D/S	Узлы E/P/CD/S	Узлы E/C/D/S
Узлы E/CD/S	Узлы E/C/S	Узлы E/S
Узлы M/C/D/S	Узлы M/CD/S	Узлы M/C/S
Узлы M/S	Узлы E/M	Узлы S/I

Направление от узла E к узлу I показывает направление передачи. Обратное направление определяется как встречное. Для данной линии представлено, что экранированная секция (если она есть) начинается на первом узле (например, узле E) и следует в прямом направлении до перехода в неэкранированную (узел D) или до последнего узла (например, узла S). Поэтому линии с более чем одним переходом между экранированной и неэкранированной секциями (узел D) не рассматриваются данной Рекомендацией.

## **5 Общие требования**

### **5.1 Уровни сопротивляемости**

Для обеспечения адекватной защиты посредством использования процедур данной Рекомендации, должны быть отмечены следующие уровни электрической прочности.

- Кабели с бумажной изоляцией: изоляция между любыми двумя проводниками должны выдерживать перенапряжение с амплитудой 1,5 кВ и формой волны 10/700 мкс.
- Кабели с пластмассовой изоляцией: изоляция между любыми двумя проводниками должны выдерживать перенапряжение с амплитудой 5,0 кВ и формой волны 10/700 мкс.
- Оборудование станции: удовлетворяет импульсным испытаниям в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т К.20 [3].
- Абонентское оборудование, подключенное к внешним линиям: удовлетворяет импульсным испытаниям в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т К.21 [4].

- Абонентское оборудование, подключенное к внутренним линиям: удовлетворяет импульсным испытаниям в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т К.22 [5].
- Оборудование сети доступа: удовлетворяет импульсным испытаниям в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т К.45 [10].

Если оборудование или кабель не соответствуют этим требованиям, владелец оборудования или кабеля должен принять дополнительные защитные меры для обеспечения соответствия.

## 5.2 Выбор SPD

- a) SPD должно соответствовать требованиям Рекомендации МСЭ-Т К.12 [6], если используются газонаполненные разрядники, или требованиям Рекомендации МСЭ-Т К.28 [7], если используются полупроводниковые защитные устройства.
- b) Минимальное напряжение пробоя SPD на постоянном токе должно быть больше максимального ожидаемого рабочего напряжения линии, как по отношению к земле, так и между оконечными клеммами (последнее в случае трехэлектродных устройств). Следует отметить, что в некоторых типах оборудования напряжение звукового вызова может добавляться к напряжению питания на постоянном токе. Вследствие возможных отклонений напряжения линии и/или присутствия индуцированного напряжения промышленной частоты в линии резерв безопасности должен быть обеспечен между максимальным напряжением линии и минимальным напряжением пробоя SPD на постоянном токе.
- c) Максимальное импульсное напряжение пробоя SPD должно быть согласовано с уровнем сопротивляемости защищаемой линии.

## 6 Характеристики окружающей среды

### 6.1 Коэффициент среды ( $K_e$ ) и коэффициент воздействия ( $K_x$ )

Число и амплитуда волн, наведенных молнией в линии связи, определяются некоторыми свойствами окружающей среды, главным образом интенсивностью грозодеятельности, удельным сопротивлением земли и экранированием, обеспечиваемым сооружениями вокруг линии. Чтобы использовать эти параметры в расчетах, коэффициент воздействия ( $K_x$ ) можно определить из выражения (1):

$$K_x = K_e \cdot Td \cdot \rho^{1/2} \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где:

$\rho$  средняя величина удельного сопротивления земли, в Ом·м;

$Td$  уровень грозодеятельности (число грозовых дней в году);

$K_e$  коэффициент среды:

$K_e = 0$  для области, не подверженной грозовым воздействиям;

$K_e = 1$  для области, подверженной грозовым воздействиям.

ПРИМЕЧАНИЕ – Оператор сети или владелец установки должен оценить величину коэффициента среды ( $K_e$ ) для рассматриваемой секции линии. В целях облегчения оценки данная Рекомендация советует городские районы считать областью, не подверженной грозовым воздействиям, а сельские районы – подверженными воздействию. Экспериментальный метод определения  $K_e$  дан в Добавлении I.

### 6.2 Коэффициент прокладки ( $K_i$ )

С помощью коэффициента прокладки принимается во внимание уменьшение связи между разрядом молнии и линией связи при подземной прокладке по сравнению с воздушной установкой. Для воздушной установки  $K_i = 1$ , в то время как для подземной линии  $K_i = 0,5$  (на основании МЭК 61663-2 [2]).

### 6.3 Коэффициент экранирования ( $K_s$ )

Использование надлежащим образом заземленных/соединенных экранированных кабелей уменьшает наведенные молнией волны в линии связи. Это уменьшение может быть выражено с помощью коэффициента экранирования ( $K_s$ ), величина которого заключена в пределах между 0 (совершенное экранирование) и 1 (отсутствие экранирования). Чтобы оценить коэффициент экранирования, экран должен быть непрерывным на всем протяжении экранированной секции и подсоединен к металлическим шинам заземления по обоим концам.

#### 6.3.1 Коэффициент экранирования оболочки ( $K_{ss}$ )

Если защитные мероприятия рассматриваются для экранированного узла, тогда коэффициенты экранирования экранированных секций линии учитываются при общем расчете экрана ( $K_{ss}$ ). В этом случае коэффициент экранирования является функцией сопротивления оболочки (экрана) постоянному току на единицу длины. Выражение 2 дает приближенное соотношение, а в Добавлении II приведены величины сопротивлений оболочек типичных кабелей связи с металлическими симметричными жилами в зависимости от диаметра жил и числа пар.

$$K_{ss} = [1 + 46/r]^{-1}, \quad (2)$$

где:

$r$  сопротивление оболочки в Ом/км.

#### 6.3.2 Коэффициент экранирования заземленной оболочки ( $K_{se}$ )

Если рассматривается защита неэкранированного узла или узла D, тогда коэффициенты экранирования экранированных секций линии связи связаны с землей ( $K_{se}$ ). В этом случае коэффициент экранирования является функцией сопротивления экрана кабеля постоянному току на единицу длины, конфигурации заземления оболочки и сопротивления заземления.

Полагая, что оболочка соединена с землей по крайней мере в двух точках, а сопротивление заземления составляет порядка десятков Ом, коэффициент экранирования с запасом может быть принят равным 0,5 ( $K_{se} = 0,5$ ). Метод для более точного определения коэффициента экранирования относительно земли представлен в Приложении А.

### 6.4 Условная длина

Для расчета подверженности секции линии наведенным волнам от молнии, вводится понятие условной длины секции. Положим в качестве опорной секции участок кабеля, выполненный из неэкранированного кабеля ( $K_s = 1$ ), подвешенного в воздухе ( $K_i = 1$ ), длиной в 1 км. Средняя величина удельного сопротивления земли 400 Ом·м, уровень грозодеятельности – 50 грозовых дней в году, кабель проложен в городской зоне ( $K_x = 1$ ). Определение условной длины дается выражением (3), из которого следует, что условная длина вышеприведенной базовой секции равна ее реальной длине (1 км).

$$L_c^j = K_x \cdot K_s \cdot K_i \cdot L^j, \quad (3)$$

где:

$L_c^j$  условная длина секции  $j$ ;  
 $L^j$  реальная длина секции  $j$ .

Как можно видеть из выражения 3, для одной и той же реальной длины условная длина может меняться, если меняется подверженность наведению грозовых разрядов. Например, если воздушный кабель проложить под землей, его условная длина уменьшится вдвое. Иными словами, при прочих равных условиях подземный кабель имеет вдвое большую реальную длину по сравнению с воздушным при одном и том же уровне наведенных волн грозового происхождения.

Если линия состоит из  $n$  кабельных секций с различными параметрами, условная длина для данного узла определяется как сумма условных длин всех секций линии, как следует из выражения 4.

$$L_c = \sum_{j=1}^n L_c^j \quad (4)$$

Данная Рекомендация требует, чтобы условная длина рассчитывалась для каждого узла конфигурации (смотри рисунок 1) с учетом следующих правил.

- а) Для экранированного узла коэффициент экранирования экранированной секции должен относиться к оболочке ( $K_{ss}$ ). Расчет ( $K_{ss}$ ) см. в 6.3.1.
- б) Для неэкранированного узла и перехода между экранированной и неэкранированной секциями (Узел D) коэффициент экранирования экранированной секции должен рассматриваться по отношению к земле ( $K_{se}$ ). Расчет  $K_{se}$  см. в 6.3.2.

## 7 Методика выполнения соединений

### 7.1 Телефонная станция (узел E)

Все экранированные кабели, входящие в здание станции, должны иметь непрерывные металлические оболочки, что означает, что оболочки должны быть соединены на всех стыках. При входе в здание (кабельную шахту) все металлические оболочки должны быть подсоединены к главной системе заземления здания вблизи этой точки в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т К.27. Это соединение должно быть выполнено проводниками с низким сопротивлением (короткими и большого сечения).

ПРИМЕЧАНИЕ – В некоторых частных случаях, когда имеются признаки коррозии на оболочке, соединения желательно выполнять посредством SPD, при условии, что они адекватно подобраны.

Если кабель, подключенный к кроссу, имеет металлическую оболочку, она должна быть соединена с защитной шиной кросса. Защитная шина кросса должна быть подсоединена к клеммам главной системы заземления посредством проводника с малым сопротивлением.

### 7.2 Внешние сооружения (узлы M, P, C и D)

При переходе с одного экранированного кабеля на другой оболочки должны быть соединены посредством адекватного соединительного проводника. В случае алюминиевой оболочки внимание должно быть обращено, на то чтобы обеспечить хороший и непрерывный контакт между оболочкой и соединительным проводником, что может быть выполнено посредством подходящего зажима. Если переход находится в помещении кросса, рекомендуется, чтобы соединительная шина была установлена близко к точке входа кабеля, и чтобы все металлические оболочки были подключены к этой шине.

Если переход между экранированным и неэкранированным кабелями выполнен посредством распределительной коробки, ее выходные клеммы должны быть подключены к оболочке кабеля непосредственно или через металлическую оболочку стаб-кабеля. Если кабель, подключенный к оборудованию сети доступа, экранирован, его оболочка должна быть связана с оборудованием соединительной шиной, размещенной у защищенного входа.

### 7.3 Помещения абонента (узлы S и I)

Если кабель, подводимый к помещениям абонента, экранирован, его оболочка должна быть подключена к соединительной шине, выравнивающей потенциалы, в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т К.31. Другие металлические части помещения абонента (такие как водопроводные и газовые трубы и металлический каркас здания) также должны быть подсоединены к шине, выравнивающей потенциалы, с тем чтобы уменьшить перенапряжения между доступными частями.

## 8 Защитные устройства (SPD)

### 8.1 Установка защитных устройств (SPD)

При установке SPD в узле его линейные выводы должны быть подключены к жилам линии связи, а клемма заземления подключена к защитной шине узла. На рисунке 2 показано подключение SPD на экранированном узле (рисунок 2а), на узле D (рисунок 2б) и на незащищенном узле (рисунок 2с). Если имеется местная система заземления, защитная шина должна быть к ней подсоединена. С другой стороны, если система заземления на неэкранированном узле отсутствует, она должна быть выполнена для обеспечения возможности установки SPD.

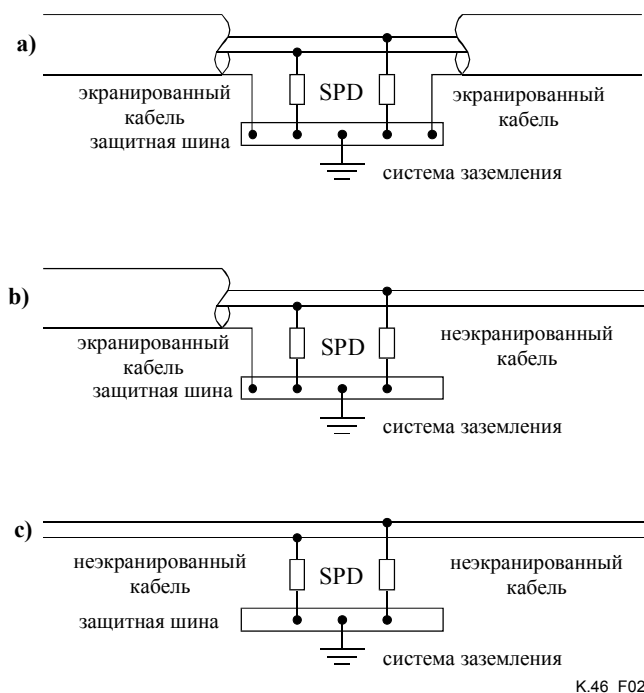


Рисунок 2/К.46 – Установка защитных устройств (SPD)

### 8.2 Определение необходимости защиты узла

Для определения необходимости защиты узла линии связи, используется концепция условной длины. Предельные значения величин, приведенные в данном разделе, основываются на МЭК 61663-2 [2] и устанавливаются с учетом технических и экономических аспектов. В зависимости от желаемой надежности линий, расходов на ремонт и опыта эксплуатации в полевых условиях оператор может регулировать эти пределы, с тем чтобы добиться соответствия местным требованиям. В таблице 2 показаны пределы для узлов линий связи в значениях условной длины.

**Таблица 2/К.46 – Пределы условной длины  
для узлов линии связи**

Узел	Предел условной длины
E	360 м
M	330 м
P	80 м
C	670 м
D	940 м
S	330 м
I	150 м

При использовании таблицы 2 следует придерживаться следующих правил.

- a) Если на одном узле встречается больше одного соединения, условная длина определяется по наименьшей величине. Например, для узла PC предел равен 80 м (меньшая величина из 80 и 670), а для узла CD предел равен 670 м (меньшая величина из 670 и 940).
- b) Если линия состоит только из одной секции экранированного подземного кабеля с бумажной изоляцией, предельная величина для обоих узлов на концах линии полагается равной 80 м.

Предельная величина условной длины каждого узла линии должна сравниваться с условной длиной узла. Если условная длина узла больше предельной величины, узлы нуждаются в защите от наведенных молнией волн.

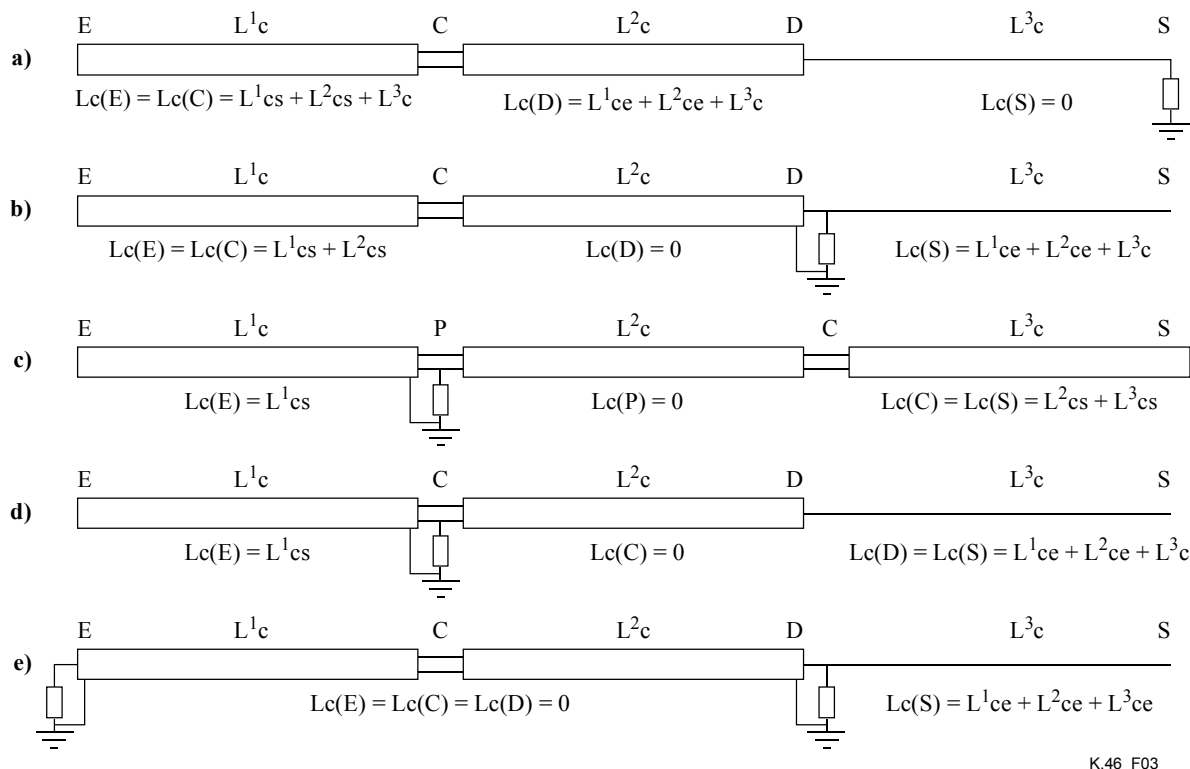
### **8.3 Определение схемы защиты**

Если необходимость защиты выявлена, следует определить, где должно быть установлено защитное устройство. Часто возможно наличие более одной схемы для установки SPD для защиты линии. Тогда выбор схемы определяется экономическими соображениями. При определении схемы защиты следует придерживаться следующих правил.

- a) Установка SPD на узле уменьшает его условную длину до нуля (см. рисунок 3а) и поэтому защищает узел.  
 ПРИМЕЧАНИЕ – МЭК 61663-2 [2] определяет, что установка SPD в узле уменьшает его условную длину до величины, равной произведению условной длины узла и коэффициента защитного действия  $K_p$  SPD. Для SPD, согласованного с электрической прочностью оборудования и установленного в соответствии с Рекомендацией МСЭ-Т К.27 и Рекомендацией МСЭ-Т К.31 [8], [9], МЭК 61663-2 предлагает величину  $K_p = 0,01$ . Поэтому данная Рекомендация полагает  $K_p = 0$  как упрощенное приближение к МЭК 61663-2, что приводит к тому же самому результату в большинстве практических случаев.
- b) Нуждающиеся в защите неэкранированные узлы могут быть защищены с помощью SPD. Установка SPD на неэкранированном узле не влияет на условную длину других узлов (см. рисунок 3а).
- c) Нуждающийся в защите узел D должен быть защищен с помощью SPD. Установка SPD на узле D уменьшает значения условной длины расположенных выше экранированных узлов. Новые условные длины следует рассчитывать, пренебрегая SPD на нижерасположенных неэкранированных секциях (см. рисунок 3б).
- d) Установка SPD на экранированных узлах влияет на условную длину других экранированных узлов. Условная длина экранированных узлов, расположенных выше и ниже SPD, должна быть пересчитана, как если бы SPD делило линию на две независимые линии (см. рисунок 3с).
- e) Установка SPD на экранированном узле не влияет на условную длину узла D или неэкранированных узлов (см. рисунок 3д).

- f) Установка SPD на двух экранированных узлах или на экранированном узле и узле D защищает узлы, расположенные между SPD (см. рисунок 3е).

В Приложении III приведены несколько примеров применения этой методики.



К.46\_F03




-  экранированный кабель
-  неэкранированный кабель
-  SPD
- Lcs условная длина, учитывающая  $K_{ss}$
- Lce условная длина, учитывающая  $K_{se}$

Рисунок 3/К.46 – Влияние установки SPD на определение значения условной длины

## Приложение А

### Коэффициент экранирования с учетом влияния заземления ( $K_{se}$ )

Выражение А.1 представляет коэффициент экранирования по отношению к земле экранированной секции, когда оболочка заземлена на конце секции:

$$K_{se} = R / (R + Z), \quad (A.1)$$

где:

- R: сопротивление заземления оболочки вблизи конца линии [Ом];
- Z: полное сопротивление оболочки кабеля по отношению к земле [Ом].

Волновой импеданс может быть рассчитан из следующего выражения:

$$Z = 60 \ln \left\{ \left[ b + 648(\rho / f)^{1/2} \right] / r \right\}, \quad (\text{A.2})$$

где:

- $\rho$ : удельное сопротивление земли [Ом·м];
- $f$ : эквивалентная частота волны, индуцированной молнией [Гц];
- $r$ : радиус металлической оболочки [м];
- $b$ : высота линии (для воздушной линии) [м];  
расстояние между жилой и землей (для подземной линии) [м]

ПРИМЕЧАНИЕ – Предполагается, что  $f = 100$  кГц.

## Добавление I

### Коэффициент среды ( $K_e$ )

Основу для расчета коэффициента среды  $K_e$  составляют параметры типовых сооружений региона. Они могут быть классифицированы по следующим категориям:

- городской район с высокими строениями (свыше 6 этажей):  $K_e = 0$ ;
- городской район со зданиями средней высоты (от 3 до 6 этажей):  $K_e = 0,1$ ;
- застроенная пригородная зона (один или два этажа):  $K_e = 0,5$ ;
- сельская местность без сооружений (плоская поверхность):  $K_e = 1,0$ .

Если зона застроена неполностью, величина  $K_e$  должна быть скорректирована, с тем чтобы принять этот фактор во внимание. Поэтому вводится коэффициент застройки ( $\varphi$ ), который равен 1 для зоны, полностью застроенной зданиями, и 0 для зоны без сооружений. Тогда выражение, определяющее  $K_e$ , примет вид:

$$K_e = 1 + \varphi(k_e' - 1), \quad (\text{I.1})$$

где:

- $k_e'$  коэффициент среды, определенный по параметрам типовых сооружений;
- $K_e$  скорректированный коэффициент среды, учитывающий степень реальной застройки зоны.

Рассмотрим, например, типичную старую пригородную зону, где большая часть земли занята домами. В этом случае коэффициент среды  $K_e = 0,5$ . Однако если это новый пригород, где половина территории еще не застроена ( $\varphi = 0,5$ ),  $K_e = 0,75$ .



## Добавление II

### Сопротивление оболочки для кабелей с металлическими симметричными жилами

**Таблица II.1/К.46 – Сопротивление свинцовой оболочки в Ом/км**

Диаметр жилы (мм)	0,40	0,50	0,65	0,90
Число пар				
10	6,2	5,4	4,8	3,4
20	5,0	4,2	3,4	2,4
30	4,4	3,4	2,8	2,0
50	3,4	2,7	2,2	1,5
75	2,8	2,3	1,8	1,2
100	2,4	2,0	1,5	1,0
200	1,7	1,4	1,0	0,65
300	1,3	1,1	0,79	0,49
400	1,1	0,91	0,66	0,40
600	0,87	0,70	0,49	–
900	0,66	0,54	0,38	–
1200	0,54	0,43	–	–
1500	0,46	–	–	–
1800	0,40	–	–	–
2400	0,33	–	–	–

ПРИМЕЧАНИЕ – Величины справедливы при толщине оболочки  $T = 2$  мм. При иной толщине  $T'$  (мм) следует умножить значение из таблицы на  $2/T'$ .

**Таблица II.2/К.46 – Сопротивление алюминиевой оболочки в Ом/км**

Диаметр жилы (мм)	0,40	0,51	0,64	0,91
Число пар				
10	5,2	4,9	4,2	3,1
20	4,0	3,6	3,1	2,3
30	3,5	3,1	2,6	1,9
50	2,9	2,6	2,1	1,6
75	2,4	2,2	1,8	1,3
100	2,0	1,9	1,6	1,1
200	1,5	1,4	1,1	0,80
300	1,2	1,1	0,92	0,64
400	1,1	1,0	0,80	0,56
600	0,89	0,80	0,64	–

ПРИМЕЧАНИЕ – Величины справедливы при толщине оболочки  $T = 2$  мм. При иной толщине  $T'$  (мм) следует умножить значение из таблицы на  $0,2/T'$ .

## Добавление III

### Примеры применения

#### III.1 Линия связи с экранированными и неэкранированными секциями в пригородных зонах

Рассмотрим абонентскую линию, размещенную в старом пригороде, где вся поверхность занята домами. Коэффициент среды в соответствии с Добавлением I равен 0,5 ( $K_e = 0,5$ ). Уровень грозодеятельности в регионе равен 60 грозовым дням в году ( $Td = 60$ ) и средняя величина удельного сопротивления земли равна 500 Ом·м. Поэтому коэффициент воздействия равен  $K_x = 0,67$  (см. выражение 1). Следует заметить, что величина  $K_x$  рассчитывается только один раз и применяется к каждой линии, проложенной в этом регионе. Линия соответствует конфигурации E/PC/D/S (см. рисунок 1). Характеристики линии приведены в таблице III.1.

Таблица III.1/К.46 – Характеристики линии

Секция	Тип изоляции	Материал оболочки	Толщина оболочки	Число пар	Диаметр жилы	Длина	Тип линии
E/PC	Бумага	Свинец	2 мм	1200	0,40	3200 м	Подземная
PC/D	Пластмасса	Алюминий	0,2 мм	100	0,40	500 м	Воздушная
D/S	Пластмасса	Без металла	–	1	0,80	140 м	Воздушная

Коэффициент установки ( $K_i$ ) равен 0,5 для подземной секции и 1,0 для воздушной секции (см. 6.2). Сопротивление оболочки на единицу длины ( $r$ ) может быть получено из Добавления II на основе характеристик материала оболочки, толщины, диаметра жил и числа пар. Для секций E/PC и PC/D Добавление II дает значения  $r = 0,54$  Ом/км и  $r = 2,0$  Ом/км. Эти величины могут быть использованы в выражении 2 для расчета коэффициентов экранирования оболочки ( $K_{ss}$ ), которые приведены в таблице III.2. Следует заметить, что для неэкранированного участка  $K_{ss} = 1$ , что может быть получено рассмотрением оболочки с бесконечно большим сопротивлением из выражения 2.

Предположим, что оператор не контролирует сопротивление заземления по концам оболочки, но при этом можно допустить, что это сопротивление порядка нескольких десятков Ом. Поэтому коэффициент экранирования с учетом заземления ( $K_{se}$ ) может быть обоснованно принят равным 0,5 (см. 6.3.2). Используя выражение 3, можно получить условные длины участков, которые показаны в таблице III.2.

Таблица III.2/К.46 – Условные длины

Секция	Сопротивление оболочки	Узлы E и PC		Узлы D и S	
		$K_{ss}$	$L_{cs}$	$K_{se}$	$L_{ce}$
E/PC	0,54 Ом/км	0,012	13 м	0,5	536 м
PC/D	2,0 Ом/км	0,042	14 м	0,5	168 м
D/S	–	1,0	94 м	1,0	94 м

Следующий шаг заключается в оценке пределов узлов и условных длин. Эти величины получены из таблицы 2 и показаны в таблице III.3. Условная длина каждого узла зависит от условий экранирования узла и может быть рассчитана с помощью выражения 4. Рассчитанные величины показаны в таблице III.3.

**Таблица III.3/К.46 – Схемы защиты**

Узел	Предел условной длины	Условная длина	Необходимость в защите	Установка SPD	
				Схема 1	Схема 2
E	360 м	121 м	Нет	Нет	Нет
PC	80 м	121 м	Да	Нет	Да
D	940 м	798 м	Нет	Да	Нет
S	330 м	798 м	Да	Да	Да

Из таблицы III.3 можно определить узлы, для которых требуется защита. Однако не каждый нуждающийся в защите узел требует установки SPD. Первым шагом при создании схемы защиты является установка SPD на неэкранированных узлах и узле D, требующих защиты. В этом случае имеется только один неэкранированный узел, требующий защиты (узел S). Установка SPD на узле S не влияет на условную длину других узлов.

Однако, если SPD установлено на узле D, это уменьшит условную длину узлов E и PC за счет уменьшения вклада незащищенной секции. Используя таблицу III.2, можно увидеть, что условная длина узлов E и PC может быть сокращена до 27 м, что меньше, чем предельные величины для этих узлов. Поэтому схема защиты (схема 1 в таблице III.3) для этой линии потребует установки SPD в узлах D и S.

Другую возможность дает установка SPD в узле PC вместо узла D. В этом случае условные длины узлов E и PC могут быть уменьшены до 13 м и нуля соответственно, что ниже предела. Эта возможность показана в таблице III.3 как схема 2. Решение о том, какую схему применить, определяется экономическим анализом.

### **III.2 Линия связи с одной экранированной секцией в пригороде**

Рассмотрим абонентскую линию, размещенную в новом пригороде, где около половины поверхности земли занято домами. Согласно Добавлению I коэффициент среды равен 0,75 ( $K_e = 0,75$ ). Интенсивность грозодеятельности в регионе составляет 50 грозовых дней в году ( $Td = 50$ ) и средняя величина удельного сопротивления земли равна 400 Ом·м. Поэтому коэффициент воздействия равен  $K_x = 0,75$  (см. выражение 1). Линия соответствует конфигурации M/V/S (см. п. 4). Характеристики секций приведены в таблице III.4.

**Таблица III.4/К.46 – Характеристики линии**

Секция	Изоляция	Материал оболочки	Толщина оболочки	Число пар	Диаметр жил	Длина	Способ прокладки
M/V	Пластмасса	Алюминий	0,2 мм	100	0,40	2000 м	Воздушный
V/S	Пластмасса	Алюминий	0,2 мм	10	0,40	250 м	Воздушный

Коэффициент установки ( $K_i$ ) равен 1,0 для воздушной секции (см. 6.2). Сопротивление оболочки на единицу длины ( $r$ ) может быть получено из Добавления II на основе характеристик материала оболочки, толщины, диаметра жил и числа пар. Для секций M/V и V/S Добавление II дает  $r = 2,0$  Ом/км и 5,2 Ом/км. Эти величины могут быть использованы в выражении 2 для расчета коэффициента экранирования оболочки ( $K_{ss}$ ). Используя выражение 3, можно получить условную длину секций, которые приведены в таблице III.5.

**Таблица III.5/К.46 – Условные длины**

Секция	Сопротивление оболочки	$K_{ss}$	$L_{cs}$
M/V	2,0 Ом/км	0,042	63 м
V/S	5,2 Ом/км	0,10	19 м

Следующий шаг состоит в оценке пределов узлов и условных длин. Пределы узлов (см. таблицу 2) показаны в таблице III.6. Условная длина каждого узла рассчитана из выражения 4 с учетом коэффициента экранирования оболочки. Рассчитанные величины показаны в таблице III.6.

**Таблица III.6/К.46 – Схемы защиты**

Узел	Предельная величина условной длины	Условная длина	Необходимость защиты	Установка SPD
M	330 м	82 м	Нет	Нет
V	–	–	–	–
S	330 м	82 м	Нет	Нет

ПРИМЕЧАНИЕ – Оценка необходимости защиты не производится для узла V (см. п. 4).

Из таблицы III.6 видно, что в данном случае нет необходимости в защите. Поэтому на этой линии для защиты от наведенных молнией волн SPD не требуются.

### III.3 Линия связи с экранированными и неэкранированными секциями в сельской местности

Рассмотрим абонентскую линию, расположенную в сельской местности. Коэффициент среды равен 1,0 ( $K_e = 1,0$ ). Интенсивность гродеятельности в регионе составляет 50 грозовых дней в году ( $Td = 50$ ) и средняя величина удельного сопротивления земли равна 600 Ом·м. Поэтому коэффициент воздействия равен  $K_x = 1,2$  (см. выражение 1). Линия соответствует конфигурации E/PC/D/S (см. рисунок 1). Характеристики секций приведены в таблице III.7.

**Таблица III.7/К.46 – Характеристики линии**

Секция	Изоляция	Материал оболочки	Толщина оболочки	Число пар	Диаметр жил	Длина	Тип прокладки
E/P	Бумага	Свинец	2 мм	400	0,40	1500 м	Подземный
P/CD	Пластик	Алюминий	0,2 мм	50	0,40	2400 м	Подземный
CD/S	Пластик	Нет оболочки	–	2	0,80	400 м	Воздушный

Коэффициент прокладки ( $K_i$ ) равен 0,5 для подземной секции и 1,0 для воздушной секции (см. 6.2). Сопротивление оболочки на единицу длины ( $r$ ) может быть получено из Добавления II на основе материала оболочки, толщины, диаметра жил и числа пар. Для участков E/P и P/CD Добавление II дает значения  $r = 1,1$  Ом/км и  $r = 2,9$  Ом/км. Эти величины могут быть использованы в выражении 2 для расчета коэффициентов экранирования оболочки ( $K_{ss}$ ), которые показаны в таблице III.8. Используя выражение 3, можно получить условные длины участков, которые показаны в таблице III.8.

Положим, что оператор контролирует сопротивление заземления оболочки вне сооружения (узел CD), значение которого ниже 30 Ом. Пренебрегая сопротивлением узла E, коэффициент экранирования с учетом заземления ( $K_{se}$ ) может быть получен с помощью процедуры, содержащейся в Приложении А:  $K_{se} = 0,05$ . Результирующие условные длины с учетом заземления показаны в таблице III.8.

**Таблица III.8/К.46 – Условные длины**

Секция	Сопротивление оболочки	Узлы E и D		Узлы CD и S	
		$K_{ss}$	$L_{cs}$	$K_{se}$	$L_{ce}$
E/P	1,1 Ом/км	0,023	21 м	0,05	45 м
P/CD	2,9 Ом/км	0,059	85 м	0,05	72 м
CD/S	–	1,0	480 м	1,0	480 м

Следующим шагом является оценка предельных значений и условных длин узлов. Предельные значения для узлов (см. таблицу 1) показаны в таблице III.9. Условная длина каждого узла зависит от условий экранирования узла и может быть рассчитана с помощью выражения 4. Рассчитанные величины приведены в таблице III.9.

**Таблица III.9/К.46 – Схемы защиты**

Узел	Предельная величина условной длины	Условная длина	Необходимость защиты	Установка SPD	
				Схема 1	Схема 2
E	360 м	586 м	Да	Нет	Да
P	80 м	586 м	Да	Да	Нет
CD	670 м	597 м	Нет	Нет	Да
S	330 м	597 м	Да	Да	Да

Из таблицы III.9 можно видеть узлы, которые нуждаются в защите. Первым шагом в осуществлении защиты является установка SPD на неэкранированных узлах, требующих защиты (узел S), и на узле P. Установка SPD на узле S не влияет на условные длины других узлов. Однако установка SPD на узле P уменьшает условную длину узла E. Из таблицы III.8 видно, что условная длина узла E сократится до 21 м, что меньше предельной величины для узла E. Другая возможность заключается в установке SPD на узле E и CD для защиты узла P, так как он будет расположен между двумя SPD. Эти защитные схемы показаны в таблице III.9. Решение о выборе схемы определяется экономическим анализом.





## СЕРИИ РЕКОМЕНДАЦИЙ МСЭ-Т

Серия А	Организация работы МСЭ-Т
Серия В	Средства выражения: определения, символы, классификация
Серия С	Общая статистика электросвязи
Серия D	Общие принципы тарификации
Серия E	Общая эксплуатация сети, телефонная служба, функционирование служб и человеческие факторы
Серия F	Нетелефонные службы электросвязи
Серия G	Системы и среда передачи, цифровые системы и сети
Серия H	Аудиовизуальные и мультимедийные системы
Серия I	Цифровая сеть с интеграцией служб
Серия J	Кабельные сети и передача сигналов телевизионных и звуковых программ и других мультимедийных сигналов
<b>Серия K</b>	<b>Защита от помех</b>
Серия L	Конструкция, прокладка и защита кабелей и других элементов линейно-кабельных сооружений
Серия M	TMN и техническое обслуживание сетей: международные системы передачи, телефонные, телеграфные, факсимильные и арендованные каналы
Серия N	Техническое обслуживание: международные каналы передачи звуковых и телевизионных программ
Серия O	Требования к измерительной аппаратуре
Серия P	Качество телефонной передачи, телефонные установки, сети местных линий
Серия Q	Коммутация и сигнализация
Серия R	Телеграфная передача
Серия S	Оконечное оборудование для телеграфных служб
Серия T	Оконечное оборудование для телематических служб
Серия U	Телеграфная коммутация
Серия V	Передача данных по телефонной сети
Серия X	Сети передачи данных и взаимосвязь открытых систем
Серия Y	Глобальная информационная инфраструктура и аспекты межсетевых протоколов (IP)
Серия Z	Языки и общие аспекты программного обеспечения для систем электросвязи

