

# МОЛНИЕЗАЩИТА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Анджей Сова

Молниезащитная инсталляция в строительных объектах должна быть выполнена в соответствии с требованиями существующих норм и рекомендаций. Сводка основных норм из этой области представлена в таблице 1.

**Таблица 1.** Сводка основных норм, касающихся молниезащиты

Объем тематики	Сводка норм
Молниезащита строительных объектов и выбор уровней защиты для молниезащитных устройств	<b>IEC 61024-1</b> , Молниезащита строительных объектов. Основные принципы. <b>IEC 61024-1-1</b> , Молниезащита строительных объектов. Основные принципы. Выбор уровней защиты для молниезащитных устройств. <b>IEC 61024-1-2</b> , Молниезащита строительных объектов. Общие правила. Руководство В – Проектирование, монтаж, консервация и проверка молниезащитных устройств.
Защита от электромагнитного импульса молнии	<b>IEC 61312-1</b> , Защита от электромагнитного импульса молнии. Общие правила. <b>IEC/TS 61312-2</b> , Защита от электромагнитного импульса молнии. (LEMP). Часть 2. Экранирование объектов, соединения внутри объектов и заземления. <b>PN-IEC/TS 61312-3</b> , Защита от электромагнитного импульса молнии. Часть 3. Требования к устройствам ограничения перенапряжений (SPD).
Элементы молниезащитной инсталляции	<b>EN 50164-1</b> , Элементы молниезащитного устройства (LPS). Часть 1. Требования к соединительным элементам. <b>EN 50164-2</b> , Элементы молниезащитного устройства (LPS). Часть 2. Требования, касающиеся проводов и заземлителей.

Информация, содержащаяся в нормах молниезащиты и защиты от электромагнитного импульса молнии использовалась при определении объема испытаний устройств, ограничивающих перенапряжения в электрической инсталляции, в строительных объектах и в линиях передачи сигналов.

В течение нескольких лет проводятся работы, целью которых является упорядочивание норм молниезащиты. В результате этих работ созданы нормы серии IEC 62305 (Таблица 2), которые (за исключением нормы IEC 62305 - 5) в конце 2005 года были приняты к применению в странах ЕС.

Информация, содержащаяся в нормах, представленных в таблицах 1 и 2 использовалась также при разработке норм, определяющих принципы защиты различного рода объектов, которые не описаны в представленных нормах молниезащиты, или в тех случаях, когда при создании молниезащиты требовались специальные решения.

**Таблица 2.** Сводка норм молниезащиты серии IEC 62305

Объем тематики	Сводка норм
Нормы молниезащиты	<p><b>IEC 62305-1</b>, Protection against lightning - Part 1: General principles.</p> <p><b>IEC 62305-2</b>, Protection against lightning - Part 2: Risk management.</p> <p><b>IEC 62305-3</b>, Protection against lightning - Part 3: Physical damage to structure and life hazard.</p> <p><b>IEC 62305-4</b>, Protection against lightning - Part 4: Electrical and electronic systems within structure.</p> <p><b>IEC 62305-5</b>, Protection against lightning - Part 5 : Service.</p>

Особенно это касается телекоммуникационных центров и ветровых электростанций. Некоторые из этих действующих норм представлены в таблице 3.

**Таблица 3.** Примерная сводка норм, определяющих принципы молниезащиты различных объектов

Объем тематики	Сводка норм
Защита телекоммуникационных объектов	<p><b>ITU-T Recommendation K.20. (02/00)</b> Resistibility of telecommunication equipment installed in a telecommunication centre to overvoltages and overcurrents.</p> <p><b>ITU-T Recommendation K.27. (05/96)</b> Bonding configurations and earthing inside a telecommunication building.</p> <p><b>ITU-T Recommendation K.40. (10/96);</b> Protection against interference: Protection against LEMP in telecommunications centers.</p>
Телекоммуникационные линии	<p><b>EN 61663-1:2002</b>, Молниезащита –Телекоммуникационные линии – Часть 1: Инсталляции светопроводов</p> <p><b>EN 61663-2:2002</b>, Молниезащита –Телекоммуникационные Часть 2: Линии, выполненные металлическими проводниками</p>
Электростанции и линии электропередач	<p><b>IEEE Std. 998-1996</b>, IEEE Guide for Direct Lightning Stroke Shielding of Substation.</p> <p><b>IEEE Std. 1410TM-2004</b>, IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines.</p>
Ветровые электростанции -	<p><b>IEC TR 61400-24:2002</b>, Wind turbine generator systems- Part 24: Lightning protection.</p> <p><b>IEC 88/117/CD: 1999</b>, Wind turbine generator systems- Part 24. Lightning protection for wind turbine.</p>
Небольшие суда	<p><b>ISO 10134</b>: Small craft – Electrical devices – Lightning protection. 1993.03.01</p> <p><b>Standard and Recommendation Practices for Small Craft. Standard E-4, Lightning Protection.</b> American Boat and Yacht Council,.</p> <p><b>Fire Protection Standard for Motor Craft – NFPA 302, 14.</b> National Fire Protection Association</p>
Атомные электростанции	<p><b>KTA 2206</b> Auslegung von Kernkraftwerken gegen Blitzeinwirkungen</p>

Создавая внутреннюю молниезащиту, следует также принимать во внимание нормы и требования, определяющие:

- принципы выравнивания потенциалов внутри строительных объектов,

- требуемые уровни устойчивости подключения питания и сигнальных устройств к воздействию напряжений и импульсных токов,
- свойства устройств, ограничивающих перенапряжения в электрической инсталляции и в системах передачи сигналов,
- принципы подбора и монтажа устройств, защищающих электрическую инсталляцию и устройства от прямого воздействия части тока молнии, а также от всякого рода перенапряжений,
- требования электромагнитной совместимости электрических инсталляций и линий передачи сигналов.

## **ВНЕШНЯЯ МОЛНИЕЗАЩИТА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ**

В момент прямого удара молнии в строительный объект правильно спроектированное и сооруженное молниезащитное устройство должно принять на себя ток молнии и отвести его в землю. Прохождение тока молнии должно произойти без ущерба для защищаемого объекта и быть безопасным для людей, находящихся как внутри, так и снаружи этого объекта.

В настоящее время все чаще появляются новые требования, предъявляемые к молниезащитным устройствам, такие как:

- ограничение внутри объекта величины импульсного электромагнитного поля, созданного током молнии,
- создание молниезащитной инсталляции эстетического вида, на объектах, построенных из разнородных материалов.

### **1. Молниеприемники**

Молниеприемниками могут быть проводящие конструктивные элементы объекта, так называемые естественные молниеприемники, или проводники, размещенные только в целях молниезащиты, так называемые искусственные молниеприемники. Самые меньшие размеры проводящих элементов, используемых в качестве искусственных молниеприемников, должны иметь следующие сечения:

• оцинкованная сталь	50 мм <sup>2</sup>
• алюминий	70 мм <sup>2</sup>
• медь	35 мм <sup>2</sup>

Низкие молниеприемники жестко крепятся на поверхности крыши. Это возможно, если протекание тока молнии в проводах не вызовет термического повреждения кровли. Для оценки опасности, вызванной возрастанием температуры проводов молниезащитной инсталляции, можно использовать данные, представленные в таблице 4.

В объектах, крытых непроводящим материалом, молниеприемники на крыше могут быть созданы произвольной комбинацией стержней, натянутых проводов (тросов), или проводов, уложенных в виде сети. Проводящие элементы, использующиеся в целях молниезащиты, должны быть надежно соединены.

Можно применять следующие соединения:

- сваренные обычной сваркой или под давлением,
- винтовые или зажимные,
- клепанные, склеенные или запрессованные, если элементы не имеют изоляционного покрытия или покрытие тонкое.

**Таблица 4.** Прирост температуры проводов при протекании тока молнии в зависимости от сечения материала из которого они изготовлены, а также от принятого уровня молниезащиты

Сечение в мм <sup>2</sup>	Алюминий			Мягкая сталь			Медь			Нержавеющая сталь		
	Принятый уровень защиты											
	III+IV	II	I	III+IV	II	I	III+IV	II	I	III+IV	II	I
4	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10	564	*	*	*	*	*	169	542	*	*	*	*
16	146	454	*	1120	*	*	56	143	309	*	*	*
25	52	132	283	211	913	*	22	51	98	940	*	*
50	12	28	52	37	96	211	5	12	22	190	460	940
100	3	7	12	9	20	37	1	3	5	45	100	190

\* - рост температуры вызывает взрыв или расплавление провода.

Применяя такие соединения, избегают искровых перекрытий в воздухе или в бетоне, которые могут вызвать повреждение конструкции объекта или нарушить работу электрических и электронных устройств.

Если сама конструкция является причиной возникновения больших напряжений в железобетоне, то в зоне появления таких напряжений следует проложить дополнительные проводники. В арматуре, выполненной из предварительно напряженного бетона, следует также избегать протекания тока молнии в стержнях арматуры, так как это может вызвать увеличение напряжений. В этом случае также рекомендуется применение дополнительных проводников, проложенных параллельно к арматуре.

В случае применения готовых железобетонных элементов стержни арматуры могут быть использованы как молниеприемники. Для этого следует только обеспечить соответствующее соединение элементов и создать непрерывный и короткий путь для тока молнии. Если готовые железобетонные элементы не обладают такими соединениями, то следует их выполнить.

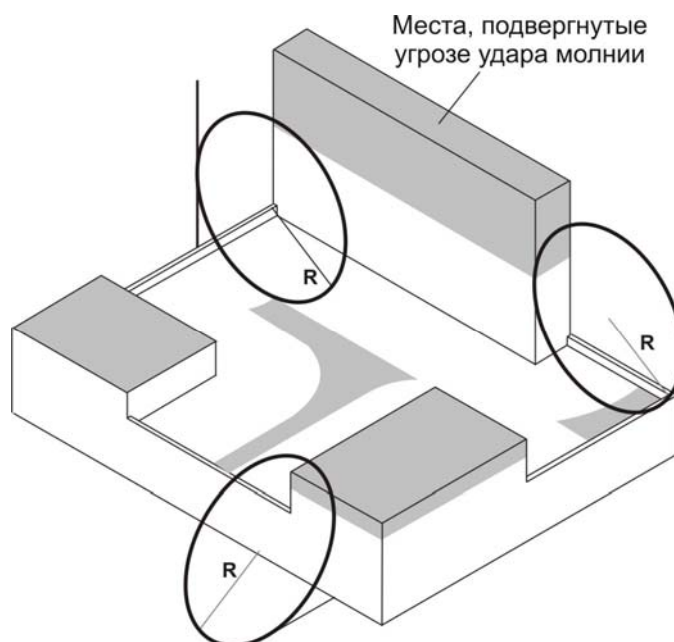
Низкие горизонтальные молниеприемники должны создавать на крыше объекта сетку. Размеры одной ячейки сетки в зависимости от уровня молниезащиты представлены в таблице 5.

**Таблица 5.** Размер ячейки горизонтальной молниеприемной сетки в зависимости от уровня защиты

Уровень защиты	Ячейка молниеприемной сетки	Радиус шара
IV	20м × 20м	60м
III	15м × 15м	45м
II	10м × 10м	30м
I	5м × 5м	20м

Следует обратить внимание на молниеприемную сетку с размерами 5м х 5м, которую нужно применять в объектах, требующих молниезащитной инсталляции с эффективностью защиты

на уровне 98% (I уровень защиты). В случае отдаленных горизонтальных молниеприемников или вертикальных приемников, защитную зону можно определить с помощью защитного угла или, используя метод катящегося по крыше шара. В тех местах на поверхности крыши, которых не касается шар, не существует опасности прямого удара молнии (рис.1).

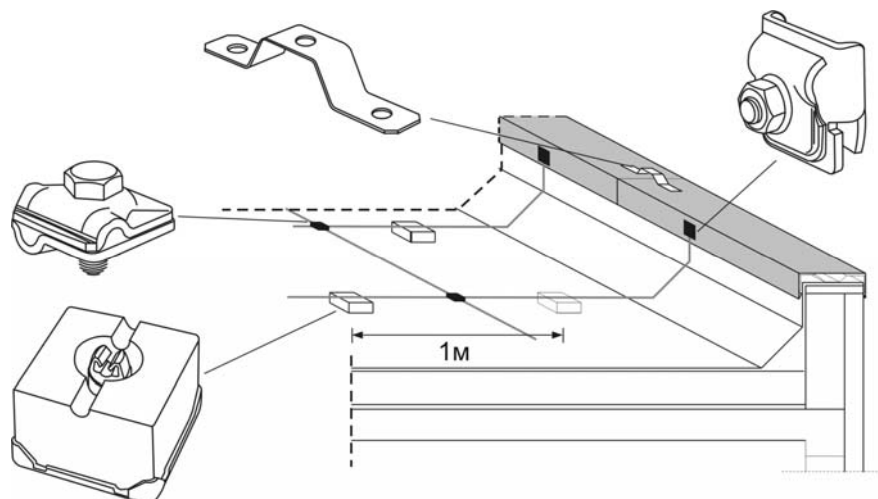


**Рис. 1.** Принцип определения защитных зон методом катящегося по крыше шара

Метод катящегося шара можно также использовать для обозначения мест, подвергнутых угрозе непосредственного разряда молнии, в случае одиночных объектов или группы объектов. Величина радиуса шара зависит от требуемого уровня молниезащиты (таблица5).

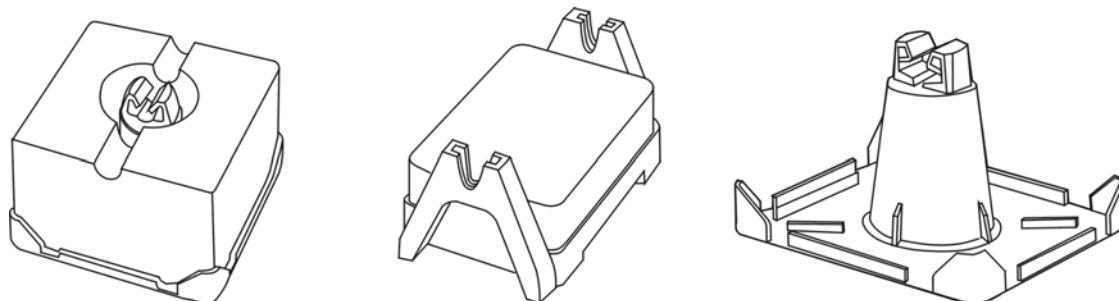
### 1.1. Низкие молниеприемники на широких плоских крышах

В настоящее время для покрытия плоских крыш или крыш с небольшим уклоном используются материалы, эстетичное и жесткое соединение которых с молниеприемниками молниезащитной инсталляции может оказаться весьма затруднительным. В этих случаях для создания молниеприемной сетки используются разнородные элементы для соединений, а также кронштейны, устанавливаемые на крыше здания. Примеры исполнения возможных решений молниеприемных сеток на объектах., обладающих плоскими крышами, представлены на рис.2

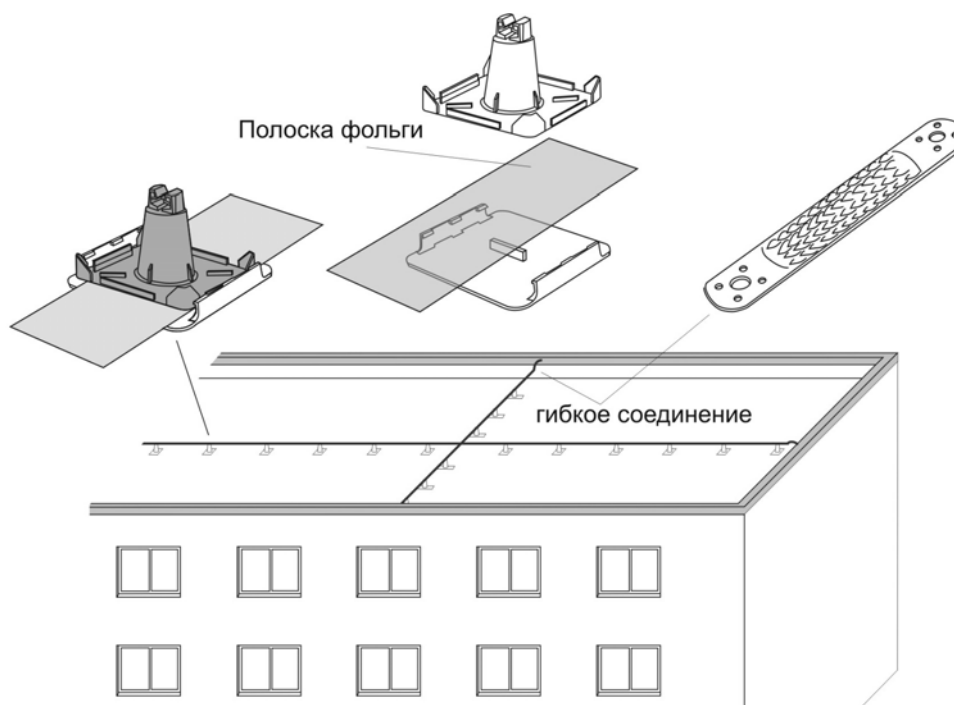


**Рис. 2.** Пример создания молниеприемной сетки на плоской крыше с металлическим аттиком

На широких плоских крышах, выполненных из материалов, в которых нельзя проделать отверстия, применяются кронштейны, положенные на крыше, или прикрепляющиеся к ее поверхности с помощью того же материала, из которого выполнена кровля. Примеры различных кронштейнов, а также созданная с их помощью молниеприемная сетка представлены на рис.3 и 4.



**Рис. 3.** Кронштейны для крепления молниеприемной сетки на широких плоских крышах

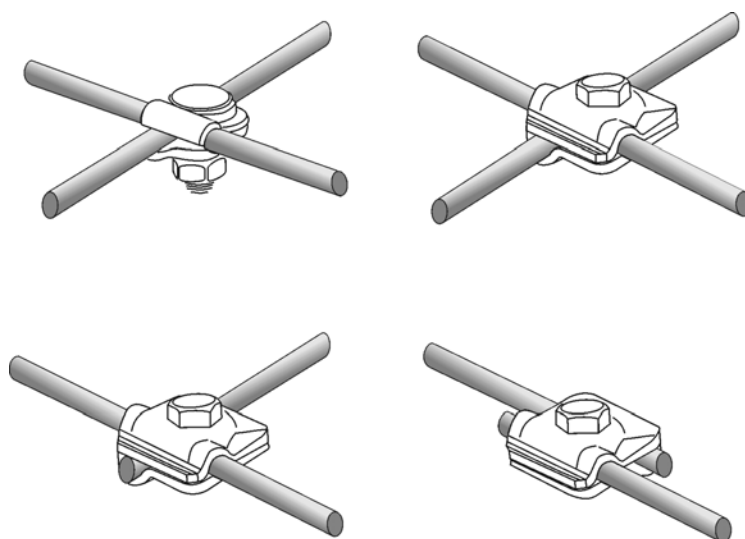


**Рис. 4.** Принцип крепления кронштейнов на крыше, покрытой пленкой или полихлорвинилом

На плоских крышах или крышах с небольшим, достигающим до 5% скатом, на которых применены покрытия из полихлорвинила можно также употреблять кронштейны, представленные на рис.3. Чаще всего они крепятся к поверхности крыши следующим образом:

- кронштейны следует устанавливать на крыше в соответствующих местах и, если это необходимо, соединить проводами, создавая требуемую молниеприемную сетку,
- вырезать из материала, которым покрыта крыша, полосы соответствующей для данного кронштейна длины и ширины,
- используя соответствующую данному материалу технику соединений (напр., сварка, склеивание), соединить кронштейны с поверхностью крыши (рис.4)

Примеры стыков, используемых для соединений при создании молниеприемной сетки на крышах строительных объектов, представлены на рис.5.



**Рис. 5.** Стыки, применяемые для соединения проводов молниезащитной инсталляции

В случае широких крыш следует принять во внимание изменение длины проводов, возникающее в результате изменения температуры.

Общая зависимость, определяющая прирост длины провода  $\Delta L$  при возрастании температуры  $\Delta T$  составляет:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T$$

где :  $L$  – длина провода,

$\alpha$  -температурный коэффициент линейного расширения.

Значения температурных коэффициентов линейного расширения для разных материалов, а также приращения длины при изменениях температуры представлены в таблице 6.

**Таблица 6.** Изменения длины проволоки, выполненной из разных материалов

Материал	Коэффициент $\alpha$	Прирост длины проволоки $\Delta L$ при росте температуры $\Delta T = 100^{\circ}\text{C}$
Алюминий	$23,5 \cdot 10^{-6}$	$\Delta L = 3,35 \text{ мм/м}$
Медь	$17,0 \cdot 10^{-6}$	$\Delta L = 1,7 \text{ мм/м}$
Нержавеющая сталь	$16,0 \cdot 10^{-6}$	$\Delta L = 1,6 \text{ мм/м}$
Сталь	$11,5 \cdot 10^{-6}$	$\Delta L = 1,15 \text{ мм/м}$

Для того, чтобы избежать опасных напряжений, вызванных изменениями температуры, следует применять гибкие элементы, соединяющие проводники между собой или с проводящими элементами конструкции крыши (Рис.6).

## 2. Молниезащита устройств, расположенных на крышах объектов

Анализируя опасность, возникающую в момент прямого удара молнии в строительный объект, следует обратить особенное внимание на возможность воздействия токов молнии на всякого рода надстройки, устройства и инсталляции на крыше этого объекта.



**Рис. 6.** Соединения, компенсирующие напряжения, возникающие при изменении температуры

От прямого воздействия тока молнии должны быть защищены следующие надстройки:

- не содержащие электропроводящие элементы,
- содержащие электрическое оборудование или оборудование, служащее для обработки информации.

Надстройки должны находиться в защищенном пространстве, образованном вертикальными или горизонтальными молниеприемниками. Также необходимо сохранять соответствующие безопасные расстояния между ними и молниеприемниками, а также токоотводами.

Если вышеуказанные требования не будут выполнены, то прямой удар молнии в надстройку приведет к разрушению:

- самой надстройки, а также установленных внутри нее электрических и электронных устройств,
- устройств, расположенных внутри строительного объекта.

Требования к размещению в защищенном пространстве не касаются надстроек, не содержащих электропроводящие элементы [ ], которые:

- не превышают высоту 1 м и 1 м<sup>2</sup> общей площади – металлические надстройки,
- не выступают выше 1 метра над поверхностью, образованной молниеприемниками – надстройки, не проводящие электрического тока.

Защитой от прямого воздействия тока молнии должны быть также охвачены устройства и конструктивные элементы на крышах объектов, к которым подсоединена проводка, разведенная внутри объекта. В таких случаях молниезащитное устройство должно:

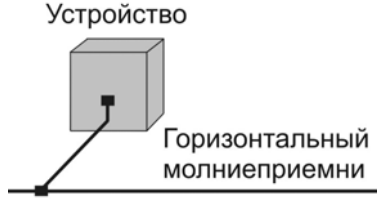

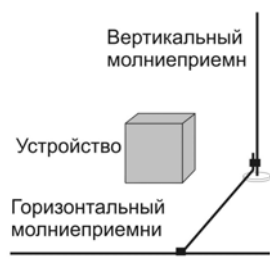
- обеспечить соответствующее защищенное пространство для устройств и установок на крыше объекта,
- исключить возможность возникновения искровых разрядов между электропроводящими элементами,
- устранить разницу потенциалов между электропроводящими элементами на крыше и внутри объекта,
- обеспечить защиту перед перенапряжениями электрических и электронных устройств.

Часть упомянутых требований можно выполнить, применяя соответственно подобранные системы из вертикальных или горизонтальных молниеприемников

Подытоживание принципов защиты устройств, расположенных на крышах строительных объектов, содержится в таблице 7.



**Таблица 7.** *Различные решения расположения систем молниезащиты устройств, на крышах объектов*

Описание	Общий вид	
<p>Металлические корпуса, соединенные с элементами молниезащитного устройства. Решение рекомендовано в случае небольших устройств, надстроек, которые не соединены с инсталляциями внутри объекта и не возникает проникновения тока в объект или проникающий ток не создает опасность.</p> <p>Если существует необходимость защиты от прямого удара молнии, то следует применить для защиты напр., вертикальные молниеприемники.</p>	 <p>Устройство Горизонтальный молниеприемни</p>	 <p>Вертикальный молниеприемн Устройство Горизонтальный молниеприемни</p>
<p>К устройству подходят инсталляции изнутри объекта. Следует ограничить или исключить возможность проникновения тока молнии в устройство, а затем внутрь объекта. Полную защиту обеспечивает система молниеприемников и размещение устройств в защищаемом пространстве.</p>	 <p>Вертикальный молниеприемн Устройство Горизонтальный молниеприемни</p>	

## 2.1. Отдельно стоящие вертикальные токоприемники

Элементы молниезащитного устройства, предназначенные для защиты от прямого воздействия тока молнии должны:

- обеспечить соответствующее защитное пространство для устройств и инсталляций на крыше объекта,
- исключить возможность возникновения искровых перекрытий между инсталляциями,
- исключить разницу потенциалов между отдельными инсталляциями на крыше и внутри объекта,

Основным способом защиты от прямого удара молнии является размещение устройств или установок в защищенном пространстве, образованном отдельно стоящими вертикальными токоприемниками. Проектирование и сооружение одиночных вертикальных приемников или систем таких приемников должно быть реализовано в соответствии с требованиями, вытекающими из выбранного уровня молниезащиты анализируемого объекта.

Определяя размер защищаемого пространства, образуемого отдельным молниеприемником или несколькими молниеприемниками необходимо принимать во внимание требования, касающиеся:

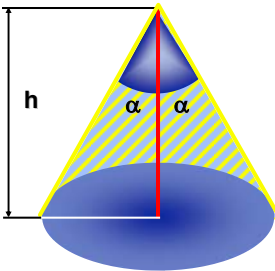
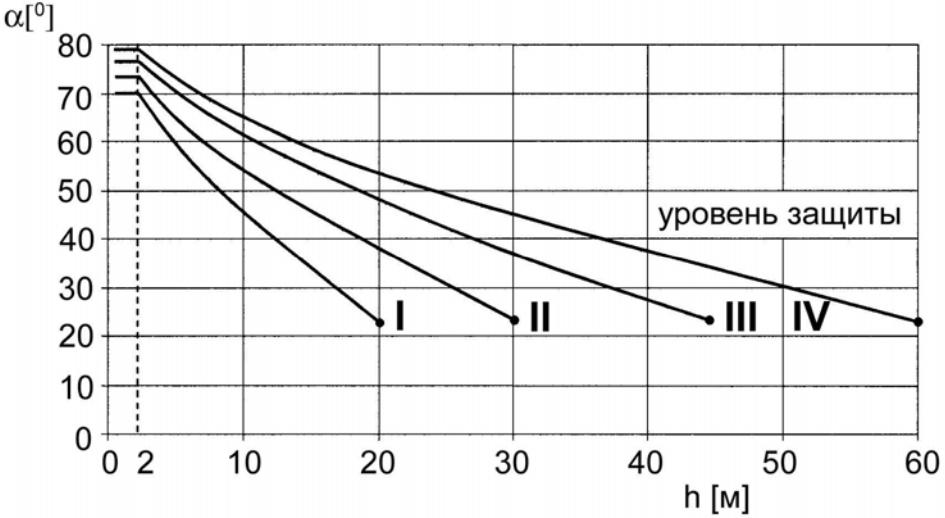
- защитных углов,
- безопасных расстояний, делающих невозможным возникновение искровых разрядов между защищаемыми устройствами и молниеприемниками, элементами молниезащитной инсталляции или конструктивными элементами объекта, используемыми для целей молниезащиты.

Кроме того, вертикальный молниеприемник должен быть размещен на таком расстоянии от защищаемого устройства, которое делает невозможным возникновение искровых разрядов. Оценивая возможность возникновения искровых разрядов следует принять во внимание следующие факторы:

- параметры тока молнии,
- тип изолирующего материала между электродами,
- распределение тока в строительном объекте,
- расстояние от места сближения, в котором может произойти искровой разряд, до ближайшего уравнивающего соединения или до земли, измеренное вдоль проводника в котором течет ток молнии.

Требования, действующих норм молниезащиты, устанавливают зависимости значений защитных углов от уровней защиты, требующихся для рассматриваемого объекта и высоты молниеприемника (таблица 8).

**Таблица 8.** Защитные углы и безопасные расстояния в зависимости от требуемого уровня защиты и высоты приемника

пространственная схема	защитные углы
	
безопасные расстояния	
$s \geq k_i \cdot \frac{k_c}{k_m} L$ <p> <math>k_i</math> - 0,1, 0,075, и 0,05 соответственно для I, II и III и IV уровня защиты,  <math>k_m</math> - 1 в воздухе и 0,5 в твердом диэлектрике,  <math>k_c</math> - зависит от распределения тока в объекте,  <math>L</math> - расстояние, измеренное вдоль провода, идущего от точки рассматриваемого сближения до точки ближайшего уравнивающего соединения         </p>	

В некоторых случаях, определяя защитное пространство, созданное одиночным вертикальным приемником, следует принять во внимание несколько защитных углов(рис.2). В примере, представленном на рис.2 для определения защитной зоны, созданной приемником, размещенным на крыше строительного объекта, следует принять:

- угол  $\alpha_1$  на крыше объекта - величина, зависящая от высоты приемника,
- угол  $\alpha_2$  рядом с объектом – подобран с учетом суммы высот объекта и приемника.

Можно также определить защитную зону, используя метод катящегося по крыше шара.

Величина радиуса шара зависит от требуемого уровня молниезащиты и составляет соответственно 20 м, 30 м, 45 м и 60 м для I, II, III, IV уровня молниезащиты. При перекатывании шара по крыше принимается, что точки касания катящегося шара подвержены опасности прямого попадания молнии.

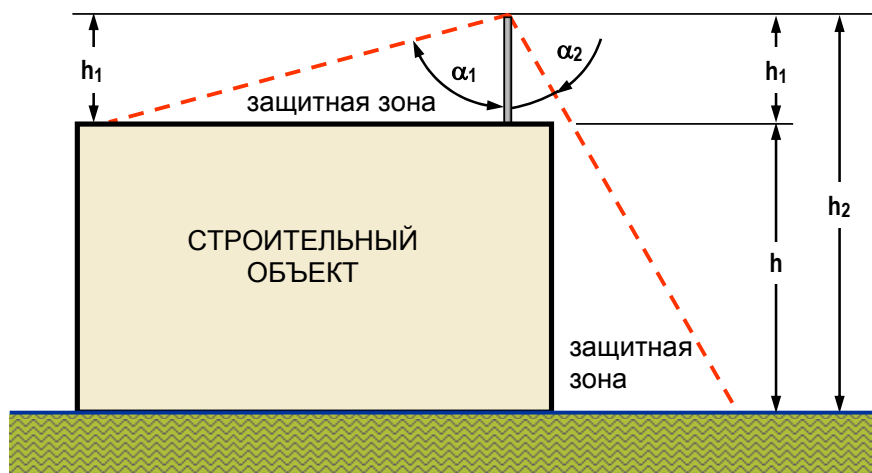


Рис. 7. Защитная зона, созданная одиночным вертикальным молниеприемником.

### 2.1.1 Молниеприемники высотой до 3-х метров

Применение одиночного молниеприемника или системы приемников высотой в несколько метров является одним из чаще всего используемых решений для охраны небольших объектов или устройств на крышах строительных объектов. Создаваемая система защиты проста и легка для исполнения. Типовой вертикальный молниеприемник состоит из металлического стержня диаметром 10 –16 мм, закрепленного на бетонной опоре. Стержень необходимо соединить с ближайшим элементом молниезащитной инсталляции. Пример защиты, созданной отдельным вертикальным приемником или системой двух приемников представлен на рис.8.

a)



b)

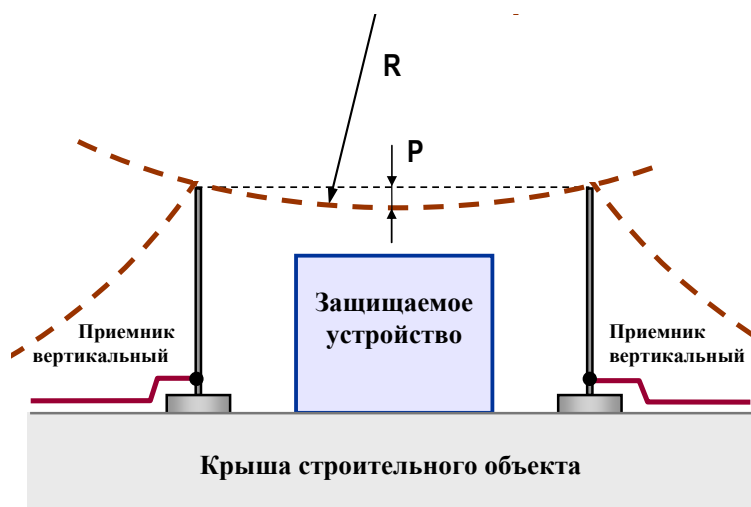
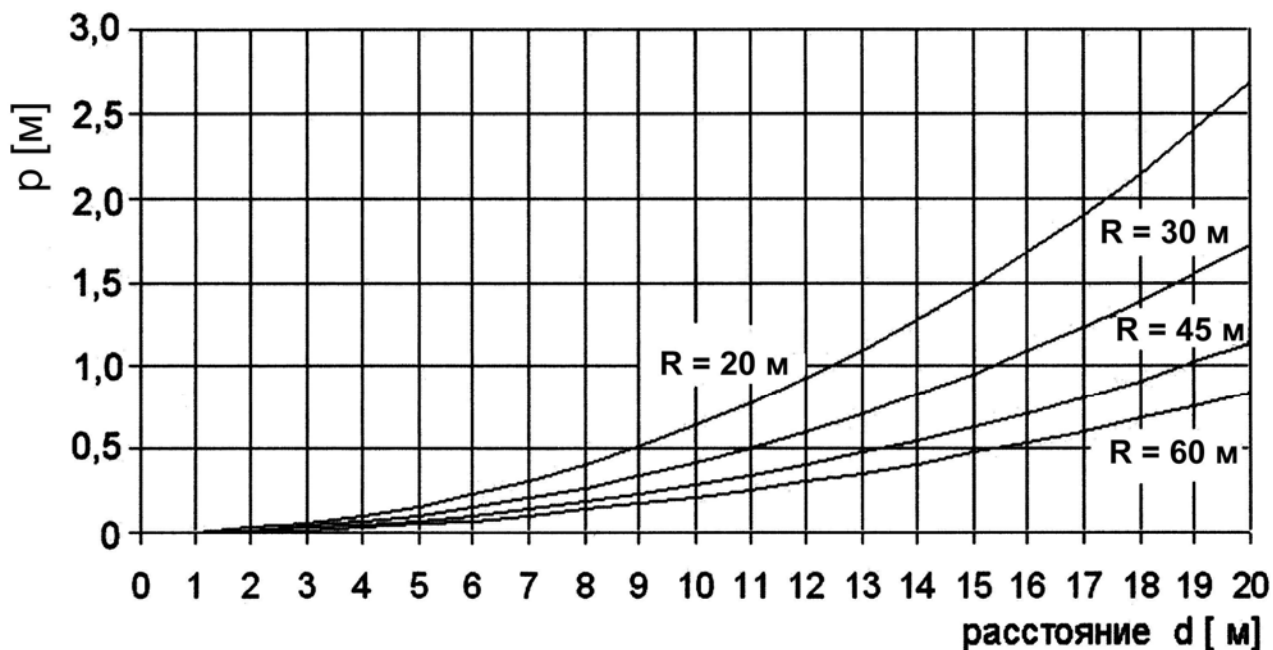


Рис. 8. Молниеприемники на крыше строительного объекта ; а) одиночный молниеприемник, б) определение защитной зоны, созданной системой двух молниеприемников

Определяя защитную зону в системе двух вертикальных приемников, следует установить самую низкую точку касания шара (ближайшую к защищаемому устройству – рис.8b), называемую также стрелой прогиба  $p$ . Значение  $p$  в зависимости от высоты вертикальных приемников  $h$ , расстояния между ними  $d$ , а также радиуса шара  $R$  определяет зависимость:

$$p = R - \sqrt{R^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

Изменение значения  $p$  как функции от расстояния  $d$  между молниеприемниками и класса защиты (различных значений радиуса  $R$ ) представлена на рис.10.



**Рис. 10.** Изменения значений  $p$  в зависимости от расстояния  $d$  между молниеприемниками, а также классы защиты

Для того чтобы обеспечить стабильность вертикальных приемников требуется учитывать опасность, создаваемую порывами ветра. Для предварительного подбора размеров и веса бетонных опор можно использовать данные, представленные в таблице 9 [ ].

**Таблица 9.** Основные размеры бетонных опор в зависимости от высоты вертикального приемника (скорость ветра до 150 км/час)

Высота приемника	Диаметр $\varnothing = 300$ мм		Диаметр $\varnothing = 350$ мм	
	Высота (см)	Вес (кг)	Высота (см)	Вес (кг)
1,0 м	1,0	2,0	0,5	2,0
1,5 м	4,5	8,5	2,5	6,5
2,5 м	9,5	17,5	5,5	13,5
2,5 м	17	31	10,0	25,0
3,0 м	25,5	46	15,5	38,0

Примеры крепления вертикального молниеприемника к бетонной опоре и к элементам молниезащитной инсталляции представлены на рис.11.



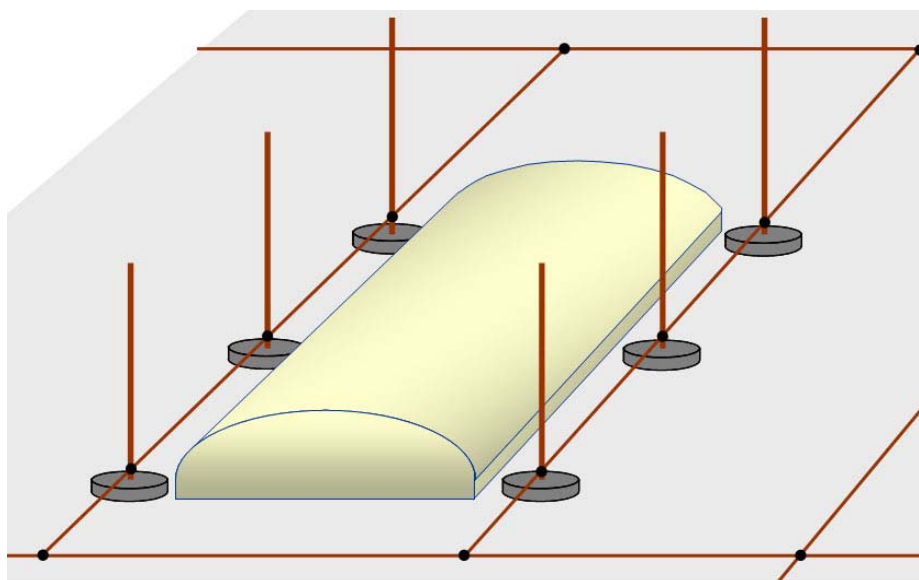
**Рис. 11.** Крепление молниеприемников различной высоты к бетонным опорам

Если для данной высоты молниеприемника вес одиночной бетонной опоры меньше рекомендуемого, то можно применять нагрузку, состоящую из двух частей. Если для отвода тока молнии используется металлическое покрытие крыши, то основание вертикального приемника можно крепить непосредственно к покрытию (рис.12).



**Рис. 12.** Крепление приемников к проводящим элементам поверхности крыши

Молниезащита более крупных надстроек или устройств может потребовать применения системы, состоящей из нескольких приемников (рис.13). Создавая такую систему следует определить защитную зону и сохранить требуемые расстояния между защищаемой надстройкой и элементами системы приемников.



**Рис. 13.** Защита, созданная системой вертикальных молниеприемников.

### 2.1.2. Молниеприемники высотой более 3-х метров

Если применение одиночного приемника или системы вертикальных приемников высотой до 3-х метров не удовлетворяет требованиям защищаемого пространства или трудно для реализации, то следует рассмотреть возможность применения более высоких приемников, которые требуют конструктивно более сложных и тяжелых опор, а часто и дополнительных оттяжек. Пример такого решения представлен на рис. 14.



**Рис.14.** Одиночные вертикальные молниеприемники [ ]

Представленная система оттяжек и примененная опора дают возможность крепить молниеприемники высотой до 8 м.

### 2.1.3. Вертикальные молниеприемники, крепящиеся к устройствам или элементам конструкции

Другим решением, которое обеспечивает увеличение стабильности вертикального молниеприемника, а также не требует расширения и утяжеления опоры является применение вертикальных приемников, монтируемых к защищаемым объектам.

Такие приемники можно крепить как к крышевым надстройкам, так и к отдельным устройствам. Чаще всего применяемые системы складываются из:

- вертикального приемника, прикрепленного к бетонной опоре и, с помощью изоляционных дистанцирующих элементов, к защищаемому объекту,
- вертикального приемника, прикрепленного с помощью дистанцирующих элементов только к защищаемому объекту,
- вертикального приемника, присоединенного к изоляционной трубе, прикрепленной к защищаемому объекту.

В последнем случае от молниеприемника отходит токоотвод. Безопасное расстояние между токоотводом и защищаемым объектом обеспечивают подобранные соответствующим образом дистанцирующие элементы. Примерные решения того, как можно крепить вертикальные приемники к устройствам или элементам конструкции представлены на рис. 15 и 16.

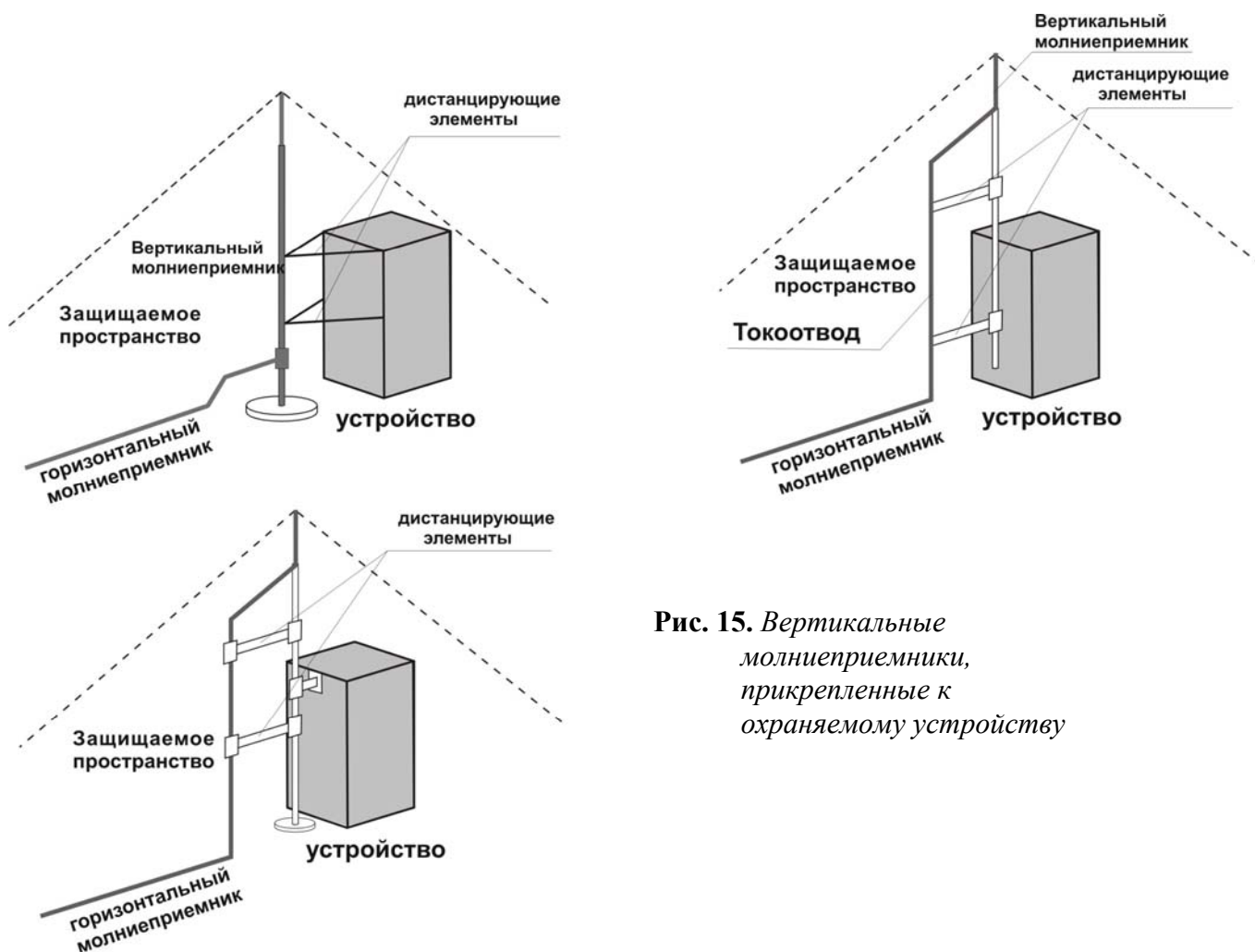


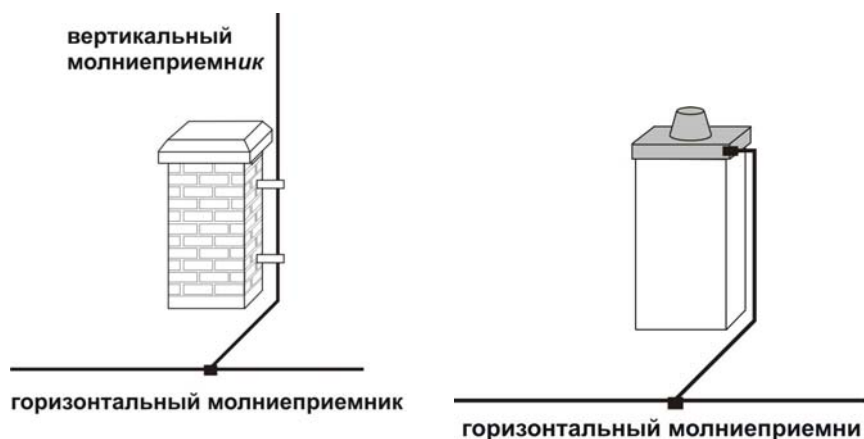
Рис. 15. Вертикальные молниеприемники, прикрепленные к охраняемому устройству



**Рис. 16.** Примеры молниеприемников, прикрепленных к защищаемым объектам []

Правильно выполненное крепление увеличивает стабильность системы и делает возможным поднятие приемника на высоту 3-4 метров над защищаемым объектом. Представленные примеры касались защиты надстроек на плоских крышах. Аналогичные принципы защиты нужно применять на односкатных и двухскатных крышах. В типовом строительном объекте это касается чаще всего труб и антенн.

Для молниезащиты труб из изоляционных материалов следует применять вертикальные или, так называемые, кольцевые приемники. Высота вертикального приемника должна обеспечить защиту трубы от прямого попадания молнии – труба должна находиться в защищаемом пространстве приемника (рис.17).

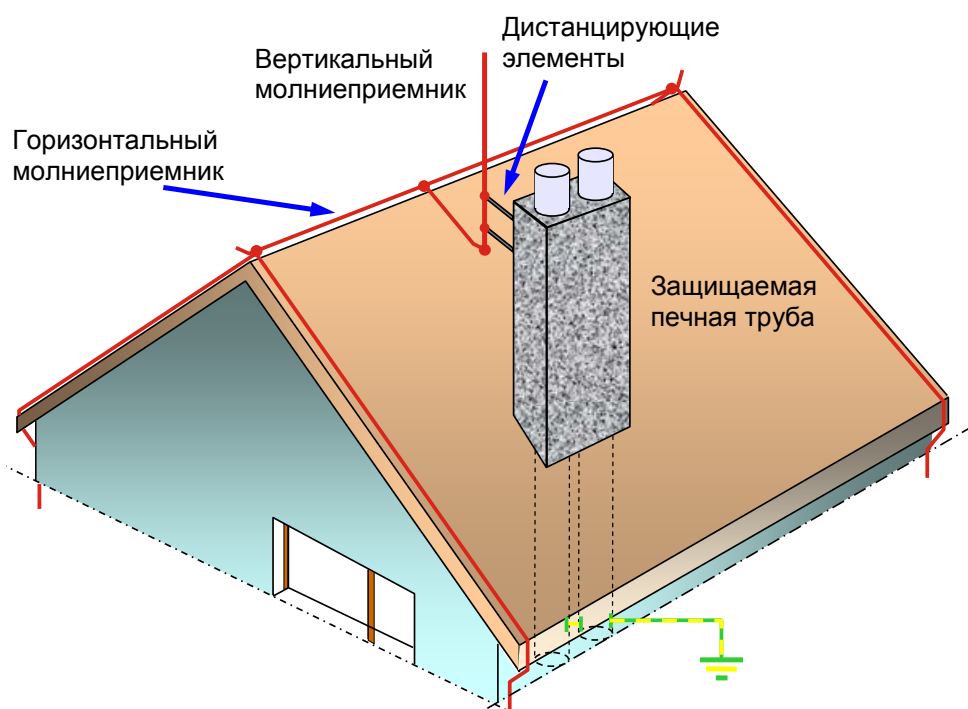


**Рис. 17.** Примеры защиты печных труб

Трубы газовых или масляных с электронным управлением печей также рекомендуется обеспечить защитой от прямого удара молнии. Добиваемся такой защиты, размещая трубу в защищенном пространстве, созданном одиночным молниеприемником или системой



молниеприемников, отодвинутых на расстояние, обеспечивающее исключение искровых разрядов. Пример простого решения представлен на рис.18.



**Рис. 18.** Защита трубы электронно- управляемой печи от прямого удара молнии и от искрового перекрытия

## 2.2. Защита антенн от прямого удара молнии

На крышах строительных объектов, обладающих молнieszщитной инсталляцией, следует металлическую мачту антенны соединить у основания с ближайшим молниеприемником или токоотводом [ ]. Мачты, выполненные из непроводящих материалов, должны быть снабжены молниеприемниками , соединенными с ближайшим отводом молниеприемной сетки на крыше объекта. Антенны должны быть размещены в защищаемом пространстве, созданном:

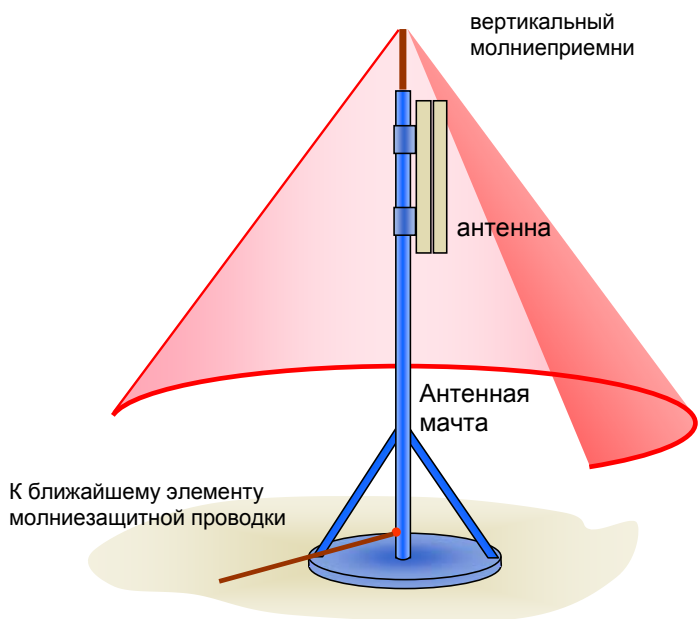
- металлической мачтой антенны,
- металлической мачтой с дополнительным вертикальным молниеприемником (рис.19), соединенным с конструкцией этой мачты (это решение рекомендуется, если зона, созданная самой мачтой не гарантирует защиты),
- дополнительным вертикальным молниеприемником, прикрепленным к мачтам из непроводящих материалов.

Соединяя антенну с устройством, находящимся внутри строительного объекта следует:

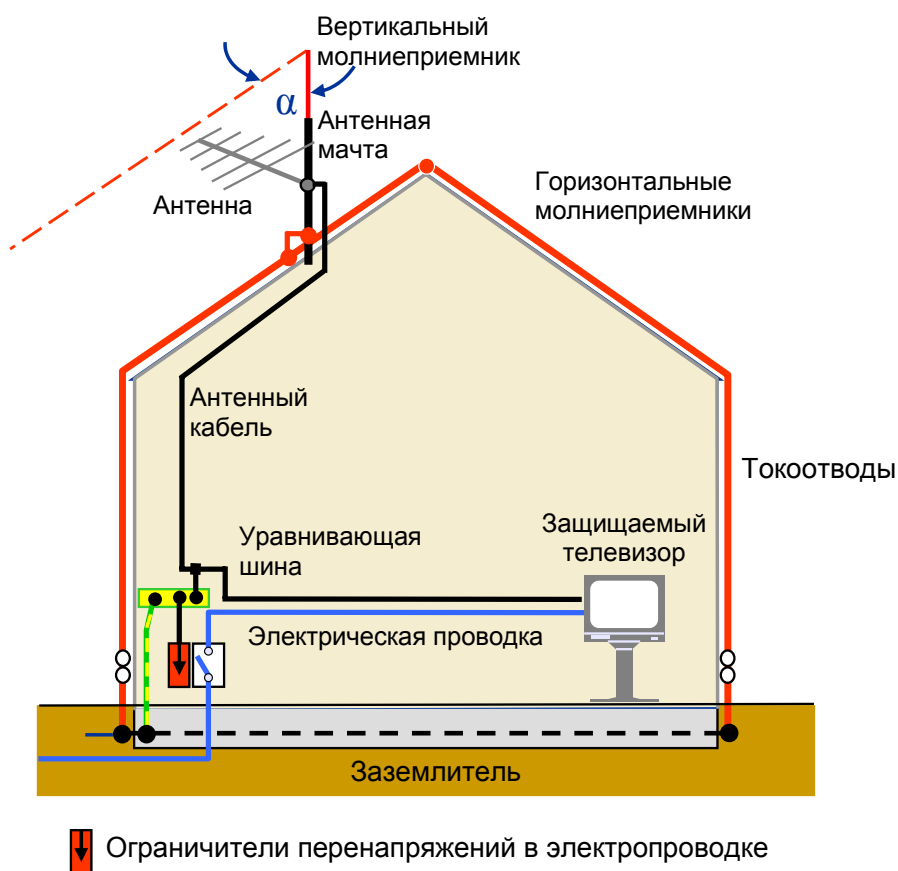
- применить концентрический антенный кабель,
- антенный кабель подвести к объекту через общий вход всех инсталляций или поблизости главной уравнивающей шины,
- экран кабеля соединить с главной уравнивающей шиной.

Пример рекомендуемого решения представлен на рис. 20.

В представленном решении часть тока молнии течет в экране антенного кабеля и проникает в защищаемый объект.



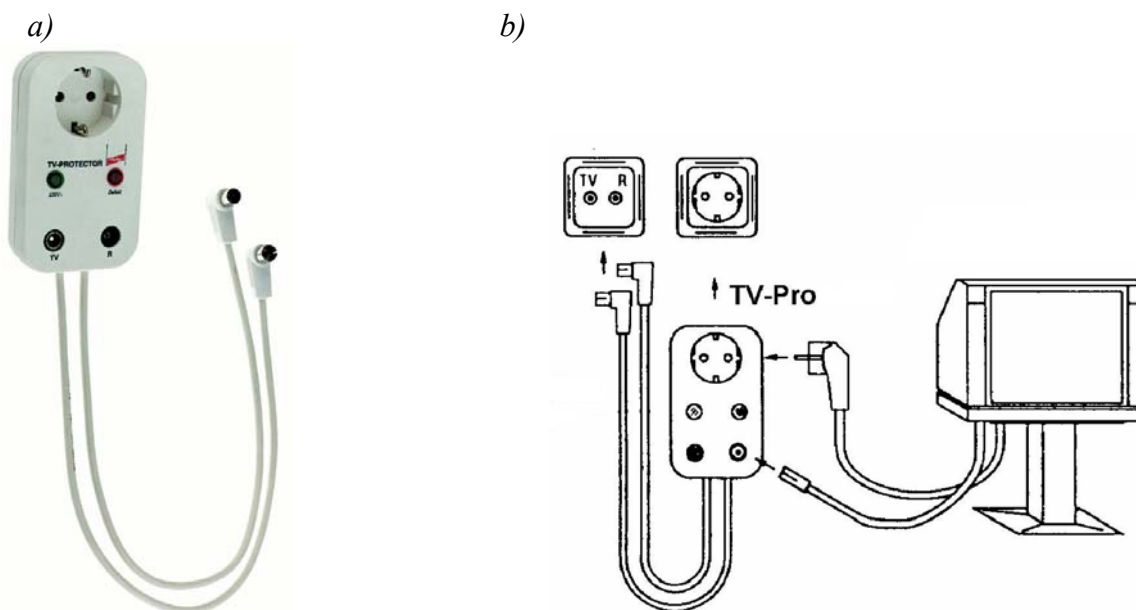
**Рис. 19.** Защитные зоны, созданные одиночной антенной мачтой



**Рис. 20.** Пример молниезащиты мачты с телевизионной антенной []

Падения напряжения, вызванные протеканием этого тока могут угрожать защищаемому устройству, несмотря на соединение экрана антенного кабеля с уравнивающей шиной.

Возникающую опасность устраняют устройства, ограничивающие перенапряжения, размещенные непосредственно перед защищаемым объектом (рис.21).



**Рис. 21.** Пример устройства, ограничивающего перенапряжения непосредственно перед охраняемым объектом; а) общий вид, б) способ подсоединения ограничителя TV-Pro

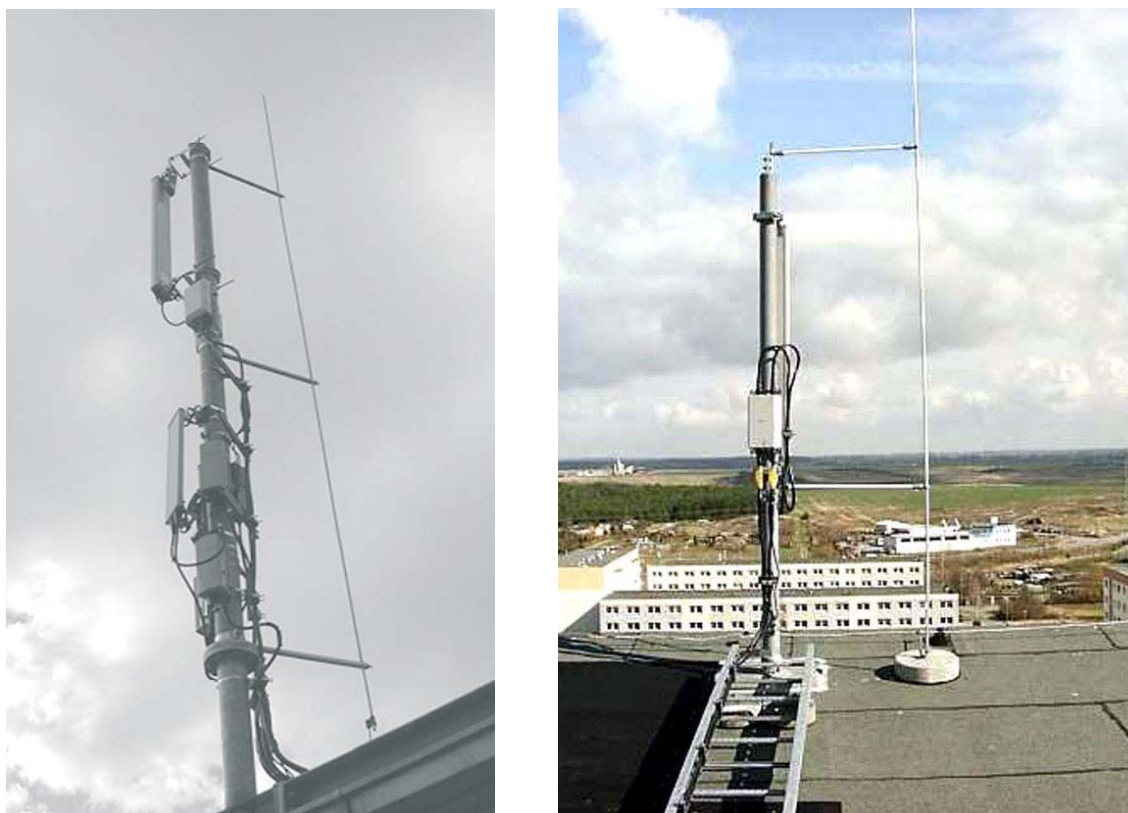
Полную охрану антенн и устройств внутри объекта можно получить, не допуская проникновения части тока молнии в экран антенных кабелей. В вводимой в настоящее время европейской норме [1] рекомендуется размещение антенных мачт в защищаемых пространствах, образованных надстройками, конструктивными элементами крыши или дополнительными приемниками, размещенными рядом с мачтами.

В обоих случаях следует сохранять безопасные расстояния между защищаемыми мачтами и элементами, используемыми для молниезащиты. Пример такого решения представлен на рис.22.



**Рис. 22.** Защита мачты и антенны от прямого удара молнии [1]

Подобные решения применяются также для молниезащиты антенн, используемых в сотовой связи. Примеры защиты антенн от прямого разряда, и защиты антенных кабелей от воздействия тока молнии приведены на рис.23.



**Рис. 23.** *Размещение антенных мачт в защищаемых вертикальными молниеприемниками пространствах*

В представленных решениях следует сохранять требуемые защитные расстояния между мачтой и антеннами, приемником и другими элементами молниезащитного устройства.

Если сохранение требуемых защитных расстояний или создание защищаемых пространств вертикальными приемниками является трудным или невозможным реализовать, то можно применить одно из нижепредложенных решений:

- вертикальный приемник и токоотводы крепятся к защищаемой мачте, безопасное расстояние между этим отводом и защищаемым объектом обеспечивают соответствующим образом подобранные изоляционные дистанцирующие элементы (рис.17),
- для отведения токов молнии используются токоотводы с изоляцией с полупроводящим покрытием.

Применяя токоотводы в изоляции высокого напряжения следует ограничить скользящие разряды на поверхности изоляции. Этого можно достичь:

- повышая начальное напряжение скользящих разрядов, (например, толщину изоляции отвода),
- применяя экраны в изоляции токоотвода (например, тонкую металлическую фольгу внутри изоляции).
- изменяя распределение напряженности электрического поля в месте появления скользящих разрядов.

Два первых метода не нашли до сих пор практического применения при производстве токоотводов, используемых в целях молниезащиты.

В случае третьего метода, улучшение распределения электрического поля в месте появления скользящих разрядов можно получить, применяя токоотводы в изоляции высокого напряжения с токопроводящим или полупроводящим покрытием.

Такой способ защиты от скользящих разрядов применен в токоотводах HVI (High Voltage Insulated), производящихся фирмой DEHN.

Эти токоотводы имеют изоляцию высокого напряжения, покрытую полупроводящим слоем и ее можно применять в случае необходимости монтирования токоотводов рядом с заземленными проводящими инсталляциями или устройствами.

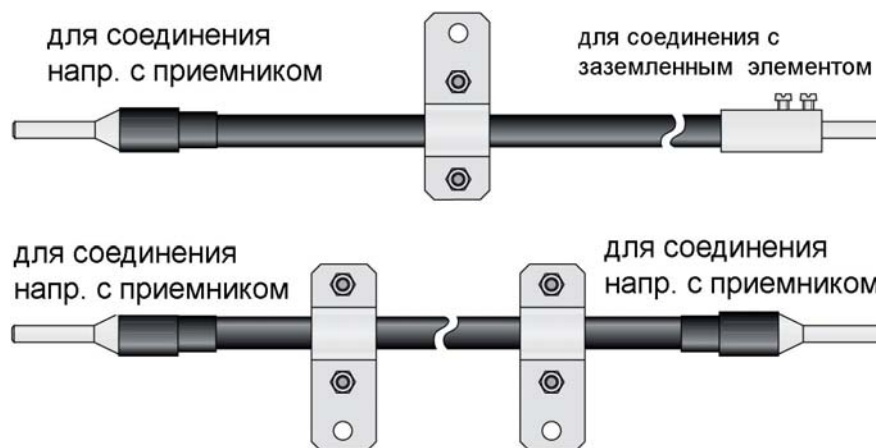
Применение таких токоотводов устраняет требование сохранения безопасных расстояний, составляющих около 0,75 м для расстояний в воздухе и около 1,5 м для расстояний в твердом диэлектрике.

Основные параметры токоотвода HVI представлены в таблице 10.

**Таблица 10.** Основные параметры токоотвода HVI []

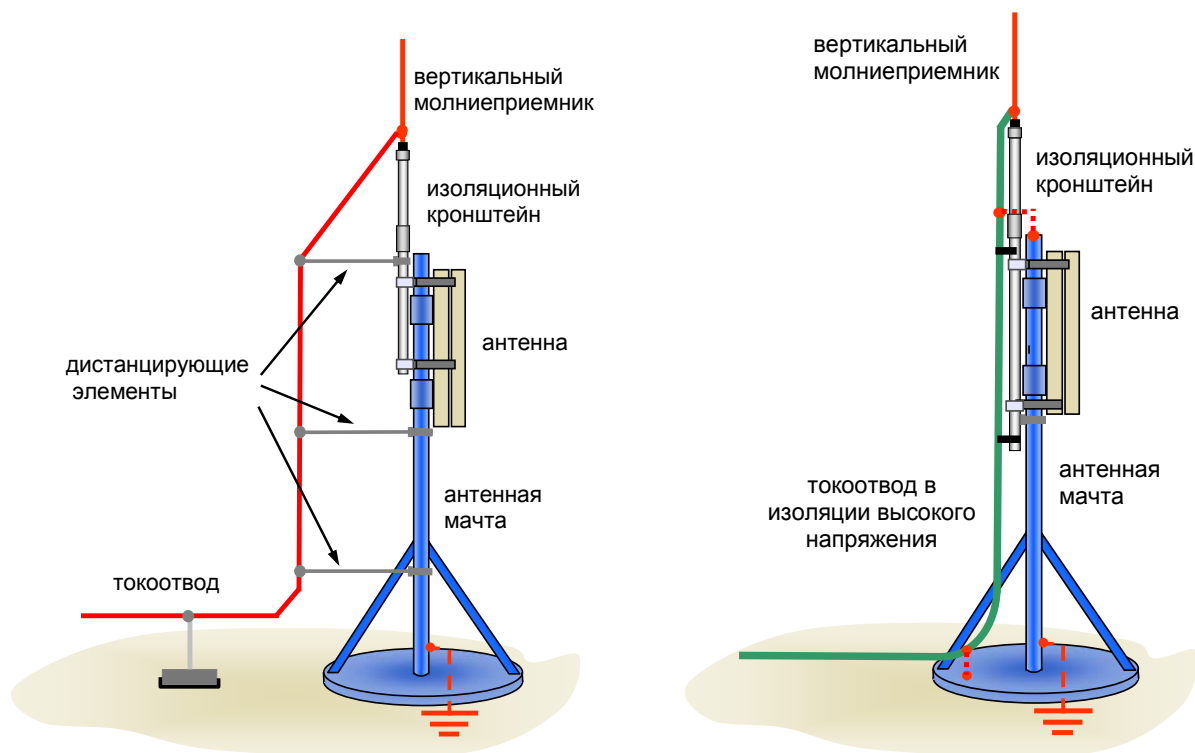
Параметр	Значение
Эквивалентное безопасное расстояние	0,75 м - воздух 1,5 м - твердый диэлектрик
Внешний диаметр	20,0 /23,0 мм
Минимальный радиус изгиба	200 мм
Температура монтажа токоотвода	> 0° С
Максимальный нажим	950 N
Внутренний токоотвод	19 мм <sup>2</sup> Cu
Внешнее покрытие	Черное или серое ПХВ

Производитель также обеспечивает кабелями с удобными для монтажа концами (рис.24) и соответствующим образом смонтированными и распределенными по длине кабеля скобами для уравнивающих соединений с заземленными элементами.



**Рис. 24.** Готовые токоотводы в изоляции высокого напряжения с различными концами и скобами для монтажа.

Токоотводы в изоляции могут заменить представленные классические решения с креплением изоляционных кронштейнов (рис.25).



**Рис. 25.** Защита антенн от прямого удара молнии, а) использование вертикального молниеприемника и токоотвода, отстоящего от мачты, б) вертикальный молниеприемник с кабелем высокого напряжения

Пример использования токоотводов НВИ для защиты антенн базовых станций сотовой связи представлен на рис.26.



**Рис.26.** Пример использования кабеля в изоляции высокого напряжения, покрытой полупроводящим материалом, для отвода тока молнии.

Если количество размещенных на крыше устройств значительно, то оптимальным решением может оказаться создание молниеприемной сетки над всей поверхностью крыши (рис. 27).



**Рис. 27.** Молниезащита устройств на крыше строительного объекта

Если нельзя создать молниезащиту, исключающую прямое воздействие тока молнии на устройства, установленные на крыше объекта, то можно применить одно из нижеследующих решений:

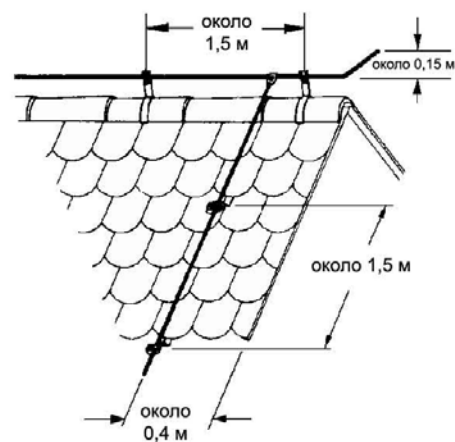
- в проводящих инсталляциях, через которые ток молнии может попасть в объект (напр., трубы системы климатизации и вентиляции), следует применить изоляционные элементы с длиной (толщиной) по крайней мере вдвое большей требуемых безопасных расстояний,
- в местах сближения молниезащитных инсталляций и защищаемого устройства или системы следует применить выравнивающие соединения непосредственно или с помощью искровых разрядников.

### **2.3. Многоскатные крыши, крытые черепицей**

На крышах с черепичной кровлей, если соблюдаются соответствующие безопасные расстояния, следует применять низкие горизонтальные молниеприемники. Правильное создание молниеприемной сетки на таких крышах требует соблюдения представленных ниже требований.

- На крышах с углом наклона ската выше  $30^{\circ}$  один из проводов молниеприемной сетки должен быть проложен вдоль конька крыши.
- Металлические части здания, находящиеся на поверхности или над поверхностью крыши (за исключением представленных в разделе ) следует соединить с ближайшим молниеприемником или токоотводом. Это касается между прочим:
  - типовых труб ( чаще всего непосредственное соединение),
  - металлических антенных мачт (непосредственное соединение ),
  - металлических мачт крышевых стоек, используемых для поддержки воздушных линий, входящих в объект (косвенное соединение с помощью разрядника),
  - вытяжек, ограждений, оконных рам (непосредственное соединение).

Типовые примеры установки молниеприемников на крышах объектов представлены на рис. 28.



**Рис. 28.** Молниеприемники на двухскатных крышах. Размещение кронштейнов и примеры монтажа

Металлические конструктивные элементы, напр., водосточные желоба, идущие по нижнему краю крыши, следует также присоединить к проводникам молниезащитного устройства (рис. 29).



**Рис. 29.** Пример выполнения соединений металлического водосточного желоба с элементами молниезащитного устройства.

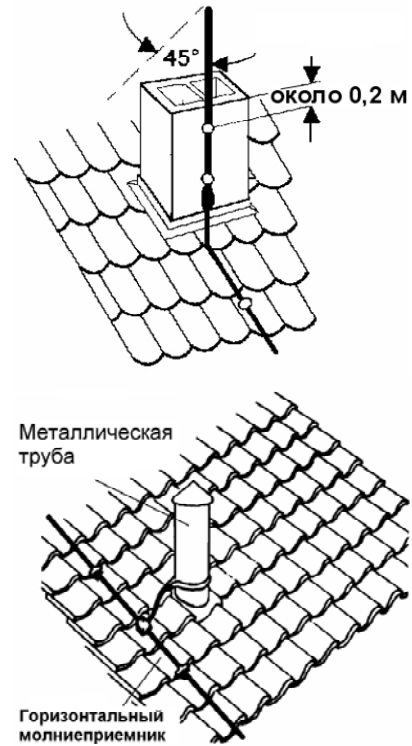
Водосточные желоба, используемые для отведения токов молнии должны быть выполнены из листового металла толщиной, соответствующей обязательным требованиям (листы стальные оцинкованные, цинковые или медные - минимум 0,5 мм, а также алюминиевые листы толщиной минимум 1 мм).

Число токоотводов получаем, разделив периметр крыши, покрытой молниеприемной сеткой, на размер боковой стороны сетки. Для отведения тока молнии следует применять самое меньшее два токоотвода.

Трубы на крышах строительных объектов могут быть:

- соединены с молниеприемниками (металлические трубы – рис.30),
- защищены от непосредственного разряда молнии (вертикальные молниеприемники - рис.28),
- защищены от непосредственного разряда молнии, а также от воздействия тока молнии.




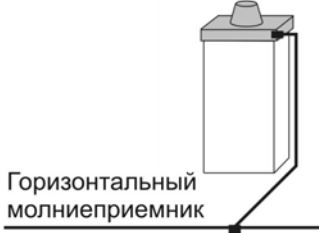






**Рис. 30.** Примеры исполнения молниезащиты труб на крышах, крытых черепицей

Примеры различных вариантов молниезащиты труб на крышах строительных объектов приведены в таблице 11.

**Таблица 11.** Примеры выполнения молниезащиты различного вида труб

Описание	Общий вид	
<p>Защита применена в случае отсутствия угрозы попадания тока молнии в трубу. Металлические трубы на крыше соединены с молниеприемниками. Для защиты от непосредственного воздействия тока можно применить вертикальные молниеприемники.</p>	 <p>Горизонтальный молниеприемник</p>	 <p>Вертикальный молниеприемник</p> <p>Горизонтальный молниеприемник</p>
<p>Трубы, сделанные из непроводящих материалов следует защищать с помощью вертикальных молниеприемников. Металлические элементы трубы следует соединять с горизонтальными молниеприемниками.</p>	 <p>Вертикальный молниеприемник</p> <p>Горизонтальный молниеприемник</p>	 <p>Горизонтальный молниеприемник</p>
<p>Труба находится в защитной зоне, созданной вертикальными молниеприемниками. Решение применяется, если защита от непосредственного воздействия тока молнии на инсталляции, проложенные в трубе, является обязательной.</p>	 <p>Вертикальный молниеприемник</p> <p>Горизонтальный молниеприемник</p>	 <p>Вертикальный молниеприемник</p> <p>Горизонтальный молниеприемник</p>

Трубы газовых или масляных с электронным управлением печей также рекомендуется обеспечить защитой от прямого удара молнии.

## 2.4. Металлические крышесые покрытия

Металлическую кровлю можно и следует использовать в качестве низкого горизонтального молниеприемника при условии, что толщина кровли будет не менее, чем 0,5 мм, независимо от ее рода (согласно **IEC 61024-1**). Металлические крышесые покрытия строительных объектов следует использовать для молниезащиты в следующих случаях:

1. Обеспечена постоянная длина соединений между отдельными частями крышесого покрытия,
2. Слой металла имеет толщину не менее, чем 0,5мм в случае, когда:
  - нет потребности в предупреждении перфорации кровли,
  - под поверхностью кровли не имеется слоя легкогораемого материала.
3. Металлические элементы не покрыты изоляционным материалом.

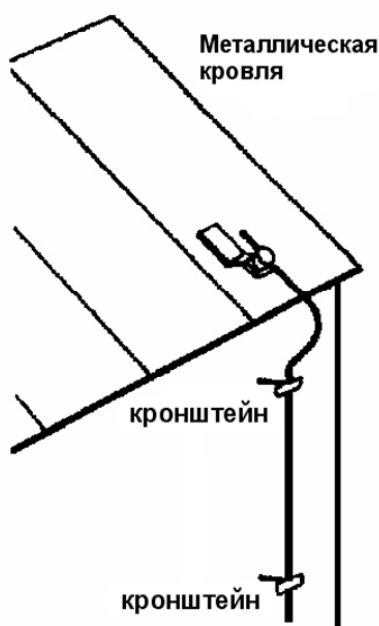
Не считается изоляцией покрытие металлического листа тонким слоем защитной краски, слоем битума толщиной до 0,5 мм или слоем пленки толщиной до 1 мм.

Деревянное покрытие крыши должно быть отнесено к покрытиям и основаниям, выполненным из трудносгораемых материалов, и металлическая кровля с толщиной, соответствующей выставленным требованиям, может быть уложена на таком покрытии.

В случае использования листового металла допустимой толщины существует возможность расплавления отверстий в месте проникновения тока молнии.

Расплавленные капли металла или даже его повышенная температура могут представлять собой большую опасность, если непосредственно под металлическим покрытием находятся воспламеняемые материалы.

В таком случае может также возникнуть необходимость применения поднятых молниеприемников. Ток молнии должен быть отведен в землю с помощью токоотводов, соединенных с листовым покрытием (рис.31).



**Рис. 31.** Отведение тока молнии с металлического покрытия крыши

В случае технологических устройств напр., наземных резервуаров, трубопроводов, технологических аппаратов, расположенных вне здания, в качестве молниеприемников можно использовать листовой металл с толщиной, представленной в таблице 12.

**Таблица 12.** Минимальные толщины листового металла, применяемого в технологических устройствах для отведения тока молнии

Материалы	Рекомендуемая минимальная толщина листа (мм) по IEC 61024-1	
сталь	2,5 *	4 **
медь	2,5 *	5 **
алюминий	2,5 *	7 **

При этом:

\* - существует возможность расплавления отверстия в листе в точке вхождения тока молнии,

\*\* - в месте вхождения тока молнии произойдет только рост температуры листа.

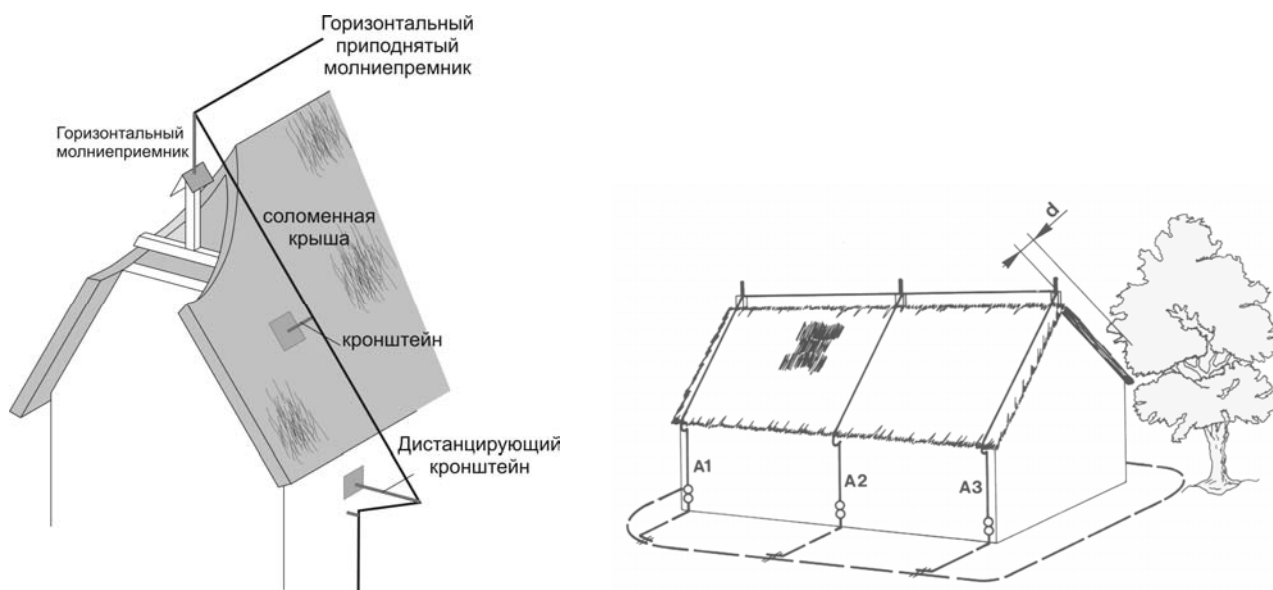
## 2.5. Покрытия из легкосгораемых материалов

В строительных объектах, крыши которых изготавливаются из легкосгораемого материала, защиту обеспечивают горизонтальные поднятые молниеприемники, неизолированные вертикальные молниеприемники или высокие неизолированные горизонтальные молниеприемники.

Следует отметить, что представленные ниже замечания и требования относятся к основной защите в типовых строительных объектах, которые не подвергаются опасности пожара, взрыва пара, пыли, газа и взрывчатых веществ.

Обязательность применения поднятых молниеприемников оправдана, если крыша сделана из соломы или других эквивалентных легковоспламеняемых материалов, и это не относится к деревянным крышевым покрытиям. Пример возможного выполнения молниезащитной инсталляции на крыше, крытой соломой представлен на рис.32.

Обязательность применения поднятых молниеприемников может также возникнуть при основной молниезащите, в которой нуждаются архитектурные памятники.



**Рис. 32.** Поднятые молниеприемники на крышах, крытых соломой или легковоспламеняющимся материалом

Принятие этой интерпретации приводит к тому, что на крышах из гонта или деревянных досок можно применять низкие молниеприемники, проложенные на расстоянии не менее 2 см над поверхностью крыши или непосредственно на ней. Следует, однако, обратить внимание на способ пропитки гонтов и досок.

Минимальное расстояние между ветвями дерева и крышей из легкогораемого материала должно составлять  $d = 2$  м, для того чтобы обеспечить безопасность в случае непосредственного попадания молнии в дерево.

### 3. Защита от искрового перекрытия

В настоящее время чаще всего применяются невоспламеняющиеся или трудновоспламеняющиеся материалы крышевых покрытий, и для защиты строительных объектов следует, в соответствии с действующими требованиями, использовать низкие молниеприемники.

Монтируя такие молниеприемники, следует обратить внимание на возможность возникновения искровых перекрытий между молниеприемниками и проводящими элементами внутри зданий (рис. 33).



**Рис. 33.** Искровые перекрытия между элементами молниезащитных установок и установками внутри строительного объекта

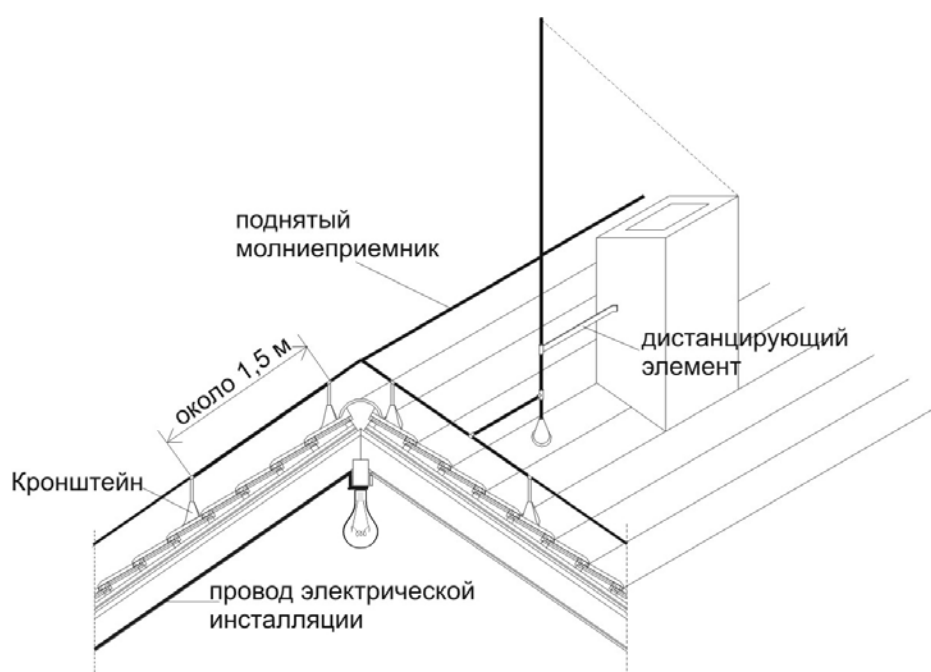
При возникновении такого перекрытия наступит неконтролируемое растекание разрядного тока в элементах внутри строительного объекта, что может привести к значительным материальным потерям и создать опасность для людей, находящихся на данном объекте. На практике безопасные изоляционные расстояния проще всего сохранять в строящихся объектах, в которых можно запроектировать и выполнить проводящие установки на

объекте таким образом, чтобы они были достаточно удалены от элементов молниезащитной инсталляции.

Дело значительно усложняется на старых объектах, в которых производится расширение или перестройка, напр., чердак приспособляется к жилым или хозяйственным целям. В этих случаях правильное размещение инсталляций и выполнение требований сохранения безопасных расстояний может быть весьма затруднительным или совсем невыполнимым.

В качестве решения можно применить выравнивающие соединения или высокие молниеприемники. В случае выравнивания потенциалов в объекте следует соединить проводящие элементы внутри здания с элементами молниезащитной инсталляции в местах их сближения. Такое решение приводит к проникновению тока молнии внутрь объекта и нужно обеспечить его безопасное отведение в заземлитель.

Наблюдения показывают, что это очень трудная задача, требующая большого опыта и правильной оценки возможной опасности. Пример такого решения представлен на рис.34.



**Рис. 34.** Пример выполнения монтажа поднятого молниеприемника

Поднятие молниеприемников над поверхностью крыши позволяет произвольно размещать проводники электрических инсталляций, телекоммуникационные и сигнальные провода внутри здания.

#### 4. Токоотводы

Как и в случае молниеприемников, в качестве токоотводов следует использовать как естественные, так и искусственные проводящие элементы. Наименьшие размеры проводящих элементов, которые можно использовать для отведения тока молнии составляют:

- оцинкованная сталь  $50 \text{ мм}^2$
- алюминий  $25 \text{ мм}^2$
- медь  $16 \text{ мм}^2$

В таблицах 13 и 14 представлены требуемые расстояния между токоотводами, проводами и стенами объекта, а также самими кронштейнами.

Схема токоотводов должна обеспечить параллельные пути для протекания тока молнии от точки удара в землю. Токоотводы следует устанавливать вдоль прямых и вертикальных трасс между молниеприемником и заземляющим проводником.

**Таблица 13.** Расстояние между токоотводами и стенами строительных объектов

Минимальное расстояние от стены здания по IEC 61024-1	
Стена из негорючего или трудногорючего материала	Стена из сгораемого материала
<p>Минимальное расстояние не определено, можно укладывать провода на стене объекта</p> <p>1,0м</p> <p>Основание негорючее или трудногорючее</p> <p>на стене или в ее полости</p>	<p>10 см</p> <p>1,0м</p> <p>Основание из легкогорючего материала</p> <p>на стене* или 10 см от стены**</p>

\* - рост температуры токоотвода при протекании тока молнии не опасен для материала стены,  
 \*\* - температура провода превышает допустимые величины для сгораемого материала стены.

**Таблица 14.** Средние расстояния между токоотводами

PN- IEC 61024-1	
Уровень защиты	Среднее расстояние
IV	25м
III	20м
II	15м
I	10м

Требуется, однако, сохранение расстояния не менее двух метров между токоотводом и:

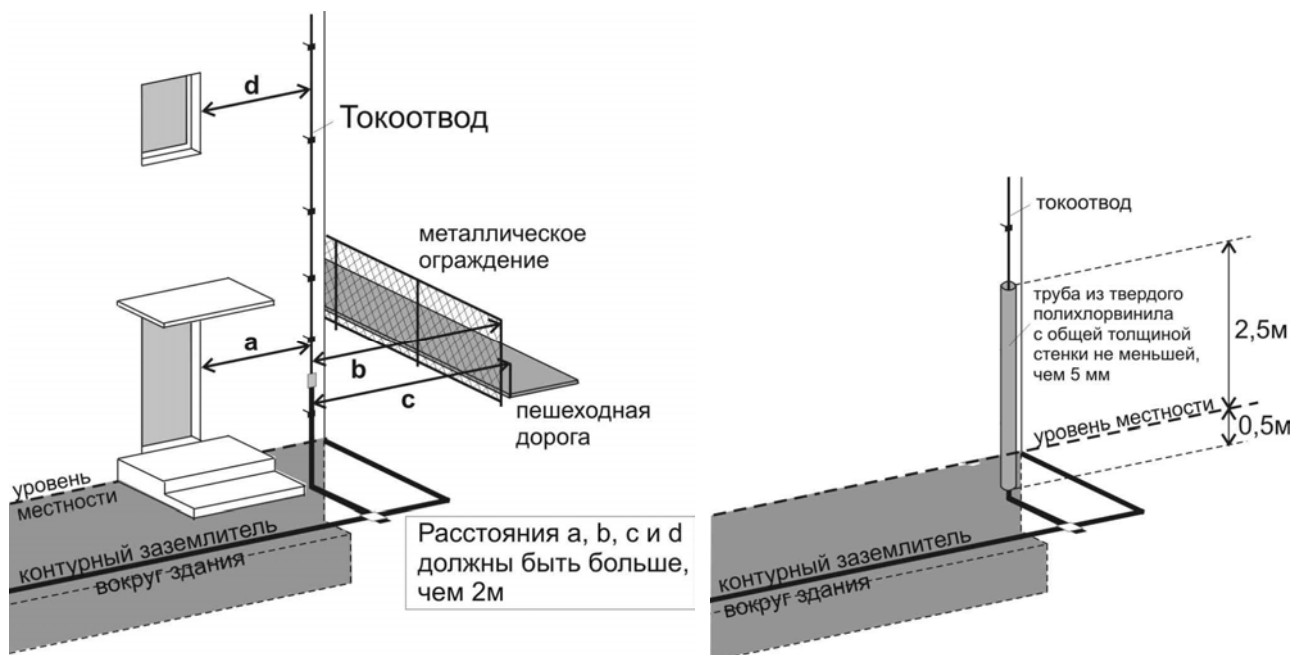
- пешеходными переходами и входами в здание,
- металлическими ограждениями вдоль пешеходных дорог тротуаров (рис. 35а).

В соответствии с требованиями количество токоотводов получаем, разделив периметр объекта, выраженный в метрах, на размер стороны ячейки молниеприемной сетки. Число отводов не может быть меньше двух.

Анализ молниеприемной горизонтальной сетки с размерами, зависящими от уровня защиты, показывает необходимость такого расположения токоотводов, чтобы по возможности создавалось бы непрерывное продолжение горизонтальных молниеприемников.

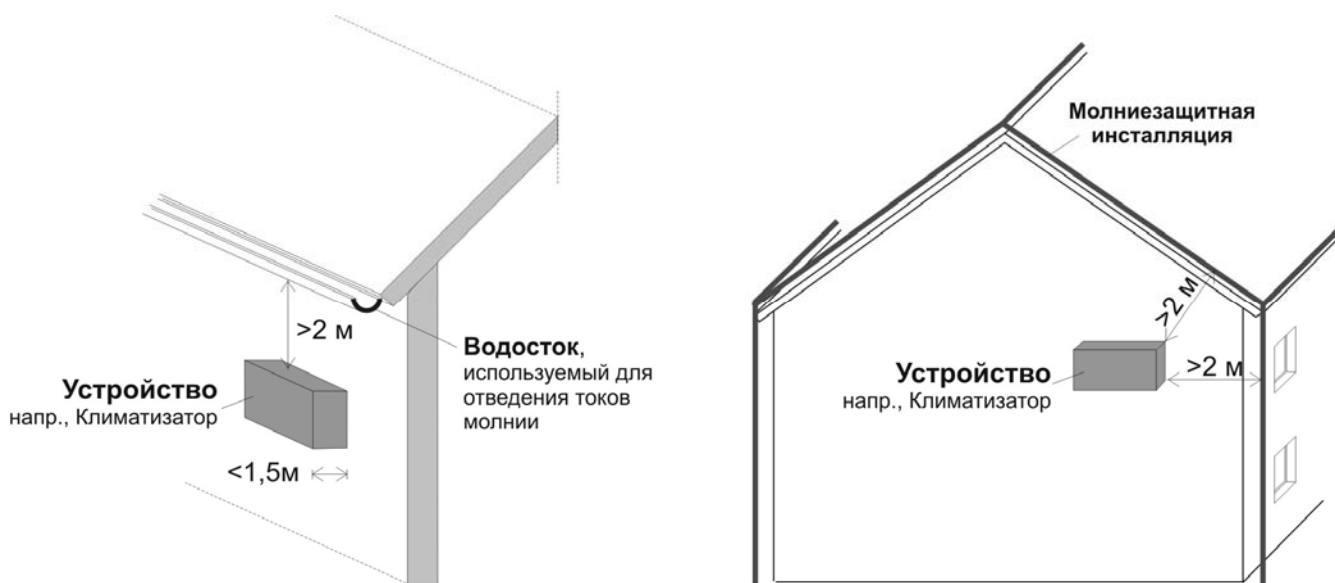
При анализе угрозы устройствам, установленным на стенах объекта, следует также принимать во внимание расположение защитных зон. В этих случаях расстояние между устройством и

проводами электрической инсталляции должно быть настолько большим, чтобы не могло возникнуть искровое перекрытие.



**Рис. 35.** Прокладка токоотводов: а) с учетом мест, в которых могут появляться люди, б) экранирование токоотвода в случае, когда нельзя обеспечить требуемых расстояний

Для избежания таких перекрытий можно установить требующиеся минимальные расстояния или принять, что расстояние между устройством и проводником молниезащитной инсталляции или элементом, используемым для отведения токов молнии (напр., водостоки), должно составлять самое меньшее 2 м., а расстояние между наиболее выступающим местом устройства и стороной здания не превышать 1,5 м. Пример такой ситуации представлен на рис. 36.

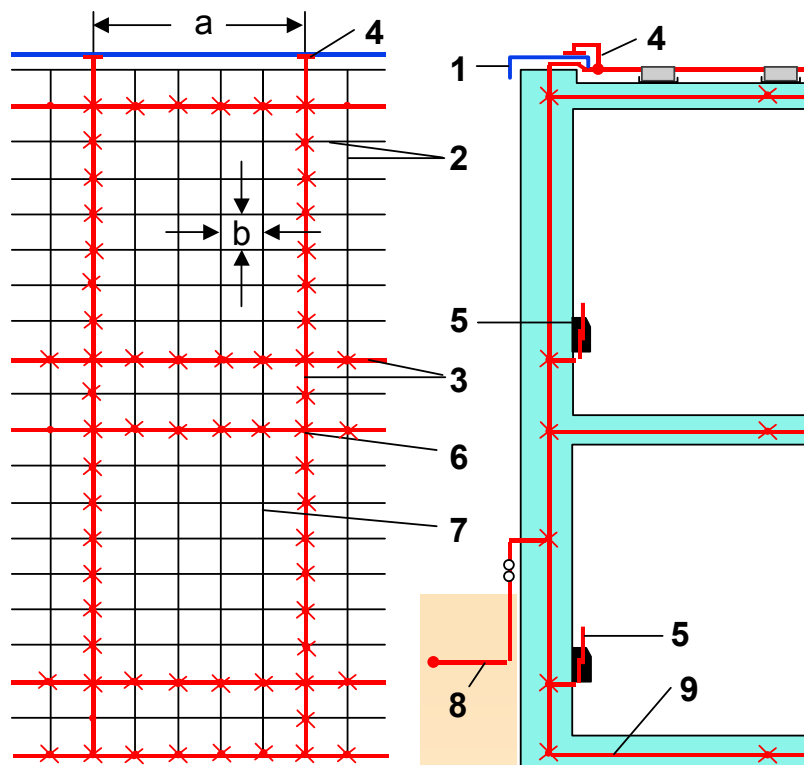


**Рис. 36.** Расстояния между устройствами и элементами с током

Рекомендуется сохранение одинаковых расстояний между токоотводами, если это невозможно следует размещать токоотводы вблизи угловых частей здания.

Используя арматуру здания для отведения тока молнии следует обеспечить непрерывность соединений между стержнями.

Дополнительно следует, если возникает необходимость, выполнить на крыше объекта и над поверхностью земли стыки, создающие возможность соединения с системой токоотводов и искусственным заземлителем объекта (рис.37).



- 1 - Металлическая обработка балюстрады крыши
- 2 - Стальные стержни арматуры
- 3 - Стержни решетки, наложенной на арматуру
- 4 - Стыки между стержнями решетки
- 5 - Внутренняя выравнивающая шина
- 6 - Сварное или зажимное соединение
- 7 - Произвольное соединение
- 8 - Контур (вокруг здания)
- 9 - Фундаментный заземлитель (типовые размеры:  $a \leq 5$  м,  $b \leq 1$  м)

**Рис. 37.** Система молниезащиты здания, использующая арматурные стержни для отведения тока молнии

Применение надежных соединений также очень важно в случае использования арматуры объекта в качестве экрана от импульсного электромагнитного поля в момент разряда вблизи объекта.

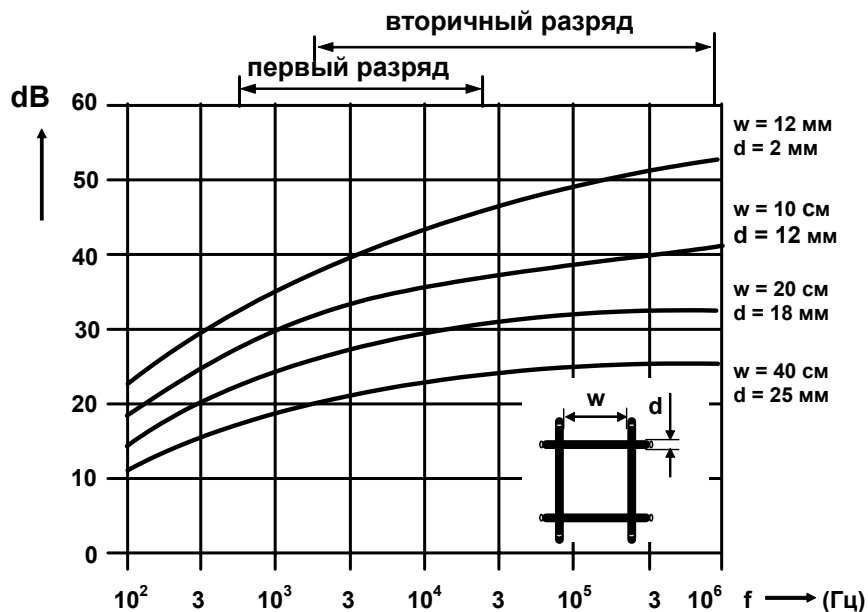
Получение как можно лучших экранирующих свойств требует соединения проводящих элементов конструкции как между собой, так и между оконными нишами и другими металлическими элементами.

Устанавливая во внешних стенах объектов ряды больших, прилегающих друг к другу окон, следует арматурные стержни стен соединить с нижними и верхними проводящими элементами оконных рам.

Экранирующие свойства стальных или железобетонных конструкций различного типа определяются чаще всего на основе лабораторных исследований или исследований на



местности, проводимых в реальных объектах. Примерные результаты измерений эффективности экранирования конструкции, сделанной из элементов арматуры зданий, представлены на рис.38.



**Рис.38.** Изменения эффективности экранирования конструкции в зависимости от размеров ячейки молниеприемной сетки и частоты

В случае возникновения разряда поблизости объекта для приближенной оценки затухания, принимается, что на экран падает плоская волна, и затухание можно определить из зависимостей представленных в таблице 15.

**Таблица 15.** Магнитное затухание в каркасе в случае плоской волны, вызванной близкими разрядами молнии [ ]

Материал	Затухание в dB	
	25 кГц	1 МГц
Медь /алюминий	$20 \log (8,5/w)$	$20 \log (8,5/w)$
Сталь	$20 \cdot \log \left[ \left( 8,5 / w \right) \sqrt{1 + 18 + 10^{-8} / r^2} \right]$	$20 \log (8,5/w)$
Сталь с проницаемостью $\mu_r = 200$ , W –ширина окна каркаса ( $w < 5$ м), r – радиус стержня каркаса		

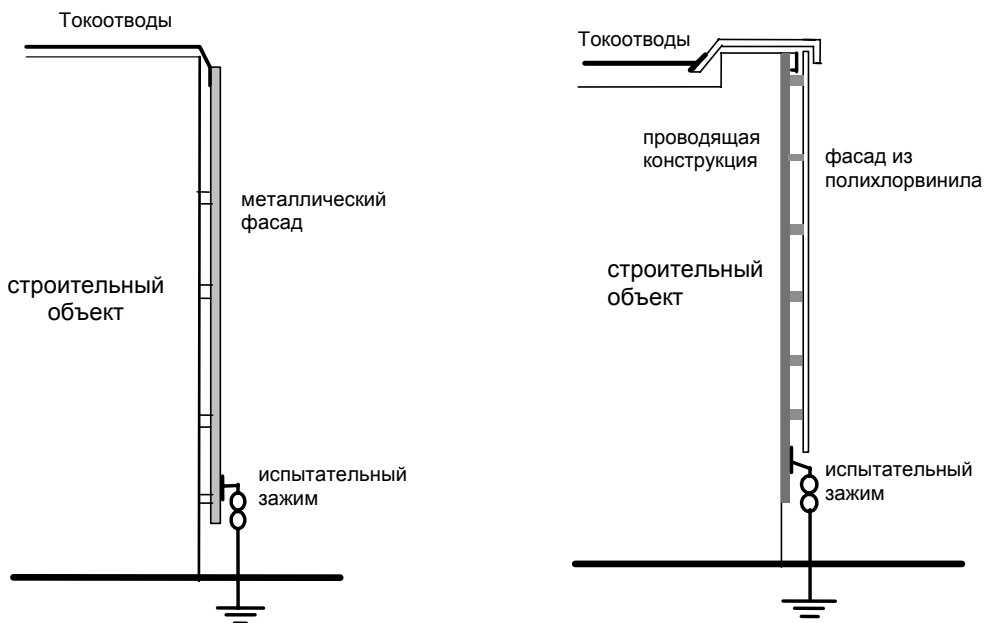
Металлические поверхности, находящиеся снаружи здания могут быть также использованы для отведения тока молнии. Следует только обеспечить непрерывность соединений между токоотводами и заземляющими проводниками.

Два чаще всего встречающихся случая соединений между собой металлической и полихлорвиниловой облицовки армированной стены представлены на рис.39.

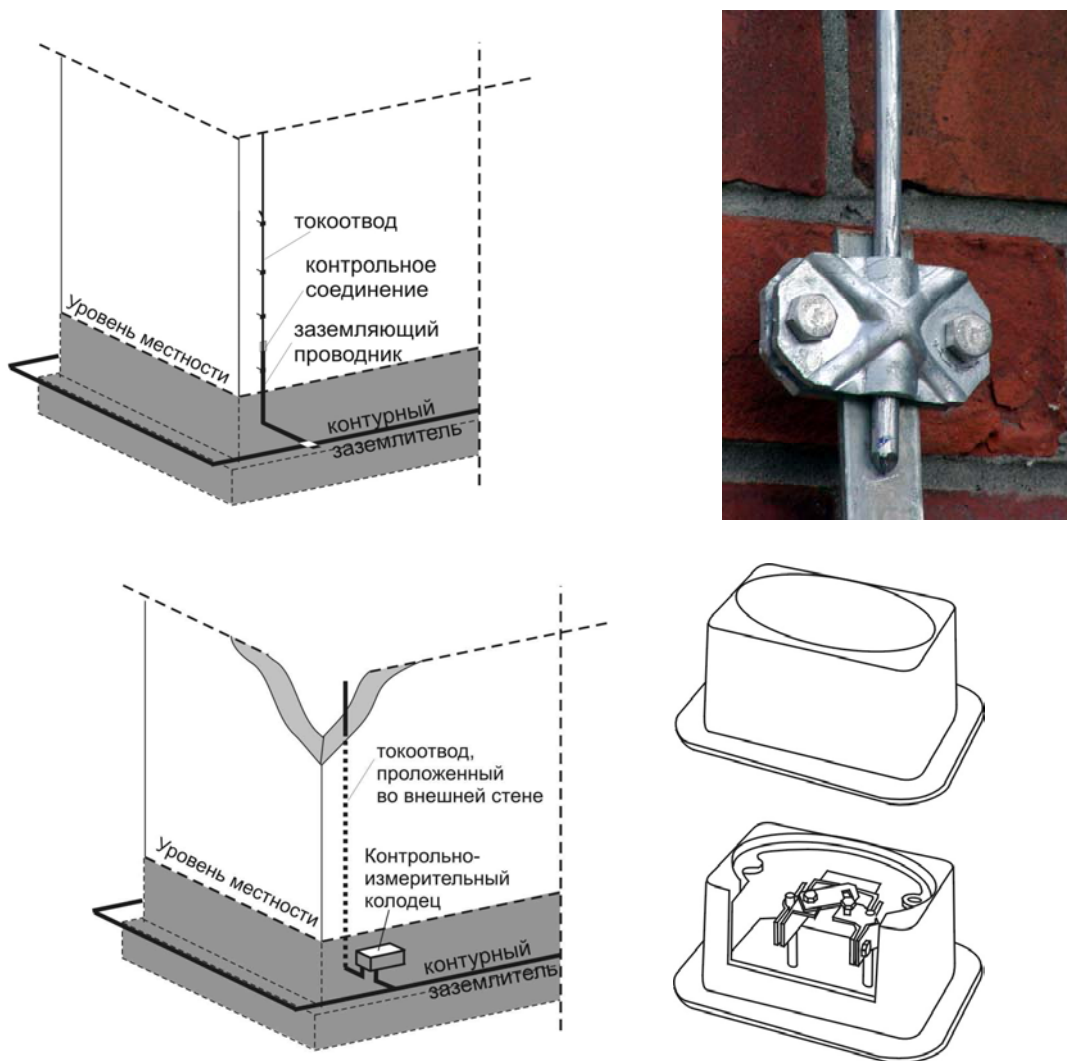
## 5. Заземляющие проводники

Для соединения токоотводов с заземлителем применяются заземляющие проводники, минимальные размеры которых для различных материалов, представлены в таблице 35.

В месте соединения токоотводов с заземляющими проводниками должны находиться зажимы или контрольно-измерительные колодцы (рис.40).



**Рис. 39.** Схемы соединений в объектах с проводящими и непроводящими фасадами

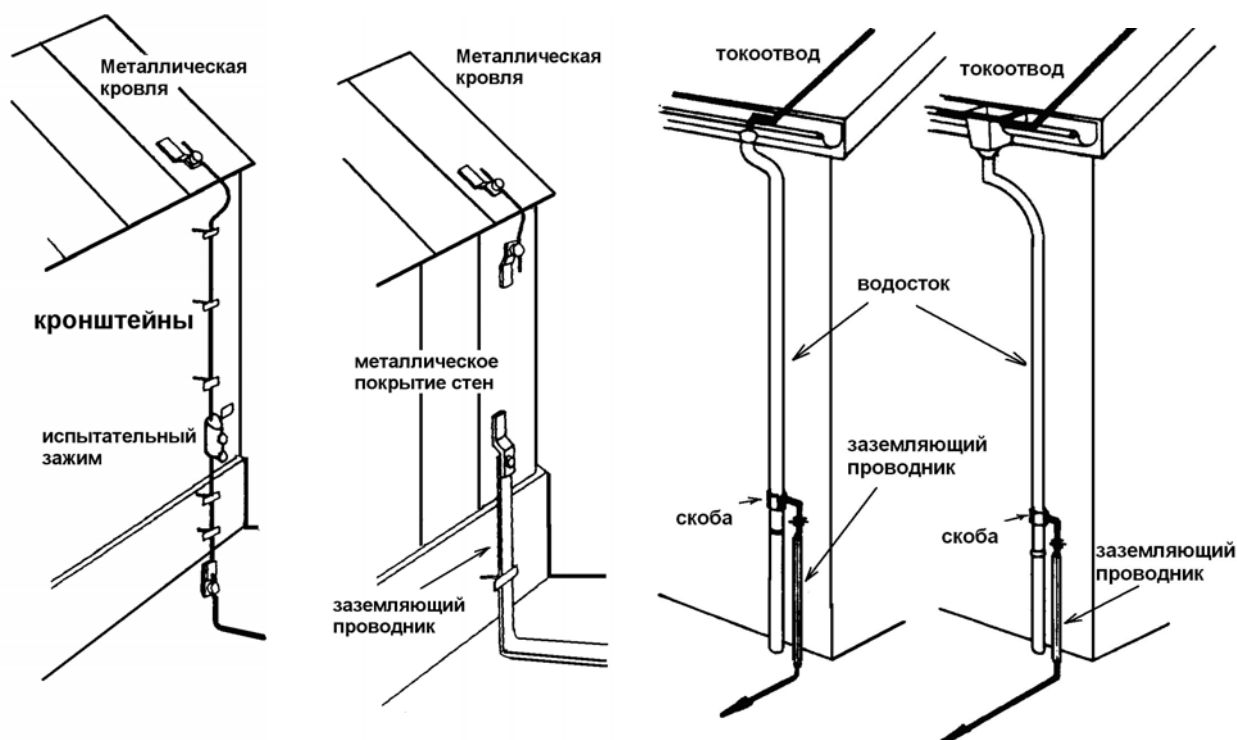


**Рис. 40.** Зажимы и контрольно-измерительные колодцы в молниезащитной инсталляции

Требования, касающиеся проведения осмотров и консервации, а также обязательность выполнения измерений активного сопротивления вызывают необходимость размещения зажимов в легкодоступных местах. Дополнительно следует учитывать рекомендации, устанавливая зажимы на высоте от 0,3 м, до 1,8 м. Наземную часть заземляющих проводников следует защитить от механических повреждений. Достаточную защиту можно обеспечить применяя:

- экранирование заземляющих проводников на высоту до 1,5 м над землей и на глубину около 0,2 м ,
- заземляющие провода с диаметром большим, чем величины, представленные в таблице 35, напр., провода с диаметром минимум 8 мм.

На рис.41 представлены примеры исполнения молниеприемников, токоотводов, и заземляющих проводников при использовании проводящих элементов , встречающихся в строительных объектах.



**Рис. 41.** Примеры исполнения молниезащитной инсталляции при использовании для отведения токов молнии металлических элементов конструкции (крыша, стены), а также водостоки

## 6. Заземлители

Задачей заземлителя молниезащитного устройства является обеспечение низкоимпедансного пути для протекания в землю токов наземных разрядов молнии, а также правильности функционирования схем защиты перенапряжений.

Заземляющая система должна также:

- отвечать требованиям, предъявляемым рабочим заземлениям,
- обеспечить защиту находящихся внутри объекта людей, устройств и инсталляций от воздействия опасных напряжений и токов путем приведения к общему потенциалу земли всех металлических конструкций и инсталляций, находящихся в объекте,

- обеспечить правильное взаимодействие всех систем, работающих в объекте (напр., электрических инсталляций, информационных и телекоммуникационных систем).

В объектах телекоммуникации заземляющая система используется также для заземления одного из полюсов источника постоянного тока, питающего телекоммуникационные устройства, и должна создать условия, обеспечивающие ограничения до допустимых величин шумов, переходных и радиозлектронных помех.

## 6.1. Естественные заземлители

Для целей защиты от молний и перенапряжений следует в первую очередь использовать естественные заземлители объекта, которыми могут быть:

- а) не изолированные от земли металлические части защищаемых объектов и устройств,
- б) железобетонные фундаменты и подземные части защищаемых объектов ( не изолированные от земли или покрытые слоем влагостойкой краски),
- в) металлические трубопроводы и обшивки артезианских колодцев, находящиеся на расстоянии не большим, чем 10 м от защищаемого объекта,
- г) заземлители соседних объектов, находящиеся на расстоянии не большим, чем 10 м от защищаемого объекта.

При строительстве новых объектов рекомендуется использование фундаментных заземлителей. Заземление натуральных заземлителей с заземляющими проводниками должны быть жестко скреплены обычной сваркой или сваркой давлением. Если выполнение таких соединений невозможно или затруднено, то допустимо использование скоб или приспособлений, имеющих зажим или зажимы, предохраненные от ослабления.

## 6.2. Искусственные заземлители

Если на объекте невозможно использовать естественные заземлители или их использование нецелесообразно, то следует использовать искусственные заземлители.

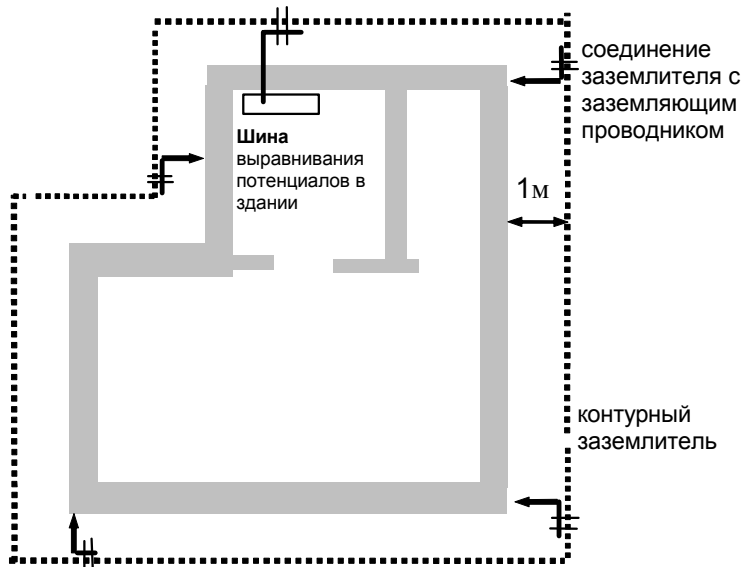
Проектируя такие заземлители, необходимо принять во внимание представленные ниже требования.:

- искусственные заземлители следует выполнять из следующих материалов:
 

сталь	80 мм <sup>2</sup>
медь	50 мм <sup>2</sup>
- из соображений прочности появляются рекомендации увеличить требуемые размеры поперечных заземлителей, выполненных из стали, оцинкованной горячим способом, до 100 мм<sup>2</sup>,
- искусственные заземлители следует выполнять как заземлители контурные, радиальные или горизонтальные. Рекомендуется применение контурных заземлителей (рис.42),
- горизонтальные заземлители следует укладывать на глубине не меньшей, чем 0,6 м и на расстоянии не меньшем, чем 1 м от внешнего края здания (рис.42).
- вертикальные заземлители следует углубить в грунте таким образом, чтобы их самая низкая часть была расположена на глубине не меньшей, чем 3 м, а самая высокая находилась не меньше, чем на 0,5 м под поверхностью земли (рис.24а).
- в настоящее время, принимая во внимание снижение уровня грунтовых вод, предлагается глубже размещать заземлители в грунте, таким образом, чтобы самая нижняя часть заземлителя была на глубине 4 м,

- канавы или борозды, в которых прокладываются заземлители, следует засыпать землей без камней, гравия и щебня,

a)



b)

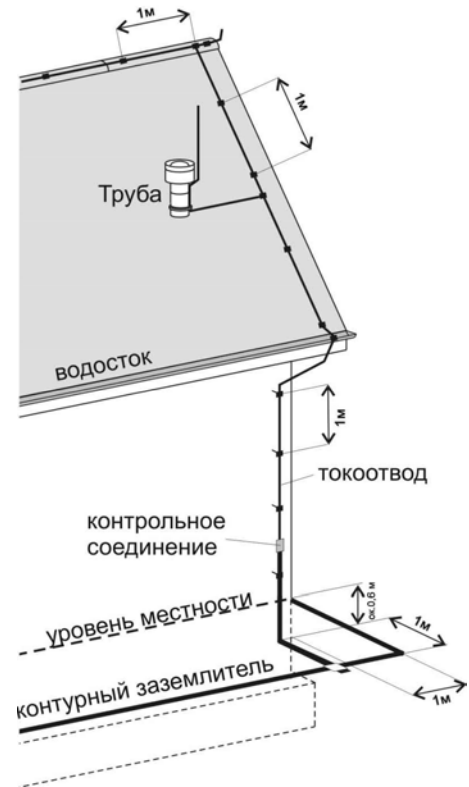


Рис. 42. Контурный заземлитель в строительном объекте a)общий вид, b) соединение заземлителя с заземляющим проводником

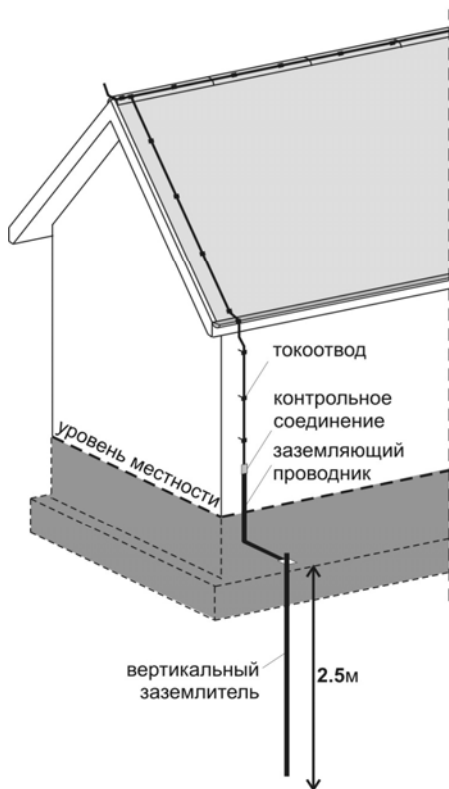
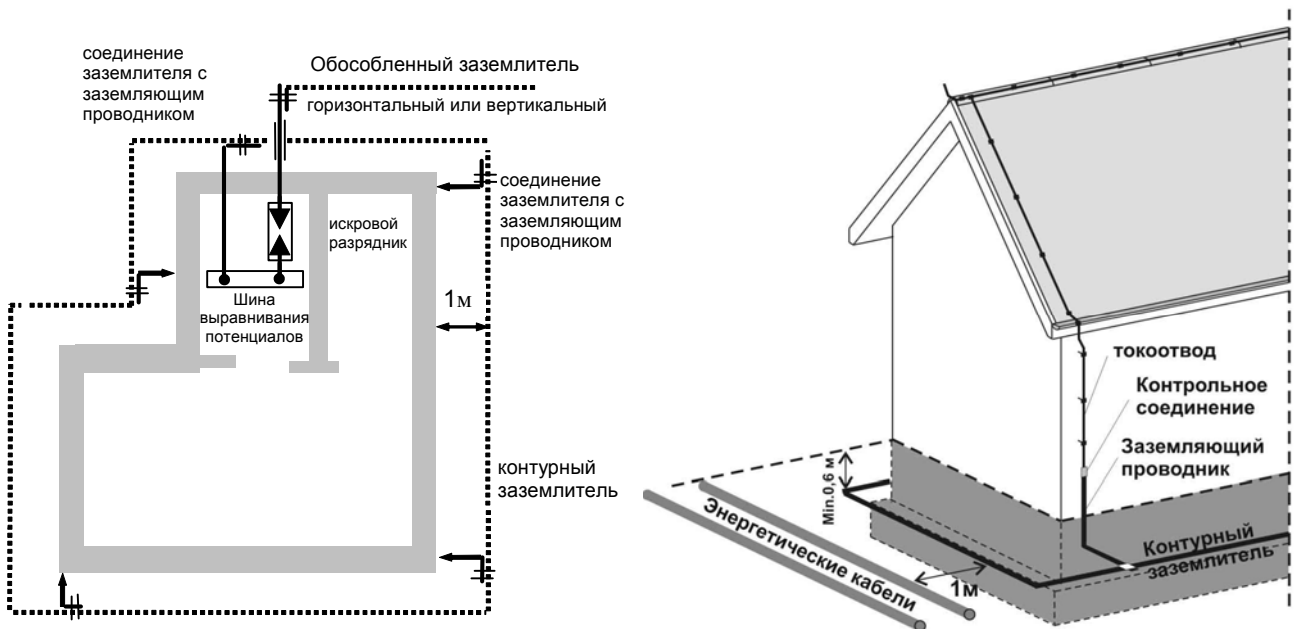


Рис. 43. Вертикальные и горизонтальные искусственные заземлители на строительном объекте

- подземные металлические элементы объектов и технологических устройств, находящиеся на расстоянии не большим, чем 2 м от молниезащитного заземлителя, и не использованные в качестве естественных заземлителей, рекомендуется соединять с ним непосредственно или с помощью разрядников (рис.44),
- разрядники следует применять для соединений молниезащитного заземлителя с , так называемыми, заземлителями обособленными (рис.44),



**Рис. 44.** Соединение контурного заземлителя с обособленным заземлителем и рекомендуемые расстояния между контурным заземлителем и энергетическими кабелями

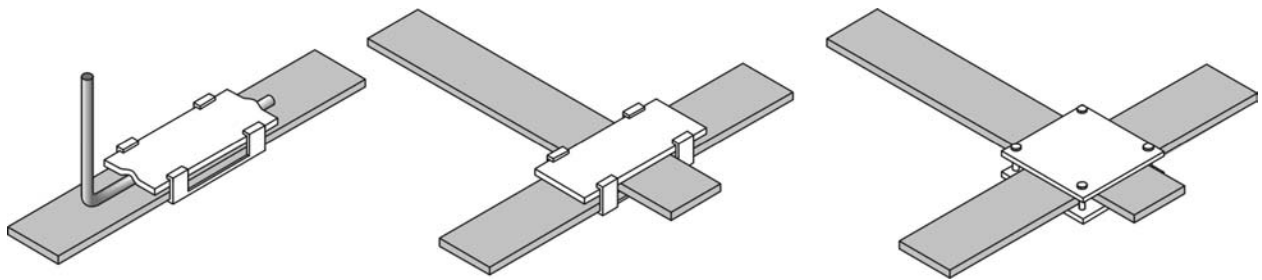
- минимальное расстояние  $D$  в грунте между заземлителем и другими проводниками (которые не могут быть соединены с молниезащитным устройством) можно определить из зависимости:

$$D \approx b \rho^{0,4} k_c^{0,5}$$

где:  $b$  – параметр, отнесенный к уровню защиты (составляет 0,4, 0,3 или 0,25 соответственно для I, II и III+IV уровней защиты,  
 $k_c$  – коэффициент, зависящий от конструкции заземлителя,  
 $\rho$  – среднее удельное сопротивление грунта.

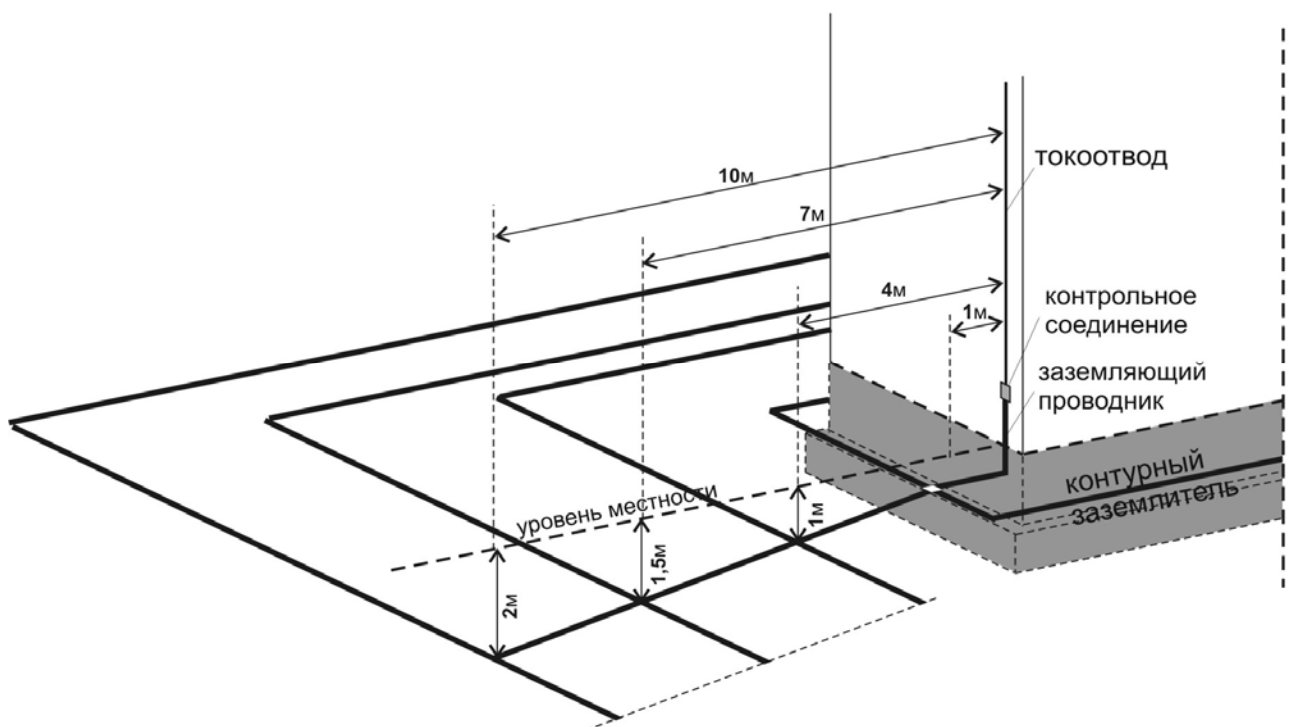
На практике расстояние  $D$  для грунта с удельным сопротивлением меньшим , чем 1 000 Ом находится между 1,0 м а 4,0 м.

- если сохранение требуемых расстояний невозможно, следует в месте сближения проложить изолирующую перегородку,
- соединения искусственных заземлителей с заземляющими проводниками, а также соединения отдельных заземляющих систем следует выполнять сваркой или запрессовыванием. Допускаются также винтовые или самозаклинивающиеся соединения (Рис. 45). Все соединения следует защищать от механических повреждений и коррозии.



**Рис.45.** *Различные примеры исполнения соединений элементов заземляющей системы*

- Заземлители не следует размещать в руслах рек и водоемах, а также в высыхающем грунте напр., вблизи трубопроводов с горячей водой или паром.
- Искусственные заземлители, через которые предполагается непрерывное протекание постоянного тока, должны быть выполнены из материалов, не подверженных электрохимической коррозии. Эти заземлители устанавливаются вертикально.
- Если одиночный контурный заземлитель не обеспечивает требуемого активного сопротивления или, если разница потенциалов будет небезопасна для людей, пребывающих вблизи от заземлителя, то следует применять дополнительные контурные заземлители, размещаемые приблизительно в трех метрах друг от друга. Контурные по мере отдаления от объекта должны укладываться все глубже в грунте. Пример расширенной системы контуров представлен на рис. 46.



**Рис. 46.** Рекомендуемое размещение нескольких контуров в расширенной заземляющей системе

Заземляющая система должна также обеспечить уменьшение до безопасных величин разницы потенциалов между отдельными точками заземлителя и подсоединенными к нему инсталляциями и устройствами. Выполнение последнего условия требует применения соединений с как можно меньшим полным сопротивлением между заземлителем и шиной или

кольцом выравнивания потенциалов, а также с устройствами, которые подсоединены непосредственно к заземлителю.

### 6.3. Определение размеров заземляющих систем

На стадии проектирования заземляющей системы следует:

- проверить возможность использования естественного заземлителя и потребность в его возможном дополнении добавочными искусственными заземлителями,
- подобрать тип и конфигурацию естественного заземлителя, если его применение обязательно,
- оценить величины активного сопротивления разработанного искусственного заземлителя или системы искусственный заземлитель – естественный заземлитель.

Создавая заземляющую систему, следует обладать информацией о:

- активном сопротивлении грунта, в который будет заглублен заземлитель,
- требованиях, которые предъявляются к заземлителю различными рекомендациями, и выполняемые им функции.

Особенно это касается требований, которые диктуются устройствами телекоммуникации и телеинформатики. В случае строительных объектов рекомендуется применение горизонтального контурного заземлителя. Нововведением в норме IEC 61024-1 является разделение заземлителей, применяемых для целей молниезащиты на следующие типы:

**-тип А**, к которому принадлежат вертикальные или горизонтальные (радиальные) заземлители, присоединенные к каждому из токоотводов молниезащитной инсталляции

**-тип В**, к которому относятся контурные, решетчатые и фундаментные заземлители.

#### **Заземлители типа А**

Заземлитель типа А состоит из горизонтальных или вертикальных заземлителей, присоединенных к каждому заземляющему проводнику молниезащитной инсталляции с помощью контрольно-испытательных зажимов.

К этому типу заземлителей относится также контурный заземлитель, соединяющий токоотводы, если заглублено в землю менее 80% всей его длины. В случае молниезащитного устройства рекомендуется применение минимум двух заземлителей типа А ( вертикальных или горизонтальных).

Подбирая длины заземлителей, можно допустить, что вертикальный заземлитель приблизительно в 2 раза эффективней горизонтального заземлителя.

Тогда, создавая заземлитель типа А, следует применить как минимум два составных элемента и каждый из них должен иметь длину равную:

-  $L_{гор} \geq L$  в случае горизонтального заземлителя,

-  $L_{вер} \geq L/2$  в случае вертикального или наклонного заземлителя.

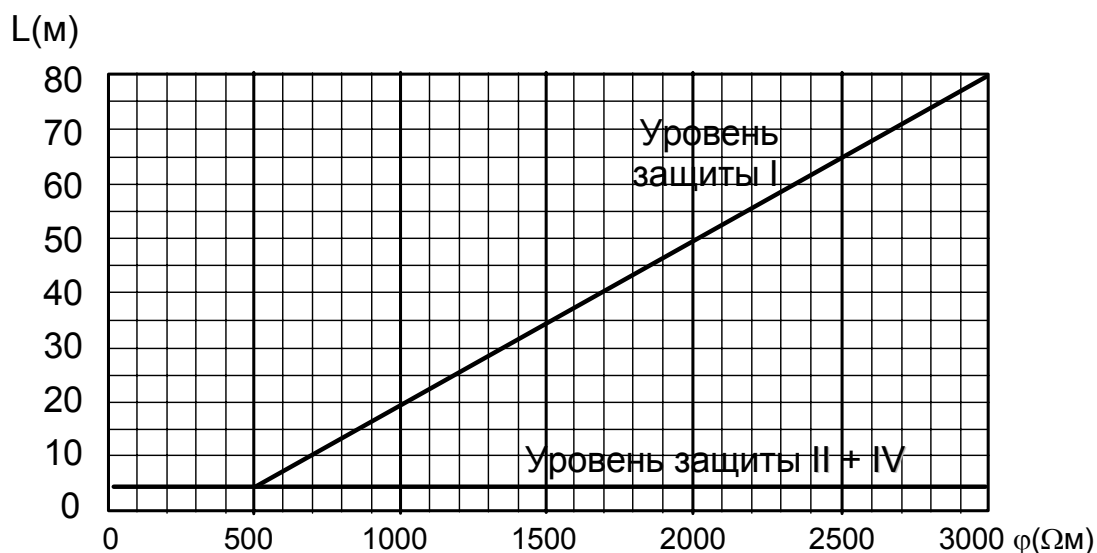
Минимальная длина заземлителя  $L$  зависит от удельного сопротивления грунта, а также от принятого уровня защиты. Рекомендуемые длины заземлителя представлены на рис.47.

При сложных заземлителях, составленных из горизонтальных и вертикальных заземлителей, следует принимать во внимание всю общую длину, представляющую собой сумму длин отдельных составляющих элементов

$$L_C = L_{гор} + 2 L_{вер} \geq L$$

Схема заземлителей типа А подходит для молниезащитного устройства, снабженного вертикальными или высокими горизонтальными молниеприемниками, а также для молниезащитного изолированного устройства.



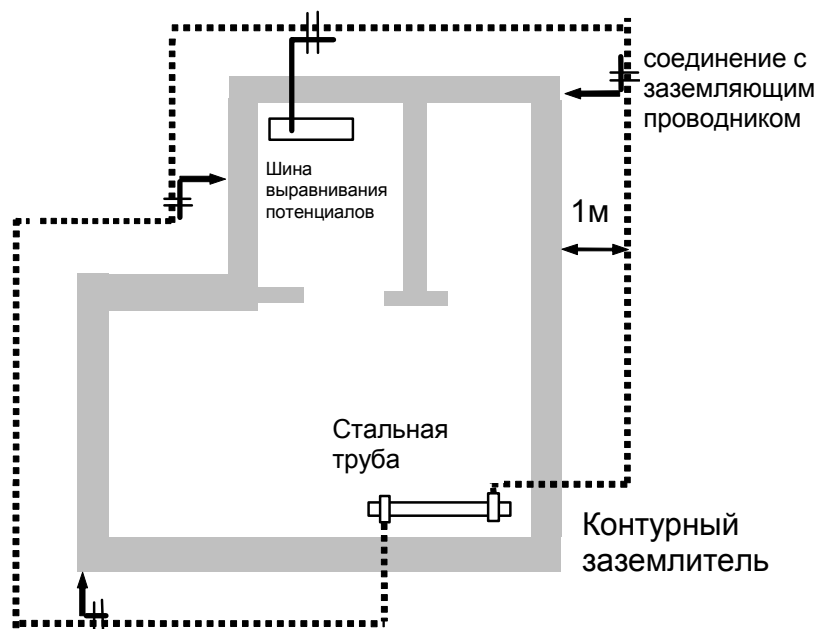


**Рис.47.** Минимальные длины заземлителей в зависимости от уровня защиты и удельного сопротивления грунта

### Заземлители типа В

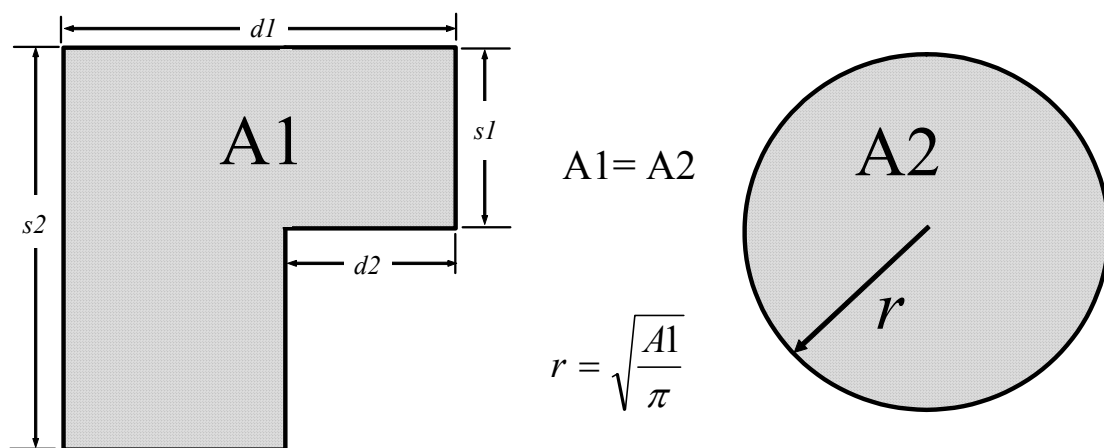
К заземлителю типа В относятся:

- контурные заземлители, имеющие по всей своей длине непосредственный контакт с грунтом или в соответствии с PN IEC-61024-1 по длине большей 80% (рис. 48),
- фундаментные заземлители,
- решетчатые заземлители.



**Рис. 48.** Пример заземлителя типа В

В случаях контурного или фундаментного заземлителей следует определить заместительный радиус  $r$  поверхности, охваченной заземлителем, и сравнить его с минимальной длиной  $L$ . Принципы определения заместительного радиуса  $r$  представлены на рис. 49.



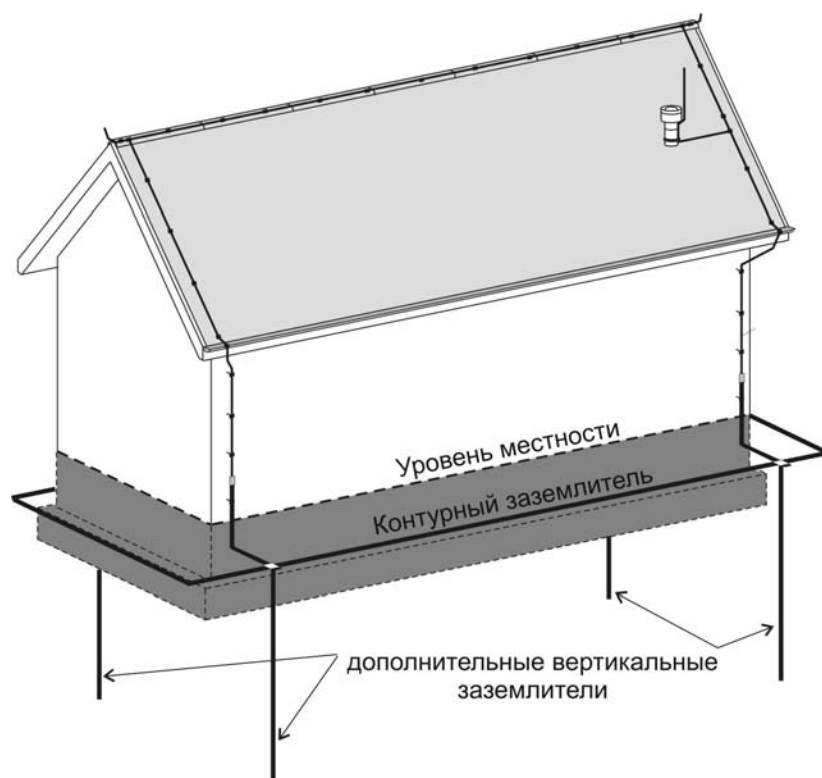
**Рис 49.** Определение заместительного радиуса  $r$

В результате сравнения получаем:

- $r \geq L$  фундаментного или контурного заземлителя достаточно,
- $r < L$  фундаментный или контурный заземлитель следует дополнить горизонтальными или вертикальными заземлителями, каждый из которых должен иметь следующую длину  $L_{дон}$  :

- горизонтальный заземлитель  $L_{дон\ гориз} = L - r$
- вертикальный заземлитель  $L_{дон\ вер} = (L - r)/2$

Число дополнительных горизонтальных или вертикальных заземлителей должно быть равно числу токоотводов во внешнем молниезащитном устройстве. Это число не может быть меньше двух. Пример дополнения заземлителя добавочными вертикальными элементами представлен на рис. 50.



**Рис. 50.** Дополнение фундаментного заземлителя вертикальными элементами

Для получения достаточно низкой величины активного сопротивления заземления часто требуется соединить между собой несколько отдельных заземлителей и создать составной заземлитель.

В этом случае, в целях ограничения влияния отдельных составных частей заземлителя, их размещают на расстоянии примерно полуторакратной длины вертикального заземлителя. Рассчитав и спроектировав заземлитель, требуется проверить отвечает ли он требованиям, вытекающим из его различных рабочих или защитных функций.

## **7. Внутренняя молниезащита в строительных объектах**

Внутренняя молниезащита должна уменьшать электромагнитные эффекты воздействия тока молнии на людей, инсталляции и оборудование, находящееся внутри строительных объектов. В дальнейшей части работы будут представлены только основные вопросы внутренней молниезащиты, касающиеся:

- выравнивания потенциалов инсталляций, входящих в строительный объект,
- выравнивание потенциалов внутри строительного объекта,
- подбора и размещения устройств, ограничивающих перенапряжения и защищающих электрическую инсталляцию, системы передачи сигналов, а также устройства от прямого воздействия части тока молнии.

### **7.1. Выравнивание потенциалов инсталляций, входящих в объект**

Основные принципы выравнивания потенциалов содержатся в нормах молниезащиты строительных объектов. В соответствии с этими принципами следует выравнивать потенциалы:

- всех проводящих инсталляций входящих в объект,
- инсталляций, введенных внутрь объекта в зависимости от их расположения и типа объекта.

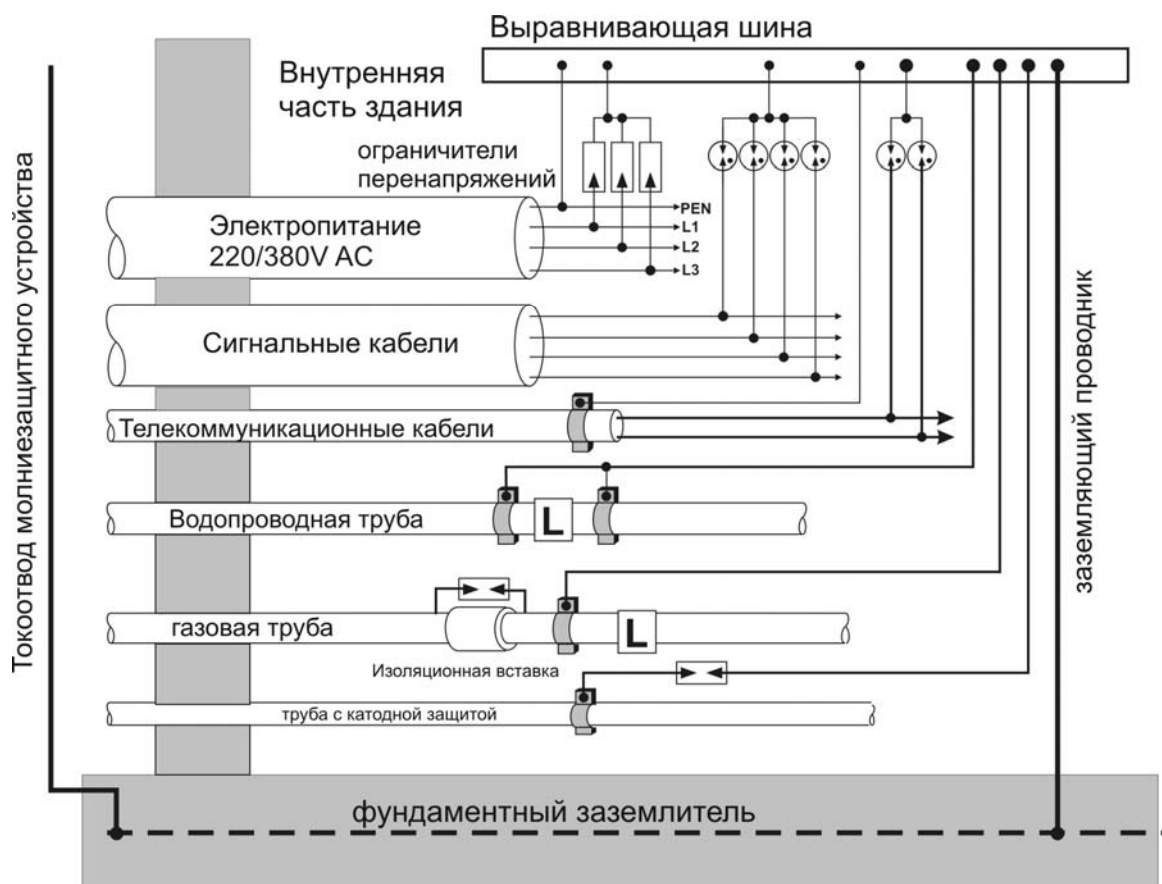
Выравнивание потенциалов следует выполнить при помощи соединений с низким импедансом:

- a) непосредственных – между проводящими инсталляциями и устройствами, на которых не возникает постоянно электрический потенциал,
- b) ограничивающих – между устройствами заземленными и изолированными от земли, а также находящимися под напряжением проводами электрических устройств.

Принимая во внимание представленные требования, рекомендуется, вводя инсталляции в строительный объект, соблюдать следующие принципы:

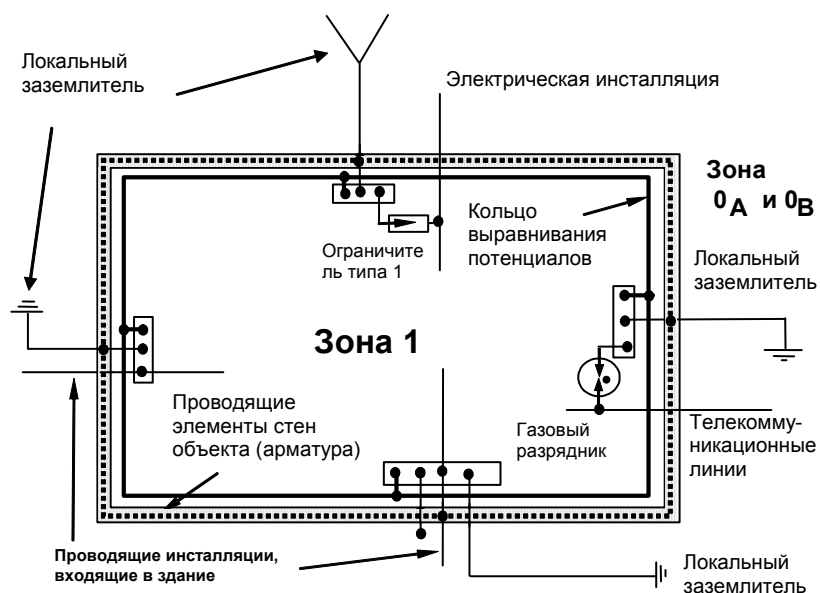
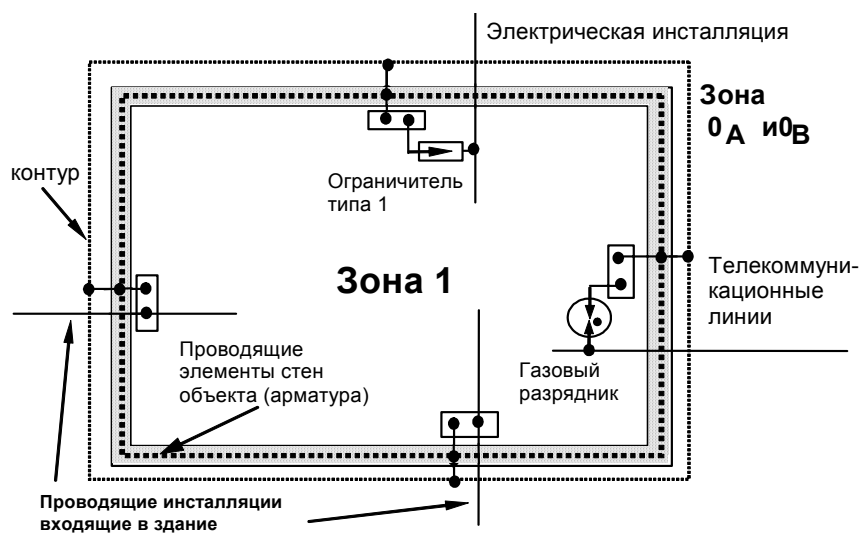
1. Вводимые инсталляции следует соединять с выравнивающей шиной, произвольным элементом молниезащитного устройства или металлическим элементом конструкции объекта в месте, расположенным как можно ближе к месту введения инсталляции.
2. Оптимальным решением является введение всех инсталляций в одном общем месте. Пример проведения в одном месте электрической инсталляции, сигнальных проводов, а также других проводящих инсталляций представлен на рис.51.
3. К выравнивающей шине следует непосредственно присоединить:
  - металлические трубы водоканализационной, газовой инсталляции и инсталляции теплоснабжения,
  - телекоммуникационные, вспомогательные, и измерительные заземляющие электроды,
  - экраны или проводящие конструктивные элементы линии передачи сигналов,

- проводники PEN или PE электроэнергетической сети.



**Рис. 51.** Соединения проводников с шиной выравнивания потенциалов в месте их ввода в объект

4. Если внешние инсталляции, линии электропитания, телекоммуникационные и сигнальные линии нельзя ввести в объект в одном и том же месте и требуется применение нескольких выравнивающих шин, то они должны быть соединены как можно более коротким проводником с заземлителем или металлическими элементами железобетонной конструкции объекта. Рекомендуемым решением является соединение шин между собой проводником, проложенным внутри (но всегда по наружным стенам) или снаружи объекта (напр., контура), который соединяется с заземлителем, токоотводами молниезащиты или элементами железобетонной конструкции (рис.52).
5. Проводник, соединяющий выравнивающие шины, следует соединить с проводящими элементами железобетонной конструкции или другими экранирующими элементами.
6. Выравнивающая шина размещается чаще всего на уровне земли, как можно ближе к месту, в которое входят проводящие инсталляции и соединена с заземлителем, напр., с фундаментным. К шине следует также присоединить существующие в объекте металлические части лифтовых конструкций, вентиляционные каналы и т.п. Трубы с катодной защитой, подводящие и отводящие топливо, следует соединять с потенциаловыравнивающей шиной через искровой разрядник.

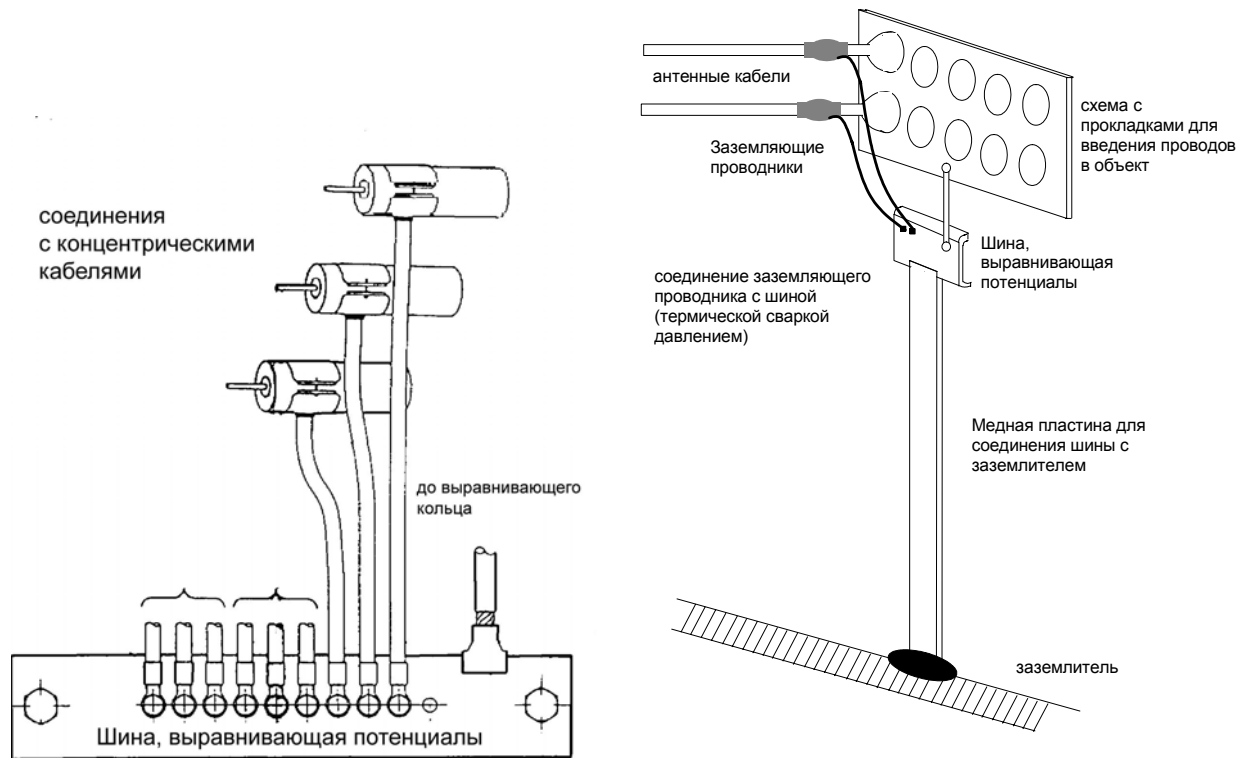


**Рис. 52.** Соединение шин между собой проводником, проложенным внутри или снаружи объекта

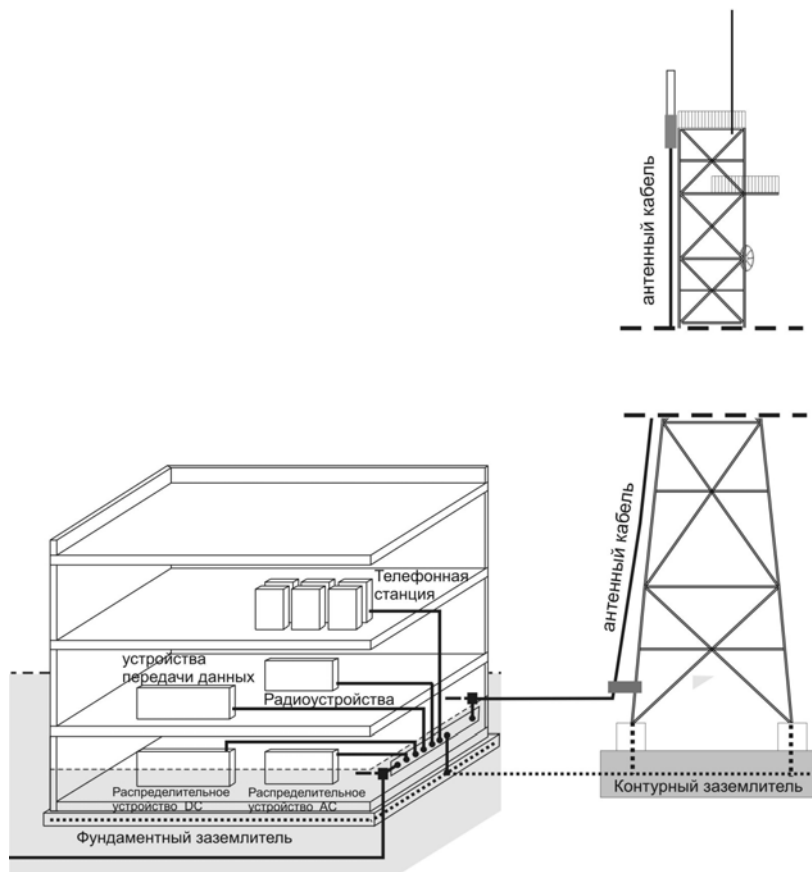
Создавая схему выравнивания потенциалов, следует обратить особое внимание на кабели, подходящие от объектов, особенно подверженных риску атмосферных разрядов. Например, в случае радиопередающих объектов это будут кабели, подходящие от антенных мачт, которыми токи молнии могут попасть в объект. Такие кабели должны быть гальванически соединены с конструкцией башни наверху – у антенны, в нескольких местах на разной высоте, если это требуется, а также внизу в месте отхождения от башни к объекту. В объекте следует дополнительно соединить экраны проводов с шиной или выравнивающим кольцом снаружи или в исключительных случаях внутри объекта (рис. 53).

Пример комплексного решения схемы соединений и выравнивания потенциалов для приемопередающей станции представлен на рис.54. В таком объекте следует соединить с выравнивающей шиной экраны коаксиальных кабелей, волноводы, а также металлические оплетки, экраны и защитные покрытия телекоммуникационных и энергетических кабелей. В случае несоблюдения принципов выравнивания потенциалов или их неправильной реализации между точками массы с разными потенциалами могут протекать токи значительных величин, повреждающие устройства и создающие угрозу для персонала.

В момент прямого удара молнии в здание следует обратить внимание на выравнивание потенциалов снаружи здания. Скачки потенциалов между отдельными элементами, заземленными в разных пунктах могут достигать величин от сотен киловольт до нескольких мегавольт.



**Рис.53.** Пример соединения экранов кабелей с выравнивающей шиной



**Рис. 54.** Схема выравнивания потенциалов в системе радиосвязи

В целях избежания искровых перекрытий, повреждения изоляции устройств и других опасностей, вызванных разностью потенциалов следует соединять с заземлителем объекта все металлические предметы, конструктивные элементы и т.п., имеющиеся снаружи объекта. Область опасности охватывает расстояния, достигающие до 5м от заземлителя объекта. В объекте, в котором работают электронные системы с особыми требованиями, касающимися надежности их функционирования (компьютерные центры, телекоммуникационные здания) рекомендуется применение выравнивающей шины в виде металлической плиты в месте ввода инсталляции в объект.

Плиту следует соединить со всех сторон, т.е. целиком по ее контуру, с арматурными стержнями здания или с экраном, примененным в объекте. Если в объекте нет экранирующих элементов, то плиту следует соединить с системой заземления объекта.

Механическая прочность плиты должна выдерживать нагрузку элементов необходимых для обеспечения прохождения всех инсталляций и проводов в здание, например, труб, электрических разъемов, болтов или соединительных гнезд и т.п. Металлические трубы применяемых лотков следует по всему периметру тщательно сварить или спаять с экраном объекта или с плитой, если такая применена на входе в объект.

Непроводящие трубы или проводники, напр., световоды, должны быть введены в объект через трубчатые патрубки. Волноводы, внешние провода концентрических кабелей, металлические покрытия, экраны и обшивки телекоммуникационных энергетических кабелей следует соединять по всему их периметру с трубами ввода-вывода электрических инсталляций.

В случаях, когда экраны используются во время нормальной работы и такое подсоединение невозможно следует применить специальные дополнительные защитные средства, напр., дополнительный экран или дополнительные защитные соединения.

## **7.2. Зонная концепция молниезащиты**

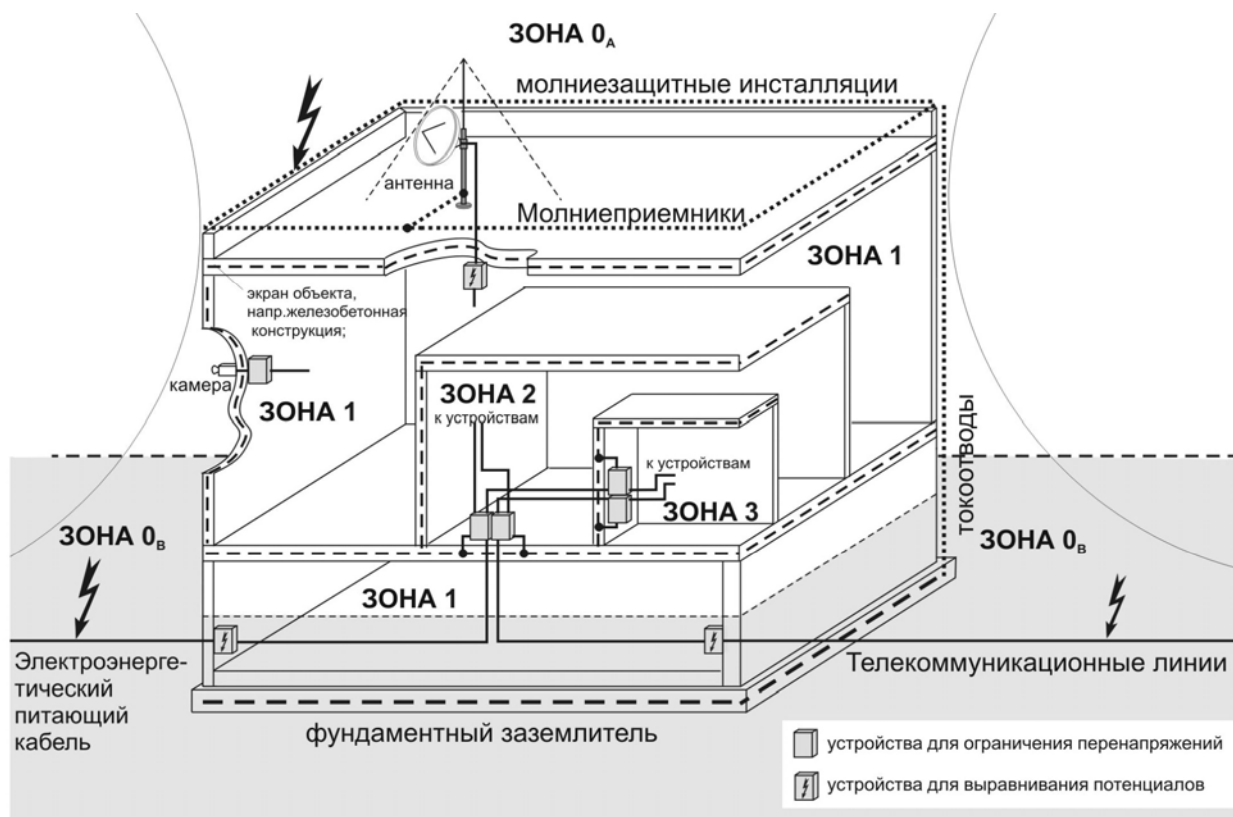
Зонная концепция молниезащиты является оптимальным решением с экономической точки зрения и с точки зрения надежности молниезащиты строительных объектов, а также систем ограничения перенапряжений в инсталляциях низкого напряжения в этих объектах. При ее применении следует принять во внимание указания норм молниезащиты и защиты от перенапряжений, а также требования, касающиеся импульсной устойчивости устройств.

Общий принцип защиты основывается на создании внутри исследуемого объекта зон, в которых существует определенная степень подверженности устройств на воздействие:

- напряжений и импульсных токов, возникающих в электроэнергетической сети низкого напряжения,
- напряжений и импульсных токов, возникающих в системах передачи сигналов,
- импульсного электромагнитного поля (непосредственное воздействие на устройства и инсталляции в отдельных зонах).

В объекте, разделенном на зоны, при переходе из одной зоны в другую происходит ограничение пиковых величин перенапряжений, возникающих в инсталляциях низкого напряжения, и импульсов электромагнитного поля до уровней, допустимых в данной зоне. В принятых обозначениях зоны с наибольшим риском обозначены как зоны  $0_A$  и  $0_B$ . Последующие зоны обозначаются номерами 1, 2, 3, .... . Чем выше номер зоны, тем ниже значения допустимых уровней импульсных помех.

Общие принципы разделения объекта на зоны и места размещения элементов и защитных устройств представлены на рис.55.



**Рис. 55.** Общий пример разделения объекта на зоны угрозы, а также размещения элементов и защитных устройств в каждой из зон.

Технические устройства, предназначенные для работы в данной зоне, должны подбираться таким образом, чтобы их устойчивость к импульсам была большей по сравнению с допустимыми пиковыми величинами импульсов, которые могут возникнуть в рассматриваемой зоне.

Правильно спроектированная и выполненная молниезащитная инсталляция и инсталляция от перенапряжений должна также ограничивать разницу потенциалов инсталляций, входящих в объект и стремиться к выравниванию потенциалов внутри объекта. Благодаря чему даже в случае прямого попадания в объект потенциал всех инсталляций будет возрастать до величин, соответствующих росту потенциала заземляющей системы и не возникнет разницы потенциалов внутри объекта.

### 7.2.1. Характеристика отдельных зон

В строительном объекте, в каждой из выделенных зон следует определить допустимые пиковые значения напряжений и импульсных токов инсталляций, проложенных в отдельных зонах.

В случае защиты электронных систем, от которых требуется особая надежность и безотказность функционирования, следует дополнительно принять во внимание затухание электромагнитных импульсов молнии при переходе границ отдельных зон (арматура стен, дополнительные экраны). Ниже представлена краткая характеристика отдельных зон.

#### Зона 0<sub>А</sub>

Устройства, а также электрические и электронные системы, работающие в этой зоне, подвергаются риску непосредственного воздействия тока молнии с неограниченным значением пиковой величины, а также импульсного электромагнитного поля. Подвергаются риску устройства или системы, работающие на открытом воздухе, не экранированные от электромагнитного поля и не защищенные от напряжений и токов молнии.

Значения основных параметров, характеризующих ток молнии, возникающий в зоне 0<sub>А</sub> представлены в таблице 16.



**Таблица 16.** Значения основных параметров характеризующих ток молнии в зоне  $0_A$

Импульс тока молнии	Уровень защиты	Значения основных параметров характеризующих ток молнии					
		Пиковое значение тока	Средняя крутизна кА / мкс	Длительность фронта мкс	Время полуспада мкс	Длительность с	Надежность защиты %
Первый	I	200 кА	20	10	350	--	98
	II	150 кА	15	10	350	--	95
	III i IV	100 кА	10	10	350	--	90 i 80
Последующий	I	50 кА	200	0,25	100	--	98
	II	37,5 кА	150	0,25	100	--	95
	III i IV	25 кА	100	0,25	100	--	90 i 80
Длительный	I	400 А	--	--	--	0,5	98
	II	300 А	--	--	--	0,5	95
	III i IV	200 А	--	--	--	0,5	90 i 80

Форма импульсов тока определяется следующим выражением

$$i(t) = \frac{[I * (t / \tau_1)^{10} \cdot \exp(-t / \tau_2)]}{k[1 + (t / \tau_1)^{10}]}$$

где

$I$  - максимум тока;

$k$  - коэффициент, корректирующий значение максимума тока;

$t$  - время;

$\tau_1$  - постоянная времени для фронта;

$\tau_2$  - постоянная времени для спада.

Значения параметров, входящих в формулу приведены в табл. 17

**Таблица 17.** Значения параметров для расчета формы импульса тока молнии

Параметр	Первый импульс			Последующий импульс		
	Уровень защиты			Уровень защиты		
	I	II	III, IV	1	II	III, IV
$I$ , кА	200	150	100	50	37,5	25
$h$	0,93	0,93	0,93	0,993	0,993	0,993
$\tau_1$ , мкс	19,0	19,0	19,0	0,454	0,454	0,454
$\tau_2$ , мкс	485	485	485	143	143	143

В зоне  $0_A$  пиковые значения величин, возникающих перенапряжений вытекают из импульсной устойчивости изоляторов, изоляции кабелей или устройств внутри строительных объектов.

### **Зона $0_B$ .**

Устройства, работающие в этой зоне подвергаются опасности:

- непосредственного воздействия импульсного электромагнитного поля, вызванного током молнии с пиковыми значениями, такими как в случае зоны  $0_A$ ,
- напряжений и импульсных токов, индуцированных током молнии в проводящих

инсталляциях.

Эти устройства устанавливаются в неэкранированных объектах, лишенных собственных электромагнитных экранов ( кожухов и корпусов), а также не имеющих устройств, ограничивающих перенапряжения в электрической инсталляции и в линиях передачи сигналов.

Предлагаемые пиковые величины импульсных напряжений в этой зоне составляют:

- в электроэнергетической сети низкого напряжения **10 кВ**
- в линиях передачи сигналов **6кВ,**

Импульсные токи, возникающие в зоне 0<sub>B</sub>, характеризуются временем нарастания (фронтом) 8 мкс и длительностью на уровне половины максимального значения 20мкс.

### **Зона 1.**

Электронные устройства, работающие в зоне 1 защищаются от:

- непосредственного воздействия импульсного электромагнитного поля –используется отдельный экран, который чаще всего создают соединенные между собой проводящие элементы конструкции зданий,
- от напряжений и токов молнии – элементы и схемы, ограничивающие перенапряжения, создающие так называемую основную защиту- одноступенчатая схема ограничителей перенапряжений.

Пиковые значения импульсных напряжений, возникающих в этой зоне составляют:

- в электрической инсталляции **ниже 6кВ,**
- в линиях передачи сигналов **ниже 4 кВ**

Формы импульсных токов, используемых для испытаний ограничителей перенапряжений, такие же как в зоне 0<sub>B</sub>.

### **Последующие зоны**

Создание последующих зон требует введения дополнительных экранов, а также очередных ступеней ограничения напряжений и ударных токов. Используются экранирующие свойства:

- железобетонных стен помещений внутри объекта,
- монолитных экранов помещений,
- стальных обшивок и корпусов самих устройств.

В случае существующих и строящихся объектов , а также объектов с чувствительными электронными системами чаще всего применяется двух или трехступенчатые системы защиты от перенапряжений. Предлагаемые величины допустимых уровней напряжений в отдельных зонах представлены в таблице 17.

**Таблица 17.** Пиковые значения напряжений и импульсны, токов допустимых в отдельных зонах

Параметр	Зона	Зона 2	Зона 3	Зона 4
Перенапряжения в электроэнергетической сети230/400		4 кВ	2,5 кВ	1,5 кВ
Перенапряжения в линиях передачи сигналов ( провод-земля)		2 кВ	1 кВ	0,5 кВ

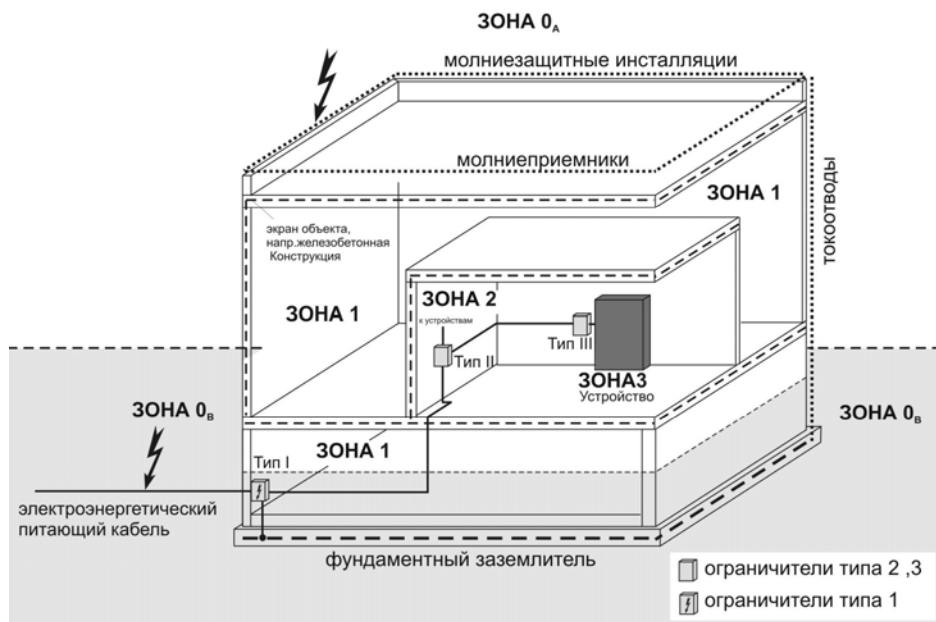
Создавая отдельные зоны следует обратить особенное внимание на:

- соблюдение принципов выравнивания потенциалов инсталляций, входящих в строительный объект,
- правильный подбор и размещение ограничителей перенапряжений разных типов,
- принцип ограничения импульсов ниже импульсной устойчивости устройств, установленных в данной зоне.

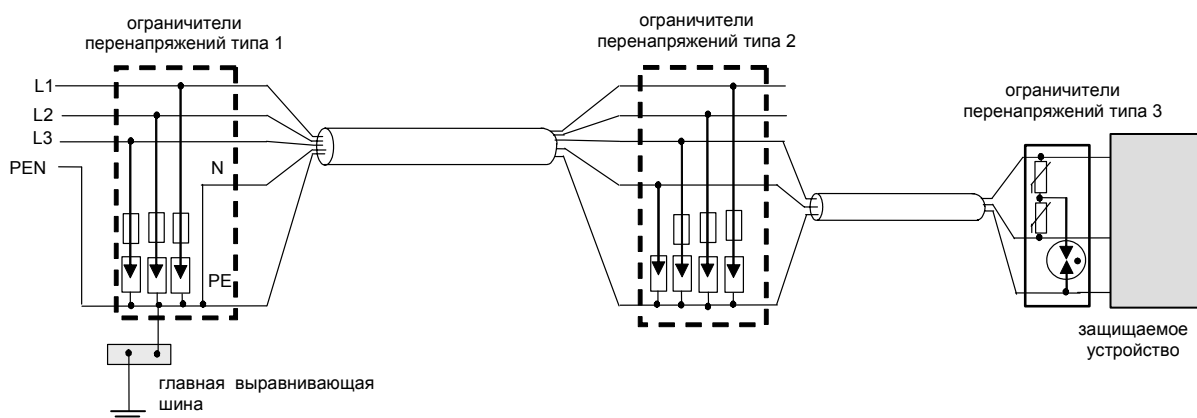
Пример разделенного на зоны строительного объекта с типовой трехступенчатой системой ограничения перенапряжений представлен на рис.56. Обеспечивая энергетическую координацию в системе ограничителей можно добиться уверенности в правильном функционировании этой системы, а также длительной безаварийной работы ограничителей. В представленной системе следует установить схемы ограничителей:

- типа 1 на границе зон  $0_A$  и I,
- типа 2 на границах зон I и II, а также  $0_B$  и I,
- типа 3 на границе зон II и III.

a)



b)



**Рис. 56.** Пример трехступенчатой системы ограничения перенапряжений; а) размещение ограничителей в строительном объекте, б) общая схема системы соединений ограничителей

# УСТРОЙСТВА ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ИНСТАЛЛЯЦИИ НА СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТАХ

Назначением устройств для ограничения перенапряжений SPD (англ. Surge Protective Device) является защита инсталляции и устройств от воздействия индуцированных атмосферных перенапряжений, внутренних перенапряжений, а также от прямого воздействия тока молнии [].

Устройства для ограничения перенапряжений, применяемые в распределительных сетях низкого напряжения внутри строительных объектов, содержат, по крайней мере, один нелинейный элемент, обрезающий напряжение или ограничивающий его предельное значение. Основная информация о свойствах типовых устройств, содержащих нелинейные элементы сведена в таблицу 1.

**Таблица 1.** Характеристика устройств ограничения перенапряжений, применяемых в электроэнергетической сети низкого напряжения

Тип SPD	Свойства
Обрезающий напряжение	Большое полное сопротивление при отсутствии перенапряжения, которое внезапно падает в ответ на импульс напряжения. Элементы, применяемые для обрезания напряжения – разрядники*, газовые разрядники, тиристоры и триодные тиристоры.
Ограничивающий напряжение	Большое полное сопротивление при отсутствии напряжения, которое непрерывно уменьшается по мере роста импульсного тока и напряжения. Основные элементы – варисторы* и ограничивающие диоды.
Комбинированный	Содержит как элемент, обрезающий напряжение, так и элемент, ограничивающий напряжение, и может обрезать напряжение, ограничивать напряжение или выполнять обе функции в зависимости от характера подаваемого напряжения (напр., параллельное или последовательное соединение разрядника с варистором).
* чаще всего применяемые элементы	

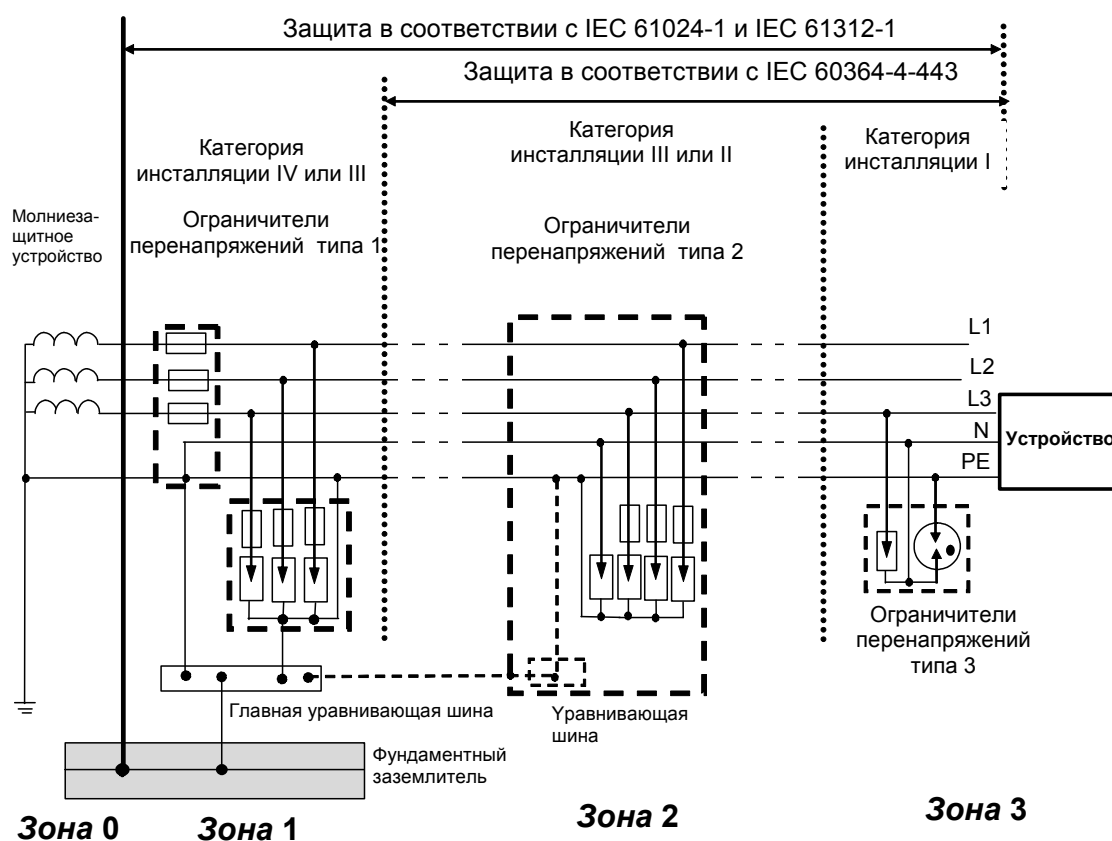
В зависимости от назначения устройства ограничения перенапряжений подвергаются испытаниям I, II или III классов. Свойства различных типов устройств, а также их назначение в зависимости от класса испытаний представлены в таблице 2.

Устройства ограничения перенапряжений, испытанные в соответствии с требованиями отдельных классов, будут называться далее в этой работе **ограничителями перенапряжений типа 1, 2 или 3.**

Общий принцип размещения ограничителей перенапряжений различных типов в электрической инсталляции на строительном объекте в зависимости от зоны, подверженной опасности попадания молнии, а также от категории инсталляции представлен на рис. 1

**Таблица 2.** Назначение устройств ограничения перенапряжений в зависимости от класса испытаний []

Классы испытаний SPD	Назначение
Класс I	Защита от прямого воздействия части тока молнии, атмосферных перенапряжений, а также от всякого рода коммутационных перенапряжений, выравнивание потенциалов инсталляций, входящих в строительный объект.
Класс II	Защита от индуцированных атмосферных перенапряжений, всякого рода коммутационных перенапряжений или от перенапряжений, прошедших через устройства защиты от перенапряжений, испытанных в соответствии с требованиями класса I.
Класс III	Защита от индуцированных атмосферных перенапряжений, возникших в электрической инсталляции внутри строительного объекта.



**Рис. 1.** Пример многоступенчатой системы ограничения перенапряжений в электрической инсталляции на строительном объекте

## 1. Ограничители перенапряжений типа 1

Ограничители перенапряжений типа 1 рекомендуются для защиты от опасностей, создаваемых:

- частью тока молнии, который может возникнуть в главной точке выравнивания потенциалов на строительном объекте в момент прямого разряда молнии в этот объект, а также разряда в провода воздушных линий или в закопанные кабели низкого напряжения,

- индуцированными атмосферными перенапряжениями , а также всякого рода коммутационными перенапряжениями, доходящими до объекта.

В таблице 3 представлены основные задачи, места монтажа , а также требуемый объем испытаний ограничителей перенапряжений типа 1.

**Таблица 3.** Задачи, места монтажа , а также требуемый объем испытаний ограничителей типа 1

Параметр	Характеристика
Задачи	Не допустить проникновения части тока молнии и всякого рода перенапряжений в электрическую инсталляцию внутри строительного объекта.
Монтаж	На шине 35 мм или в гнездах предохранителей за главными предохранителями электропитания в месте входа электрической инсталляции в объект. Типовые места монтажа: разъемы , дополнительный шкаф рядом с разъемом, главное распределительное устройство.
Основная процедура проверки	Основные электрические требования включают испытания: <ul style="list-style-type: none"> <li>• номинальным импульсным напряжением 1,2/50,</li> <li>• импульсным током <math>I_{imp}</math>(имитирующим ток молнии),</li> <li>• номинальным током разряда 8/20.</li> </ul>
Основные данные, характеризующие защитные свойства	<ul style="list-style-type: none"> <li>• вид и уровень номинального напряжения (переменное напряжение, постоянное напряжение или оба вида напряжения),</li> <li>• наибольшее длительное допустимое рабочее напряжение и номинальная частота,</li> <li>• уровень защиты от напряжения</li> <li>• наибольшее рекомендуемая величина дополнительной защиты от превышения тока (если требуется)</li> <li>• устойчивость к короткому замыканию</li> <li>• способ монтажа (идентификация зажимов, определение нормального положения)</li> </ul>
Типовые обозначения	<p>Общий вид</p> <p>Ограничитель типа 1</p> <p>SG SPD 1</p> <p>Общий вид, ограничитель-разрядник</p> <p>Каталоговые-ограничители с открытым разрядником</p> <p>Каталоговые-ограничители с разрядником в корпусе</p> <p>Каталоговые-ограничители с разрядником,отключающим закивание</p>

Возможности молниезащиты ограничителей типа 1 определяются на основе результатов их испытаний на воздействие разрядных импульсных токов  $I_{imp}$ , которые характеризуются [23, 31] следующими параметрами:

- пиковым значением
- переносимым зарядом
- удельной энергией
- временем достижения пикового значения, а также требуемых значений

Рекомендуемые значения основных параметров, характеризующих импульсный ток, представлены в таб.4.

**Таблица 4.** Основные параметры, характеризующие импульсные токи, используемые для испытаний ограничителей типа 1.

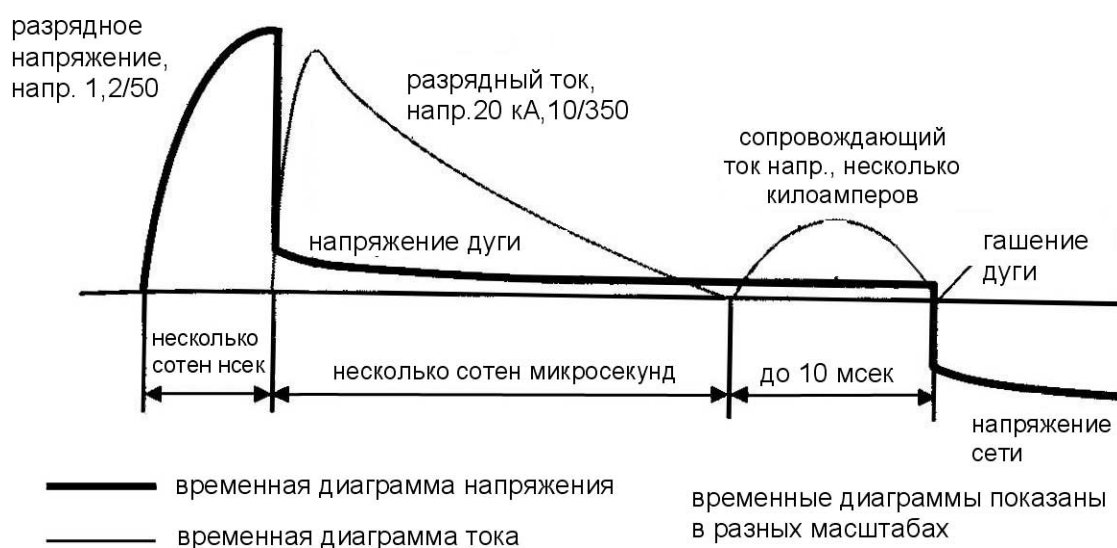
EN 61643-11			DIN VDE 0675 Teil 6/A1			
$I_{\text{имп}}$ (кА)	Q(Асек) В 10мсек	W/R(кДж/Ом) В 10мсек	$I_{\text{имп}}$ (кА)	Q(Асек)	W/R(кДж/Ом)	Форма импульса
20	10	100	50	25	625	10/350
10	5	25	20	10	100	
5	2,5	6,25	10	5	25	
2	1	1	5	2,5	6,3	
1	0,5	0,25	2	1	1	
			0,5	0,25	0,063	

В норме PN EN 61643-11 не определена форма тока испытательного разряда. В ней появляются только предложения о возможности применения разрядного тока 10/350, и именно такое требование введено в немецкие нормы [6,7] (таблица 4). В случае применения тока другой формы требуется ограничение времени нарастания разрядного тока не более, чем за 50 мксек. Обеспечение защиты электрической инсталляции на строительном объекте требует, чтобы пиковые значения разрядов, „прошедших” через систему ограничителей типа 1, не превышали значений 6 кВ.

Нормы, описывающие требуемые объемы испытаний ограничителей типа 1, не определяют точно уровней защиты от напряжения, а представляют только рекомендуемые значения.

В случае инсталляции с номинальным напряжением 230/400В можно выбрать уровень защиты от напряжения из следующего ряда значений: 600В, 700В, 800В, 900В, 1000В, 1200В, 1500В, 1800В, 2000В, 2500В, 3000В, 4000В, 5000В и 6000В.

Основными элементами ограничителей типа 1 являются искровые разрядники, которые чаще всего выдерживают токопрохождение разрядов с пиковыми значениями 20кА или 50 кА и формой 10/350. Пример полного изменения напряжения на разрядном ограничителе, а также текущего в нем тока представлен на рис.2.



**Рис. 2.** Временные диаграммы тока и напряжения искрового ограничителя напряжений типа 1

В разрядном ограничителе протекание разрядного тока наступает после искрового перекрытия, и падение напряжения на индуктивности проводов, применяемых для его подключения, добавляется к падению напряжения на дуге между электродами разрядника (чаще всего несколько десятков вольт). Это является дополнительным достоинством этого типа ограничителей.

В ограничителях типа 1 практически не используются варисторы из-за их небольших, способностей проведения разрядных токов, составляющих только от 1 до 5 кА (варисторы диаметром 32-80мм).

Применяя схемы ограничителей типа 1, ограничивают до допустимых значений не только напряжения и разрядные токи, попадающие снаружи в электрические инсталляции, но также инсталляции и устройства защищаются от воздействия части тока молнии. Такая опасность наступает во время прямого удара молнии в строительный объект, обладающий молниезащитной инсталляцией или в случае разряда в проводку электроэнергетической сети.

## 2.1. Принципы подбора и монтажа ограничителей типа 1

Устройства, ограничивающие напряжения, типа 1 следует размещать поблизости от места ввода электрической инсталляции в строительный объект. Таким местами могут быть:

- кабельные соединения,
- дополнительный шкаф рядом с разъемом,
- главное распределительное устройство низкого напряжения на объекте,
- дополнительная коробка рядом с распределительным устройством.

Выбирая место для монтажа систем ограничителей следует принять во внимание не только оптимальные условия ограничения напряжений, но также обязывающие положения и требования.

Примерные места монтажа схем ограничителей типа 1 в зависимости от применяемой молниезащиты объекта, а также от свойств электроэнергетической сети низкого напряжения представлены в таблице 5.

**Таблица 5.** Типовые места монтажа схем ограничителей перенапряжений типа 1

Объект	Электроэнергетическая сеть низкого напряжения	Место монтажа
Строительный объект без молниезащитной инсталляции	Проложена в земле	Схемы ограничителей перенапряжений типа 1 не требуются
	Воздушные линии с длинной кабельной подводкой	Схемы ограничителей перенапряжений типа 1 не требуются
	Воздушные линии с короткой кабельной подводкой*	Разъем, шкаф рядом с разъемом
	Воздушные линии*	Разъем, шкаф рядом с разъемом
Строительный объект с молниезащитой инсталляцией	Произвольный способ подведения электроэнергетической сети	Разъем или шкаф рядом с разъемом, если они расположены на стенах (или в нишах) объекта
		Главное распределительное устройство в случае монтажа разъема снаружи объекта (напр., на границе участка)
*- в местности, где выпадает более 25 грозовых дней или требуется большая надежность устройств		



Следует заметить, что в случае строения, обладающего молниезащитной инсталляцией и кабельными разъемами на стене, схемы ограничителей могут быть смонтированы в разъемах (в шкафу рядом с разъемом), в главном распределительном щите или рядом с распределительным устройством в зависимости от требований, вытекающих из применения очередных ступеней ограничения перенапряжений.

Схемы ограничителей типа 1 ограничивают опасности от молний и перенапряжений от коротких (длящихся от нескольких сотен нс до нескольких мкс) импульсов, которые не должны угрожать вводной части электрической инсталляции, установленных здесь устройств, а также очередным ступеням ограничителям перенапряжений.

## 2.2. Схемы соединений ограничителей

Ограничители перенапряжений типа 1 следует устанавливать за главными защитными устройствами от сверхтоков в следующих схемах соединений [ ]:

### **в системах сети TN и TT**

- если нейтральный провод заземлен на вводе инсталляции, то между каждым незаземленным фазовым проводом и землей,
- если нейтральный провод не заземлен на вводе инсталляции, то между каждым фазовым проводом и землей, а также между нейтральным проводом и землей.

### **в системах сети IT**

- между каждым фазовым проводом и землей, а также если провод нейтральный, между нейтральным проводом и землей.

В таблице 6 представлены типовые примеры соединений ограничителей в разных системах сети. Если в системе сети TN существуют длинные соединения между ограничителями и уравнивающей шиной, то рекомендуется соединение ограничителей с проводом PE (альтернативное соединение показано на рисунках в таблице 6).

В системе сети TT существует возможность применения схемы из 4 ограничителей перенапряжений (таб. 6с), так называемое соединение типа 1 [ ] или схемы, содержащей 3 ограничителя перенапряжений, а также разрядник, называемый также ограничителем N-PE (таб. 6d). Такая схема называется соединением типа 2.

Недостатком схемы соединений типа 1 является возможность возникновения напряжения на проводе PE в случае повреждения одного из ограничителей (напр., короткое замыкание электродов или разряд между ними) (рис. 3а).

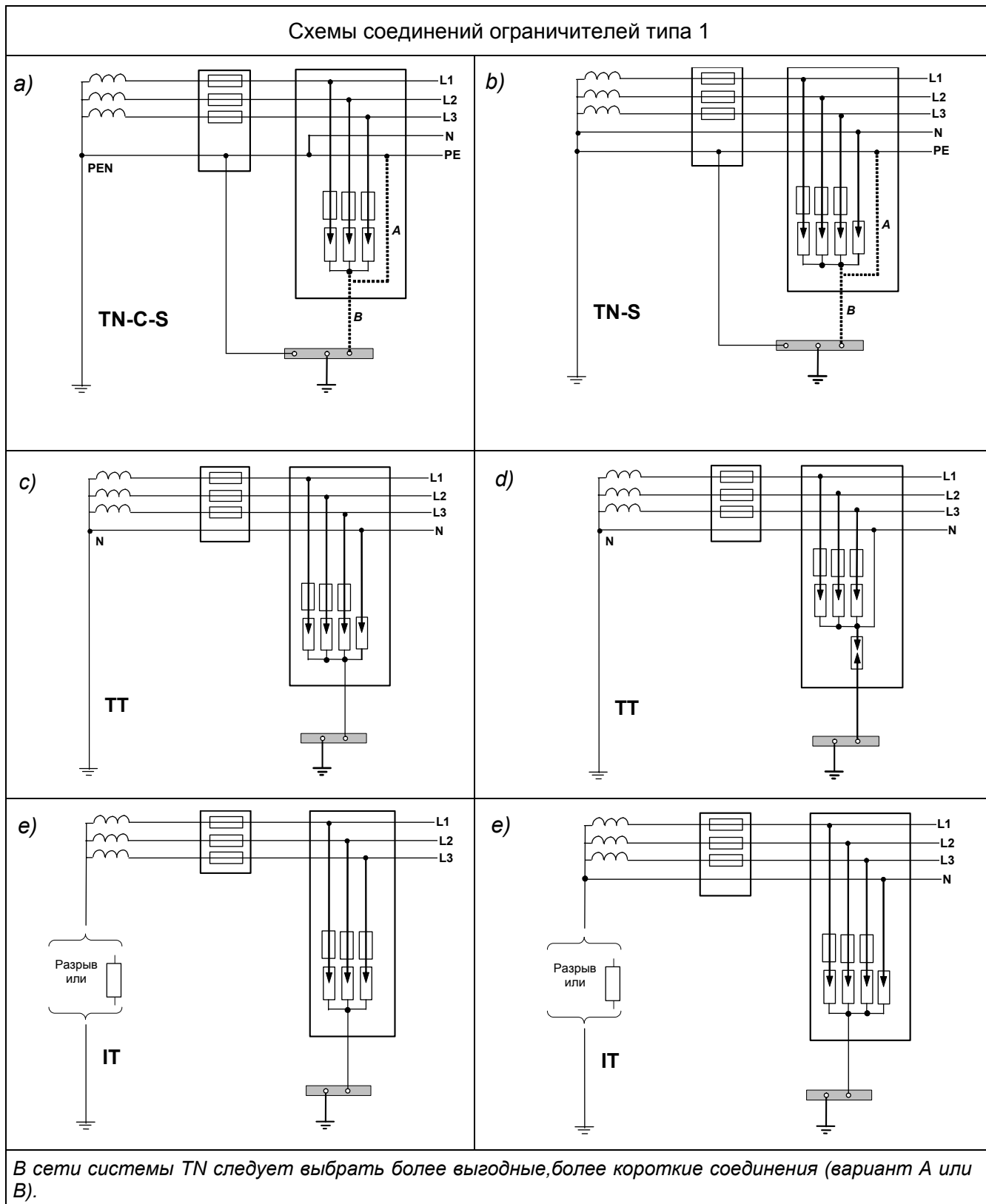
В этой схеме следует обеспечить эффективную защиту от непосредственного соприкосновения. Этого можно достичь, размещая схему соединений типа 1 за дифференциальным токовым устройством [ ]. При таком решении следует принять во внимание возможность воздействия на это устройство части тока молнии.

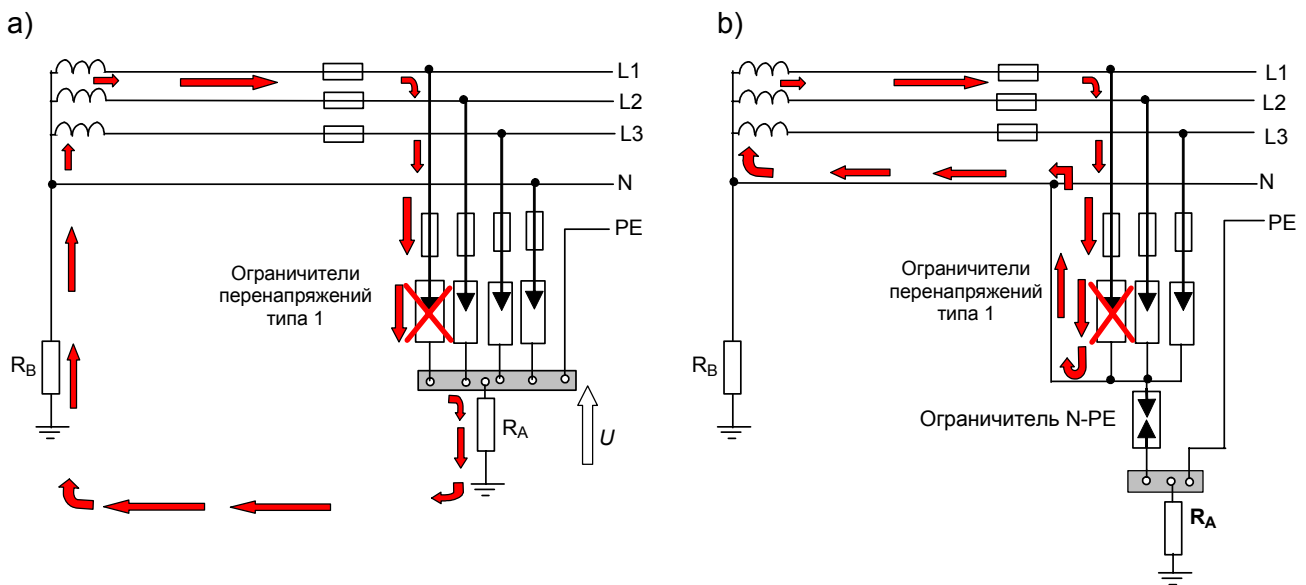
Упомянутая опасность не возникнет в случае схемы соединений типа 2, и этот тип в настоящее время наиболее часто применяется в системе сети TT.

В небольших объектах или таких объектах, в которые проведена водно- канализационная инсталляция из пластмассовых материалов, можно принять, что в схеме ограничителей потечет половина тока молнии (рис. 4).

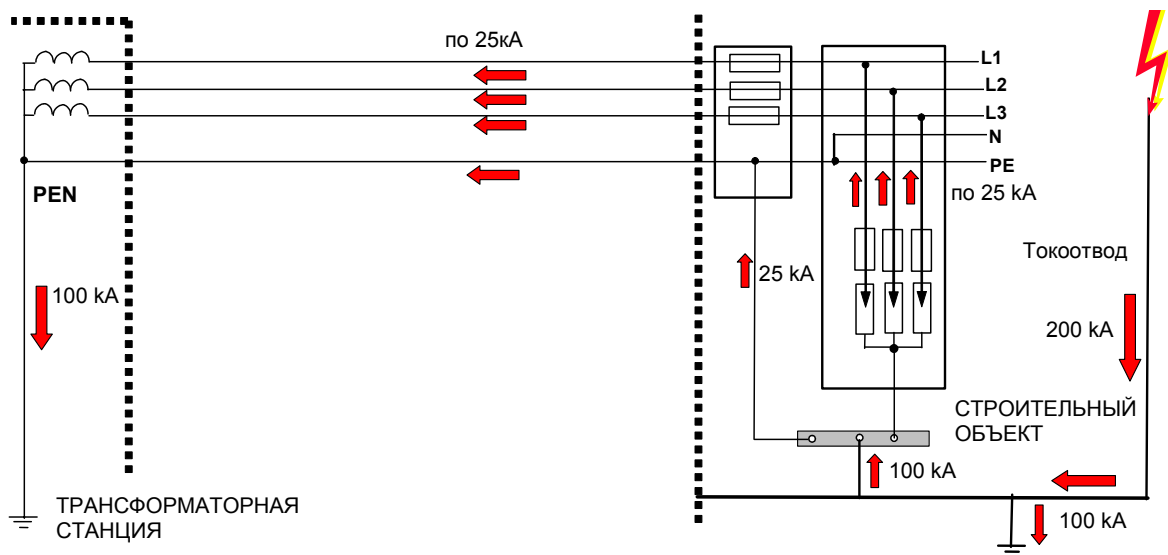
Предполагая равномерное растекание тока молнии между заземлителем объекта и электрической инсталляцией можно установить значения импульсных токов , текущих в отдельных ограничителях в разных системах сети (таблица 7) и при разных уровнях молниезащиты.

**Таблица 6.** Схемы соединений ограничителей типа 1 в разных системах сети





**Рис. 3.** Протекание тока в случае повреждения одного ограничителя в схеме из 4 ограничителей, а также в схеме из 3 ограничителей и разрядника



**Рис. 4.** Самый невыгодный случай растекания тока молнии в электрической установке

**Таблица 7.** Значения импульсного тока, который может протекать через ограничитель перенапряжений типа 1

Уровень защиты	Значения тока				
	Система сети TN	Система сети TT**	Система сети TT ограничители**	Система сети TT ограничитель N-PE**	Система сети IT
I	$\geq 100 \text{ кА/м}$	$\geq 100 \text{ кА/м}$	$\geq 100 \text{ кА/м}$	$\geq 100 \text{ кА}$	$\geq 100 \text{ кА/м}$
II	$\geq 75 \text{ кА/м}$	$\geq 75 \text{ кА/м}$	$\geq 75 \text{ кА/м}$	$\geq 75 \text{ кА}$	$\geq 75 \text{ кА/м}$
III i IV	$\geq 50 \text{ кА/м}$	$\geq 50 \text{ кА/м}$	$\geq 50 \text{ кА/м}$	$\geq 50 \text{ кА}$	$\geq 50 \text{ кА/м}$

$m$  – количество проводов инсталляции, доходящих до строения, в которых может течь ток молнии, напр., в системе TN-S это L1, L2, L3, N, а также PE, т.е.  $m = 5$

\*- схема из 4 ограничителей перенапряжений (соединение типа 1),

\*\* - схема из 3 ограничителей перенапряжений и одного разрядника (соединение типа 2).

Для соединения ограничителей типа 1 с фазовыми и нейтральным проводами следует применять провода с минимальным сечением  $16\text{мм}^2$  Cu.

Соединение с выравнивающей шиной можно выполнить проводом с минимальным сечением  $16\text{мм}^2$ , рекомендуется, однако, применять провод с сечением  $25\text{мм}^2$ , а в случае воздействия половины тока молнии с сечением даже  $35\text{мм}^2$ .

Ограничители должны правильно работать при длительном возрастании перенапряжения сети. Действующие значения наибольшего напряжения работы ограничителей в зависимости от системы сети [ ] представлены в таб. 8.

**Таблица 8.** Действующие значения наибольшего напряжения длительной работы

	Действующие значения наибольшего напряжения при длительной работе				
	Система сети TN	Система сети TT*	Система сети TT ограничители**	Система сети TT ограничитель N-PE**	Система сети IT
<b>U<sub>c</sub></b>	$U_C \geq 1.1 U_F$	$U_C \geq 1.5 U_F$	$U_C \geq 1.1 U_F$	$U_{C1} \geq 1.1 \cdot U_F$	$U_{C1} \geq 1.1 \cdot U_{pp}$
Сеть 230/400	253В	345В	253В	253В	440В
Где : U <sub>f</sub> - действующее значение фазового напряжения сети, U <sub>pp</sub> - действующее значение напряжения на проводах сети					

\*- схема из 4 ограничителей перенапряжений (соединение типа 1),

\*\* - схема из 3 ограничителей и одного разрядника (соединение типа 2).

Ограничители типа 1 не обладают внутренней защитой от короткого замыкания и может возникнуть необходимость их защиты перед последствиями коротких замыканий. Дополнительно следует принять во внимание требование избежать прерываний в подаче электро питания в результате повреждения ограничителей перенапряжений.

Решением этой проблемы является установка последовательно к ограничителям напряжений дополнительных устройств, предохраняющих от сверхтоков и коротких замыканий на землю.

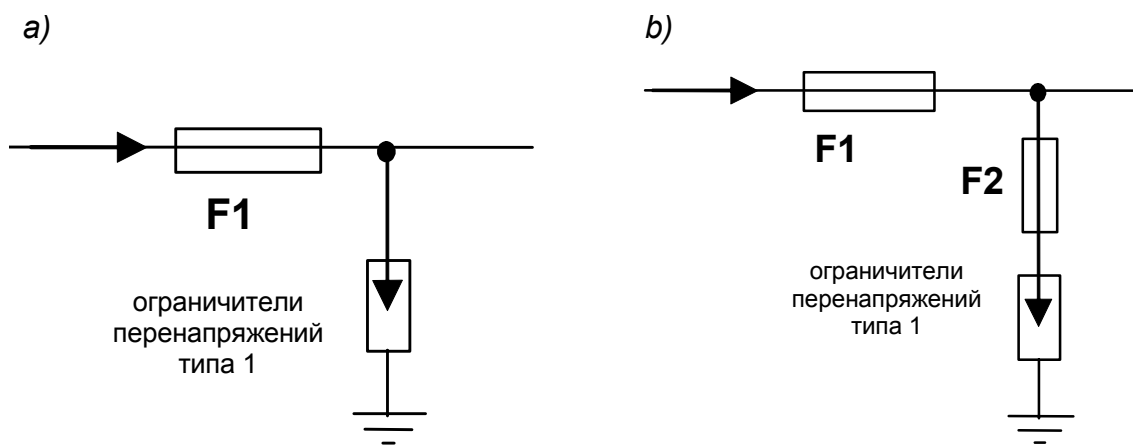
Чаще всего, для того чтобы обезопасить ограничители применяются предохранители класса gG, которые должны выдержать протекание сопровождающего тока по крайней мере до момента его естественного перехода через нулевое значение. Если по истечении этого времени ограничитель не прервал сопровождающего тока, то должен заработать предохранитель.

Определяя потребность применения дополнительной защиты от сверхтоков следует сравнить значения номинальных токов I<sub>F1</sub> устройств ограничений сверхтоков, которые возникают перед ограничителями с допустимыми значениями I<sub>доп</sub>, рекомендуемыми производителем.

В зависимости от результатов такого сравнения следует применять схему:

- $I_{F1} \leq I_{доп}$  - без дополнительного предохранителя от сверхтоков (рис. 5a),
- $I_{F1} \geq I_{доп}$  - с дополнительным предохранителем от сверхтоков, включенным последовательно к ограничителям (рис. 5b).

Ограничители перенапряжений типа 1 с последовательно подсоединенными предохранителями должны надежно выдерживать возникновение случайных напряжений [ ].



**Рис. 5.** Схемы соединения ограничителей перенапряжений типа 1:

*a) без дополнительного предохранителя,*

*b) с дополнительным предохранителем F2, включенным последовательно с ограничителем.*

### 2.3. Основные принципы монтажа

В целях обеспечения гарантии надежного функционирования технических устройств, ограничители типа 1 должны характеризоваться следующими свойствами:

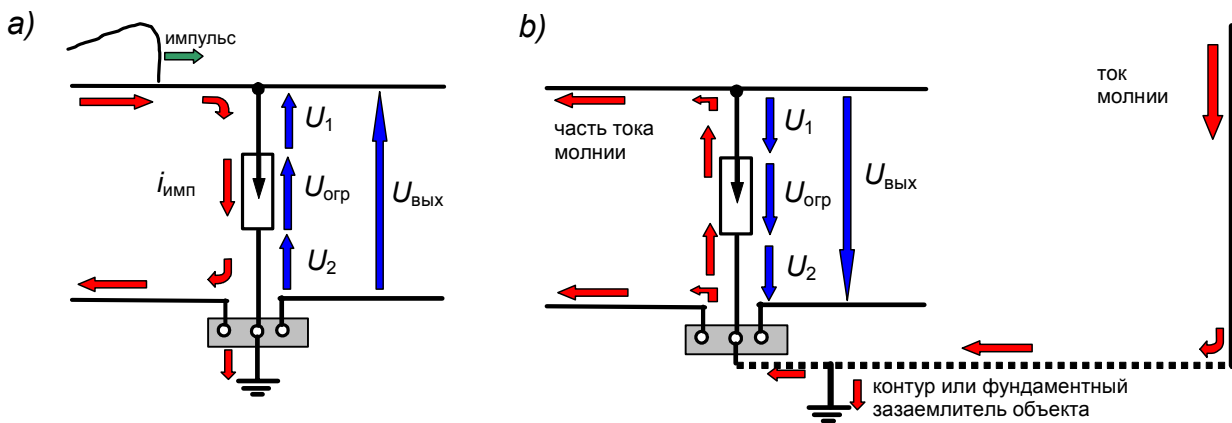
- способностью гашения сопровождающих токов без применения дополнительных сверхтоковых предохранителей, включенных последовательно с ограничителями,
- не вызывать срабатывания сверхтоковых предохранителей в инсталляции перед ограничителями,
- легкостью монтажа.

Устанавливая ограничители, следует придерживаться основных принципов, вытекающих из основной задачи ограничителей типа 1, каковыми является защита перед воздействием части тока молнии. Протекание этого тока вызывает ряд негативных явлений, среди которых основное внимание нужно обратить на следующие:

- взаимодействие электродинамических сил между проводниками, в которых текут разрядные токи,
- возникновение падения напряжения на индуктивностях проводов,
- опасность, вызванную выбросом ионизированных горячих газов из ограничителя перенапряжений с открытым разрядником.

В настоящее время, подбирая соответствующие ограничители перенапряжений и схемы их соединений, можно избежать вышеупомянутых опасностей или ограничить их негативные последствия.

Оценивая уровни перенапряжений, подходящих к схеме, кроме установки схемы ограничителей класса I, следует принимать во внимание не только падения напряжений на самих ограничителях, но также падения напряжений на проводах, соединяющих ограничители (рис.6).



**Рис. 6.** Защитные свойства схемы ограничителей типа I в случае: а) импульсов, доходящих до здания от электроэнергетической сети, б) прямого удара молнии в строительный объект

Напряжение на выходе защитной схемы  $U_{\text{вых}}$ , доходящее до инсталляции, равно:

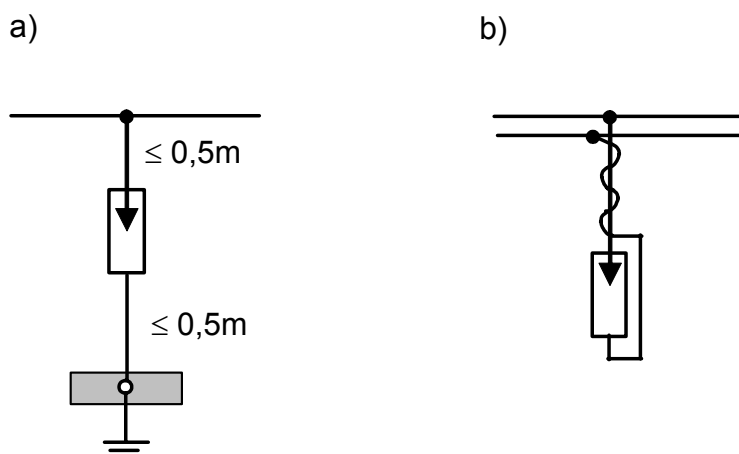
$$U_{\text{вых}} = U_{\text{огр}} + U_1 + U_2$$

где:  $U_{\text{огр}}$  – напряжение, существующее на ограничителе,

$U_1$  – падение напряжения на проводе, соединяющим ограничитель с фазовым или нейтральным проводом,

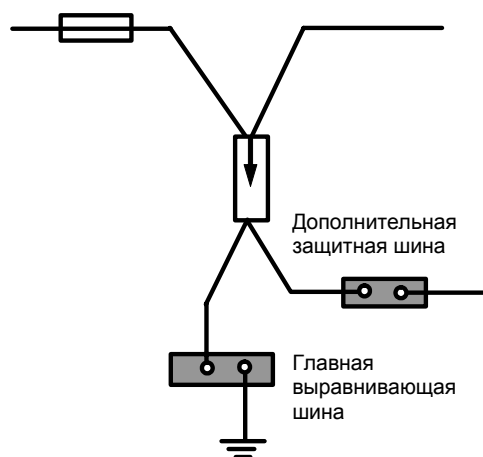
$U_2$  – падение напряжения на проводах, соединяющих ограничитель с шиной выравнивания потенциалов или защитным проводом РЕ.

В целях уменьшения появляющегося риска следует размещать ограничители в таких местах, в которых для их соединения можно применять как можно более короткие провода. Рекомендуется [ ] ограничение длины проводов до 0,5м (рис.7а).



**Рис. 7.** Правильное подсоединение ограничителя

Падения напряжения на индуктивностях проводов можно устранить, применяя так называемые „соединения V” (рис.8). Ограничители, применяемые в такой схеме должны обладать возможностью подсоединения двух проводов к каждому полюсу ( двойные зажимы).



**Рис. 8.** Соединение, устраняющее падения напряжений на проводах, соединяющих ограничитель класса I

## 2.4. Ограничители перенапряжений типа 1 с уровнем защиты от напряжений ниже 4000в

Для большинства доступных ограничителей перенапряжений типа 1 характерен уровень защиты ниже 4000 в. Среди причин выбора такого уровня защиты можно привести следующие:

- электрические и электронные устройства, смонтированные в разъемах инсталляций (напр., счетчики электрической энергии) характеризуются устойчивостью к разрядам на уровне 6кВ, и снижение уровня напряжения защиты до 4кВ обеспечивает надежный запас.
- это является оптимальным решением в случае многоступенчатых систем ограничения перенапряжений, т.к. ограничивает количество срабатываний ограничителей типа 1 необходимым минимумом, что может значительно удлинить время их эксплуатации.
- немецкие нормы (таблица 9) рекомендуют именно такой уровень защиты для ограничителей класса В (эквивалентов типа1).

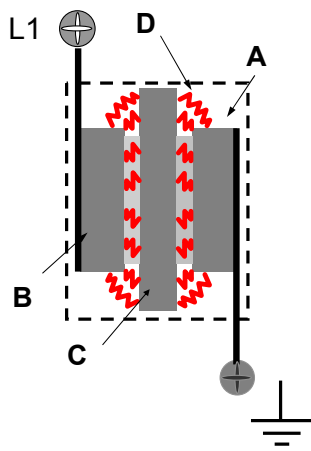
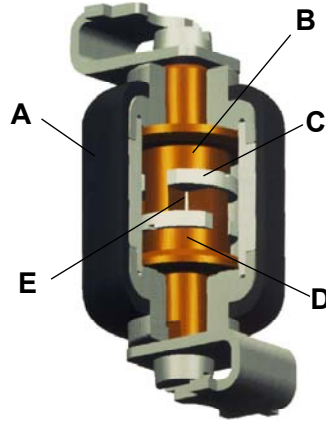
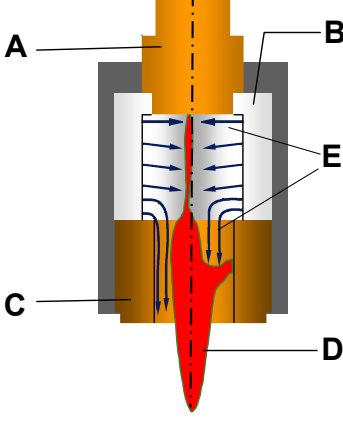
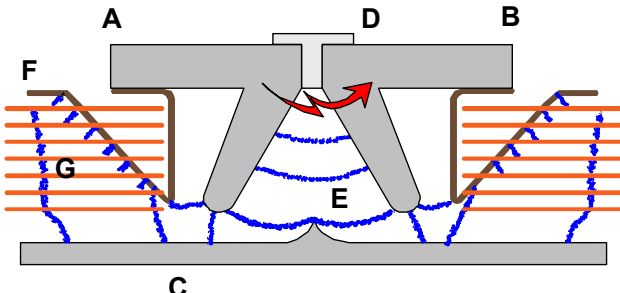
**Таблица 9.** Максимальные значения уровней защиты ограничителей перенапряжений [ ]

Номинальное напряжение работы	Ограничители класса В	Ограничители класса С	Ограничители класса D
150В-300В	4кВ	2,5кВ	1,5кВ
300В-600В	6кВ	4кВ	2,5кВ
600В-1200В	8кВ	6кВ	4кВ

В ограничителях типа 1 с уровнем защиты ниже 4000В чаще всего применяются одно- или многоразрывные неуправляемые разрядники. Примеры различных конструктивных решений разрядников представлены в таблице 10.

В целях ограничения тепловых нагрузок стремятся ограничивать сопровождающие токи, протекающие через разрядники после их срабатывания. В настоящее время применяются разнообразные техники самогашения дуги.

**Таблица 10.** Примеры различных конструктивных решений разрядников, применяемых в ограничителях напряжений типа 1 с уровнем защиты от напряжений ниже 4000В

 <p><b>Обычный разрядник</b>  A, B - электроды  C - дополнительный электрод, облегчающий гашение дуги  D - горящая дуга</p>	 <p><b>Обычный разрядник в корпусе</b>  A - корпус разрядника  B, D - электроды  C - изоляционный материал</p>	 <p><b>Разрядник с радиальным и осевым воздействием на дугу</b>  A, C - электроды  B - изолирующий корпус  D - дуга  E - осевое и радиальное воздействие на дугу</p>
	<p><b>Разрядник с разрывом и гашением дуги</b>  A, B - электроды  C - дополнительный электрод, разрывающий дугу  D - изолирующая прокладка  F - электроды, зажигающие дугу  E - горящая дуга  G - гасящие пластинки</p>	

Среди наиболее популярных следует указать поджиг дуги в схеме из двух электродов и последующая растяжка дуги с перебросом на многоразрывную схему соединений.

Также популярной является схема, в которой наступает перебрасывание дуги с одновременным осевым и радиальным действием.

В этом последнем случае искровые разрядники ограничивают сопровождающий ток до пиковых значений ниже 2кА в местах с ожидаемым сопровождающим током с действующим значением 50кА.

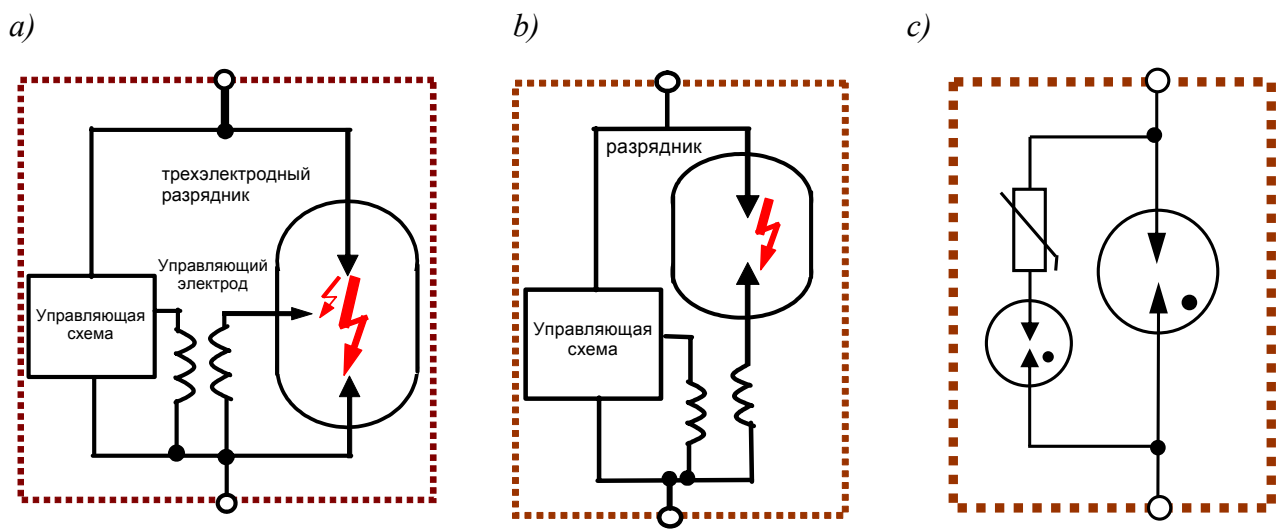
## 1.2. Ограничители перенапряжений типа 1 с уровнем защиты ниже 2500В

Новые виды ограничителей типа 1 легко удовлетворяют требованиям, вытекающим из объема испытаний классов I и II, а применяемые искровые разрядники, обеспечивают достижение уровня защиты от напряжений ниже 2500В. Благодаря этому единственный ограничитель может заменить применяемые до этого времени системы, состоящие из ограничителей типа 1, разъединяющих элементов и ограничителей типа 2.

Для отличия новой генерации ограничителей производители ввели понятие ограничителей перенапряжений типа 1+2 или, в соответствии с обозначениями немецких норм, класса В+ С.



Чаще всего для ограничения опасностей, вызванных перенапряжениями или током молнии, используются искровые двух или трехэлектродные разрядники с принудительным зажиганием. Общие принципы действия таких разрядников представлены на рис.9а и б.



**Рис. 9.** Примеры различных решений ограничителей перенапряжений типа 1: а),б) ограничители с трехэлектродными управляющими разрядниками, с) схема из двух разрядников и варистора

Другим интересным решением [] является применение ограничителей, состоящих из двух параллельно соединенных разрядников, смонтированных в одном модуле с дополнительным варистором, присоединенным последовательно к разряднику в одной из ветвей ограничителя (рис.9с).

В представленной схеме, если разрядные токи не превышают нескольких кА (самый часто встречающийся случай разрядов в электрической инсталляции), работает только последовательно подключенный разрядник с варистором, и сопровождающие токи не возникают. Токи с большими пиковыми значениями возникают только в случае прямых разрядов молнии в объект или разрядов в его непосредственной близости. Если такая опасность возникнет, то дополнительно сработает также главный разрядник, который обеспечит защиту от разрядных токов 10/350.

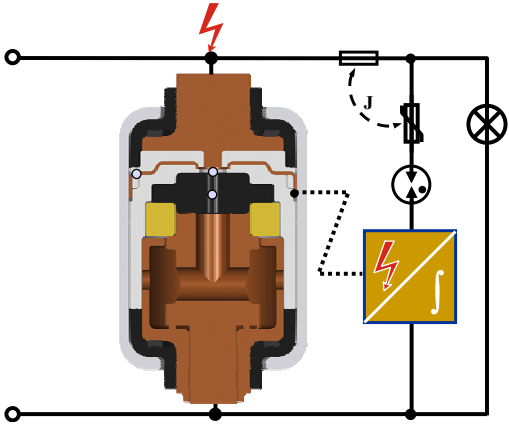
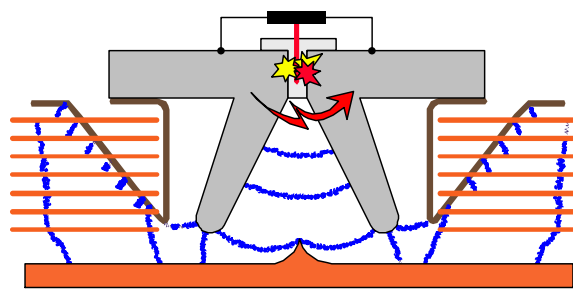
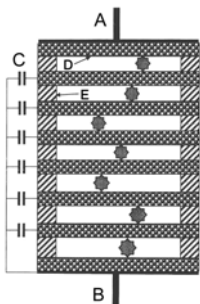
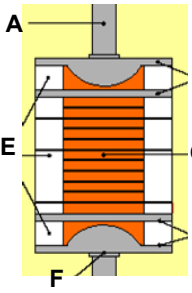
Представленные ограничители типа 1 с уровнем защиты ниже 2500В обеспечивают основную защиту в электрической инсталляции на строительных объектах, обладающих молниезащитой. Выбор уровня защиты с ограничением перенапряжений ниже 2500В имеет еще одно достоинство. Применение ограничителей такого уровня защиты является требованием нормы PN-IEC 60364-443 в случае, когда „инсталляция питается от воздушной линии низкого напряжения или с такой линией соединена”.

Это требование касается защиты от атмосферных перенапряжений, приходящих извне к электрической инсталляции в строительных объектах без молниезащитных устройств, если они находятся в местности, в которой не бывает более, чем 25 грозовых дней в году.

## 2.5. Ограничители перенапряжений типа 1 с уровнем защиты ниже 1500в

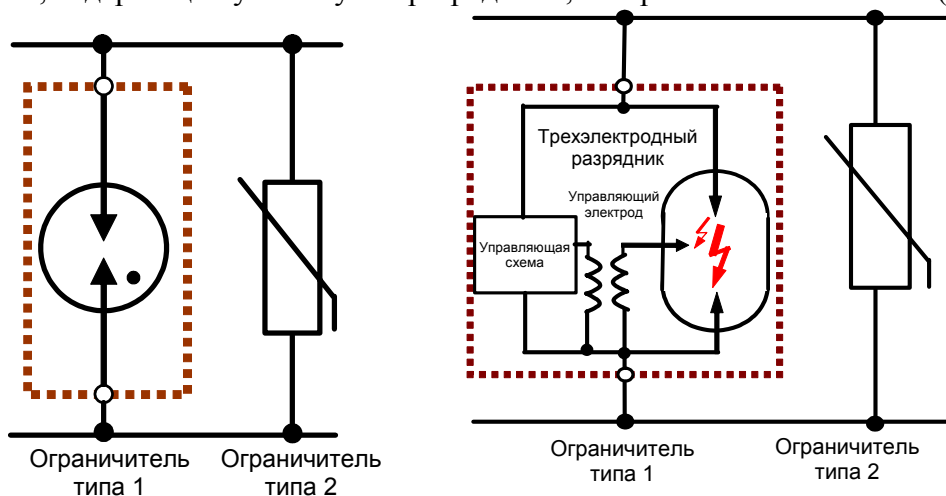
Очередным этапом развития ограничителей типа 1 было применение разрядников, делающих возможным получение уровня напряжения защиты ниже 1500В. Они обеспечивают защиту от действия части тока молнии, а также от всякого рода перенапряжений. Низкий уровень защиты от напряжения достигается использованием разрядников с дополнительными схемами зажигания, убыстряющими перекрытие между электродами разрядника, или применением многоразрывных разрядников. Общие схемы таких систем представлены в таблице 11.

**Таблица 11.** Примеры различных решений разрядников, применяемых в ограничителях перенапряжений типа 1 с уровнем защиты от напряжений ниже 1500В []

 <p>Управляемый трехэлектродный разрядник с радиальным и осевым воздействием на дугу</p>	 <p>Управляемый трехэлектродный разрядник с радиальным и осевым воздействием на дугу</p>
 <p><b>Многоразрывный разрядник с емкостной схемой, управляющей.</b>  <b>Распределением напряжений на отдельных промежутках</b>          A, B – основные электроды,          C - емкости, управляющие распределением напряжений на отдельных промежутках,          D – графитовые электроды,          E – искровые перекрытия (в масштабе) отдельными электродами</p>	 <p><b>Управляемый разрядник с разрывом и гашением дуги</b>          A - провод,          B, D – электроды,          C - разрядная камера,          E - керамический корпус,,          F – стыки, сваренные импульсно</p>

К сожалению, снижение уровня зажигания разрядников приводит к более частым их срабатываниям и протеканию сопровождающих токов. Подвержение электрода разрядника воздействию таких токов может вызвать сокращение времени правильной работы ограничителя.

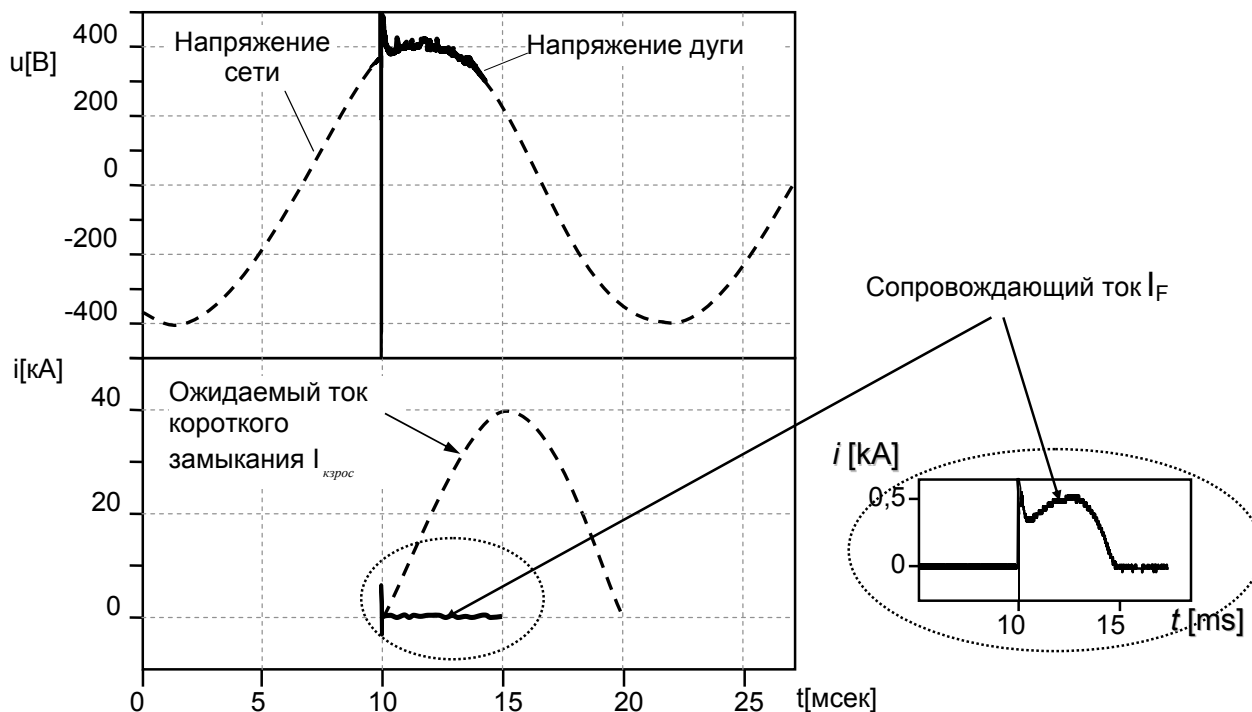
Одним из способов разрешить данную проблему является параллельное соединение ограничителей, содержащих упомянутые разрядники, с ограничителями типа 2 (рис.10).



**Рис. 10.** Параллельное соединение разрядниковых ограничителей типа 1, с пониженным напряжением зажигания, и варисторов (ограничителей типа 2)

В такой схеме большая часть перенапряжений ограничивается варистором, ограничителем типа 2.

Другим решением является ограничение пикового значения сопровождающего тока. Применяя разрядники с радиальным и осевым воздействием на дугу можно ограничить ожидаемый сопровождающий ток с действующим значением, доходящим до 50 кА, пиковым значением в несколько сотен амперов (рис.11).



**Рис. 11.** Временные диаграммы токов, протекающих через ограничитель с осевым и радиальным воздействием на дугу

Ограничители типа 1 с уровнем напряжения защиты ниже 1500В нашли широкое применение в электрических инсталляциях базовых станций систем сотовой связи. Обязательность применения ограничителей с защитой от напряжений такого низкого уровня определяется объемом испытаний на устойчивость к импульсным напряжениям устройств базовых станций.

Необходимо заметить, что в разрядных ограничителях все чаще применяются схемы, контролирующие работу отдельных защитных элементов (разрядников и варисторов) и дающие возможность передачи информации о повышении температуры в ограничителе выше допустимых значений.


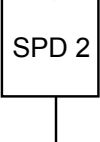

## 2. Ограничители перенапряжений типа 2

Задачей ограничителей перенапряжений типа 2 является ограничение перенапряжений до значений, соответствующих I или II категории устойчивости к разрядам.

Чаще всего требуется ограничение перенапряжений ниже **1,5 кВ**, так как такие значения перенапряжений выдерживает большинство электрических и электронных устройств. Основные задачи ограничителей типа 2, места их монтажа и объем испытаний представлены в таблице 12.

Рекомендуемой формой разрядных токов, номинального  $i_n$  и наибольшего  $i_{imp}$ , применяемых для испытаний ограничителей типа 2, является импульс с временем нарастания (фронтом) 8 мкс и длительностью на уровне половины максимального значения 20мкс.

**Таблица 12.** Задачи, места монтажа, а также требуемый объем испытаний ограничителей типа 2

Параметр	Характеристика		
Задачи	Ограничение перенапряжений между: <ul style="list-style-type: none"> <li>• фазными проводниками L1,L2,L3 и защитным проводником РЕ,</li> <li>• проводниками нейтральным N и защитным РЕ.</li> </ul>		
Монтаж	На шине 35мм или в гнездах предохранителей в местах разветвления электрической проводки внутри строительного объекта (главное распределительное устройство, вторичные распределительные устройства , распределительные щиты).		
Объем поверочных испытаний класса	Основные испытания: <ul style="list-style-type: none"> <li>• номинальным импульсным током <math>i_n</math>,</li> <li>• наибольшим импульсным током <math>i_{max}</math>,</li> <li>• импульсным напряжением 1,2/50.</li> </ul>		
Типовые обозначения	 <p>Ограничитель типа 2</p> <p>Общий вид</p>	 <p>Общий вид, варисторный ограничитель</p>	 <p>варистор</p>

Верхние значения тока  $i_n$  , который может многократно протекать через ограничитель перенапряжений типа 2, не вызывая его повреждения, выбираются из следующего ряда значений: 0,05; 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 5,0;10;15 и 20 кА [ ].

Наибольший разрядный ток  $i_{max}$  должен быть больше номинального тока  $i_n$ .

Для создания ограничителей перенапряжений типа 2 чаще всего применяются полупроводниковые элементы с переменным сопротивлением – варисторы (рис.12а). После монтажа ограничителей на их клеммах существует фазовое напряжение и через варисторы протекают токи небольших величин ( ниже 1 мА).

Примеры временных диаграмм напряжений на ограничителе типа, вызванные протеканием разрядного тока формы 8 /20, представлены на рис. 12с.

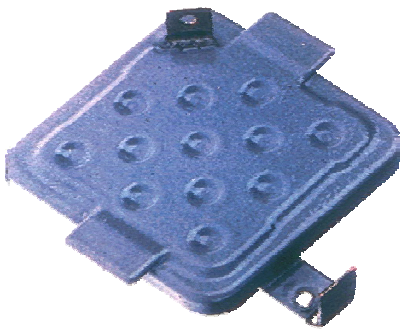
Для ограничения перенапряжений можно также применять ограничители, состоящие из последовательно соединенных варистора и разрядника. Ограничители с такой схемой соединения элементов, ограничивающих перенапряжения, применяются в электрической инсталляции, в которой не должны возникать токи утечки, даже небольших величин.

Временные диаграммы напряжения, существующего на разрядниково- варисторовом ограничителе типа 2 и протекающего в нем тока представлены на рис.13.

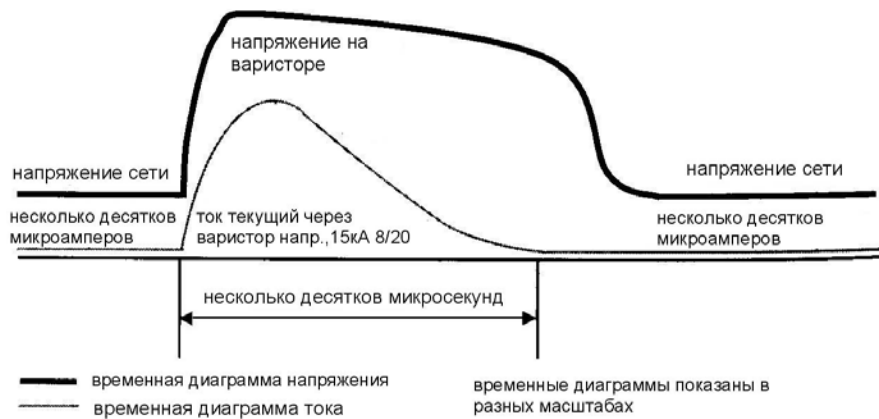
Типовой ограничитель может быть сварной конструкцией или разборной конструкцией, состоящей из основания, на котором можно сделать монтаж, и съемного модуля с варистором. В зависимости от конструктивного решения ограничители типа 2 можно разделить на 2 группы:

- многомодульные – изготовленные для основных систем трехфазной сети, складывающиеся из основания, а также сменных модулей, смонтированных на шине 35мм
- одномодульный – изготовленные, как для монтажа на типовой шине 35мм, так и для монтажа в гнездах предохранителей.

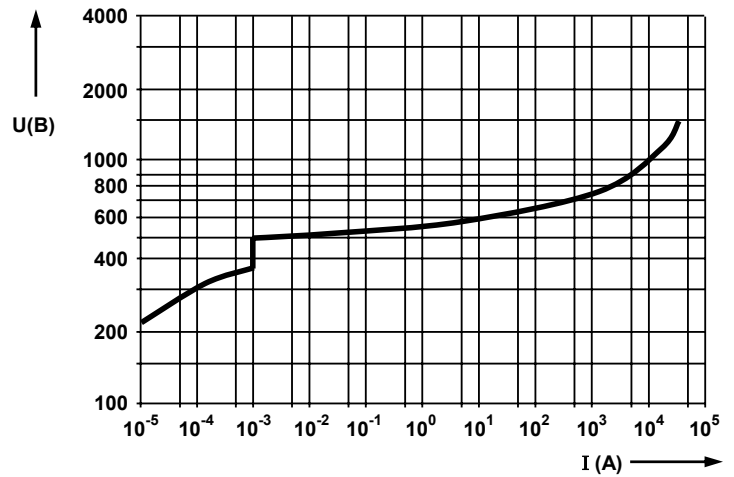
a)



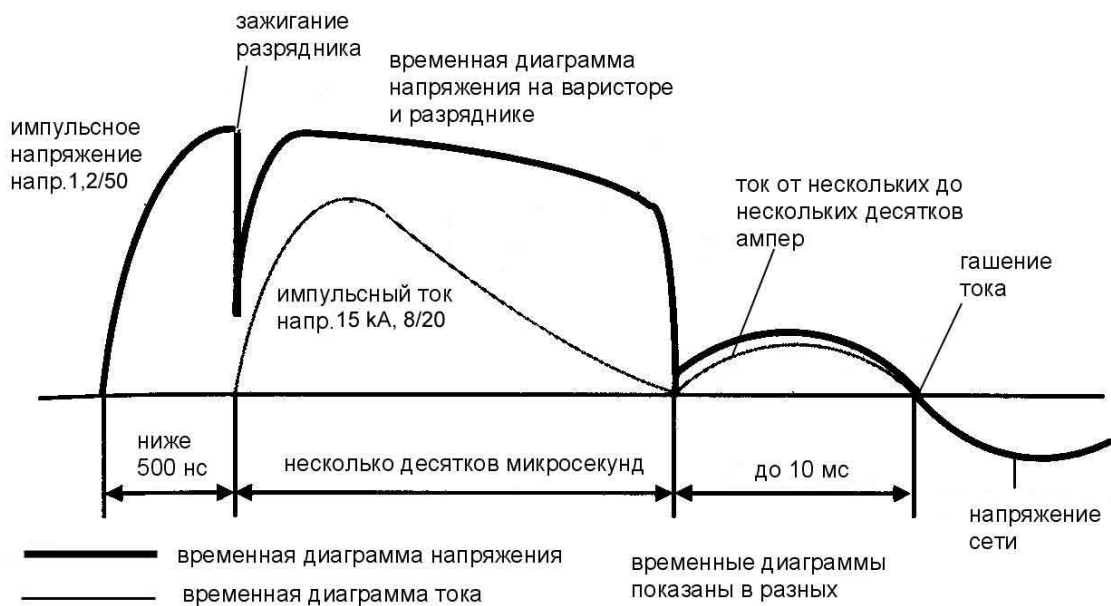
c)



b)



**Рис. 12.** Ограничители перенапряжений типа 2: а) вид варистора, б) вольт-амперная характеристика варистора, в) временные диаграммы напряжения на варисторе и протекающего в нем тока



**Рис. 13.** Временные диаграммы напряжения и тока, протекающего в ограничителе, состоящем из последовательного соединения варистора и разрядника

Для того, чтобы избежать перерывов в электропитании устройств необходимо обеспечить самопроизвольное отключение поврежденных ограничителей типа 2. Эти задачи решают различные отключающие устройства, смонтированные изготовителями внутри ограничителей. На повреждение ограничителя и его отключение указывает следующая информация:

- изменение цвета в контрольном окне, если ограничители смонтированы на шине 35мм,
- увеличение длины дополнительного болта, которым обладают ограничители,
- смонтированные в гнездах предохранителей.

Ограничитель может также обладать дополнительным контактом включения-отключения (переключаемый), благодаря которому можно создать электрическую цепь, элементы которой, (напр., громкоговорители, лампы) сигнализируют о ее повреждении в месте произвольно выбранном пользователем.

Во время испытаний изоляции электрической инсталляции, ограничители перенапряжений типа 2 нужно отсоединить или вынуть модули с варисторами.

## **2.1. Принципы подбора и монтажа ограничителей типа 2**

Ограничители перенапряжений типа 2 могут быть установлены на входе электрической инсталляции в строительный объект, чаще всего в объектах, не имеющих молниезащиты, или как вторая ступень ограничения перенапряжений в объектах, обладающих молниезащитной инсталляцией.

Схемы соединений ограничителей перенапряжений типа 2 аналогичны схемам соединений ограничителей типа 1. В случае их применения в другой ступени ограничения в системе сети TN рекомендуется соединение ограничителей с проводом РЕ (рис. 14).

Координируя взаимодействие ограничителей перенапряжений типа 2 с дифференциальными токовыми устройствами, следует принять во внимание следующие замечания:

- взаимное размещение этих устройств не должно прерывать подачу электроэнергии,
- не должна нарушаться возможность выполнения этими устройствами задач защиты.

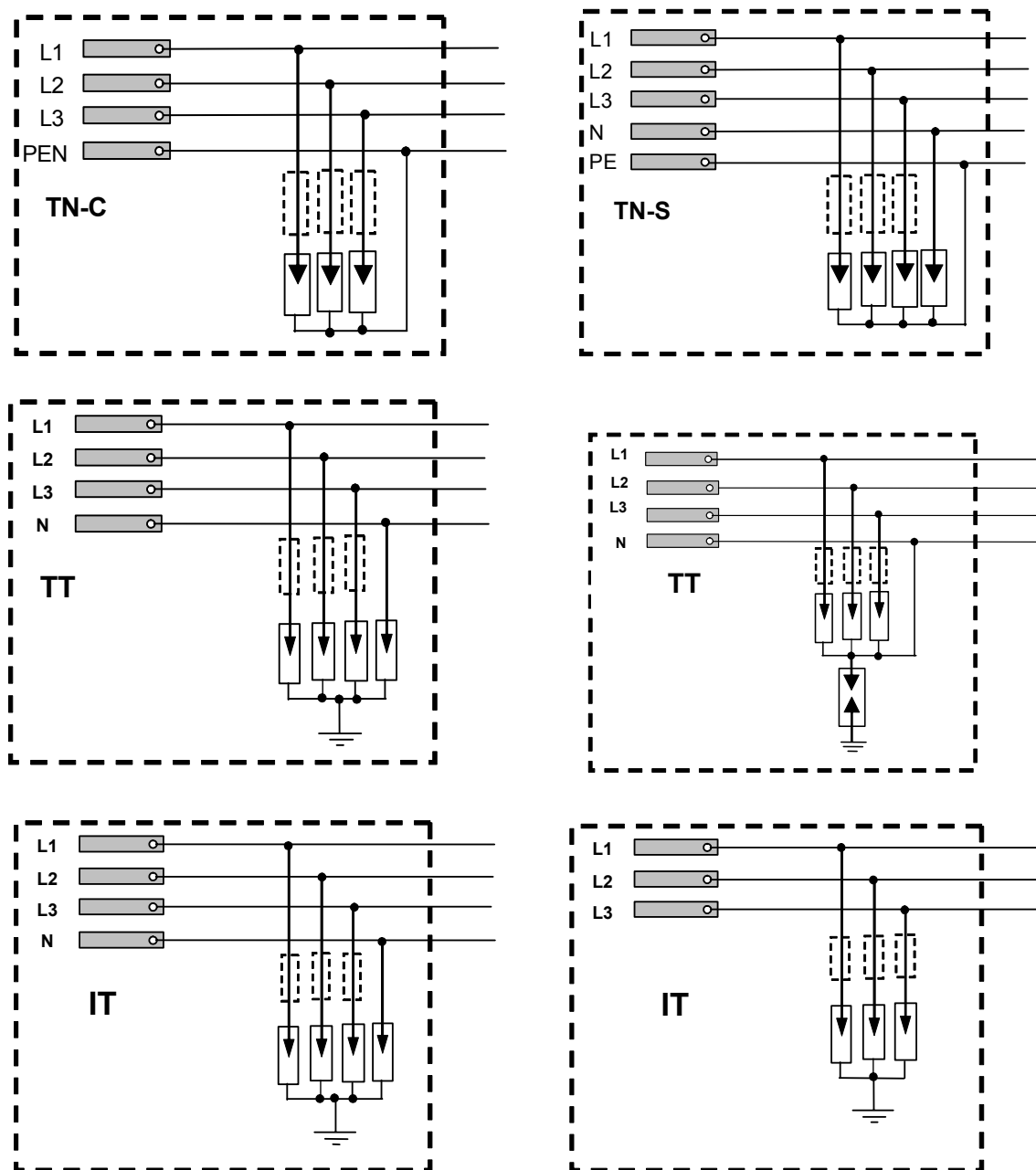
С точки зрения ограничения перенапряжений, размещение схемы ограничителей перенапряжений типа 2 за дифференциальным выключателем тока подвергает этот выключатель действию протекающих разрядных токов, которые могут вызвать его разрушение или ненужное срабатывание.

Установка схемы ограничителей перед выключателем практически исключает опасность этого рода. Такое размещение делает невозможным также неправильное функционирование технически исправного дифференциального выключателя тока, в случае повреждения ограничителя, соединяющего провода N и РЕ [ ].

Принимая во внимание вышеупомянутые замечания в системах сети TN, а также сети TT

(3 ограничителя перенапряжений и разрядник – схема соединений типа 2), рекомендуемым решением является размещение ограничителей перенапряжений типа 2 перед дифференциальными токовыми выключателями [ ].

В системе сети TT (4 ограничителя перенапряжений – схема соединений типа 2) должна быть обеспечена эффективная защита от опосредованного соприкосновения и следует установить дифференциальное токовое устройство типа S с устойчивостью к действию импульсных токов величиной, по крайней мере, 3кА и с формой 8/20 [ ] перед системой ограничителей.

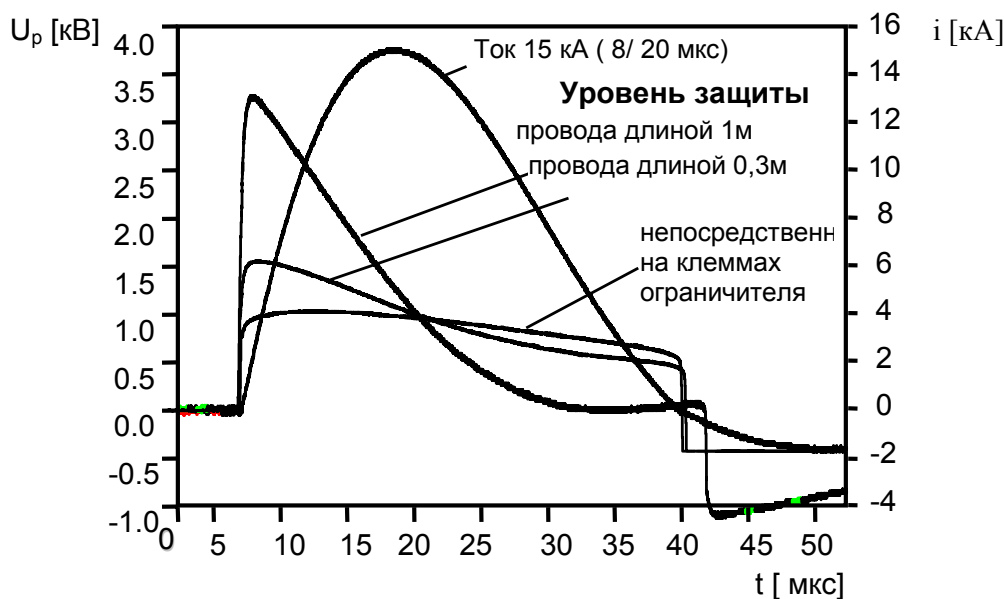


**Рис. 14.** Схемы соединений ограничителей типа 2 в системе сети TN, TT, IT

Для соединения ограничителей перенапряжений типа 2 следует применять как можно более короткие провода длиной, не превышающей 0,5 м. Соблюдение этого требования очень важно, так как применение более длинных соединений ограничителей типа 2 подводят к защищаемой части инсталляции напряжения значительных величин.

Примеры напряжений, зарегистрированных в схеме, состоящей из ограничителя типа 2 с подсоединенными проводами равной длины при протекании разрядного тока с предельным значением 15кА и формой 8/20, представлены на рис. 15 [ ].

Протекание разрядных токов ускоряет процессы старения варисторов, применяемых в ограничителях типа 2. Возрастающий ток утечки варистора вызывает рост его температуры, что может разрушить не только варистор и соседние устройства, но также привести к возникновению пожара на объекте.



**Рис. 15.** Падение напряжения в цепи ограничитель типа 2 + провода при протекании импульсного тока 15кА 8/20

Упомянутую опасность предотвращает смонтированное в ограничителе устройство, отслеживающее температуру варистора и в случае ее небезопасного роста, отключающее напряжение от варистора и передающее информацию о выполненном отключении.

В случае протекания через ограничитель импульсных токов со значениями, превышающими допустимые величины, может наступить повреждение структуры варистора и его короткое замыкание. Перед принятием решения о дополнительных защитных средствах от угрозы этого рода нужно проверить величину номинального тока предохранителей, стоящих перед ограничителями.

Если для данного типа ограничителей эта величина окажется большей величины, определенной производителем, то следует применить предохраняющие устройства, указанные производителем [ ], соединенные последовательно с ограничителями. Чаще всего это ограничители класса gG.

Ограничители перенапряжений типа 2 с последовательно включенными предохранителями должны надежно выдерживать возникновение случайных напряжений [ ].

В случае двухступенчатой системы защиты чаще всего не рекомендуется размещение ограничителей перенапряжений типа 1 и 2 в одном распределительном устройстве, так как такая система соединений не может гарантировать правильной очередности их срабатывания.

Защитные свойства ограничителей перенапряжений типа 2 определяются на основе результатов испытаний импульсными токами с временем нарастания (фронтом) 8 мкс длительностью на уровне половины максимального значения импульса 20мкс и с предельными значениями, выбранными из ряда от нескольких сотен А до 20 кА.

Оценивая влияние работающих ограничителей типа 2 на работу предохранителей, следует также обладать основной информацией об их устойчивости к воздействию импульсных токов такой формы.

На рис.16 представлены примеры предельных значений импульсных токов 8/20, протекание которых вызывает срабатывание вкладок предохранителей с различными номинальными токами.



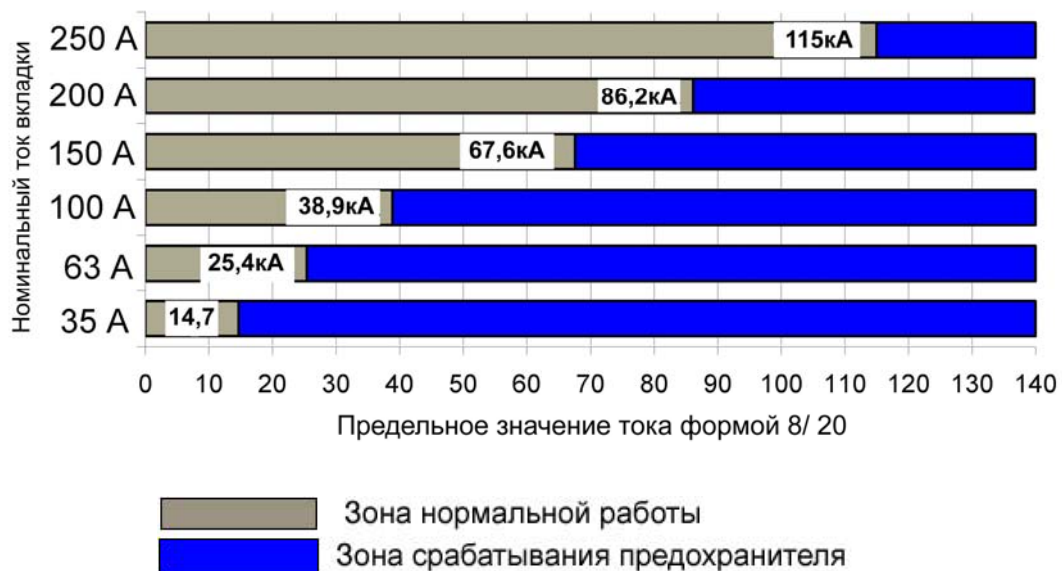


Рис. 16. Воздействие на предохранитель импульсного тока 8/ 20

## 2.2. Взаимодействие схем ограничителей перенапряжений различных типов

Создавая в электрической установке надежную, многоступенчатую систему ограничения напряжений следует обеспечить взаимную энергетическую координацию между:

- схемами ограничителей перенапряжений разных типов,
- схемами ограничителей и защищаемыми устройствами.

Обеспечение соответствующего разделения энергии импульсных токов между схемами ограничителей требует основной информации, касающейся:

- вольт-амперных характеристик ограничителей,
- уровня напряжения защиты ограничителей разных типов,
- проекта размещения схем ограничителей в электрической установке.

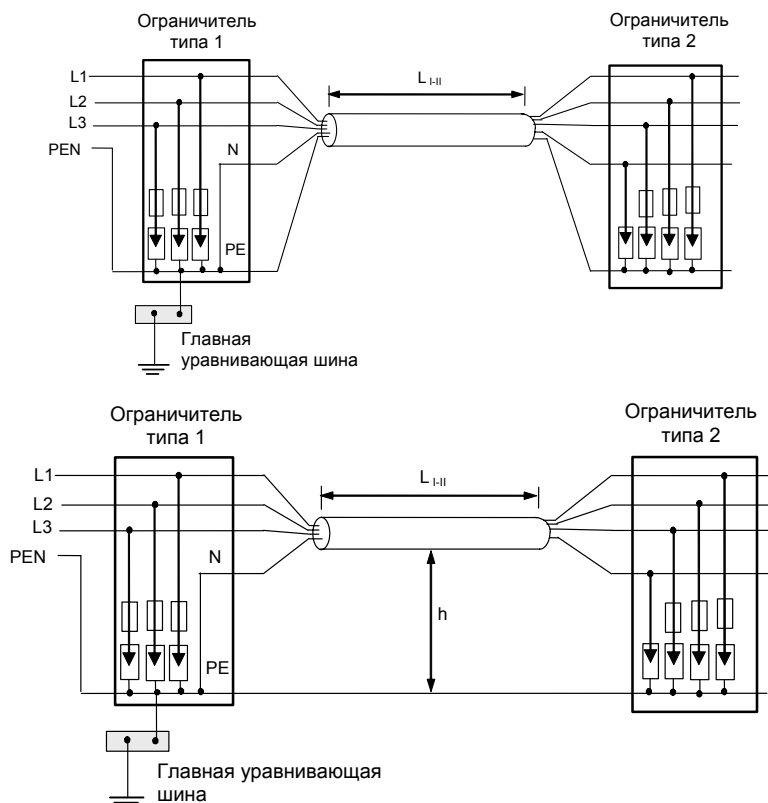
Дополнительно следует принять во внимание требования, вытекающие из принципов зонной концепции молниезащиты. Обеспечив энергетическую координацию в системе ограничителей, мы приобретаем уверенность в правильном функционировании этой системы и продолжительную и безаварийную работу ограничителей.

## 2.3. Схемы ограничителей типа 1 и 2

В двухступенчатых системах ограничения перенапряжений применяются схемы разрядниковых ограничителей перенапряжений типа 1, а также варисторовые ограничители типа 2. В типовых решениях уровни напряжения защиты ограничителей составляют соответственно ниже 4000В (тип 1) и 1500В (тип 2).

В такой системе обеспечение взаимной энергетической координации требует сохранения нескольких десятков метров расстояния между схемами ограничителей отдельных типов (расстояние измеряется вдоль провода электрической установки).

Информация о рекомендованных расстояниях приводится чаще всего в каталогах ограничителей для типовых схем соединений (рис.17).



**Рис. 17.** Типовые схемы соединений ограничителей типа 1 и 2, использующие:  
 а) пятижильный кабель, б) четырехжильный кабель и провод PE

В случае отсутствия данных или сомнений, касающихся их достоверности, можно простым способом определить требуемые расстояния между схемами ограничителей. Как это можно сделать показано на примере схемы (рис.18) разрядник – варистор (аналоги, соответствующие ограничителям типа 1 и 2).

После срабатывания варистора в схеме наступают изменения в растекании тока (рис.15b). На разряднике существует напряжение  $U_i$ , составляющее:

$$U_i = U_w + U_{ind},$$

где:  $U_w$  - падение напряжения на варисторе,  
 $U_{ind}$  - падение напряжения на проводах, соединяющих разрядник с варистором.

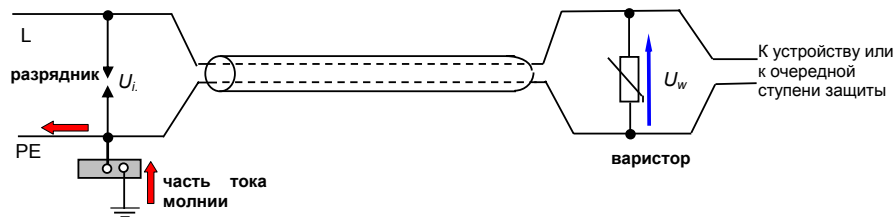
Падение напряжения на варисторе  $U_w$  не может превышать допустимых значений.

В случае типовых ограничителей типа 2 значение падения напряжения чаще всего не превышает 1200В – 1500В. Падение напряжения на индуктивности проводов можно определить зависимостью:

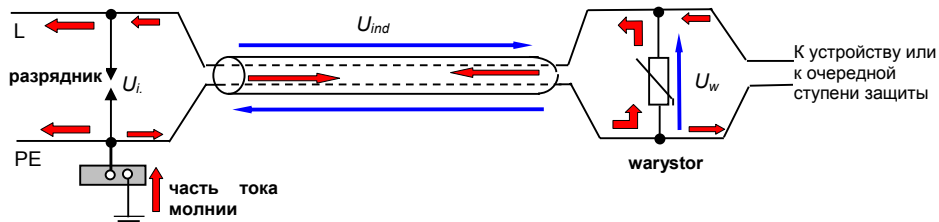
$$U_{ind} = l \cdot L \cdot \frac{di}{dt} \quad [\text{кВ}],$$

где:  
 $l$  - длина провода между схемами ограничителей (м),  
 $L$  - удельная индуктивность провода, соединяющего разрядник с варистором (мкГ/м),  
 $di/dt$  - крутизна нарастания протекающего импульсного тока (кА/мкс).

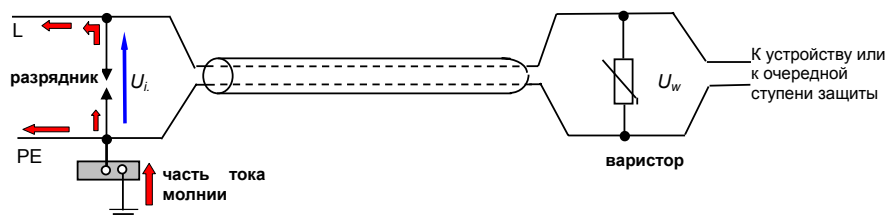
a)



b)



c)



**Рис. 18.** Растекание разрядного тока в двухступенчатой схеме ограничения перенапряжений; а) ограничители не работают, б) работает ограничитель типа 2, с) работает ограничитель типа 1

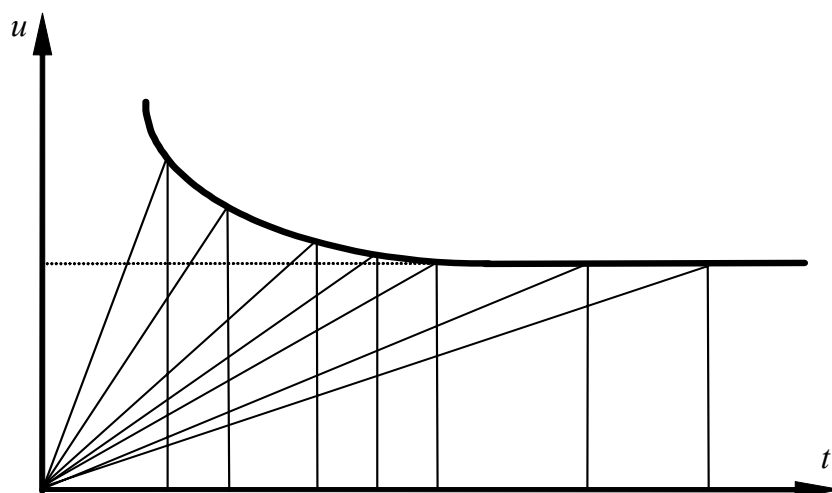
Окончательно требуемая длина провода между схемами ограничителей составляет:

$$l = \frac{U_i - U_w}{L \cdot \frac{di}{dt}}$$

Для приближенных решений можно принять, что:

- $L$  является индуктивностью двух параллельно проложенных проводов,
- Величина индуктивности составляет от 0,5 мкГ/м до 1 мкГ/м ( в зависимости от сечения провода), если фазовые и защитные провода находятся в одном кабеле (рис.18а).
- Если провода проложены отдельно (рис. 18b), то величина индуктивности будет большей.
- Определяя величину  $di/dt$  следует принять во внимание время нарастания и предельное значение импульсного тока.

Учитывая требования норм молниезащиты и норм, определяющих объем испытаний ограничителей, можно принять, что двухступенчатая система ограничения перенапряжений должна работать, как и при появлении быстроизменяющихся разрядных токов формы 10/350 и 8/20, так и при токе с минимальной крутизной нарастания равной 0,1 кА/мкс [ ]. Величина динамического напряжения зажигания  $U_i$  зависит от крутизны нарастания напряжения на его клеммах. Типовая временная характеристика напряжения разрядника представлена на рис. 19.



**Рис. 19.** Типовая временная характеристика напряжения разрядника

При превышении напряжения динамического уровня зажигания  $U_i$  разрядника наступает его срабатывание (рис. 15с).

Сначала разрядники, применяемые в ограничителях типа 1, обладали следующими параметрами:

- динамическим напряжением зажигания (называемое также импульсным напряжением зажигания) ниже 4 кВ,
- статическое напряжение зажигания 2000 – 2500В.

Координация работы ограничителей, обладающих разрядниками с такими параметрами, и варисторов требовала сохранения расстояния между ними в десятки метров.

Внедрение новых конструктивных решений разрядников, а также новых технологий их изготовления, обнизило уровни напряжения защиты, что также значительно уменьшило или целиком устранило необходимость обеспечения минимальных расстояний между ограничителями типа 1 и 2.

В качестве примера в таблице 13 представлены способы определения требуемых минимальных расстояний между схемами ограничителей типа 1 и 2 в зависимости от величин динамических и статических напряжений зажигания разрядников (рассмотрены только разрядники без дополнительных схем зажигания).

Для упрощения расчетов предполагается, что зажигание разрядника наступает, если напряжение, существующее на его клеммах превышает значение:

- динамического напряжения зажигания в случае импульсных токов 10/350 и 8/20,
- статического напряжения зажигания, если возникают токи с крутизной нарастания 0,1 кА/мкс.

После расчета обоих случаев, как конечный результат следует выбрать большее из установленных расстояний.

Следует заметить, что принятые для предварительных расчетов величины дают возможность только для приближенной оценки минимальных расстояний между схемами ограничителей типа 1 и 2.

В большинстве строительных объектов может быть без трудностей запроектировано и выполнено правильное размещение ограничителей.

**Таблица 13.** Примерные минимальные расстояния между схемами ограничителей типа 1 и 2

Требуемые минимальные расстояния между схемами ограничителей типа 1 и 2	
Основные данные: ограничитель типа 2 - уровень напряжения защиты ниже 1500В ( для расчетов принято 1300В), удельная индуктивность провода около 0,8 мкН/м	
Быстроизменяющиеся токовые импульсы: -20кА, 10/350 → di/dt ≈ 2 кА/мкс, -20кА, 8/ 20 → di/dt ≈ 2,5кА/мкс	Токи с минимальной крутизной нарастания 0,1 кА /мкс.
Ограничители типа 1 с динамическим напряжением поджига 4000В. $I = 1,35м$	Ограничители типа 1 со статическим напряжением поджига 1500В. $I = 2,5м$
Минимальное расстояние должно быть больше 12,5 м.	
Ограничители типа 1 с динамическим напряжением поджига 2500В. $I = 0,6м$	Ограничители типа 1 с динамическим напряжением поджига 1 500В. $I = 2,5м$
Минимальное расстояние должно быть больше 2,5 м.	

Проблемы с сохранением требуемых минимальных расстояний между схемами ограничителей появляются в случаях:

- ограничения перенапряжений в небольших объектах,
- защиты электрических или электронных устройств, работающих в непосредственной близости от распределительных устройств, в которых установлены ограничители,
- небольших расстояний между распределительными устройствами.

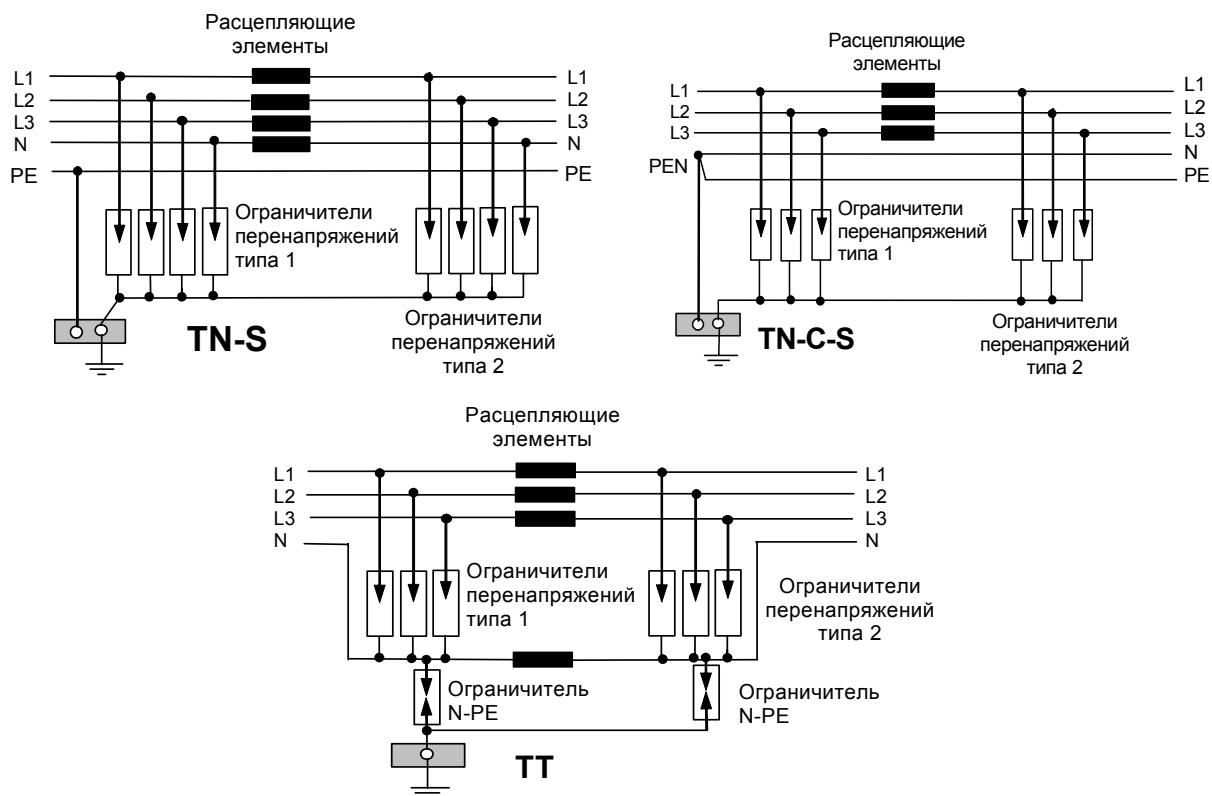
Очень часто проектировщик или исполнитель встает перед проблемой обеспечения защиты от перенапряжений в инсталляции, в которой не хватает одного или двух метров до требуемого минимального расстояния между схемами ограничителей перенапряжений разных типов.

До настоящего времени в этих случаях чаще всего применялись схемы , состоящие из ограничителей, разделенных расцепляющими элементами.

Общая схема такого решения для ограничителей типов 1 и 2 в системах сетей TN-C-S, TN-S и TT представлена на рис. 20.

В представленных двухступенчатых защитных схемах расцепляющие элементы координируют работу схем ограничителей.

Снятие характеристик разрядных токов, протекающих в отдельных ограничителях, разделенных расцепляющими элементами , показали, что в разрядниковом ограничителе типа 1 потечет практически весь разрядный ток.



**Рис. 20.** Схемы соединений ограничителей перенапряжений типов 1 и 2 в случае применения расцепляющих элементов

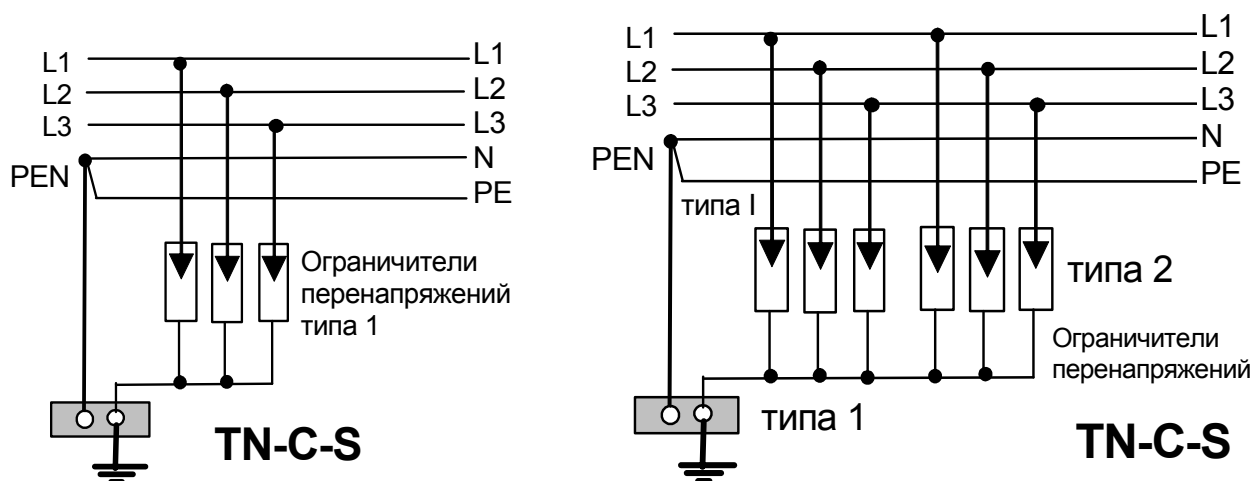
Варисторные ограничители типа 2 подвержены действию зарядных токов с относительно небольшими предельными величинами, существующих короткое время. При применении схем с расцепляющими элементами столкнулись со следующими препятствиями:

- большие мощности питаемых устройств создают необходимость применения индуктивностей со все большей токовой нагрузкой,
- возрастание токовой нагрузки индуктивности значительно увеличивает габариты схем, что затрудняет или делает даже невозможным их монтаж в распределительных устройствах.

Схемы с расцепляющими устройствами нашли широкое применение только в инсталляциях с номинальными токами не превышающими 63А. В настоящее время в таких инсталляциях для ограничения перенапряжений можно применять:

- только схемы ограничителей перенапряжений типа 1 с уровнем напряжения защиты ниже 1500В (рис.21а),
- ограничители типа 1 с низкими уровнями напряжения защиты (напр., 1500В или 2500В), соединенные параллельно с ограничителями типа 2 (рис.21б).

В последнем случае защиту перед большинством перенапряжений обеспечивают варисторы (ограничители типа 2), и срабатывание разрядника наступает только при разрядных токах со значительно большими энергиями.



**Рис. 21.** *Исключение расцепляющих элементов: а) схема ограничителей типа 1 с низким уровнем напряжения защиты, б) схемы соединения ограничителей типа 1 с низким уровнем напряжения защиты и ограничителей типа 2*

## 2.4. Принципы создания многоступенчатой системы ограничения перенапряжений

Приступая к созданию в электрической установке системы защиты от воздействия части тока молнии и от разного рода перенапряжений следует проверить какие средства молниезащиты использованы на объекте (внешняя и внутренняя молниезащита), а также провести осмотр их состояния на данный момент.

Если при создании молниезащитной установки определен требуемый уровень молниезащиты, то при подборе ограничителей перенапряжений типа 1 следует принять предельные значения тока молнии в соответствии с выбранным уровнем защиты.

При создании системы ограничений перенапряжений в электрической установке следует принять во внимание следующие требования, касающиеся ограничителей перенапряжений:

- Число ограничителей перенапряжений и способ их монтажа следует приспособить к системе сети и к требуемой категории перенапряжений.
- Ограничители следует размещать таким образом, чтобы они обеспечивали ограничение перенапряжений до уровней, ниже величин импульсной устойчивости устройств.
- Устойчивость к короткому замыканию ограничителей перенапряжения должна соответствовать ожидаемой величине тока короткого замыкания, который может возникнуть в месте, где устанавливаются ограничители.
- Сохранять, в соответствии с требованиями производителя, наименьшие допустимые расстояния между:
  - ограничителями разных типов,
  - ограничителями и защищаемыми устройствами,
  - разрядными ограничителями перенапряжений типа 1 и другими устройствами в местах монтажа ограничителей (в случае выброса газов наружу из ограничителя)

Подбирая ограничители типа 1 и 2 и создавая системы защиты, рекомендуется придерживаться требований, представленных в таблице 14.

**Таблица 14.** Основные требования, определяющие принципы подбора ограничителей перенапряжений типа 1 и 2

Ограничители	Принципы подбора схем ограничителей
Ограничители типа 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Схемы ограничителей типа 1 должны быть установлены за главными предохранителями, вблизи места ввода электрической инсталляции в строительный объект, обладающий молниезащитными устройствами (кабельные разъемы, шкафы рядом с разъемами, главное распределительное устройство).</li> <li>• Схема соединений ограничителей должна быть соответственно подобрана к системе сети.</li> <li>• Следует оценить эффективное значение напряжения длительной работы ограничителя, а также уровень ограничения импульсных напряжений.</li> <li>• Провода, используемые для подсоединения ограничителей должны быть по возможности кратчайшими (длиной менее 0,5 м). Если трудно выполнить это требование следует применить ограничители двойными зажимами в схеме соединений типа „V”.</li> <li>• Укладывая провода, соединяющие ограничители, следует учесть возможность воздействия на них динамических сил, вызванных протекающим током молнии.</li> <li>• Определить потребность применения дополнительных устройств, предохраняющих от сверхтоков, устанавливаемых последовательно с ограничителями типа 1.</li> <li>• Применяя ограничители с открытыми разрядниками следует учесть опасность, которая создается выбросом газа или подобрать ограничители с разрядниками в корпусном исполнении.</li> <li>• Подобрать ограничители с ограниченными сопровождающими токами в целях исключения срабатывания главных сверхтоковых предохранительных устройств.</li> <li>• Проверить требования, касающиеся мест монтажа дифференциальных токовых устройств по отношению к схеме ограничителей.</li> </ul>
Ограничители типа 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Схема соединений ограничителей типа 2 должна быть соответствующим образом подобрана к системе сети.</li> <li>• Место монтажа схемы ограничителей перенапряжений типа 2 зависит от его назначения. В случае двухступенчатой схемы это распределительные устройства на отдельных этажах, вторичные распределительные устройства, распределительные щиты внутри объекта. Если не появляется опасность воздействия тока молнии, то схемы ограничителей типа 2 можно устанавливать в месте ввода инсталляции в объект (вместо ограничителей типа 1).</li> <li>• Определить потребность применения дополнительных сверхтоковых предохранителей последовательно с ограничителем типа 2.</li> <li>• Провода, используемые для подсоединения ограничителя, должны быть как можно более короткими (длина меньше 0,5м).</li> <li>• Проверить требования касающиеся места монтажа дифференциальных токовых устройств относительно схемы ограничителей.</li> <li>• Следует соблюдать требования расстояний между ограничителями 1 и 2.</li> <li>• Если сохранение требуемых расстояний невозможно, то следует применить сцепляющие индуктивности или ограничители типа 1 со сниженными уровнями напряжений защиты.</li> <li>• Во время испытаний изоляции электрической инсталляции варисторные ограничители типа 2 должны быть отключены или, если существует такая возможность, следует вынуть вкладки с варисторами.</li> </ul>



### 3. Ограничители перенапряжений типа 3

Ограничители перенапряжений типа 3 обеспечивают защиту устройств от атмосферных перенапряжений, вызванных отдаленными (несколько сотен метров) атмосферными разрядами от объекта, а также от перенапряжений в каналах связи, возникающих в реальных электрических инсталляциях внутри строительного объекта.

Основная информация о задачах ограничителей типа 3 и принципах их монтажа представлена в таблице 15.

**Таблица 15.** Основные требования, касающиеся ограничителей типа 3

Параметр	Характеристика		
Задачи	Ограничение перенапряжений между: <ul style="list-style-type: none"> <li>• фазовым проводом L и нейтральным N,</li> <li>• проводами нейтральным N и защитным PE.</li> </ul>		
Целесообразность применения	Применение в случае: <ul style="list-style-type: none"> <li>• наличия слишком больших расстояний между схемами ограничителей перенапряжений типа 2 и защищаемыми устройствами,</li> <li>• защита устройств с неизвестной противоимпульсной устойчивостью или с меньшей устойчивостью, чем остальные устройства, работающие на данном объекте.</li> </ul>		
Монтаж	На шине 35мм в коробках, гнездах, в кабельных каналах, непосредственно в гнездах или как переносные схемы, втыкаемые в гнезда, в устройствах.		
Объем поверочных испытаний класса III	Испытания номинальным импульсом напряжение-ток 1,2/50-8/20.		
Типовые обозначения	 <p>Ограничитель типа 3</p> <p>Общий вид</p>	 <p>MOV SPD 3</p> <p>Общий вид варисторный ограничитель</p>	

В реальных условиях нельзя избежать прямых ударов молний в строительные объекты или разрядов, происходящих по соседству с ними. Это обстоятельство приводит к тому, что в электрических инсталляциях ограничители перенапряжений типа 3 функционируют совместно с ограничителями типа 1 и 2, создавая многоступенчатые защитные схемы.

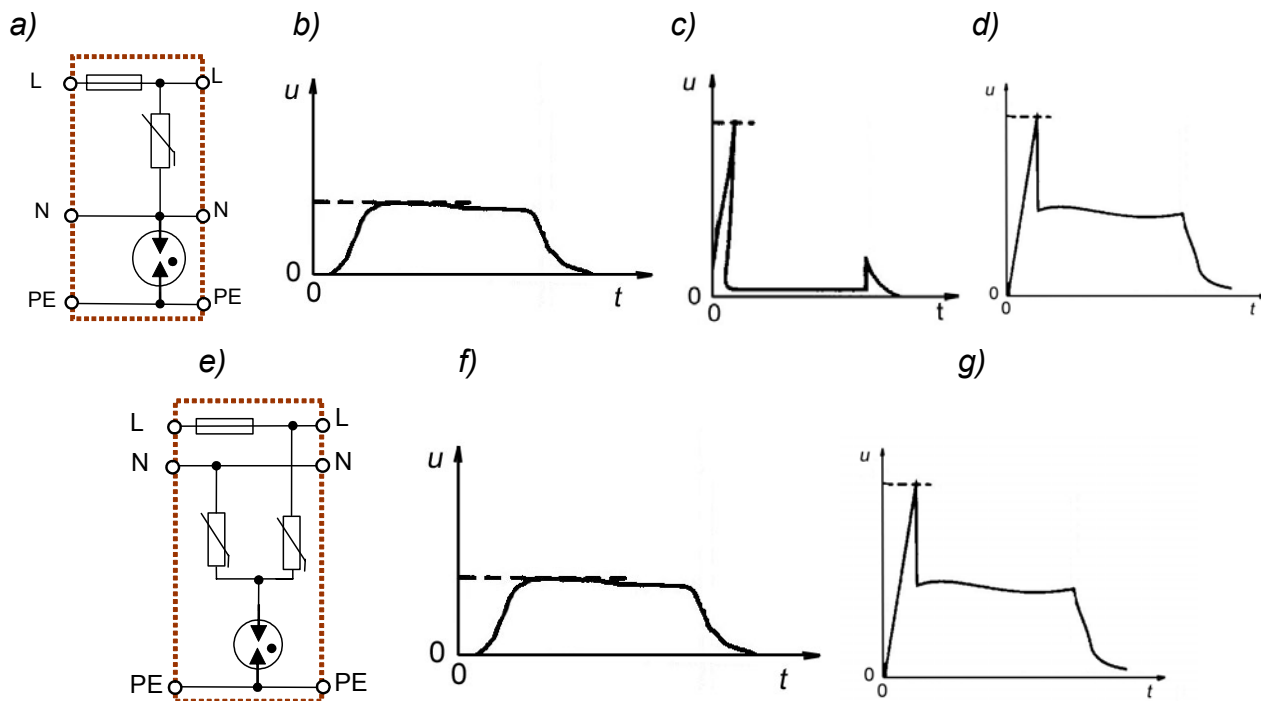
Перед принятием решения о применении ограничителей типа 3 следует основательно проанализировать целесообразность этого, учитывая:

- принятый запас по напряжению (разницу между максимальным напряжением, которое выдерживает установка и уровнем напряжения защиты ограничителя),
- способ прокладки проводов от схемы ограничителей типа 2 до защищаемых устройств (напр., прокладка у внешних стен, внутри объекта, в металлических каналах),
- существующие в инсталляции системы ограничителей (напр., ограничители типа 2 могут быть единственной защитной схемой или работать с ограничителями типа 1 в двухступенчатой схеме).

В зависимости от вышеназванных факторов, допустимое расстояние между схемами ограничителей типа 2 и защищаемым устройством может быть от нескольких до нескольких

десятков метров. Ограничители типа 3 должны обладать акустическими или оптическими индикаторами повреждений, а в некоторых случаях дополнительными зажимами, которые могут быть использованы для сигнализации повреждения на расстоянии.

Примеры соединений варисторов и искровых разрядников (или газовых разрядников) в типовых ограничителях типа 3 представлены на рис.22.



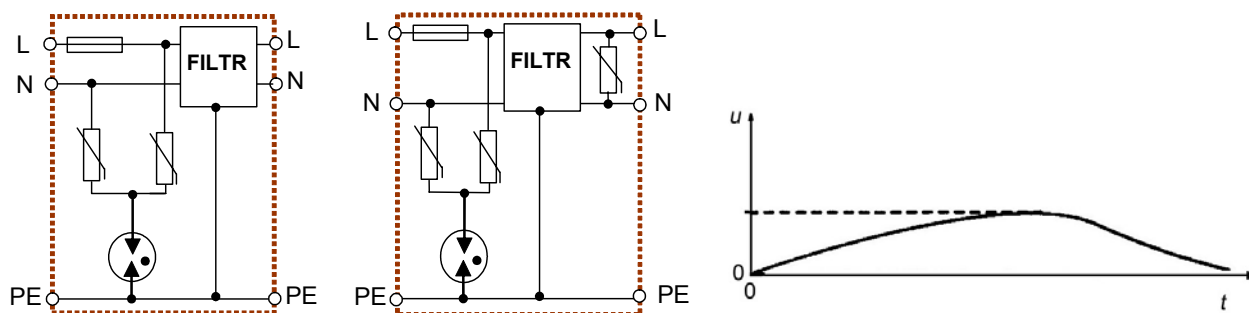
**Рис.22.** Ограничители перенапряжений типа 3; а),е)схемы типовых ограничителей, б),f ) напряжение между проводниками L и N, с ) напряжение между проводниками N и PE, d) напряжение между проводниками L и PE, г) напряжение между проводниками L и PE, а также N и PE.,

В представленных схемах для защиты от напряжений, возникающих между фазовым и нейтральным проводниками используются варисторы. Разницу потенциалов между проводником PE и проводниками N и L ограничивает искровой разрядник или газовый разрядник.

На рис. 22 также представлены формы напряжений, которые появляются на выходе ограничителя при подаче на его вход разрядов напряжение-ток 1,2/50 – 8/20.

Следует заметить, что правильно подобранный и установленный ограничитель типа 3 обеспечивает защиту нескольких соседних гнезд той же самой одно – или трехфазной инсталляции.

В случае защиты чувствительных электронных устройств может возникнуть потребность дополнительных фильтров , создающих одну схему с элементами, ограничивающими перенапряжения (рис. 23).



**Рис. 23.** Ограничитель перенапряжений типа 3 класса III с дополнительным фильтром, а, б) схемы систем ограничителей перенапряжений, в) временная диаграмма напряжения на выходе ограничителей

## 4. Эксплуатация и консервация ограничителей перенапряжений

Ограничители перенапряжений типа 1 как часть молниезащитной инсталляции должны подвергаться осмотрам в сроки, которые требуются по действующим нормам молниезащиты. Следует проверить, не имеются ли признаки повреждений устройств, ограничивающих перенапряжения.

Дополнительно в случае применения предохранителей, включенных последовательно с ограничителями, рекомендуется проверка их состояния после каждой грозы над объектом или после срабатывания главных сверхтоковых предохранителей.

Конкретная информация, касающаяся консервации и проверки устройств защиты содержится в PN-IEC 61024- 1- 2. В этой норме устанавливается, что:

- проверка ограничителей перенапряжений является частью процедуры проверки молниезащитной инсталляции,
- программы проверки и консервации должны быть уточнены в соответствующих органах либо с проектировщиком молниезащитной инсталляции, с исполнителем работ в соответствии с договоренностью с владельцем или с назначенным им представителем,
- электрические характеристики устройств должны быть сохранены,
- если строение подверглось модификации или изменено его назначение, то может оказаться необходимым изменение системы ограничения перенапряжений.

Создавая программы осмотров и консервации, следует установить частоту их проведения, а также точный объем, который должен содержать следующие процедуры:

- проверку технической документации,
- осмотр,
- проведение испытаний,
- создание проверочной документации.

Программа должна также содержать решения, касающиеся проверки устройств ограничения перенапряжений. В случае расширения, добавлений или иных изменений в объекте или в электрической инсталляции следует проверить необходимость дополнений в системе защиты от перенапряжений.

Проверку молниезащитной инсталляции и ограничителей перенапряжений должен выполнять специалист по молниезащите.

Интервалы между последующими проверками молниезащитной инсталляции, и тем самым ограничителей перенапряжений представлены в таблице 16.

**Таблица 16.** *Интервалы между проверками молниезащитной инсталляции*

Уровень молниезащиты	Промежутки между двумя последовательными проверками	Интервал между критическими проверками устройств
I	2 года	6 месяцев
II	4 года	12 месяцев
III и IV	6 лет	12 месяцев

В представленной таблице приняты во внимание не только полные испытания и проверка инсталляции, но также возможности проведения значительно более частых осмотров (по крайней мере, раз в году или даже каждые полгода).

Соблюдение вышеизложенных принципов должно обеспечить уверенную и надежную защиту устройств от напряжения и разрядных токов, которые могут появляться в электрической инсталляции.