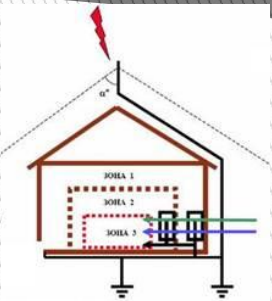


# Электромагнитная совместимость в электротехнических комплексах

К.Т.Н., доцент

Беспалов Александр Владимирович



## Молниезащита



Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений  
РД 34.21.122-87, утверждена Главтехуправлением Минэнерго СССР 12  
октября 1987

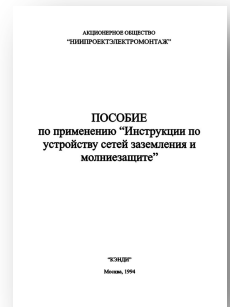


Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и  
промышленных коммуникаций **СО 153-34.21.122-2003**, утверждена  
приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 280

### Пособие к «Инструкции по устройству молниезащиты зданий и сооружений» (РД 34.21.122-87)



Письмо 10-03-04/182 Разъяснение Управления по надзору в электроэнергетике  
Ростехнадзора о совместном применении "Инструкции по молниезащите зданий и  
сооружений" (РД 34.21.122-87) и "Инструкции по молниезащите зданий, сооружений и  
промышленных коммуникаций" (СО 153-34.21.122-2003)



Нормы проектирования молниезащиты объектов магистральных нефтепроводов и коммуникаций  
ОАО «АК «ТРАНСНЕФТЬ» и дочерних акционерных обществ РД-91.020.00-КТН-276-07

Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и коммуникаций ОАО «ГАЗПРОМ»  
СТО Газпром 2-1.11-170-2007

*Обычные объекты* - жилые и административные строения, а также здания и сооружения, высотой не более 60 м, предназначенные для торговли, промышленного производства, сельского хозяйства.

*Специальные объекты:*

объекты, представляющие опасность для непосредственного окружения;  
объекты, представляющие опасность для социальной и физической окружающей среды (объекты, которые при поражении молнией могут вызвать вредные биологические, химические и радиоактивные выбросы);  
прочие объекты, для которых может предусматриваться специальная молниезащита, например, строения высотой более 60 м, игровые площадки, временные сооружения, строящиеся объекты.

### **Уровни защиты от ПУМ для обычных объектов**

Уровень защиты	Надежность защиты от ПУМ
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80

*Для специальных объектов* минимально допустимый уровень надежности защиты от ПУМ устанавливается в пределах 0,9-0,999 в зависимости от степени его общественной значимости и тяжести ожидаемых последствий от ПУМ по согласованию с органами государственного контроля.

По желанию заказчика в проект может быть заложен уровень надежности, превышающий предельно допустимый.

## Внешняя молниезащитная система

Внешняя МЗС в общем случае состоит из молниеприемников, токоотводов и заземлителей. В случае специального изготовления их материал и сечения должны удовлетворять требованиям

### Материал и минимальные сечения элементов внешней МЗС

Уровень защиты	Материал	Сечение, мм <sup>2</sup>		
		молниеприемника	токоотвода	заземлителя
I-IV	Сталь	50	50	80
I-IV	Алюминий	70	25	Не применяется
I-IV	Медь	35	16	50

Расположение токоотводов при неизолированных устройствах молниезащиты

Токоотводы располагаются по периметру защищаемого объекта таким образом, чтобы среднее расстояние между ними было не меньше значений, приведенных в табл. 3.3.

Токоотводы соединяются горизонтальными поясами вблизи поверхности земли и через каждые 20 м по высоте здания.

### Средние расстояния между токоотводами в зависимости от уровня защищенности

Уровень защиты	Среднее расстояние, м
I	10
II	15
III	20
IV	25

*Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций  
СО 153-34.21.122-2003, утверждено приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 280*

Инструкция распространяется на все виды зданий, сооружений и промышленных коммуникаций независимо от ведомственной принадлежности и формы собственности.

### 3.2.1.2. Естественные молниеприемники

Следующие конструктивные элементы зданий и сооружений могут рассматриваться как естественные молниеприемники:

а) металлические кровли защищаемых объектов при условии, что:

электрическая непрерывность между разными частями обеспечена на долгий срок;

толщина металла кровли составляет не менее величины  $t$ , приведенной в табл. 3.2, если необходимо предохранить кровлю от повреждения или прожога;

толщина металла кровли составляет не менее 0,5 мм, если ее необязательно защищать от повреждений и нет опасности воспламенения находящихся под кровлей горючих материалов;

кровля не имеет изоляционного покрытия. При этом небольшой слой антикоррозионной краски или слой 0,5 мм асфальтового покрытия, или слой 1 мм пластикового покрытия не считается изоляцией;

неметаллические покрытия на или под металлической кровлей не выходят за пределы защищаемого объекта;

б) металлические конструкции крыши (фермы, соединенная между собой стальная арматура);

в) металлические элементы типа водосточных труб, украшений, ограждений по краю крыши и т. п., если их сечение не меньше значений, предписанных для обычных молниеприемников;

*Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций  
СО 153-34.21.122-2003, утверждено приказом Минэнерго России от 30.06.2003 № 280*

- г) технологические металлические трубы и резервуары, если они выполнены из металла толщиной не менее 2,5 мм и проплавление или прожог этого металла не приведет к опасным или недопустимым последствиям;
- д) металлические трубы и резервуары, если они выполнены из металла толщиной не менее значения  $t$ , приведенного в табл. 3.2, и если повышение температуры с внутренней стороны объекта в точке удара молнии не представляет опасности.

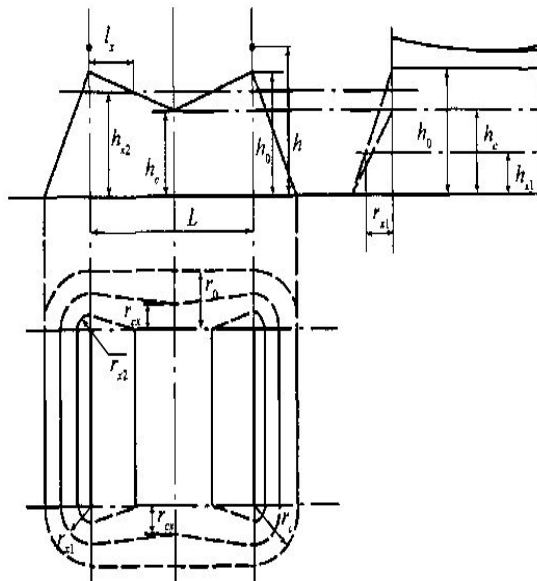
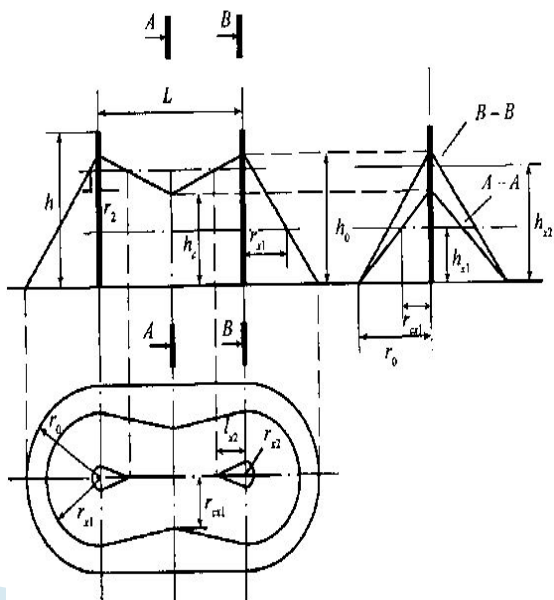
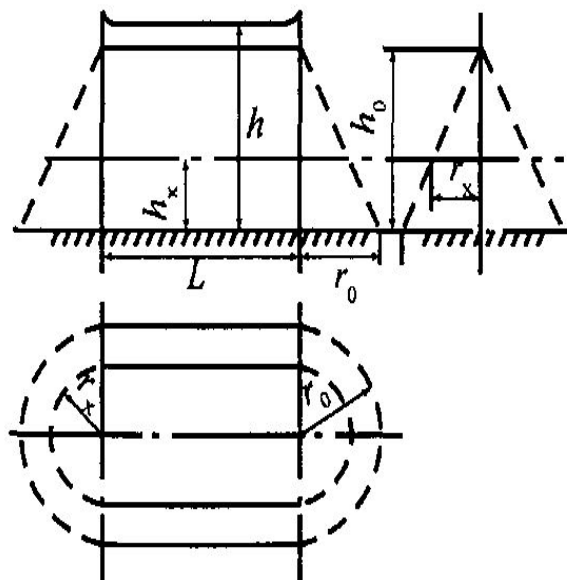
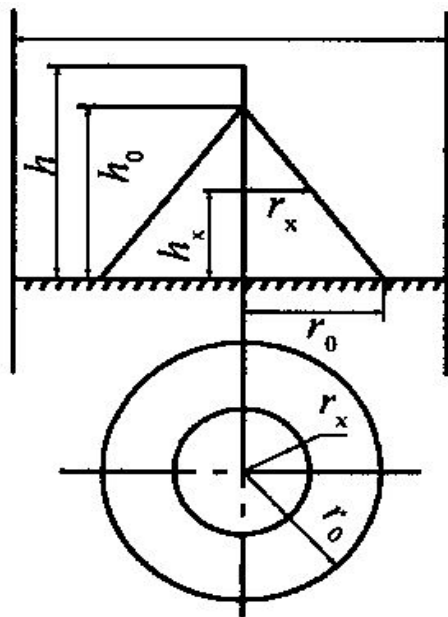
Таблица 3.2. Толщина кровли, трубы или корпуса резервуара, выполняющих функции естественного молниеприемника.

Уровень защиты	Материал	Толщина $t$ , мм, не менее
I-IV	Железо	4
I-IV	Медь	5
I-IV	Алюминий	7

### 3.2.3. Заземлители

#### 3.2.3.1. Общие соображения

Во всех случаях, за исключением использования отдельно стоящего молниеотвода, заземлитель молниезащиты следует совместить с заземлителями электроустановок и средств связи. Если эти заземлители должны быть разделены по каким-либо технологическим соображениям, их следует объединить в общую систему с помощью системы уравнивания потенциалов.



*Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87, утверждена Главтехуправлением Минэнерго СССР 12 октября 1987.*

Инструкция не распространяется на проектирование и устройство молниезащиты линий электропередачи, электрической части электростанций и подстанций, контактных сетей, радио- и телевизионных антенн, телеграфных, телефонных и радиотрансляционных линий, а также зданий и сооружений, эксплуатация которых связана с применением, производством или хранением пороха и взрывчатых веществ.

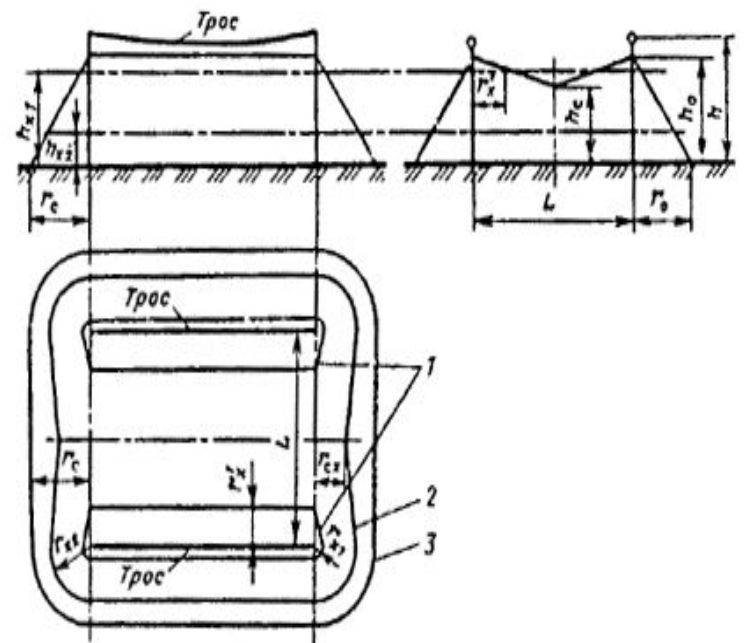
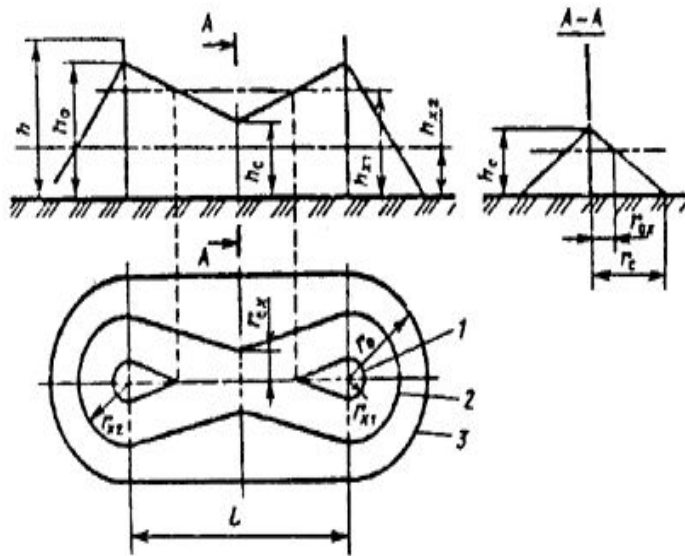
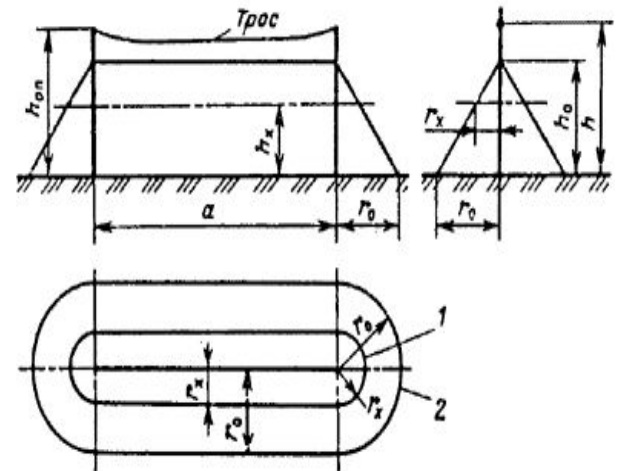
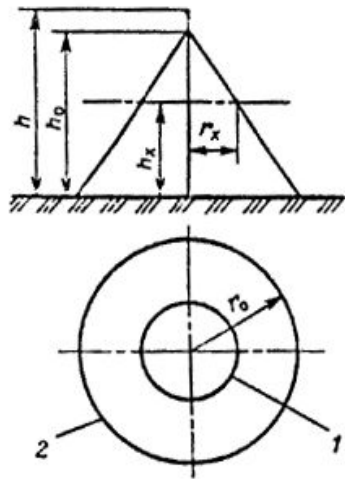
На зданиях и сооружениях с металлической кровлей в качестве молниеприемника должна использоваться сама кровля. При этом все выступающие неметаллические элементы должны быть оборудованы молниеприемниками, присоединенными к металлу кровли.

Во всех возможных случаях заземлитель защиты от прямых ударов молнии должен быть объединен с заземлителем электроустановок

2.15. Наружные установки, содержащие горючие и сжиженные газы и легковоспламеняющиеся жидкости, следует защищать от прямых ударов молнии следующим образом:

- а) корпуса установок из железобетона, металлические корпуса установок и отдельных резервуаров при толщине металла крыши менее 4 мм должны быть оборудованы молниеотводами, установленными на защищаемом объекте или отдельно стоящими;
- б) металлические корпуса установок и отдельных резервуаров при толщине металла крыши 4 мм и более, а также отдельные резервуары вместимостью менее 200 м<sup>3</sup> независимо от толщины металла крыши, а также металлические кожухи теплоизолированных установок достаточно присоединить к заземлителю.





### Расчет зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода

Надежность защиты $P_z$	Высота молниеотвода $h$ , м	Высота конуса $h_0$ , м	Радиус конуса $r_0$ , м
0,9	От 0 до 100	$0,85h$	$1,2h$
	От 100 до 150	$0,85h$	$[1,2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$
0,99	От 0 до 30	$0,8h$	$0,8h$
	От 30 до 100	$0,8h$	$[0,8 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	От 100 до 150	$[0,8 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$	$0,7h$
0,999	От 0 до 30	$0,7h$	$0,6h$
	От 30 до 100	$[0,7 - 7,14 \cdot 10^{-4}(h-30)]h$	$[0,6 - 1,43 \cdot 10^{-3}(h-30)]h$
	От 100 до 150	$[0,65 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$	$[0,5 - 2 \cdot 10^{-3}(h-100)]h$

*Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122-87, утверждена  
Главтехуправлением Минэнерго СССР 12 октября 1987.*

1.1. Зоны защиты одиночных стержневых молниеотводов высотой  $h \leq 150$  м имеют следующие габаритные размеры.

Зона А:  $h_0 = 0,85h$ ,

$r_0 = (1,1 - 0,002h)h$ ,

$r_x = (1,1 - 0,002h)(h - h_x/0,85)$ .

Зона Б:  $h_0 = 0,92h$ ;

$r_0 = 1,5h$ ;

$r_x = 1,5(h - h_x/0,92)$ .

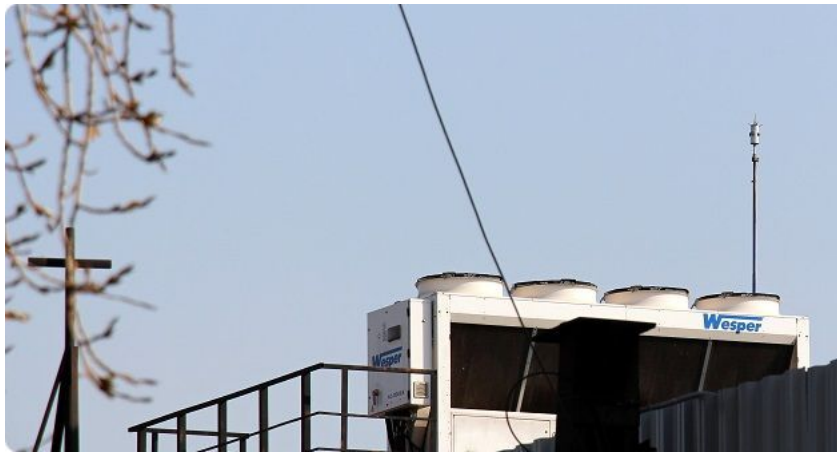
Для зоны Б высота одиночного стержневого молниеотвода при известных значениях  $h$  и может быть определена по формуле

$h = (r_x + 1,63h_x)/1,5$ .

Зона защиты типа А обладает надежностью 99,5% и выше, а типа Б — 95 % и выше.

Активная молниезащита - это инженерно-техническая система, основной задачей которой является, при возникновении опасной грозовой деятельности, «искусственно» принять на себя и безопасно отвести в грунт ток молнии, опережая ее «естественное» развитие и обеспечивая тем самым защиту многократно большей территории, в сравнении с традиционными методами.

Главное отличие активной молниезащиты (АМЗ) от традиционных молниезащитных устройств заключается в наличии активного молниеприемника, который реагирует на рост напряженности электромагнитного поля, возникающий при приближении грозового фронта. Конденсаторы, входящие в состав АМЗ, заряжаются от напряжения, наведенного этим полем на антеннах устройства. При достижении на конденсаторах 12-14 кВ, происходит пробой разрядников и формирование короткого высоковольтного импульса (более 200 кВ), полярность которого обратна полярности фронта. Этот импульс, опережая формирование "естественного" лидера, инициирует "искусственный" восходящий лидер, который развивается с гораздо большей скоростью и на большее расстояние, многократно увеличивая зону защиты молниеприемника.



"Зелёная молниезащита" служит для ИЗОЛЯЦИИ объекта от удара молнии и обеспечивает полную защиту с надёжностью на уровне 99,87%.

Это возможно благодаря особой конструкции с множеством электродов-игл. Ток коронного разряда, возникающего под действием электрического поля грозы, уменьшается пропорционально количеству электродов. Данный факт гарантирует, что ток никогда не достигнет критической величины, необходимой для развития стримеров от объекта к облаку.

Также происходит "размазывание" заряда по большой площади, благодаря возникновению устойчивого объемного заряда короны не только около множества точечных электродов, но и в некотором пространстве. Это снижает напряженность электрического поля над объектом до уровня ниже необходимого для развития молнии.





## Место

- кучево-дождевые облака (грозовые)
- слоисто-дождевые облака
- при вулканических извержениях
- при торнадо и пылевых бурях.



## Линейные молнии:

- внутриоблачные молнии
- молния облако-земля
- молния земля-облако
- горизонтальная молния



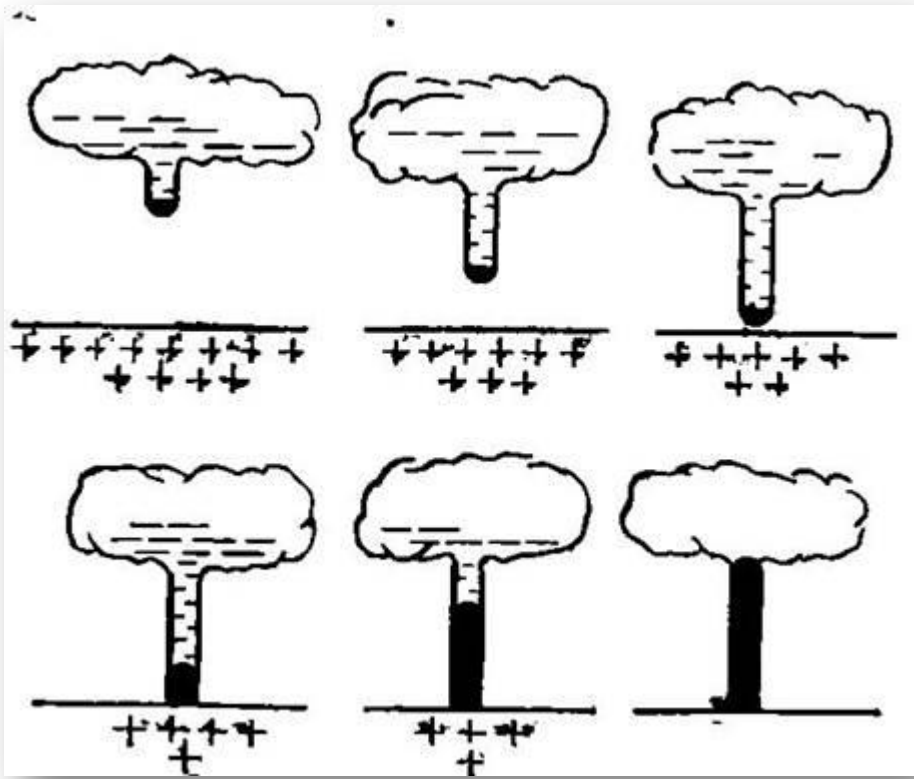
Сбор зарядов, переносимых молнией, происходит за тысячные доли секунды с миллиардов мелких, хорошо изолированных друг от друга частиц, расположенных в объёме нескольких км<sup>3</sup>.

Для возникновения молнии необходимо, чтобы в относительно малом (но не меньше некоторого критического) объёме облака образовалось электрическое поле (см. атмосферное электричество) с напряжённостью, достаточной для начала электрического разряда ( $\sim 1$  МВ/м), а в значительной части облака существовало бы поле со средней напряжённостью, достаточной для поддержания начавшегося разряда ( $\sim 0,1—0,2$  МВ/м).

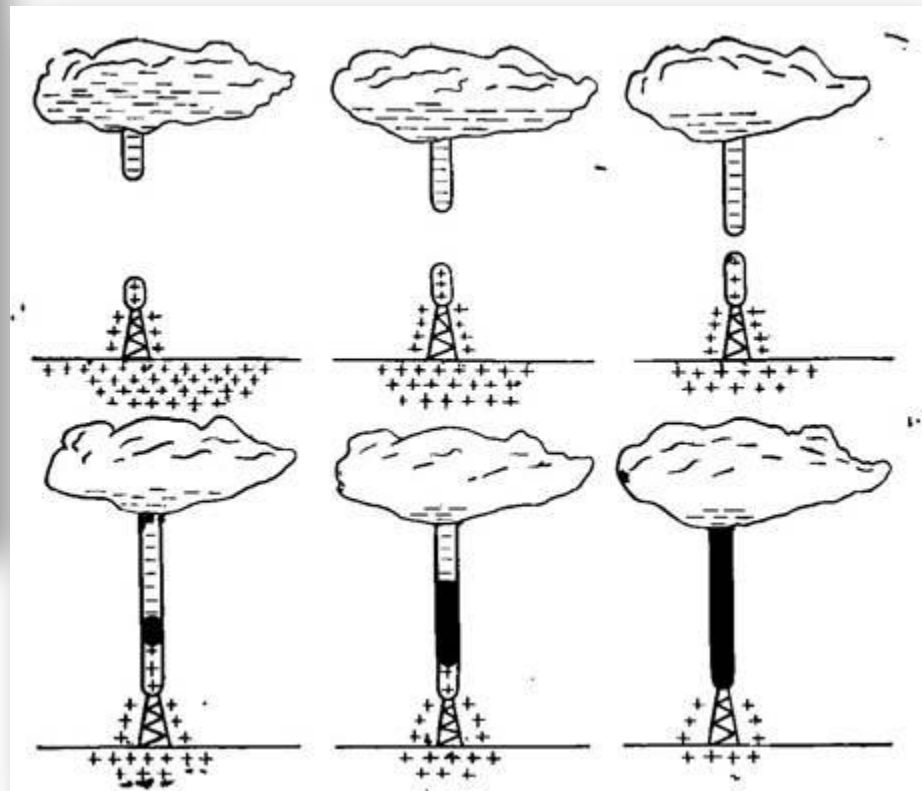
На первой стадии начинается ударная ионизация: свободные электроны под действием электрического поля приобретают значительные скорости и ионизируют молекулы воздуха. Возникает электронная лавина, переходящая в стример. Стримеры, сливаясь, образуют термоионизированный канал – лидер молнии. Движение лидера к земной поверхности происходит ступенчато: «несколько десятков метров со скоростью 50 тыс км/с – остановка несколько микросекунд – следующий скачок». Средняя скорость – 200 км/с.

При достижении лидером противоположного электрода, завершается лидерная стадия грозового разряда и берёт начало стадия обратного (главного) разряда. При этом от поверхности земли по каналу лидера распространяется электромагнитная волна, благодаря которой потенциал лидера снижается до нулевого значения. Таким образом, между электродами формируется сверхпроводящий канал, через который проходит грозовой разряд.





Развитие лидерной стадии при молниевом разряде в ровную поверхность



Развитие лидерной стадии (верх) и стадии главного разряда (низ) при ударе грозового разряда в металлическую опору

Соотношение полярностей разрядов молнии зависит от географического положения местности. В отсутствие местных данных принимают это соотношение равным 10 % для разрядов с положительными токами и 90 % для разрядов с отрицательными токами.

Механические и термические действия молнии обусловлены пиковым значением тока  $I$ , полным зарядом  $Q_{\text{полн}}$ , зарядом в импульсе  $Q_{\text{имп}}$  и удельной энергией  $W/R$ . Наибольшие значения этих параметров наблюдаются при положительных разрядах.

Повреждения, вызванные индуцированными перенапряжениями, обусловлены крутизной фронта тока молнии. Крутизна оценивается в пределах 30 %-ного и 90 %-ного уровней от наибольшего значения тока. Наибольшее значение этого параметра наблюдается в последующих импульсах отрицательных разрядов.

## Соответствие параметров тока молнии и уровней защиты

Параметр молнии	Уровень защиты		
	I	II	III, IV
Пиковое значение тока $I$ , кА	200	150	100
Полный заряд $Q_{\text{полн}}$ , Кл	300	225	150
Заряд в импульсе $Q_{\text{имп}}$ , Кл	100	75	50
Удельная энергия $W/R$ , кДж/Ом	10000	5600	2500
Средняя крутизна $di/dt_{30/90\%}$ , кА/мкс	200	150	100

Плотность ударов молнии в землю, выраженная через число поражений  $1 \text{ км}^2$  земной поверхности за год, определяется по данным метеорологических наблюдений в месте размещения объекта.

Если же плотность ударов молнии в землю  $N_g$  неизвестна, ее можно рассчитать по следующей формуле,  $1/(\text{км}^2 \cdot \text{год})$ :

$$N_g = 6,7 \cdot T_d / 100,$$

где  $T_d$  - средняя продолжительность гроз в часах, определенная по региональным картам интенсивности грозовой деятельности.

### Параметры первого импульса тока молнии

Параметр тока	Уровень защиты		
	I	II	III, IV
Максимум тока $I$ , кА	200	150	100
Длительность фронта $T_1$ , мкс	10	10	10
Время полуспада $T_2$ , мкс	350	350	350
Заряд в импульсе $Q_{\text{сум}}^*$ , Кл	100	75	50
Удельная энергия в импульсе $W/R^{**}$ , МДж/Ом	10	5,6	2,5

### Параметры последующего импульса тока молнии

Параметр тока	Уровень защиты		
	I	II	III, IV
Максимум тока $I$ , кА	50	37,5	25
Длительность фронта $T_1$ , мкс	0,25	0,25	0,25
Время полуспада $T_2$ , мкс	100	100	100
Средняя крутизна $a$ , кА/мкс	200	150	100

### Параметры длительного тока молнии в промежутке между импульсами

Параметр тока	Уровень защиты		
	I	II	III, IV
Заряд $Q_{\text{дл}}^*$ , Кл	200	150	100
Длительность $T$ , с	0,5	0,5	0,5

Средний ток приблизительно равен  $Q_{\text{дл}}/T$ .

Форма импульсов тока определяется следующим выражением:

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

где  $I$  - максимум тока;

$h$  - коэффициент, корректирующий значение максимума тока;

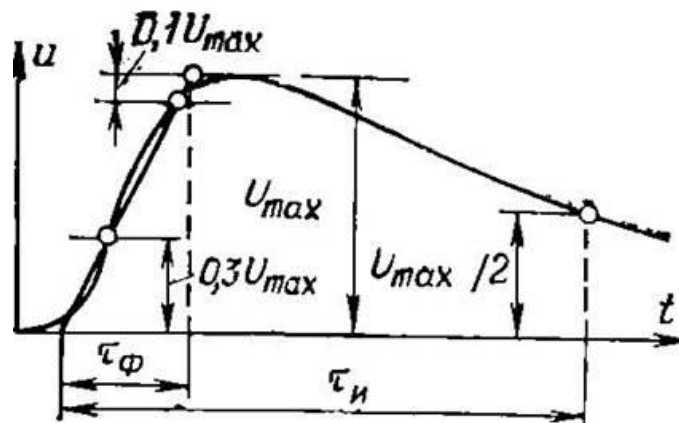
$t$  - время;

$\tau_1$  - постоянная времени для фронта;

$\tau_2$  - постоянная времени для спада.

Значения параметров для расчета формы импульса тока молнии

Параметр	Первый импульс			Последующий импульс		
	Уровень защиты			Уровень защиты		
	I	II	III, IV	I	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



## Импульсные помехи при ударах молнии

- ❖ полевые наводки на контрольных кабелях и воздействие импульсных магнитных полей на оборудование;
- ❖ термическое воздействие тока молнии на заземляющие проводники, оболочки и экраны кабелей;
- ❖ обратные перекрытия с земли на кабели.

Полевые наводки можно предварительно оценить по мощности излучения источника наводки.

$$P = \frac{(I \cdot l \cdot \omega)^2}{12\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot c^3}, \quad \omega \approx \frac{\pi}{2 \cdot \tau},$$

$$k = \frac{R_G + R_3 + j\omega L_3}{Z_l l + j\omega L_g},$$



# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ОБСТАНОВКИ И СОВМЕСТИМОСТИ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ И ПОДСТАНЦИЯХ СО 34.35.311-2004

## 2.3.2. Импульсные излучаемые помехи

2.3.2.1. При расчетах распределения потенциала на ЗУ принимают максимальное значение импульса тока  $I_m = 100$  кА, длительность фронта импульса  $t_{фр} = 10$  мкс, длительность импульса  $t_{и} = 300$  мкс; при расчетах наведенных напряжений в кабелях принимают  $I_m = 25$  кА,  $t_{фр} = 0,25$  мкс,  $t_{и} = 100$  мкс.

2.3.2.2. Для открытых РУ определяют напряжения, наводимые в кабелях вторичной коммутации при ударах молнии в молниеотводы, расположенные вблизи трасс прокладки кабелей.

2.3.2.3. Для зданий и сооружений определяют напряжения, наводимые в кабелях при протекании тока молнии по токоотводам молниеприемника здания. При расчетах учитывают коэффициент экранирования электромагнитного поля молнии экранированными кабелями, проложенными в кабельных каналах или коробах.

### **2.3.3. Импульсные помехи, связанные с увеличением потенциала заземлителя**

2.3.3.1. Для определения возможного обратного перекрытия изоляции кабелей вторичных цепей проводят измерения распределения потенциалов по земле при имитации удара молнии в молниеприемник с помощью генератора импульсных токов.

2.3.3.2. На РУ генератор импульсов тока подключают между заземлением молниеприемника и заземленным электродом на расстоянии не менее 50 м от молниеприемника.

2.3.3.3. Измеряют потенциалы на земле вблизи кабельных каналов и лотков относительно точки, удаленной на расстояние не менее 50 м в направлении, противоположном от точки заземления генератора.

2.3.3.4. При имитации удара молнии в здания и сооружения генератор импульсов тока подключают к молниеприемнику (стержень или сетка) наверху здания и к электроду в земле на расстоянии не менее 20 м от здания.

2.3.3.5. Осуществляют имитацию удара молнии в молниеприемник и измеряют потенциалы в здании относительно точки, удаленной от здания на расстояние не менее 20 м в направлении, противоположном от точки заземления генератора.

2.3.3.6. Измерения по пп. 2.3.3.1-2.3.3.4 проводят при двух и более различных импульсах тока с временем фронта импульсов тока, отличающихся более чем в 3 раза в диапазоне от 0,25 до 10 мкс.