

Молниезащита. Принцип действия и методика расчета

Молния — гигантский электрический искровой разряд в атмосфере, обычно может происходить во время грозы, проявляющийся яркой вспышкой света и сопровождающим её громом.



Сила тока в разряде молнии на Земле достигает 10-500 тысяч ампер, напряжение — от десятков миллионов до миллиарда вольт. Мощность разряда — от 1 до 1000 ГВт. Количество электричества, расходуемого молнией при разряде — от 10 до 50 кулон.



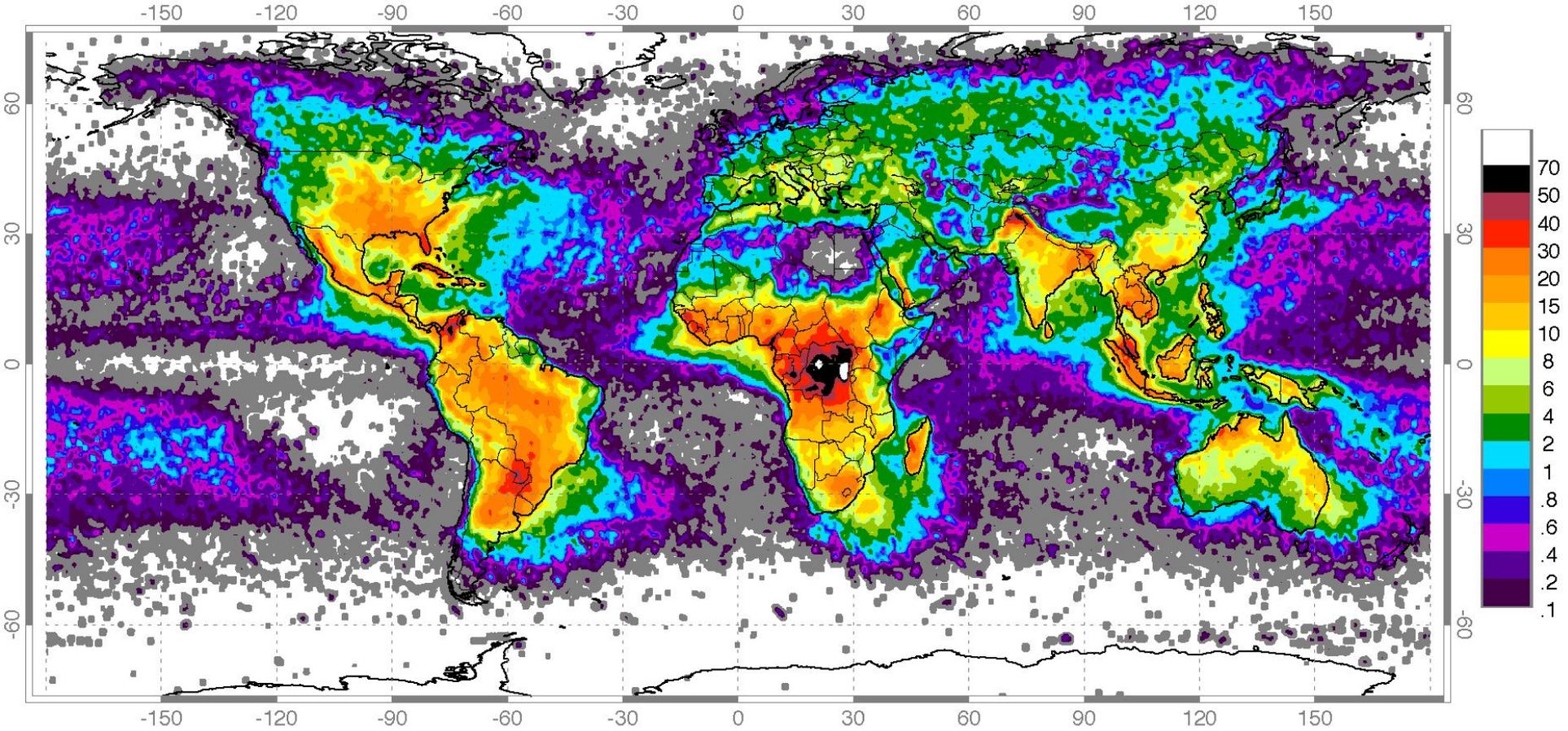




Time: Thu Jun 17 2010 01:37:03.837 560 S
Img#: -7822 AcqRes: 640 x 480 Rate: 9000 Exp: 110 μ s

Tom A. Warner

Гифка создана на troll-face.ru



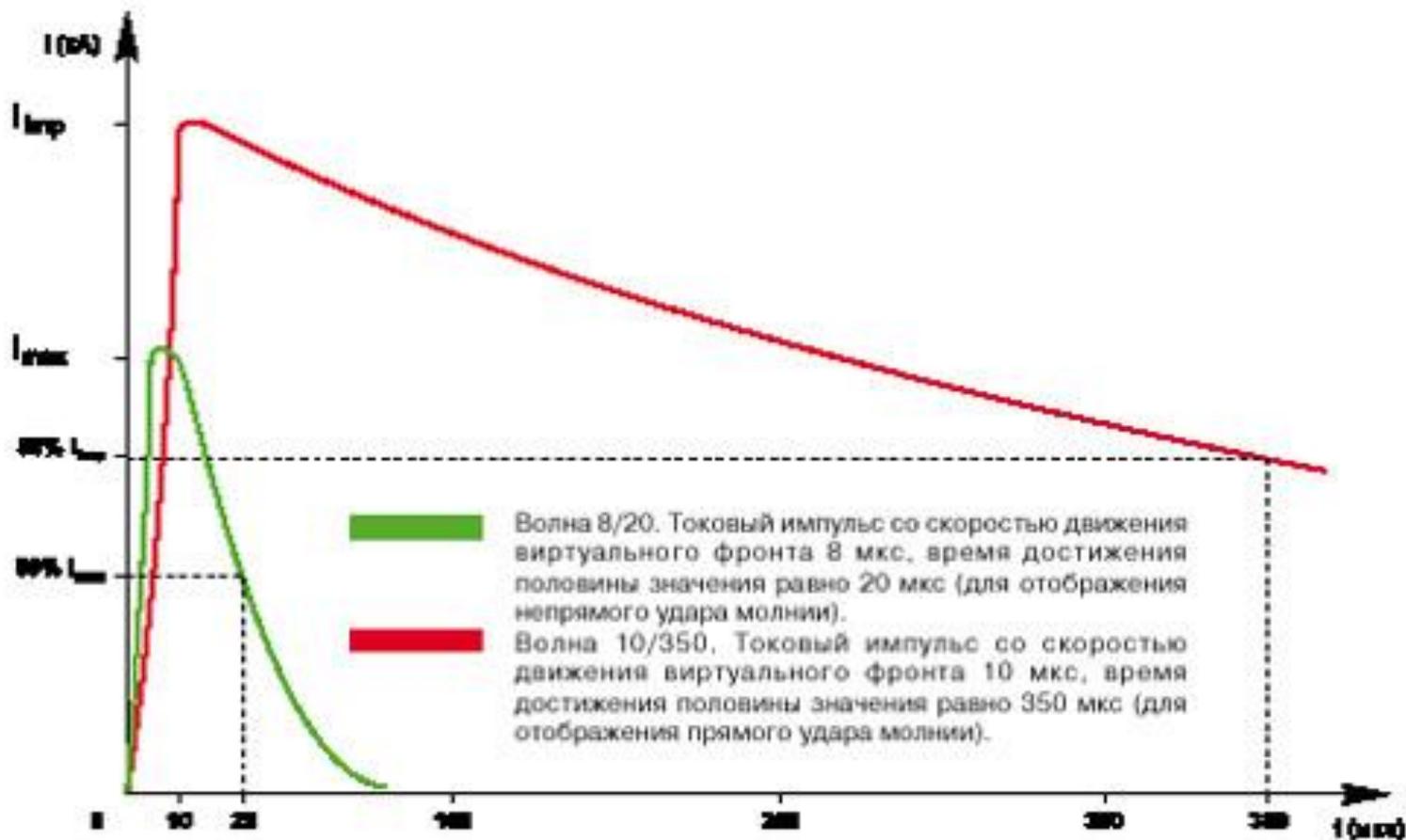
Глобальная частота ударов молний (шкала показывает число ударов в год на квадратный километр)

Основными параметрами устройства защиты от перенапряжений являются его способность замыкать большие токи на землю (т.е. рассеивать значительное количество энергии) и ограничивать напряжение на минимально возможном уровне.

Распространение форм волны 10/350 и 8/20.

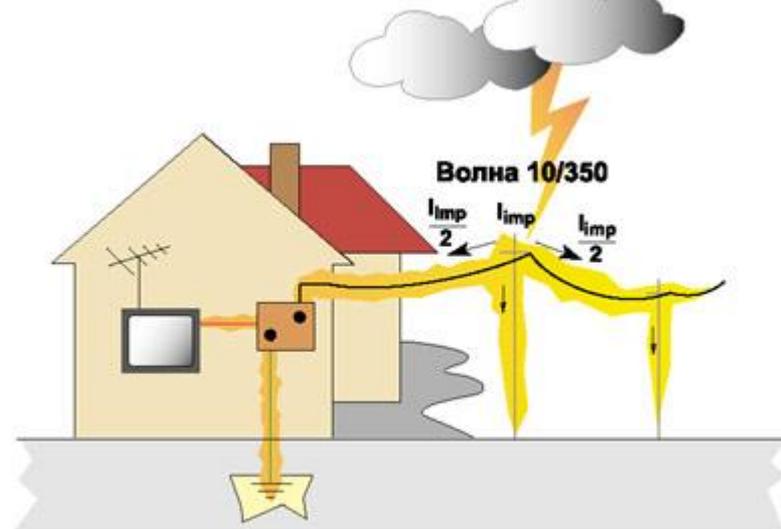
Для адекватного описания токов разряда молнии необходимо использовать два типа форм волны:

- **длинная волна** (10/350 мксек), которая соответствует прямому удару молнии, (тип 1)
- **короткая волна** (8/20 мксек), которая соответствует затухающему непрямоу удару молнии. (тип 2)

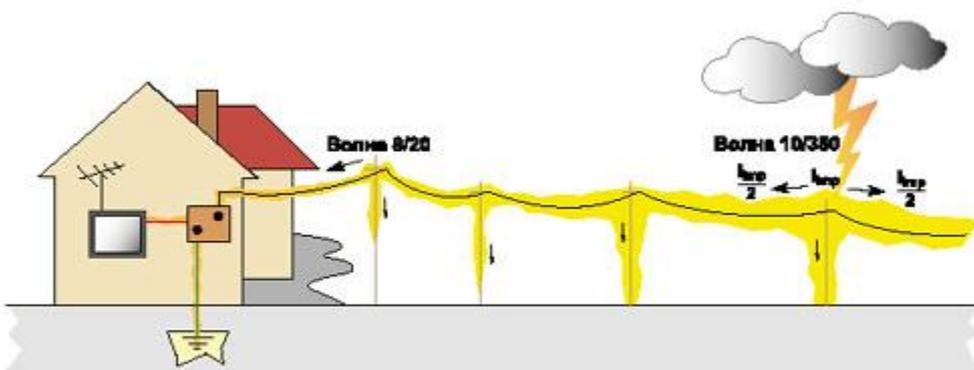




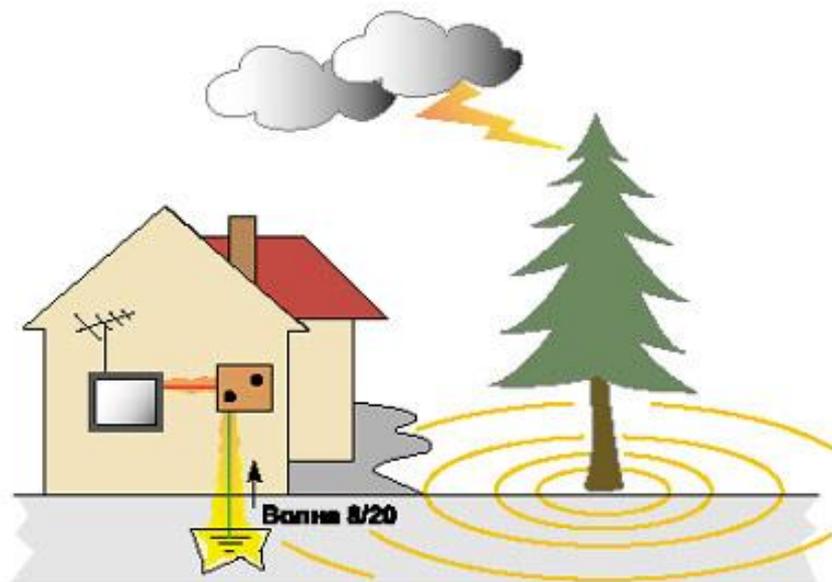
Прямой удар молнии в молниеотвод



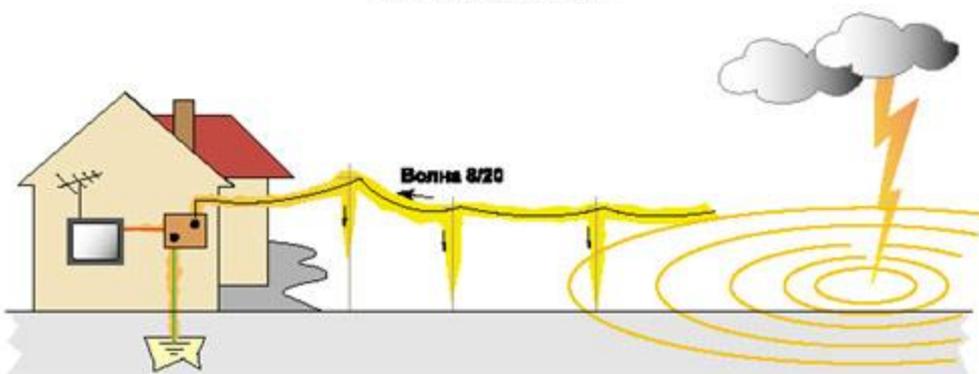
Близкий удар молнии в линию электропередачи



Удаленный удар молнии в линию



Непрямой удар молнии



Непрямой удар молнии

Параметры устройства защиты от импульсных перенапряжений

Уровень защитного напряжения U_p

Напряжение, сохраняющееся на устройстве защиты от перенапряжений во время замыкания импульса тока на землю. U_p не должно превышать напряжения, которое может быть выдержано оборудованием, включенным в линию после устройства защиты.

Номинальный ток разряда I_n

Максимальное значение тока, протекающего через устройство защиты от перенапряжений, имеющего форму волны 8/20. Устройства защиты от перенапряжения типа 1 (класс В) и типа 2 (класс С) должны выдерживать 15 разрядов при токе I_n в соответствии с IEC 61643, параграф 7.6.4.

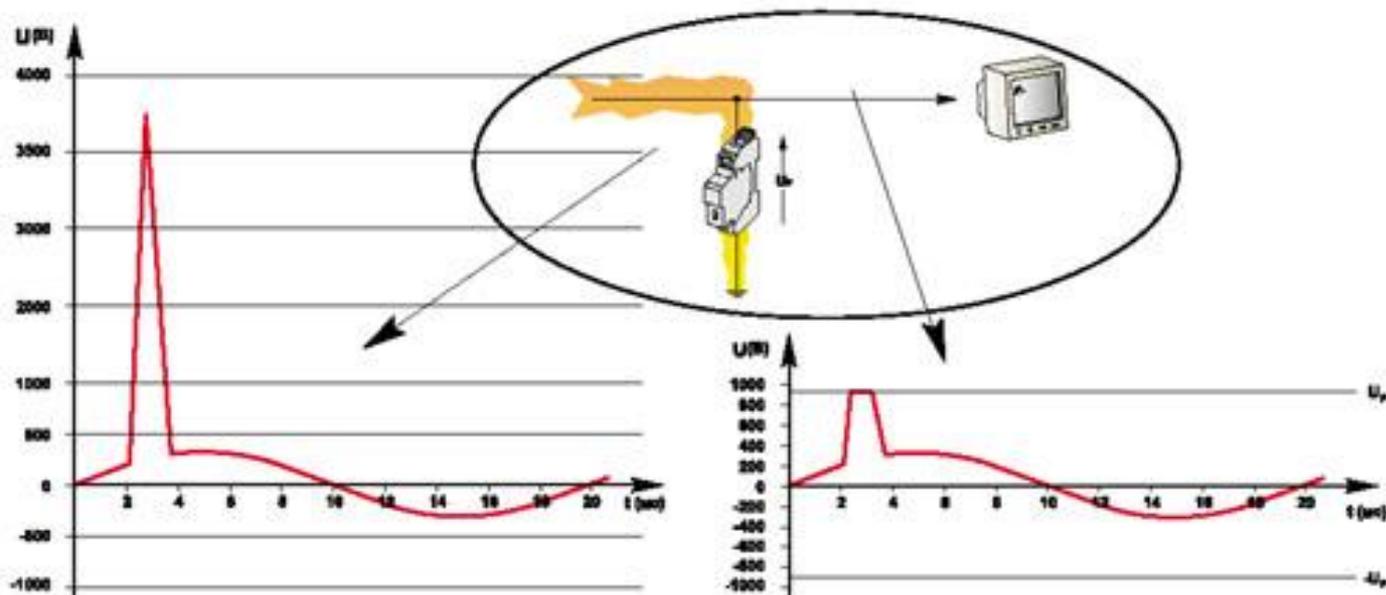


Максимальное рабочее напряжение U_c

Макс.среднеквадратичное напряжение или напряжение постоянного тока в линии, к которой защитное устройство постоянно подключено. Равно номинальному напряжению. Следует учитывать как номинальное напряжение в электросети U_n , так и его возможные отклонения.

Временное перенапряжение U_T

Максимальное среднеквадратичное значение перенапряжения или перенапряжение постоянного тока, которое должно выдерживать устройство защиты в течение заданного времени. При наличии перенапряжения и при аварии устройства защиты от перенапряжений не должно создаваться опасности для персонала, оборудования или вспомогательных устройств.



Стандарты в области молниезащиты

К ним относятся следующие стандарты:

- IЕС-61024-1 (1990-04): "Молниезащита строительных конструкций. Часть 1. Основные принципы".
- IЕС-61024-1-1 (1993-09): "Молниезащита строительных конструкций. Часть 1. Основные принципы. Руководство А: Выбор уровней защиты для молниезащитных систем".
- IЕС-61312-1 (1995-05): "Защита от электромагнитного импульса молнии. Часть 1. Основные принципы".

В России на сегодняшний день взамен РД 34.21.122-87 "Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений" утверждена и внесена в реестр действующих в электроэнергетике документов "Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций" СО-153-34.21.122-2003 (утверждена приказом Минэнерго России от 30.06.2004 г. №280).

Мероприятия по грозозащите воздушных линий электропередачи

Надежность грозозащиты ВЛ обеспечивается:

- подвеской грозозащитных тросов с углами защиты $20\text{--}30^\circ$;
- снижением импульсного сопротивления заземления опор;
- повышением импульсной прочности изоляции линий и снижением вероятности установления силовой дуги (в частности, использованием деревянных траверс и опор);
- применением изолированной нейтрали или дугогасящей катушки;
- использованием АПВ линий.

Применение грозозащитных тросов на линиях 6–500 кВ не требуется:

- для всех ВЛ напряжением до 35 кВ;
- для линий 110 кВ на деревянных опорах;
- в районах с числом грозовых часов в году менее 20;
- на отдельных участках ВЛ с удельным сопротивлением грунтов более $10^3 \text{ Ом}\cdot\text{м}$;
- на участках трассы с расчетной толщиной стенки гололеда более 20 мм.

Мероприятия по грозозащите подстанций

Открытые распределительные устройства и открытые подстанции 20–500 кВ должны быть защищены от прямых ударов молнии (ПУМ). Допускается не защищать:

- подстанции 20 и 35 кВ с трансформаторами единичной мощностью 1,6 МВА и менее независимо от числа грозовых часов в году;
- ОРУ и подстанции 20 и 35 кВ в районах с числом грозовых часов в году не более 20;
- ОРУ и подстанции 220 кВ и ниже на площадках с эквивалентным удельным сопротивлением земли r в грозовой сезон более $2 \times 10^3 \text{ Ом} \times \text{м}$ при числе грозовых часов в году не более 20.

Здания ЗРУ и закрытых подстанций следует защищать от прямых ударов молнии в районах с числом грозовых часов более 20.

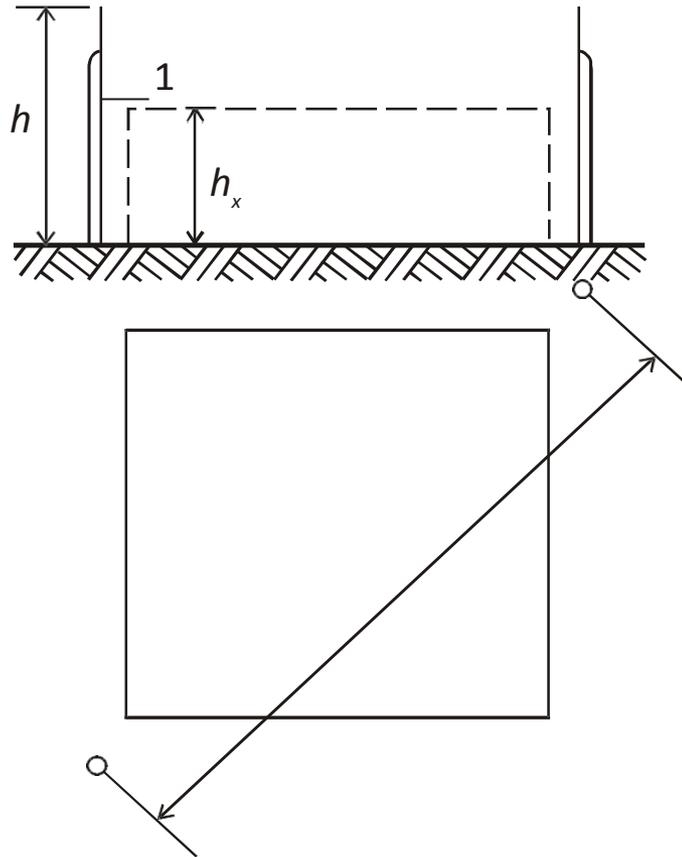
Защита объектов от прямых ударов молнии

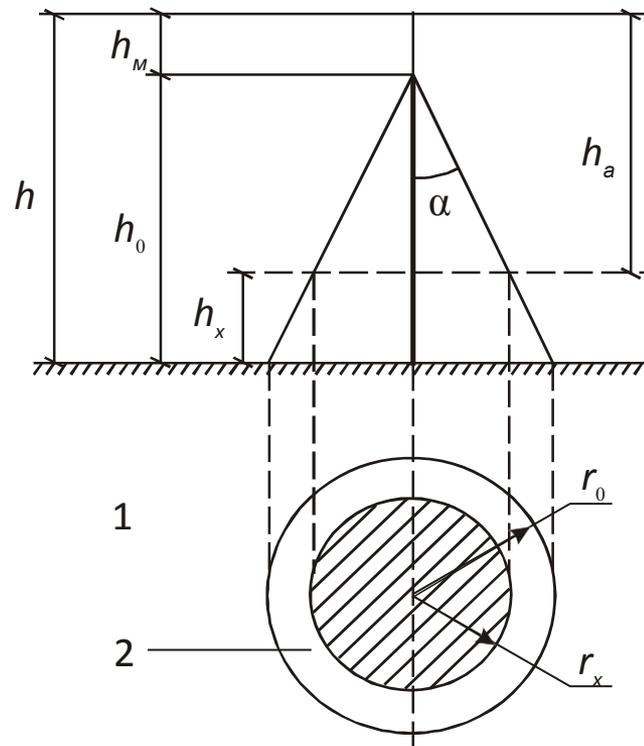
Защищаемые объекты	Защитные мероприятия
Открытые распределительные устройства, в том числе гибкие мосты и шинные связи	Стержневые молниеотводы
Здания машинного зала при числе грозочасов в году более 20	<ol style="list-style-type: none"> 1. Заземление металлических или железобетонных конструкций кровли или металлической кровли. 2. Стержневые молниеотводы или молниеприемные сетки на крыше зданий при невозможности выполнения п.1
<p>Дымовые трубы:</p> <p>металлические кирпичные, бетонные и железобетонные</p>	<p>Заземление</p> <p>Стальной молниеотвод и заземляющий спуск, присоединенный к заземлителю</p>
Здания трансформаторной башни, маслохозяйства, нефтехозяйства, электролизной и ацетилено-генераторной станции	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отдельно стоящий стержневой или тросовый молниеотвод 2. Импульсное сопротивление каждого заземлителя не более 10 Ом при $\rho < 500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и не более 40 Ом при $\rho \geq 500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ <p>Заземление металлических корпусов</p>
Угледробилки, вагоноопрокидыватели, резервуары с горючими жидкостями или газами, места хранения баллонов с водородом	<ol style="list-style-type: none"> 1. Молниеотвод, установленный отдельно или на самом сооружении при толщине крыши менее 4 мм. 2. Заземление корпуса установки при:

Высоту отдельно стоящих молниеотводов выбирают из условия:

$$L \leq 8(h - h_x) ,$$

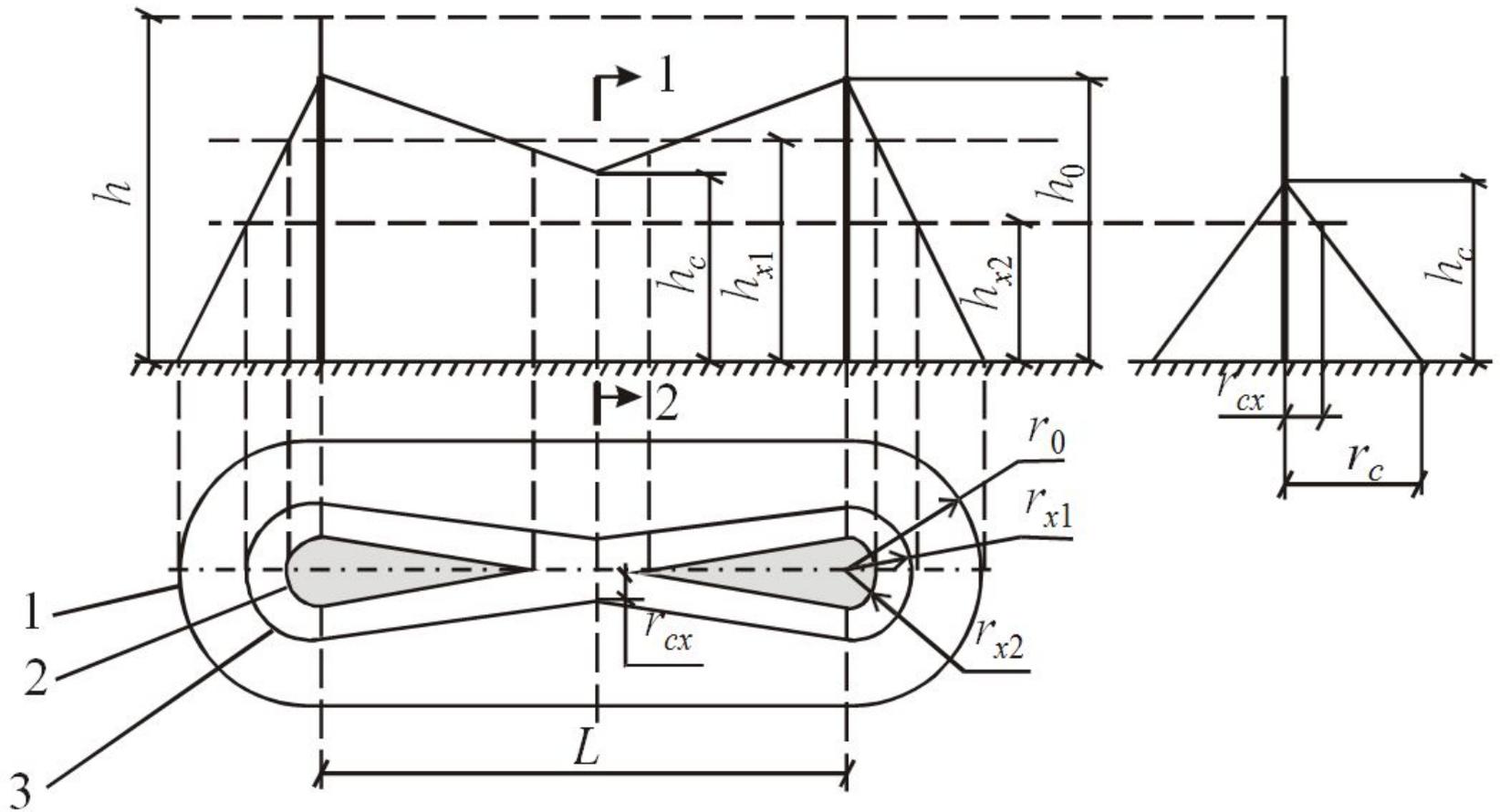
где h – высота молниеотвода, h_x – габарит подстанции ($h_x = 7$ м для 35 кВ и $h_x = 11$ м для 110 кВ). Протяженные объекты защищаются тросовыми молниеотводами.





Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 150 м:
 1 – граница зоны защиты на уровне земли; 2 – то же на уровне h_x .

Зона А: степень надежности защиты $\geq 99,5\%$	Зона Б: степень надежности защиты 95–99,5%
Одиночные стержневые: $h = (r_x + 1,63 \cdot h_x) / 1,5$	
$h_0 = 0,85 \cdot h$	$h_0 = 0,92 \cdot h$
$r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot h) \cdot h$	$r_0 = 1,5 \cdot h$
$r_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot h)(h - 1,2 \cdot h_x)$	$r_x = 1,5 \cdot (h - 1,1 \cdot h_x)$



Зона защиты двойного стержневого молниеотвода высотой до 150 м:

1 – граница зоны защиты на уровне земли; 2 – то же на уровне h_{x1} ; 3 – то же на уровне h_{x2} .

Зона А: степень надежности защиты
 $\geq 99,5\%$

Зона Б: степень надежности защиты
95–99,5%

Двойные стержневые одинаковой высоты: $h = (h_c + 0,14 \cdot L)/1,13$

При $L < h$

$$h_c = h_0$$

$$r_{cx} = r_x$$

$$r_c = r_0$$

При $h < L \leq 2 \cdot h$

$$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} h) \cdot (L - h)$$

$$r_c = r_0$$

$$r_{cx} = r_0 \cdot (h_c - h_x)/h_c$$

При $h < L \leq 6 \cdot h$

$$h_c = h_0 - 0,14 \cdot (L - h)$$

$$r_c = r_0$$

$$r_{cx} = r_0 \cdot (h_c - h_x)/h_c$$

При $2 \cdot h < L \leq 4 \cdot h$

$$h_c = h_0 - (0,17 + 3 \cdot 10^{-4} h) \cdot (L - h)$$

$$r_c = r_0 \cdot [1 - 0,2 \cdot (L - 2 \cdot h)/h]$$

$$r_{cx} = r_c \cdot (h_c - h_x)/h_c$$

При $L > 4 \cdot h$

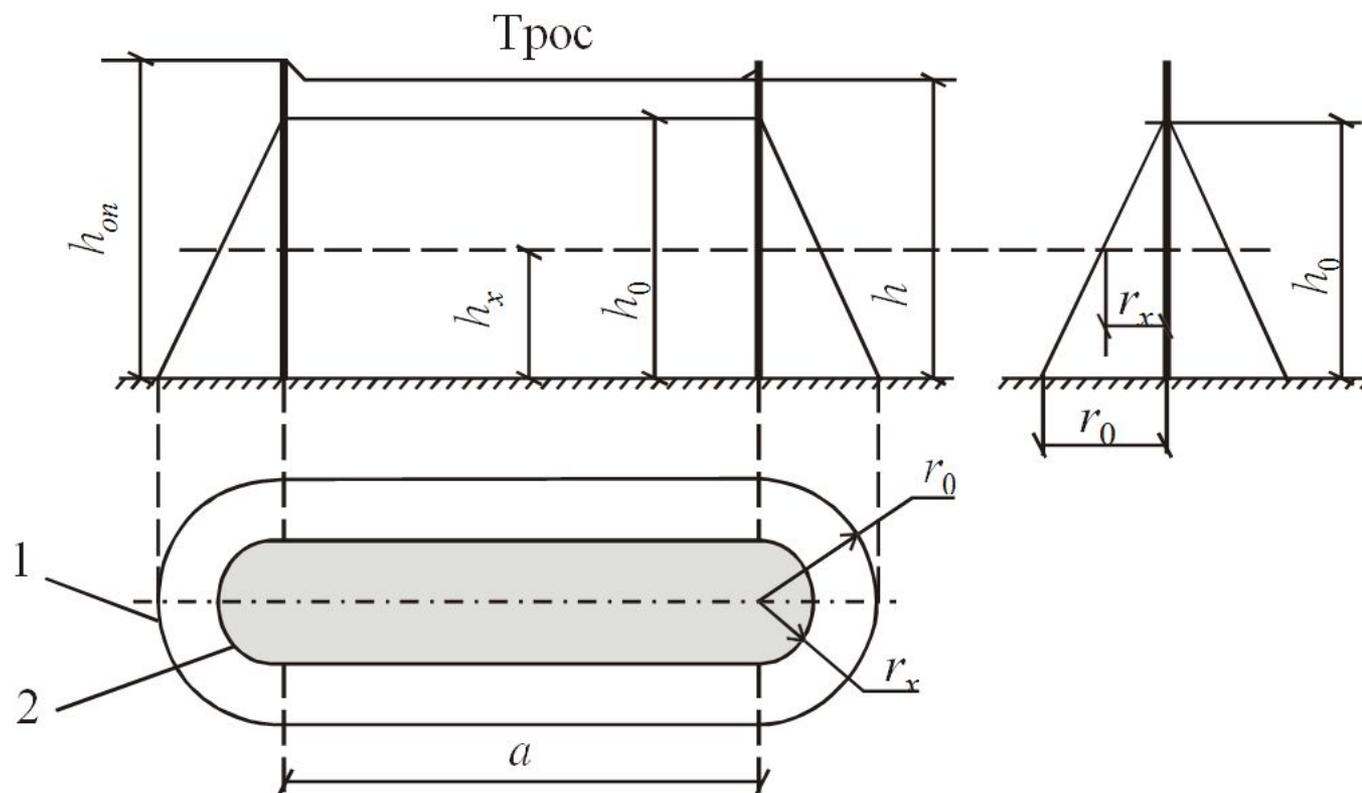
Молниеотводы рассматривать как
одионочные

При $L > 6 \cdot h$

Молниеотводы рассматривать как
одионочные

Зона защиты одиночного тросового молниеотвода:

1 – грани



Зона А: степень надежности защиты $\geq 99,5\%$	Зона Б: степень надежности защиты 95–99,5%
---	--

Одиночные тросовые: $h = (r_x + 1,85 \cdot h_x) / 1,7$

$h_0 = 0,85 \cdot h$	$h_0 = 0,92 \cdot h$
----------------------	----------------------

$r_0 = (1,35 - 25 \cdot 10^{-4} h) \cdot h$	$r_0 = 1,7 \cdot h$
---	---------------------

$r_x = (1,35 - 25 \cdot 10^{-4} \cdot h) \cdot (h - 1,2 \cdot h_x)$	$r_x = 1,7 \cdot (h - 1,1 \cdot h_x)$
---	---------------------------------------

1. Параметрами молниезащиты являются (все размеры – в метрах):

h – полная высота молниеотвода;

h_0 – высота вершины конуса стержневого молниеотвода;

h_m – высота стержневого молниеприемника;

h_a – активная высота молниеотвода;

h_x – высота защищаемого сооружения;

r_0, r_x – радиусы защиты на уровне земли и на высоте защищаемого сооружения;

h_c – высота средней части двойного стержневого молниеотвода;

$2r_c, 2r_x$ – ширина средней части зоны двойного стержневого молниеотвода на уровне

земли и на высоте защищаемого объекта;

α – угол защиты (между вертикалью и образующей), град;

L – расстояние между двумя стержневыми молниеотводами;

a – длина пролета между опорами троса;

h_{on} – высота опоры троса;

$r_x + r_x'$ – ширина зоны тросового молниеотвода на уровне защищаемого сооружения;

$a + 2r_{cx}$ – длина зоны двойного тросового молниеотвода на уровне защищаемого

сооружения;

$a + 2r_c$ – длина зоны двойного тросового молниеотвода на уровне земли.

- Для одиночного тросового молниеотвода h – высота троса в середине пролета. С учетом провеса троса сечением 35–50 мм² при известной высоте опор h_{on} и длине пролета a высота троса (в метрах) определяется:

$$h = h_{on} - 2 \quad \text{при } a \leq 120 \text{ м,}$$

$$h = h_{on} - 3 \quad \text{при } 120 < a \leq 150 \text{ м.}$$

Определение надежности защиты подстанций от прямых ударов молнии

Молниезащита отсутствует. Число ударов молнии в подстанцию в год может быть определено по формуле :

$$N_1 = 0,06 \cdot n \cdot (B + 10 \cdot h_x)(A + 10 \cdot h_x) \cdot 10^{-6}$$

где h_x – наибольшая высота сооружения на подстанции, м;

A и B – длина и ширина объекта, м (если объект имеет сложную конфигурацию, то A и B – это стороны прямоугольника, в который вписывается на плане защищаемый объект);

n – число грозových часов в год.

Считая (с некоторым запасом), что все удары молнии поражают токоведущие части подстанции, получаем вероятное число отключений в год от прямых ударов молнии:

$$g_1 = N_1 \cdot \gamma_i \cdot \gamma_g,$$

где $\gamma_i = 0,68$ – вероятность перекрытия изоляции при прямом ударе молнии,

$\gamma_g = 0,70$ – вероятность перехода импульсного перекрытия в силовую дугу/

Вероятное число лет работы подстанции без отключений от ПУМ составляет:

$$m_1 = 1 / g_1$$

Подстанция защищена молниеотводами. Число ударов молнии в подстанцию в год N_2 определяется по выражению:

$$N_2 = 0,06 \cdot n \cdot (B + 10 \cdot h_x)(A + 10 \cdot h_x) \cdot 10^{-6}$$

в котором h_x принимается равным высоте молниеотвода h , при этом число отключений подстанции в год составит:

$$g_2 = N_2 \cdot \gamma_n \cdot \gamma_i \cdot \gamma_g,$$

где $\gamma_n = 10^{-3}$ – вероятность прорыва молнии сквозь зону защиты молниеотводов.

Вероятное число лет работы подстанции без отключений от ПУМ:

$$m_2 = 1 / g_2$$