

**РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ
ПО РАСЧЕТУ ЗОН ЗАЩИТЫ
СТЕРЖНЕВЫХ И ТРОСОВЫХ
МОЛНИЕОТВОДОВ**



МОСКВА 1974

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

**РУКОВОДЯЩИЕ УКАЗАНИЯ
ПО РАСЧЕТУ ЗОН ЗАЩИТЫ
СТЕРЖНЕВЫХ И ТРОСОВЫХ
МОЛНИЕОТВОДОВ**

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ЦЕНТР НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
МОСКВА**

1974

УДК 621.81

Составлено ВЭИ, ГНИЭИ, Энергосетьпроектом

Авторы кандидаты техн. наук **А.А.АКОПЯН**, Э.М.БАЗЕЛЯН,
Б.Н.ГОРИН и инженер **А.С.БЕЛЯЕВ**

УТВЕРДДАЮ:

Заместитель начальника
Главтехуправления

Ф.СИНЬЧУТОВ

4 октября 1972 г.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Защитное действие молниеотводов основано на свойстве молнии с большой вероятностью поражать более высокие и хорошо заземленные металлические предметы по сравнению с рядом стоящими менее высокими. Молниеотвод, принимающий на себя разряд молнии, представляет собой возвышающееся над защищаемым сооружением металлическое устройство, состоящее из молниеприемника, токоотвода и заземлителя. Для защиты электротехнических установок от прямых разрядов молнии рекомендуется применять стержневые и тросовые молниеотводы. Стержневые молниеотводы выполняются в виде вертикальных металлических конструкций, установленных самостоятельно или на каких-либо сооружениях (например порталах, дымовых трубах), а тросовые - в виде горизонтально подвешенных проводов (тросов).

Степень защищенности сооружения молниеотводом определяется вероятностью прорыва молнии к защищаемому сооружению минуя молниеотвод. Вероятность прорыва молнии равна отношению числа разрядов молнии в защищаемое сооружение к общему числу разрядов молнии в молниеотвод и защищаемое сооружение.

Расчет молниезащиты ведется по зонам защиты. Вероятность прорыва молнии к любому объекту, расположенному внутри зоны защиты, не должна превышать допускаемой величины.

Очертания и размеры зоны защиты определяются числом, высотой и взаимным расположением молниеотводов и зависят от допускаемой вероятности прорыва молнии. Зона защиты тем меньше, чем меньшую вероятность прорыва молнии требуется обеспечить. Построение между молниеотводами в защите более надежно, чем с внешней стороны молниеотводов. Защитное действие молниеотводов снижается с увеличением высоты защищаемого объекта.

Зоны защиты стержневых молниеотводов высотой до 60 м проверены многолетним опытом эксплуатации и обеспечивают достаточ-

ную надежность. Зоны защиты стержневых молниеотводов высотой более 60 м по методике настоящих Руководящих указаний определяются с расчетной вероятностью прорыва молнии в объект не более 10^{-2} , а тросовых молниеотводов - не более 10^{-2} и 10^{-3} . Указанная расчетная вероятность прорыва молнии установлена на основе лабораторных испытаний на модели, опыта эксплуатации и сведений о развитии разрядов молнии.

ЗОНЫ ЗАЩИТЫ СТЕРЖНЕВЫХ МОЛНИЕОТВОДОВ

I. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 60 м имеет форму, показанную на рис. I, размеры зоны определяются соотношением

$$\frac{r_x}{h_a} = \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h}} \rho, \quad (1)$$

где r_x - радиус зоны на высоте h_x ;

h_a - превышение молниеотвода над уровнем высоты h_x .

$\rho = 1$ при $h \leq 30$ м; $\rho = \frac{5,5}{\sqrt{h}}$ при $h > 30$ м.

Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h от 60 до 250 м усечена на расстоянии Δh от верхним (рис. 2) и определяется соотношениями

$$\left. \begin{array}{l} \frac{r_x}{h_a} = \frac{1,6}{1 + \frac{h_x}{h}} \cdot \rho \quad \text{при } h_a \geq \Delta h \\ r_x = 0 \quad \text{при } h_a < \Delta h \end{array} \right\} \quad (2)$$

$$\Delta h = 0,5 (h - 60) \text{ при } 60 < h \leq 100 \text{ м}; \quad (3)$$

$$\Delta h = 0,2 \cdot h \quad \text{при } 100 < h \leq 250 \text{ м}. \quad (4)$$

На рис. 3 показаны графики для определения размеров зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 30 м, рассчитанные по формуле (1), а на рис. 4 и 5 - nomogrammi для стержневого молниеотвода высотой до 30 и 100 м соответственно. Через точки заданных значений на икаках h_x и r_x проводится прямая линия, пересечение которой со икакой $Z = h_x/h$ определяет соответствующее значение отношения h_x/h , а следовательно искомую высоту молниеотвода. Если $h_x = 0$, высота молниеотвода

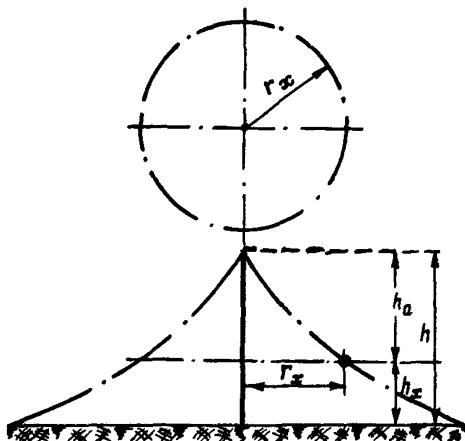


Рис.1. Зона защиты одиночного стержневого молниеводо-
вода высотой до 60 м:
 h - высота молниеводо-вода; h_x - высота точки на
границе защищаемой зоны; $h_a = h - h_x$ - активная
высота молниеводо-вода

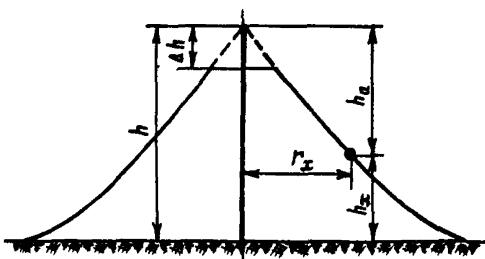


Рис.2. Зона защиты одиночного стержневого
молниеводо-вода высотой более 60 м:
 $\Delta h = 0,5 (h - 60)$ при $60 < h \leq 100$ м; $\Delta h = 0,2 \cdot h$
при $h > 100$ м

определяется по икаке h_x точкой пересечения с прямой, проведен-
ной через точку C на икаке Z и через точку с заданным значением
на икаке r_x .

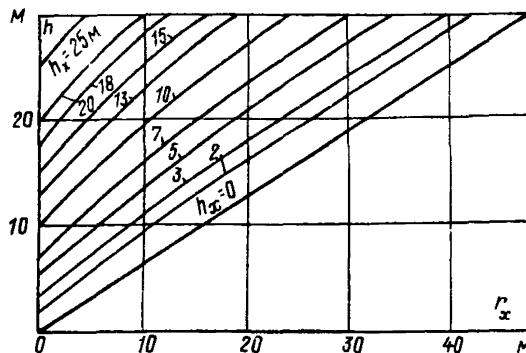


Рис.3. Зависимость высоты одиночного стержневого молниепровода высотой до 30 м от радиуса защиты на различных уровнях h_x

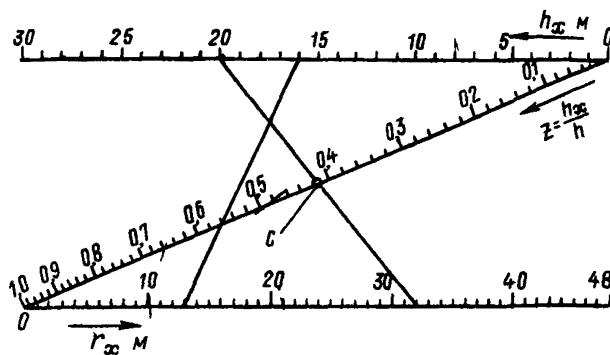


Рис.4. Номограмма для расчета зоны защиты одиночного стержневого молниепровода высотой до 30 м

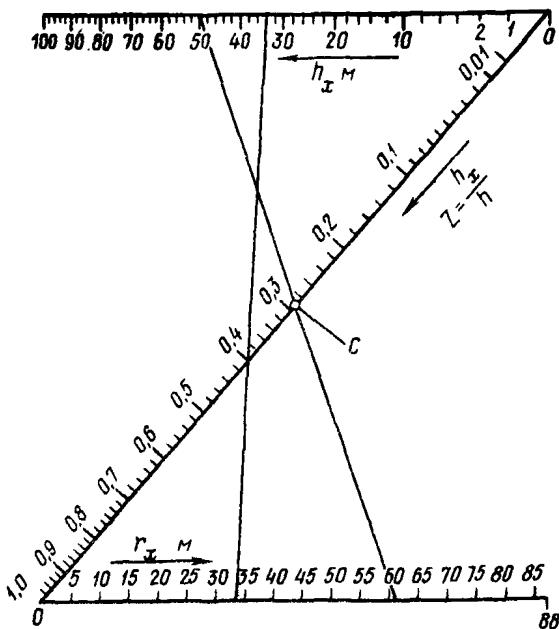


Рис.5. Номограмма для расчета зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 100 м

Для защищаемых объектов высотой 60-100 м высота молниеотвода h , определенная по номограмме рис.5, сравнивается с критической высотой h_{kp} , определяющей границу усечения зоны защиты,

$$h_{kp} = 2h_x - 60. \quad (5)$$

Вследствие усечения зоны защиты при h меньше h_{kp} высота молниеотвода выбирается равной критической.

При высоте молниеотводов $h > 100$ м построение зоны защиты производится непосредственно по формулам (2), (3) и (4).

2. Очертания зоны защиты двух стержневых молниеотводов (двойной молниеотвод) показаны на рис.6 для $h \leq 60$ м и рис.7 для $60 \leq h \leq 250$ м. Для каждого из молниеотводов высотой более 60 м зона защиты усекается на расстоянии Δh от вершины, как и для одиночного молниеотвода.

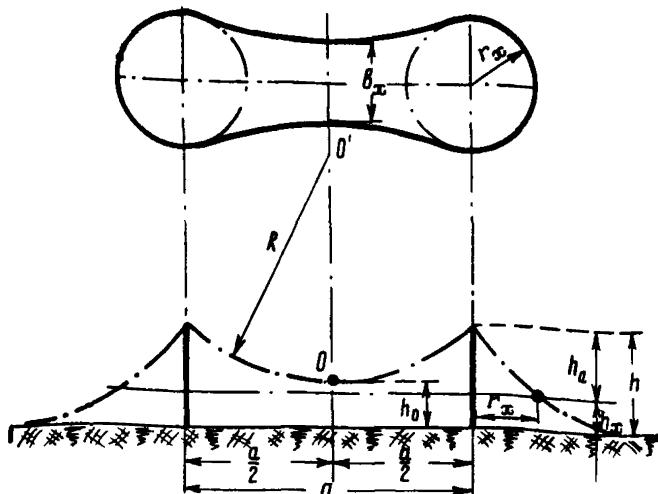


Рис.6. Зона защиты двух равновысоких стержневых молниеприемников высотой до 60 м:

a - расстояние между молниеприемниками; b_x - наименьшая ширина зоны защиты на уровне h_x ; r_x - радиус зоны защиты одиночного молниеприемника; R - радиус окружности, проходящей через вершины молниеприемников и точку O , находящуюся на уровне h_0

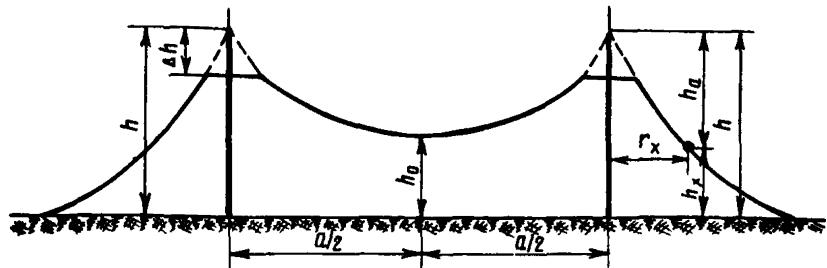


Рис.7. Зона защиты двух стержневых молниеприемников высотой более 60 м:

$\Delta h = 0,5$ ($h = 60$) при $60 < h \leq 100$ м; $\Delta h = 0,2h$ при $h > 100$ м

Построение внешней зоны молниеприемников производится анало-
гично построению зоны одиночного молниеприемника по формулам (I)

или (2) в зависимости от высоты. Наименьшая ширина зоны защиты b_x между молниеотводами на уровне h_x определяется по кривым рис.8 и 9. Для молниеотводов высотой от 30 до 250 м значение обеих координат необходимо умножить на коэффициент $\rho = \frac{5,9}{\sqrt{h}}$.

Наименьшая высота зоны защиты h_o для молниеотводов высотой до 30 м равна

$$h_o = h - \frac{a}{7}; \quad (6)$$

для молниеотводов от 30 до 250 м

$$h_o = h - \frac{a}{7 \cdot \rho}, \quad (7)$$

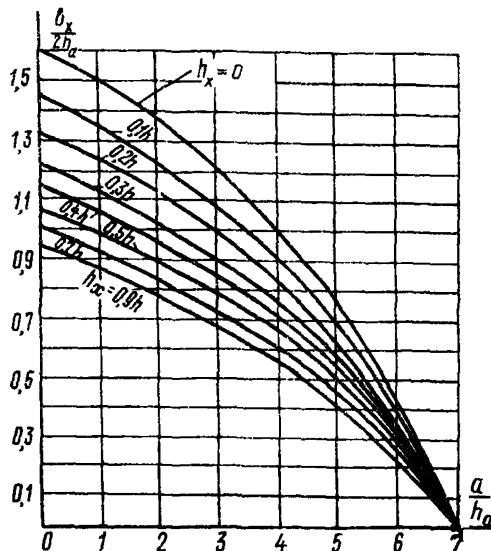


Рис.8. Значения наименьшей ширины зоны защиты b_x двух стержневых молниеотводов высотой $h \leq 30$ м для $\frac{a}{h_a} = 0,7$

но не больше h_{kp} , определяемой по формуле (5), если $h \geq 60$ м.

3. Зона защиты трех и более молниеотводов значительно превышает сумму зон защиты одиночных молниеотводов.

Построение горизонтальных сечений зоны защиты на уровне h_x показано на рис.10-12 на примере трех и четырех стержневых

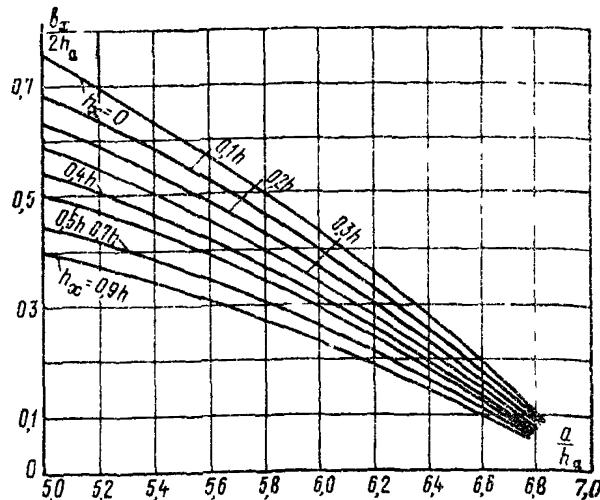


Рис.9. Значение наименьшей ширины зоны защиты b_x двух стержневых молниевыводов для $\frac{a}{h_a} = 5+7$

молниевыводов. Размеры $b_x/2$ определяются по кривым рис.8 и 9 в зависимости от a/h_a и высоты молниевыводов. Радиус защиты r_x определяется так же, как и для одиночного молниевыводов. При произвольном расположении нескольких молниевыводов их зоны защиты может быть определена суммированием зон любых трех соседних молниевыводов (рис.12).

Часть зоны защиты трех и более молниевыводов высотой выше 60 м, расположенная вне окружностей, проходящих через центры соседних трех молниевыводов, усекается на расстоянии Δh от вершины. Часть зоны, расположенная внутри окружностей, не усекается. Величина Δh определяется по формулам (3) и (4).

Необходимым условием защищенности всей площади на уровне h_x является:

для молниевыводов высотой $h \leq 30$ м: $D \leq 8 \cdot h_a$;

для молниевыводов высотой $30 < h \leq 250$ м: $D \leq 8 \cdot h_a \cdot p$,

где D - диаметр окружности, проведенной через три смежных молниевывода.

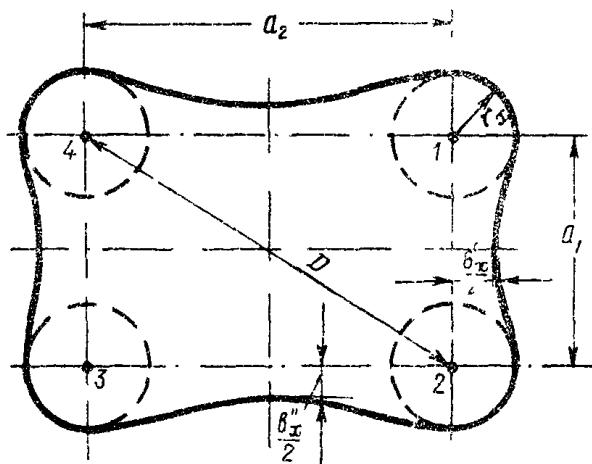


Рис.10. Зона защиты четырех стержневых молниеотводов одинаковой высоты; горизонтальное сечение зоны защиты на уровне h_x
1, 2, 3, 4 - молниеотводы

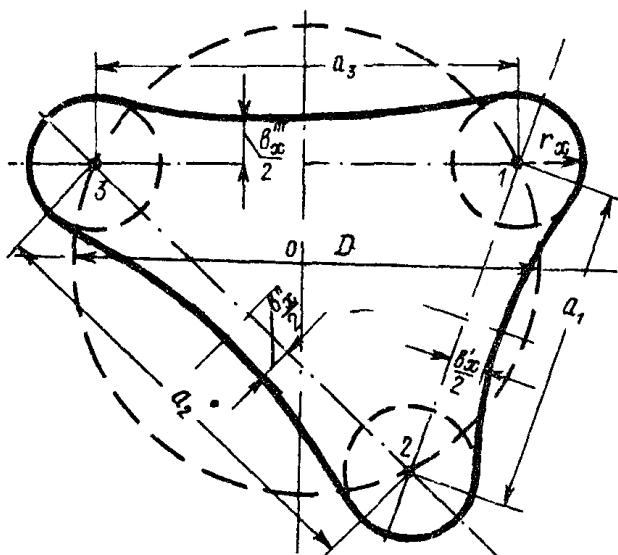


Рис.11. Зона защиты трех стержневых молниеотводов одинаковой высоты горизонтальное сечение зоны защиты на уровне h_x
1, 2, 3 - молниеотводы

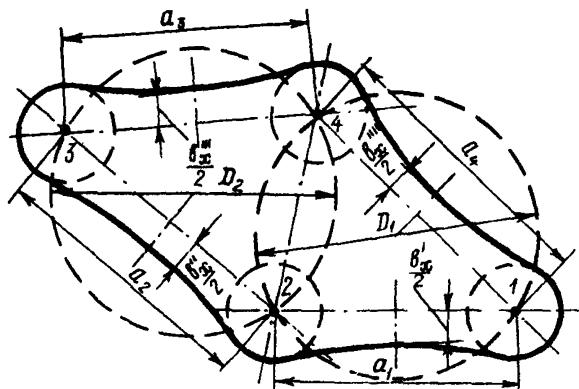


Рис.12. Зона защиты четырех стержневых произвольно расположенных молниеводов одинаковой высоты; горизонтальное сечение зоны защиты на уровне h_x
1,2,3,4 - молниеводы

ЗОНЫ ЗАЩИТЫ ТРОСОВЫХ МОЛНИЕВОДОВ

Зона защиты одиночного тросового молниеводва (горизонтально подвешенного троса) имеет форму, показанную на рис.13 для молниеводов высотой до 30 м и на рис.14 для молниеводов высотой от 30 до 250 м. Зона защиты на уровне h_x ограничивается двумя параллельными молниеводами, расположенными на расстоянии r_x от вертикальной плоскости, проходящей через тросовый молниевод. Это расстояние r_x , условно называемое по аналогии с одиночным стержневым молниеводом радиусом защиты, определяется по формулам:

для одиночного тросового молниеводва высотой $h < 30$ м

$$\frac{r_x}{h_a} = \frac{K_1}{1 + \frac{h_x}{h}} ; \quad (8)$$

для одиночного тросового молниеводва высотой h от 30 до 250 м

$$\frac{r_x}{h_a} = \frac{K_1}{1 + \frac{h_x}{h}} \rho, \quad (9)$$

где $\rho = \frac{5.5}{\sqrt{h}}$.

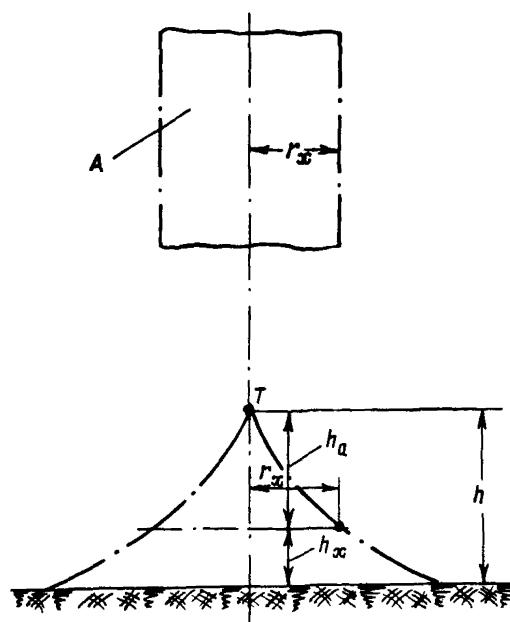


Рис.13. Зона защиты одиночного тросового мони-
ниесотвода высотой до 30 м:

А - горизонтальное сечение зоны защиты на
уровне h_x ; *T* - трос

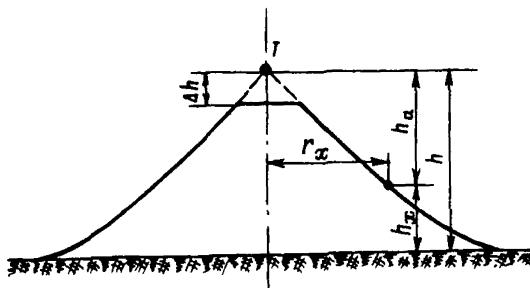


Рис.14. Зона защиты одиночного тросового
мониесотвода высотой более 30 м

Зона защиты тросового молниеввода высотой $30 < h < 250$ м
уменьшается сверху на величину

$$\Delta h = 0,29 (h - 30) \cdot K_2 \quad \text{при } 30 < h < 100 \text{ м}; \quad (10)$$
$$\Delta h = 0,2h \cdot K_2 \quad \text{при } 100 < h < 250 \text{ м}$$

Величины K_1 и K_2 зависят от допускаемой вероятности прорыва молнии в зону защиты. Для защиты с вероятностью прорыва молнии не более 10^{-2} $K_1 = 1,2$; $K_2 = 1$, а с вероятностью прорыва не более 10^{-3} $K_1 = 0,6$; $K_2 = 1,3$.

На рис.15 и 16 даны номограммы для зоны защиты тросового молниеввода при $K_1 = 1,2$ (вероятность прорыва молнии не более 10^{-2}).

По номограмме рис.15 определяется зона защиты тросового молниеввода высотой до 30 м.

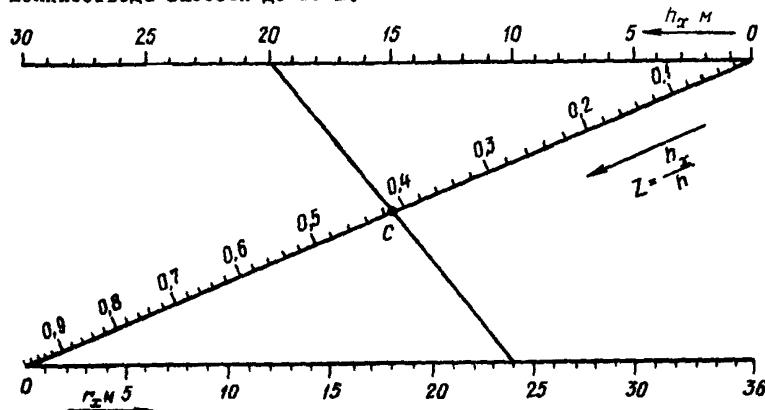


Рис.15. Номограмма для расчета зоны защиты одиночного тросового молниеввода высотой до 30 м

По номограмме рис.16 определяется зона защиты троса высотой от 30 до 100 м. При большей высоте построение зоны защиты проводится согласно формулам (9) и (10).

Высота молниеввода h , определенная по номограмме (рис.16), сравнивается с критической высотой

$$h_{kp} = \frac{h_x - 8,7K_2}{(1 - 0,29K_2)},$$

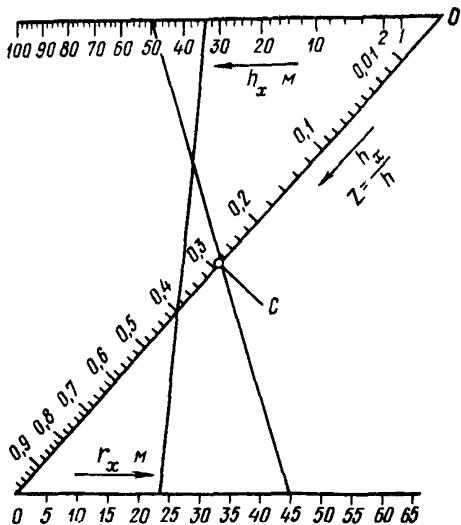


Рис.16. Номограмма для расчета зоны защиты одиночного тросового молниесотвода высотой от 30 до 100 м

при $h < h_{kp}$ высота молниесотвода выбирается равной h_{kp} .

Методика выбора тросовой защиты исходит из зависимости вероятности прорыва молнии от угла защиты троса (α) и высоты опор ВЛ. Соответствие между изложенной здесь и в разделе гровозащиты ВЛ методикой устанавливается соотношением $\operatorname{tg} \alpha = r_x / h_x$.

4. Построение зоны защиты двух параллельных тросовых молниесотводов представлено на рис.17 и 18. Внешние области зоны защиты определяются, как для одиночного тросового молниесотвода при $h > 30$ м и усекаются на расстоянии Δh от вершины. Вертикальное сечение зоны защиты между двумя тросовыми молниесотводами ограничивается дугой окружности, проходящей через молниесотводы и среднюю точку между молниесотводами O , находящуюся на высоте

$$h_o = h - \frac{a}{K_3 p}, \quad (II)$$

где a - расстояние между молниесотводами;

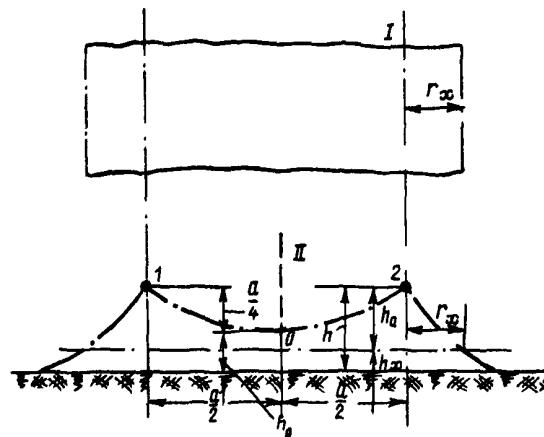


Рис.17. Зона защиты двух тросовых молниеотводов высотой до 30 м:
I - горизонтальное сечение на уровне h_x ; II -
вертикальное сечение зоны защиты

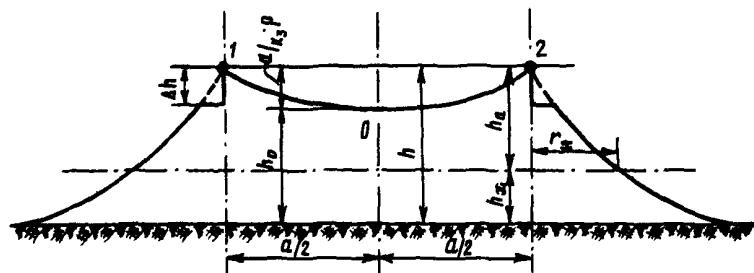


Рис.18. Зона защиты двух тросовых молниеотводов высотой
более 30 м

$$\rho = 1 \text{ при } h \leq 30 \text{ м;}$$

$$\rho = \frac{5.5}{\sqrt{h}} \text{ при } 30 < h < 250 \text{ м.}$$

Величина K_3 зависит от вероятности прорыва молнии в зону защиты. Для зоны с вероятностью прорыва не более 10^{-2} $K_3 = 5$; для зоны с вероятностью прорыва не более 10^{-3} $K_3 = 8$.

Для защиты объекта между двумя тросами необходимо соблюсти условие $h_a = h - h_x \geq \frac{a}{K_3 \cdot \rho}$, определяющее превышение молниеввода над защищаемым сооружением.

ЗОНЫ ЗАЩИТЫ ДВУХ МОЛНИЕВОДОВ РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТЫ

Построение зоны защиты двух молниеводов различной высоты приведено на рис.19. Вокруг молниевода I большей высоты строит-

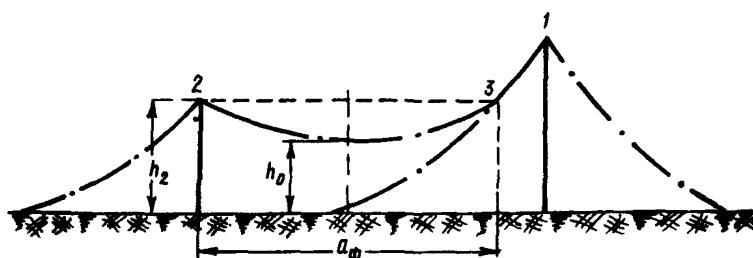


Рис.19. Зона защиты двух молниеводов разной высоты:
1,2 - молниеводы; 3 - вершина фиктивного молниевода

ся зона защиты, как для одиночного молниевода. Далее через вершину молниевода 2 меньшей высоты проводится горизонтальная линия до пересечения с зоной защиты молниевода 1. Принимая эту точку пересечения за вершину некоторого фиктивного молниевода 3 той же высоты, что и меньший молниевод, строится зона защиты для двух молниеводов 2 и 3, очертания которой ограничивают внутренний участок суммарной зоны защиты.

Для стержневых молниеводов высотой $h > 60$ м и тросовых $h > 30$ м зона защиты у их вершин усекается на расстоянии Δh от вершины конкретно для каждого из молниеводов и в соответствии с их типом.

Суммарная зона защиты тросового и стержневого молниевыводов определяется наложением их зон. Так же строится конфигурация зоны защиты у конца тросового молниевыводов. При этом конец троса следует рассматривать как стержневой молниевывод соответствующей высоты.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ МОЛНИЕВЫВОДОВ

Зоны защиты с вероятностью прорыва не более 10^{-2} предписаны для открытых распределительных устройств станций и подстанций, а также для подсобных сооружений, нуждающихся в молниезащите. При этом вводы аппаратов и шинопроводы должны находиться по возможности в глубине зоны защиты, так как поражение их молнией представляет наибольшую опасность.

Зоны защиты с вероятностью прорыва не более 10^{-3} предписаны для участков шинопроводов высокой ответственности, которые вследствие их большой высоты или длины могут подвергаться частым ударам молний.

Надежность защиты повышается при размещении объектов во внутренней части зоны защиты многократных молниевыводов.

Стержневые молниевыводы рекомендуется применять для защиты одиночных сооружений или групп сооружений небольшой протяженности, а тросовые молниевыводы – для протяженных сооружений.

Вследствие вероятностного характера прорывов молний выполнение молниезащиты, полностью исключающей поражение защищаемых объектов, не всегда целесообразно, а в ряде случаев технически не осуществимо. Оптимальная надежность молниезащиты определяется на основе сопоставления стоимости молниезащиты и возможного ущерба от поражения молнией.

Надежность молниезащиты характеризуется числом β прорывов молний в год на защищаемое сооружение или числом $M = \frac{1}{\beta}$ лет, за которое ожидается один прорыв молний в зону защиты

$$\beta = \psi \cdot N,$$

где ψ – вероятность прорыва в зону защиты (10^{-2} или 10^{-3} соответственно зоне);

N – суммарное число ударов в год в молниевывод и защищаемое сооружение.

Ожидаемое число ударов молнии в год в одиночное возвышающееся сооружение (в том числе стержневой молниесохвост) высотой h метров:

$$N = n T \mathcal{N} R^2 10^{-6}, \quad (12)$$

где $n = 0,06$ - число ударов молнии в землю площадью 1 км² на 1 ч грозы, $\frac{1}{2} \frac{1}{\text{км}^2 \cdot \text{ч}}$;

T - средняя интенсивность грозовой деятельности для данной местности, ч.

$R = 3,5 \cdot h$ - эквивалентный радиус окружности, описываемой площадью, с которой сооружение "сбирает" молнии, м.

Число ударов молнии в год в группу возвышающихся сооружений (в том числе группу стержневых молниесохвостов):

$$N = n T S \cdot 10^{-6}, \quad (13)$$

где S - площадь, ограниченная дугами окружностей, описанных радиусом R вокруг каждого молниесохвоста, м².

Число ударов в год в протяженное возвышающееся сооружение (в том числе тросовый молниесохвост) высотой h и длиной ℓ (м)

$$N = 2n T \ell R \cdot 10^{-6}, \quad (14)$$

где $R = 3,5 h$.

Число ударов в сооружение длиной ℓ (м), шириной m (м) и высотой h (м) определяется по формуле (13), где

$$S = (\ell + 7h)(m + 7h). \quad (15)$$

Руководящие указания
по расчету зон защиты стержневых
и тросовых молниеотводов

Издание Специализированного центра
научно-технической информации ОГРЭС

Ответственный редактор Л.Ф.Тафипольский

Редактор И.С.Левочкина

Техн.редактор Г.Д.Глазова

Корректор Л.Ф.Петрухина

0,83 уч.-изд.л.

Цена 8 коп.

Заказ № 389/72

Л 78637

Подписано к печати 7/II 1974 г.

Гираж 3120 экз.

Ротапринт СДНТИ ОГРЭС

109432, Москва, К-432, 2-й Кожуховский проезд, д.29, корп.6