

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР

ГЛАВНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМ

**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 621.31

Составлено ВЭИ, ГНИЭИ, Энергосетьпроектом

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

УТВЕРДАЮ:

Заместитель начальника
Главтехуправления

Ф.СИНЬЧУГОВ

4 октября 1972 г.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Защитное действие молниевводов основано на свойстве молний с большей вероятностью поражать более высокие и хорошо заzemленные металлические предметы по сравнению с рядом стоящими менее высокими. Молниевод, 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 молний рекомендуется применять стержневые и тросовые молниеводы. Стержневые молниеводы 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 молниеводом определяется вероятностью прорыва молний к защищаемому сооружению минуя молниевод. Вероятность прорыва молний равна отношению числа разрядов молний в защищаемое сооружение к общему числу разрядов молний в молниевод и защищаемое сооружение.

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

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

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

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

ЗОНЫ ЗАЩИТЫ СТЕРЖНЕВЫХ МОЛНИЕПРИЕМНИКОВ

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

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

где r_x - радиус защиты на высоте h_x ;
 h_a - превышение молниеприемника над уровнем земли на высоте h_x .
 $\rho = 1$ при $h \leq 30$ м; $\rho = \frac{5,5}{\sqrt{h}}$ при $h > 30$ м.

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

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

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

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

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

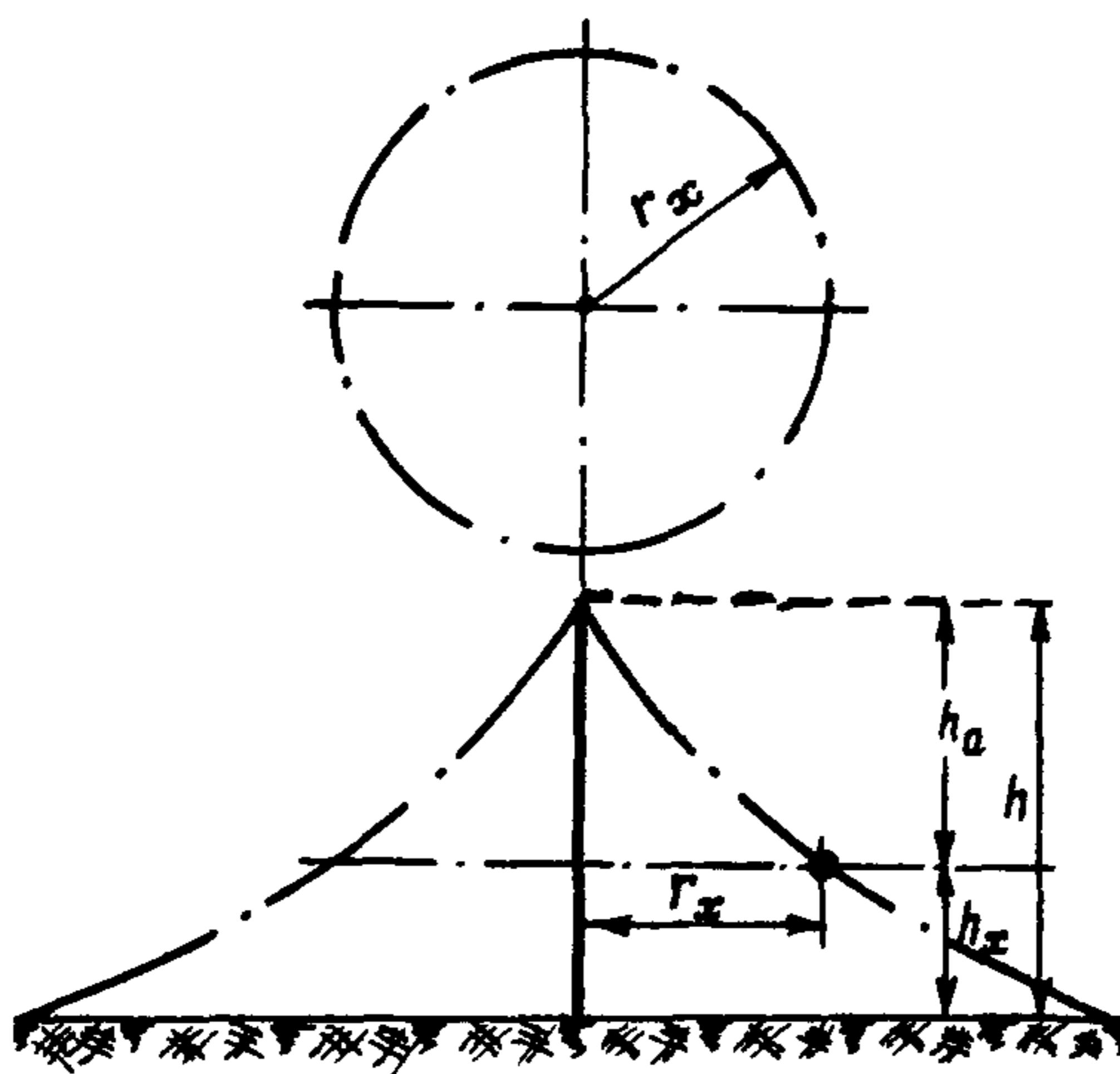


Рис.1. Зона защиты одиночного стержневого молниев-
отвода высотой до 60 м:
 h - высота молниевотвода; h_x - высота точки на
границе защищаемой зоны; $h_a = h - h_x$ - активная
высота молниевотвода

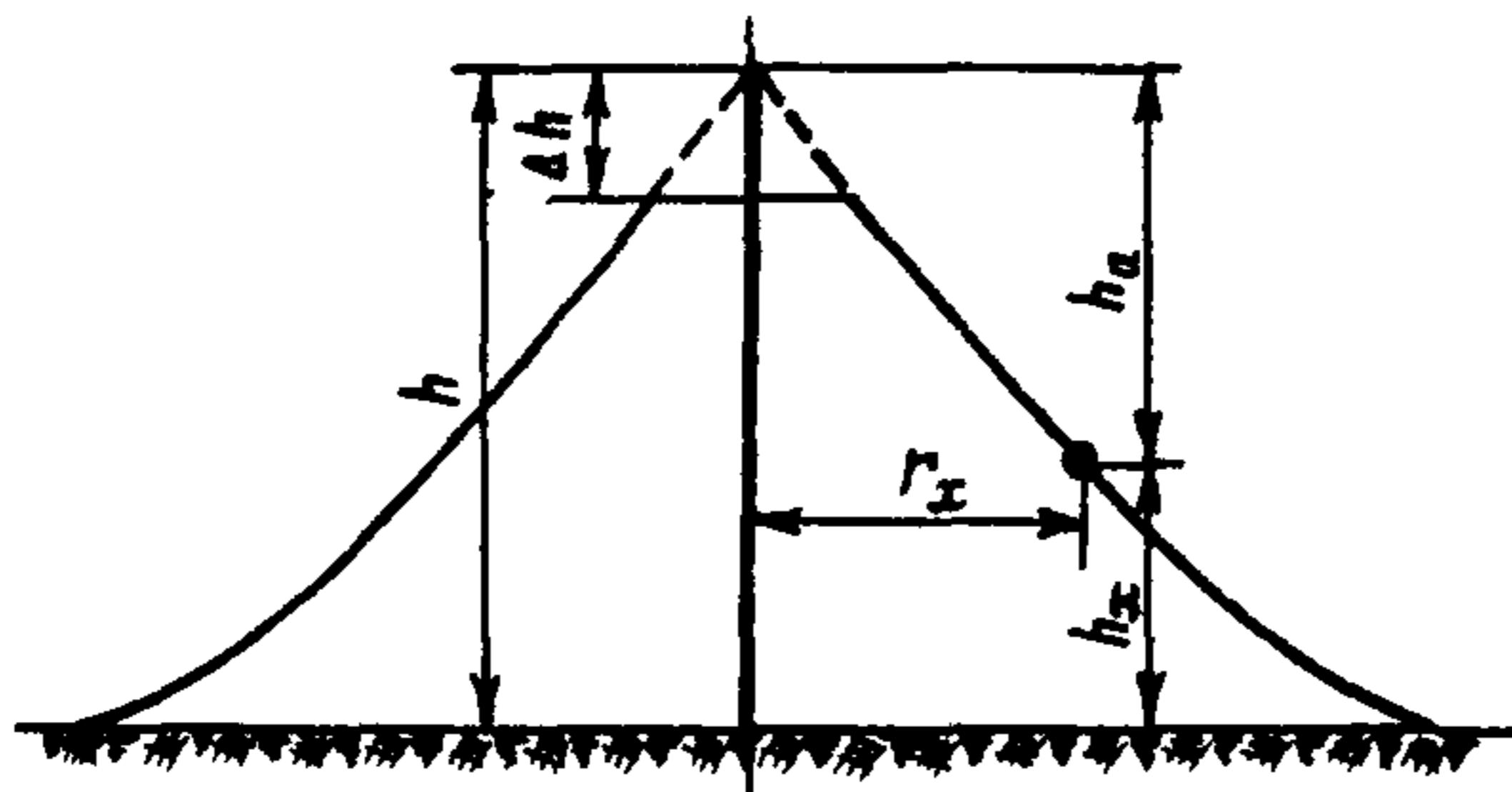


Рис.2. Зона защиты одиночного стержневого
молниевотвода высотой более 60 м:
 $\Delta h = 0,5 (h - 60)$ при $60 < h \leq 100$ м; $\Delta h = 0,2 \cdot h$
при $h > 100$ м

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

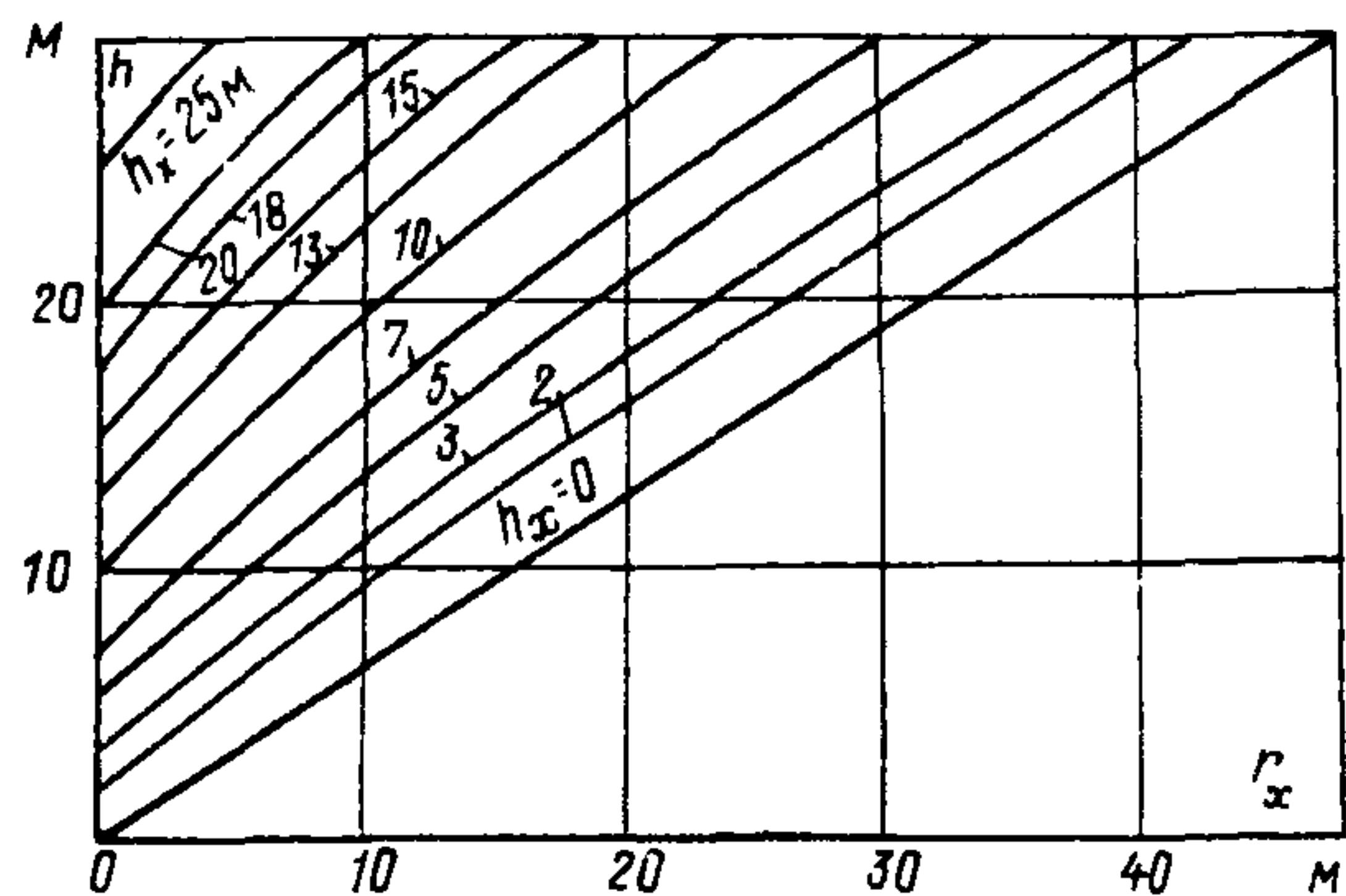


Рис.3. Зависимость высоты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 30 м от радиуса защиты на различных уровнях h_x

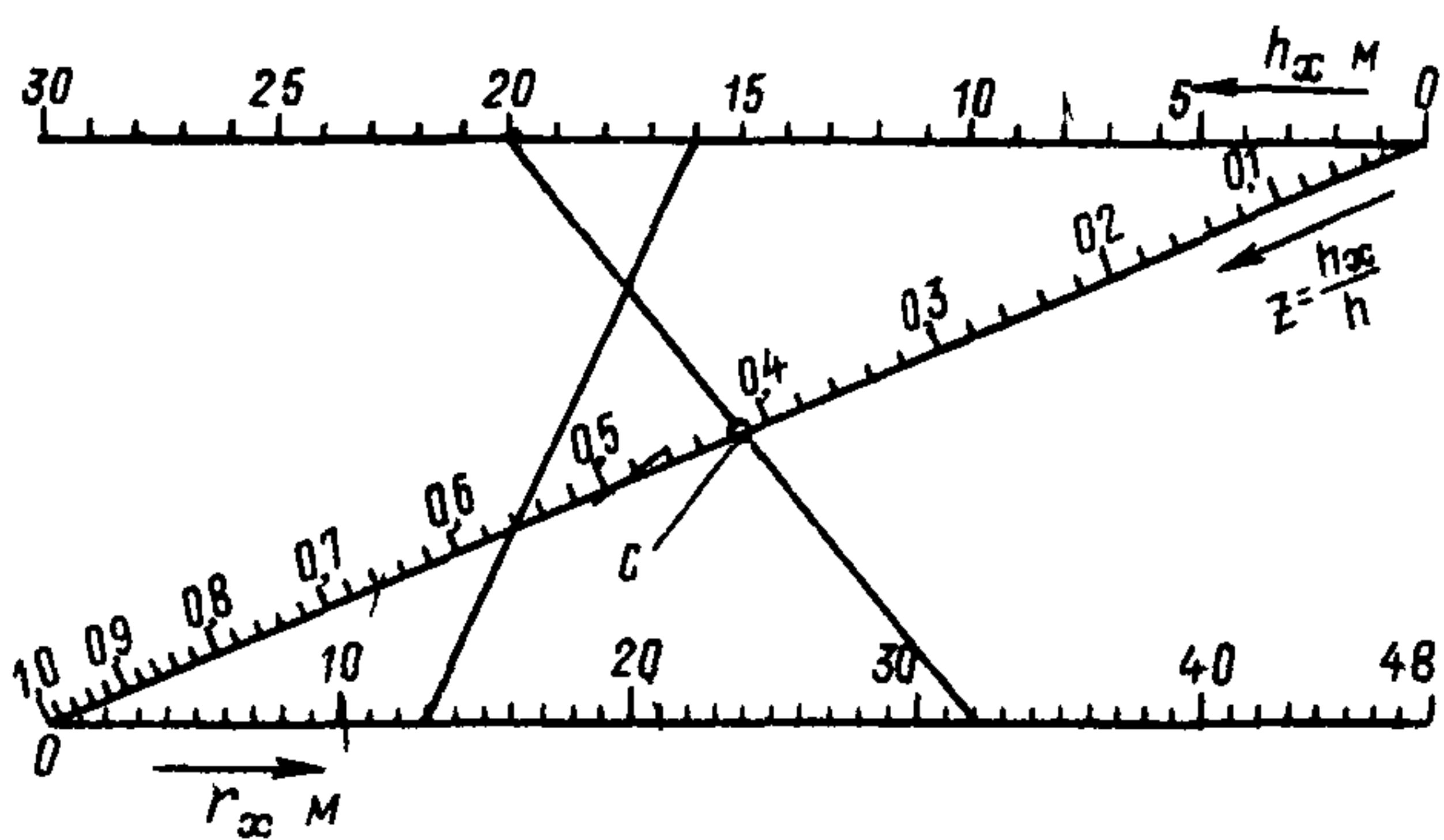


Рис.4. Номограмма для расчета зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 30 м

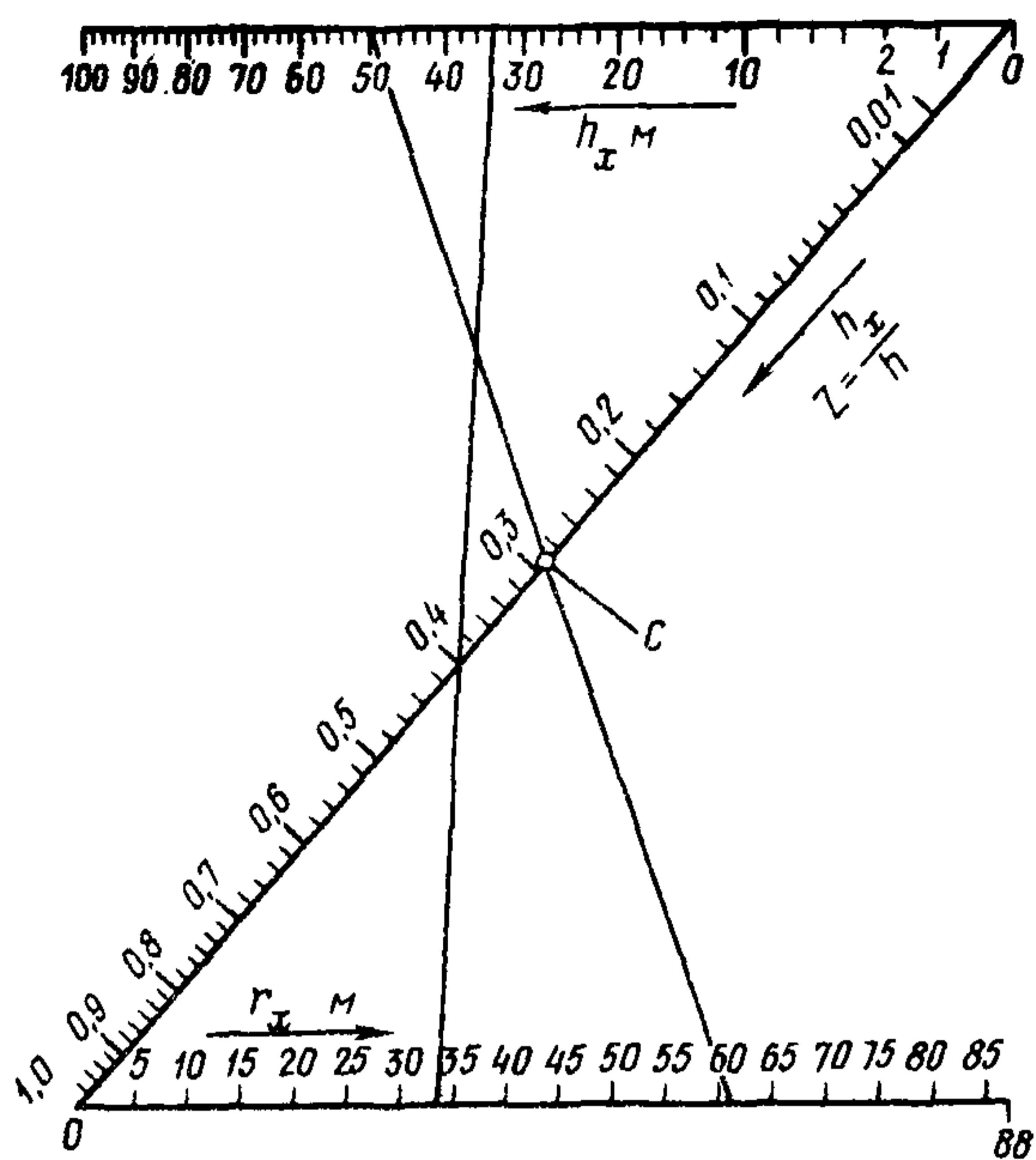


Рис.5. Номограмма для расчета зоны защиты одиночного стержневого молниеприемника высотой до 100 м

Для защищаемых объектов высотой 60-100 м высота молниеприемника 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 зон защиты при h меньше h_{kp} высота молниеприемника выбирается равной критической.

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

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

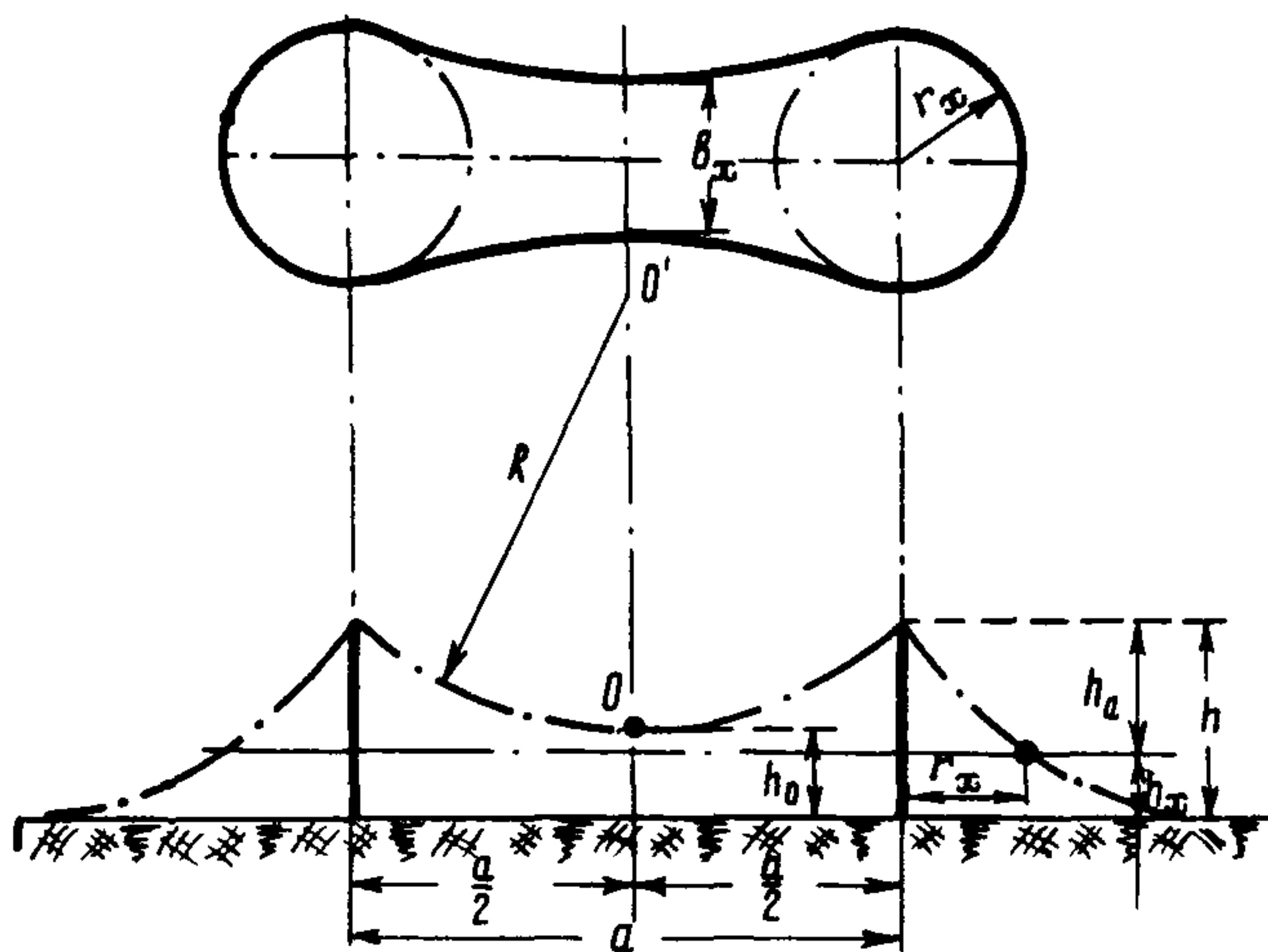


Рис.6. Зона защиты двух равновысоких стержневых молниеводов высотой до 60 м:

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

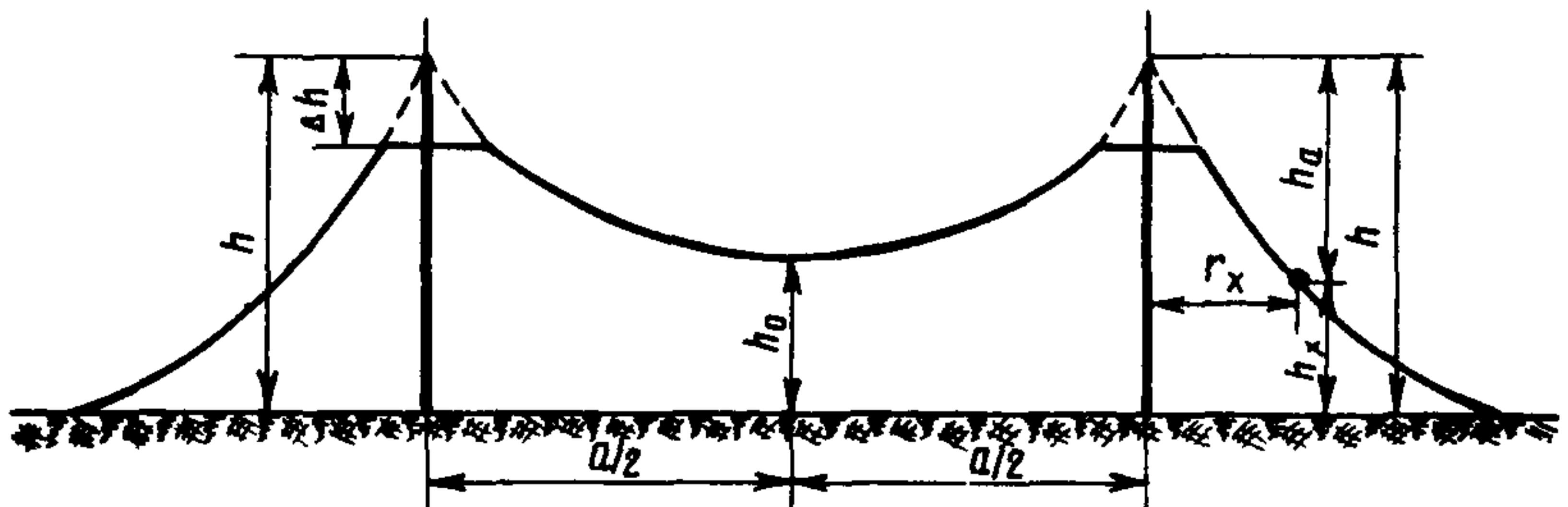


Рис.7. Зона защиты двух стержневых молниеводов высотой более 60 м:

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

Построение внешней зоны молниеводов производится аналогично построению зоны одиночного молниевода по формулам (I)

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

Наименьшая высота зоны защиты h_0 для молниеводов высотой до 30 м равна

$$h_0 = h - \frac{a}{7}; \quad (6)$$

для молниеводов от 30 до 250 м

$$h_0 = h - \frac{a}{7 \cdot \rho}, \quad (7)$$

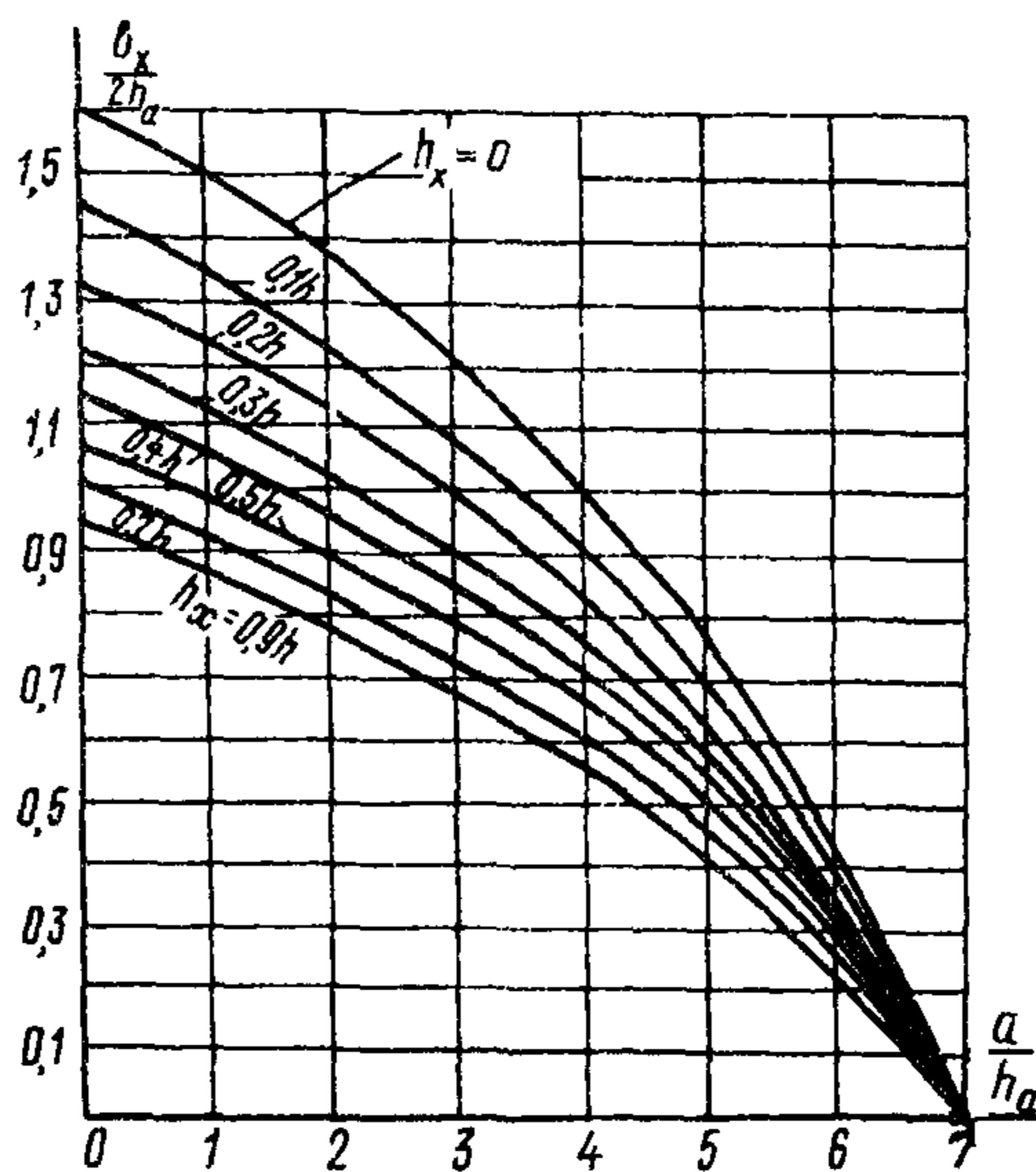


Рис.8. Значения наименьшей ширины зоны защиты b_x двух стержневых молниеводов высотой $h \leq 30$ м для $\frac{a}{h_a} = 0 \div 7$

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

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

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

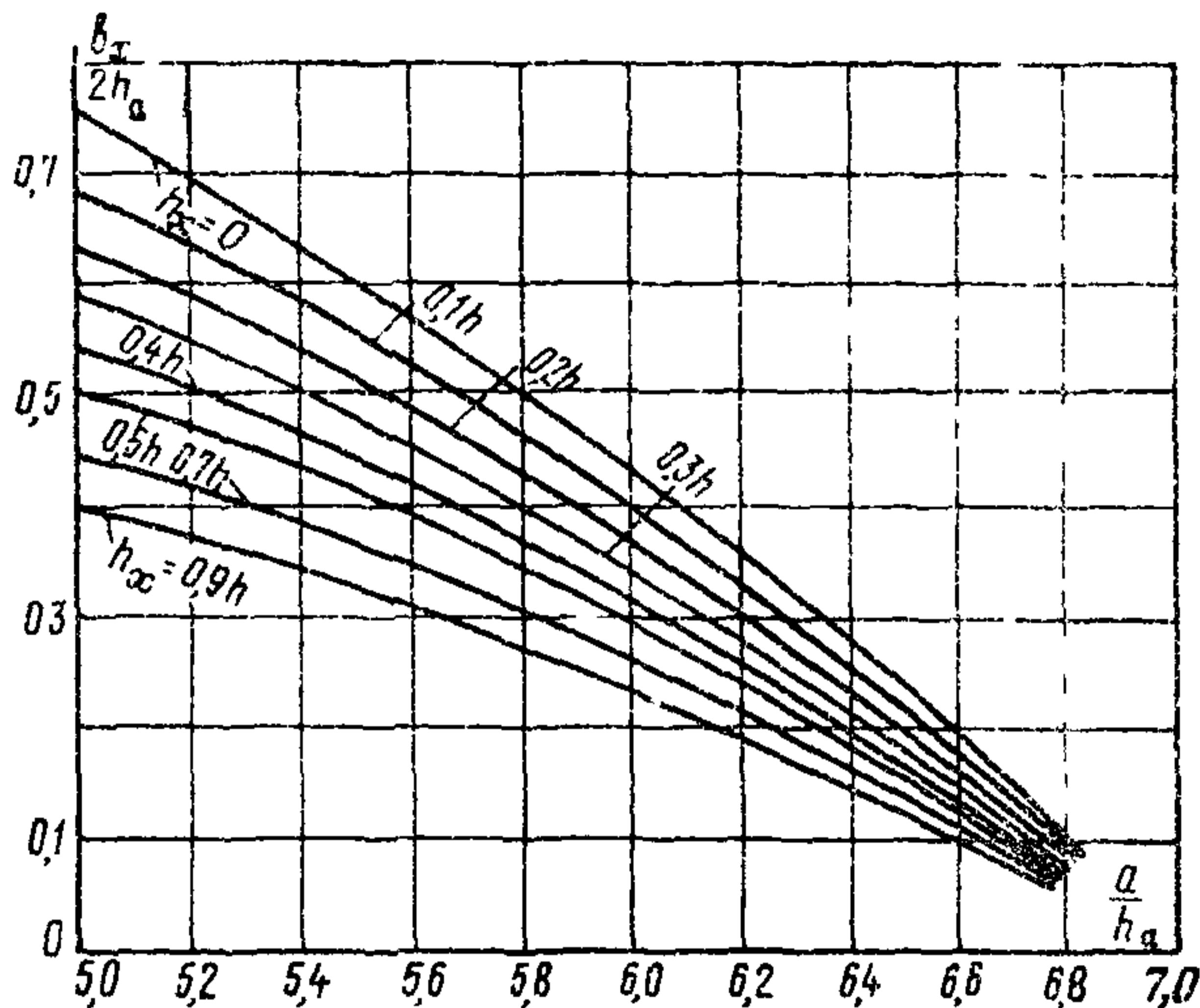


Рис.9. Значение наименьшей ширины зоны защиты δ_x двух стержневых молниеводов для $\frac{a}{h_a} = 5 \div 7$

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

Часть зоны защиты трех и более молниеводов высотой выше 60 м, расположенная вне окружностей, проходящих через центры соседних трех молниеводов, 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 молниеводов высотой $h \leq 30$ м: $D \leq 8 \cdot h_a$;

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

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

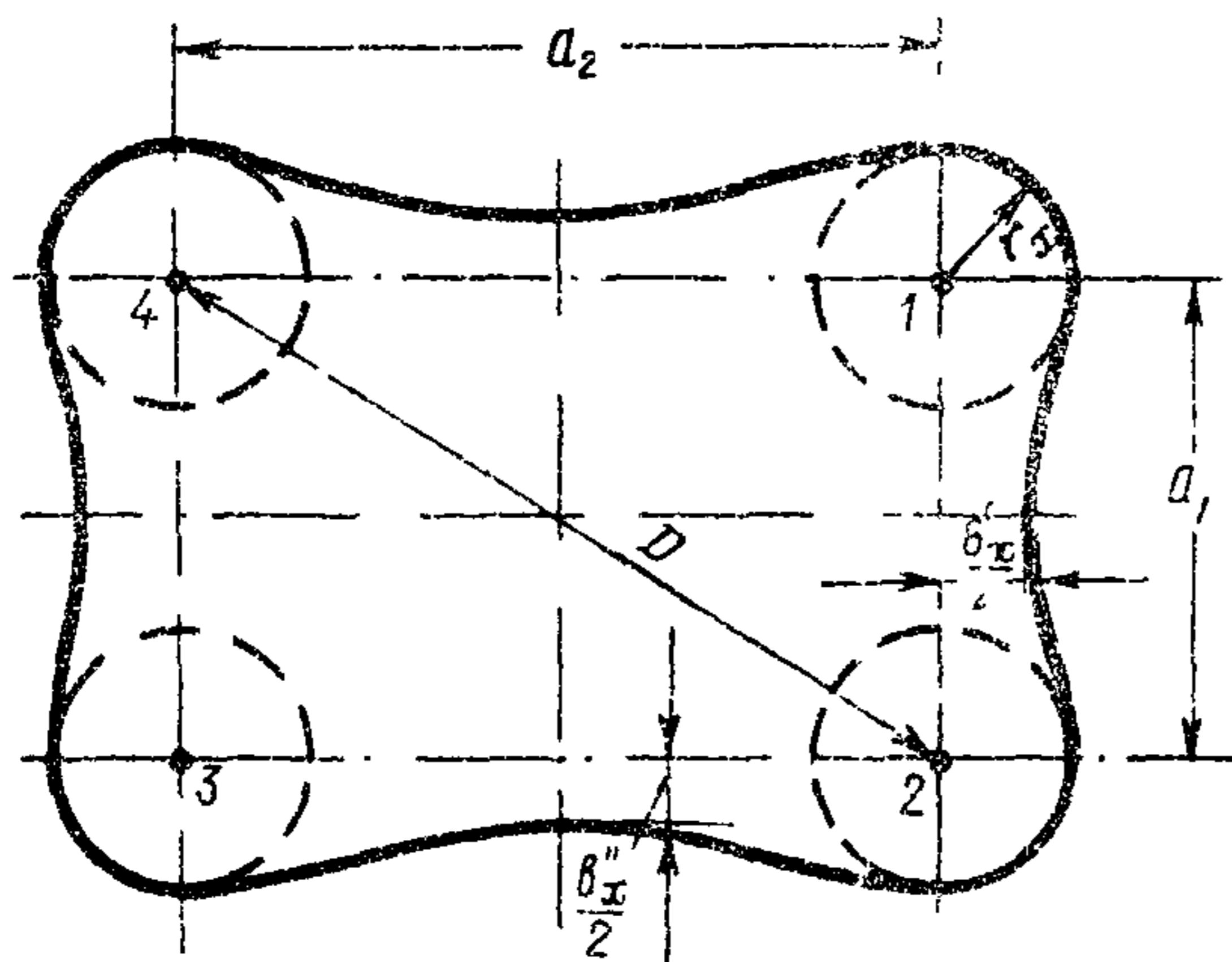


Рис.10. Зона защиты четырех стержневых молниев-
отводов одинаковой высоты; горизонтальное се-
чение зоны защиты на уровне h_x
1, 2, 3, 4 - молниеводы

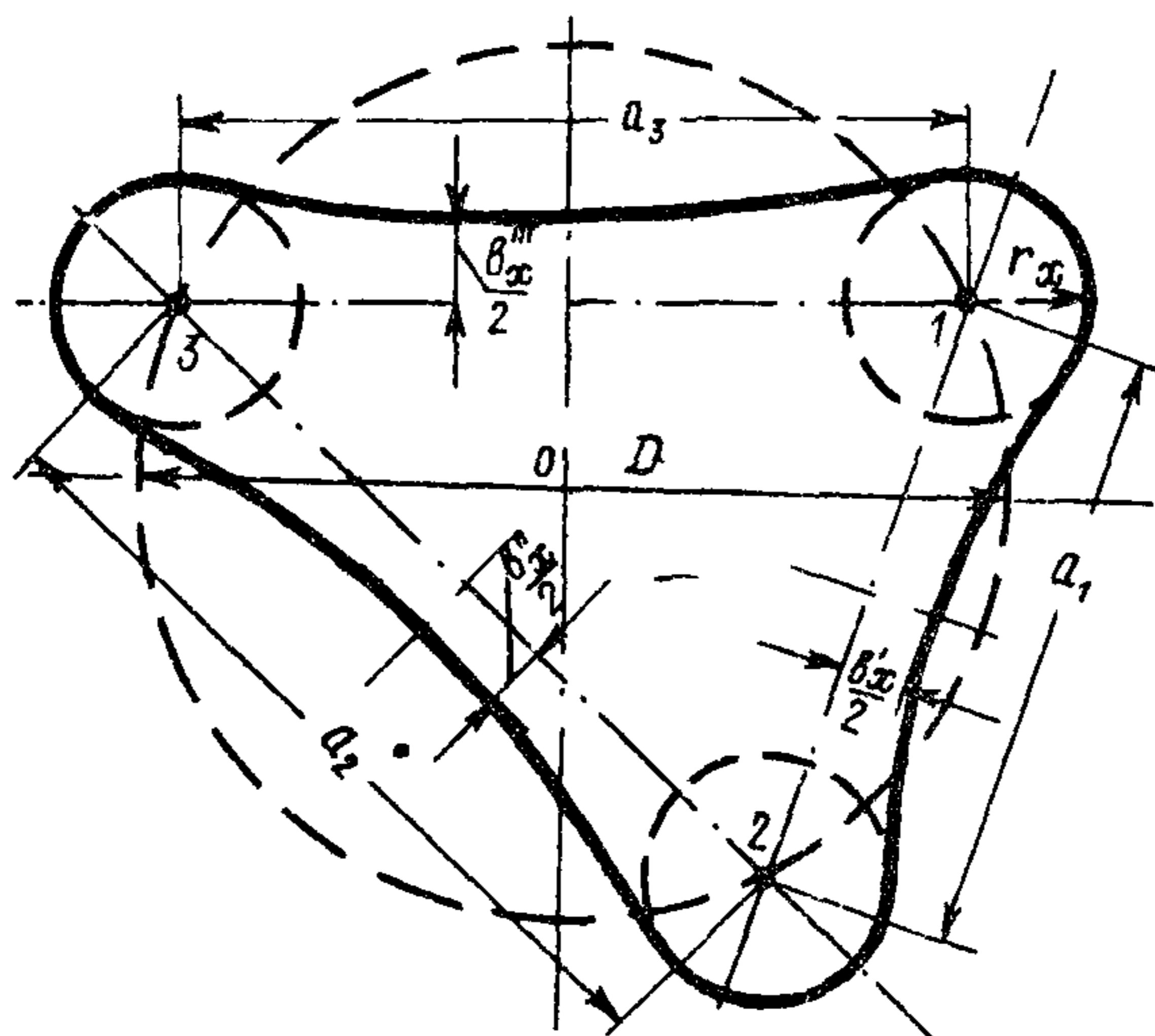


Рис.11. Зона защиты трех стержневых молниев-
отводов одинаковой высоты горизонтальное се-
чение зоны защиты на уровне h_x
1, 2, 3 - молниеводы

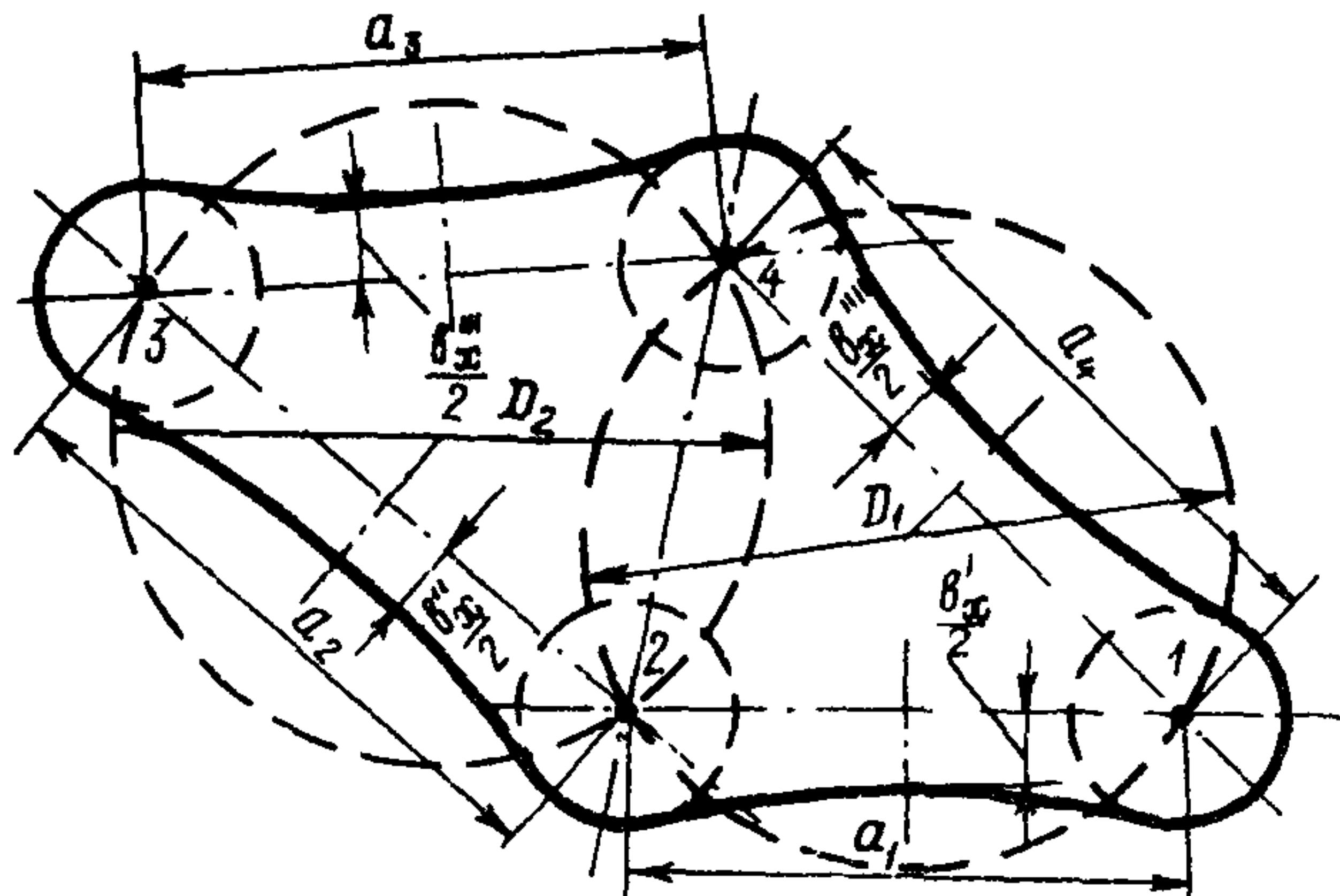


Рис. I2. Зона защиты четырех стержневых произвольно расположенных молниевводов одинаковой высоты; горизонтальное сечение зоны защиты на уровне h_x
1, 2, 3, 4 - молниевводы

ЗОНЫ ЗАЩИТЫ ТРОСОВЫХ МОЛНИЕВОДОВ

Зона защиты одиночного тросового молниевода (горизонтально подвешенного троса) имеет форму, показанную на рис. I3 для молниеводов высотой до 30 м и на рис. I4 для молниеводов высотой от 30 до 250 м. Зона защиты на уровне h_x ограничивается двумя параллельными молниеводу линиями, 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 молниевода высотой $h < 30$ м

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

для одиночного тросового молниевода высотой h от 30 до 250 м

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

где $\rho = \frac{5,5}{\sqrt{h}}$.

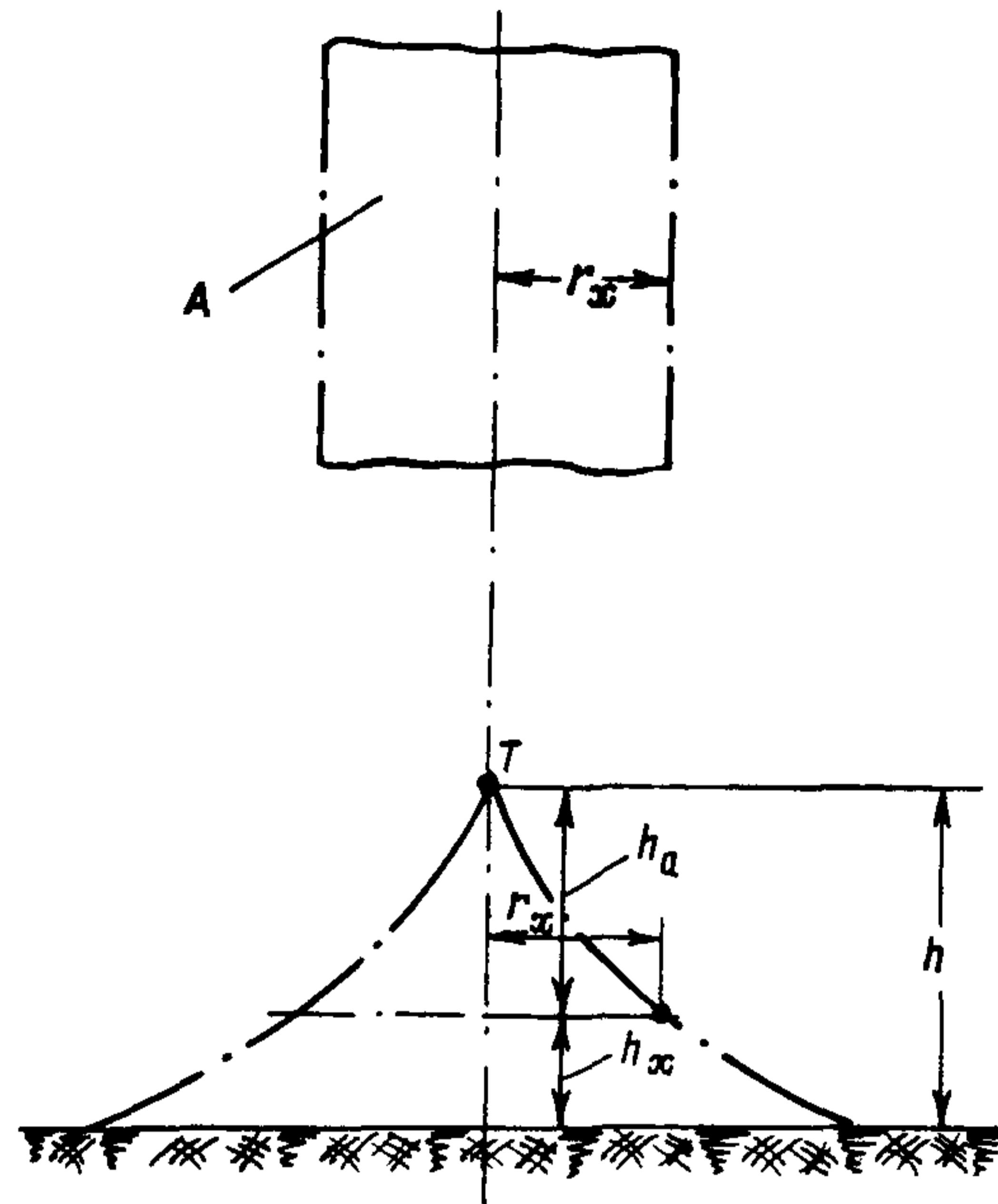


Рис. I3. Зона защиты одиночного тросового молниевыводителя высотой до 30 м:

A – горизонтальное сечение зоны защиты на уровне h_x ; *T* – трос

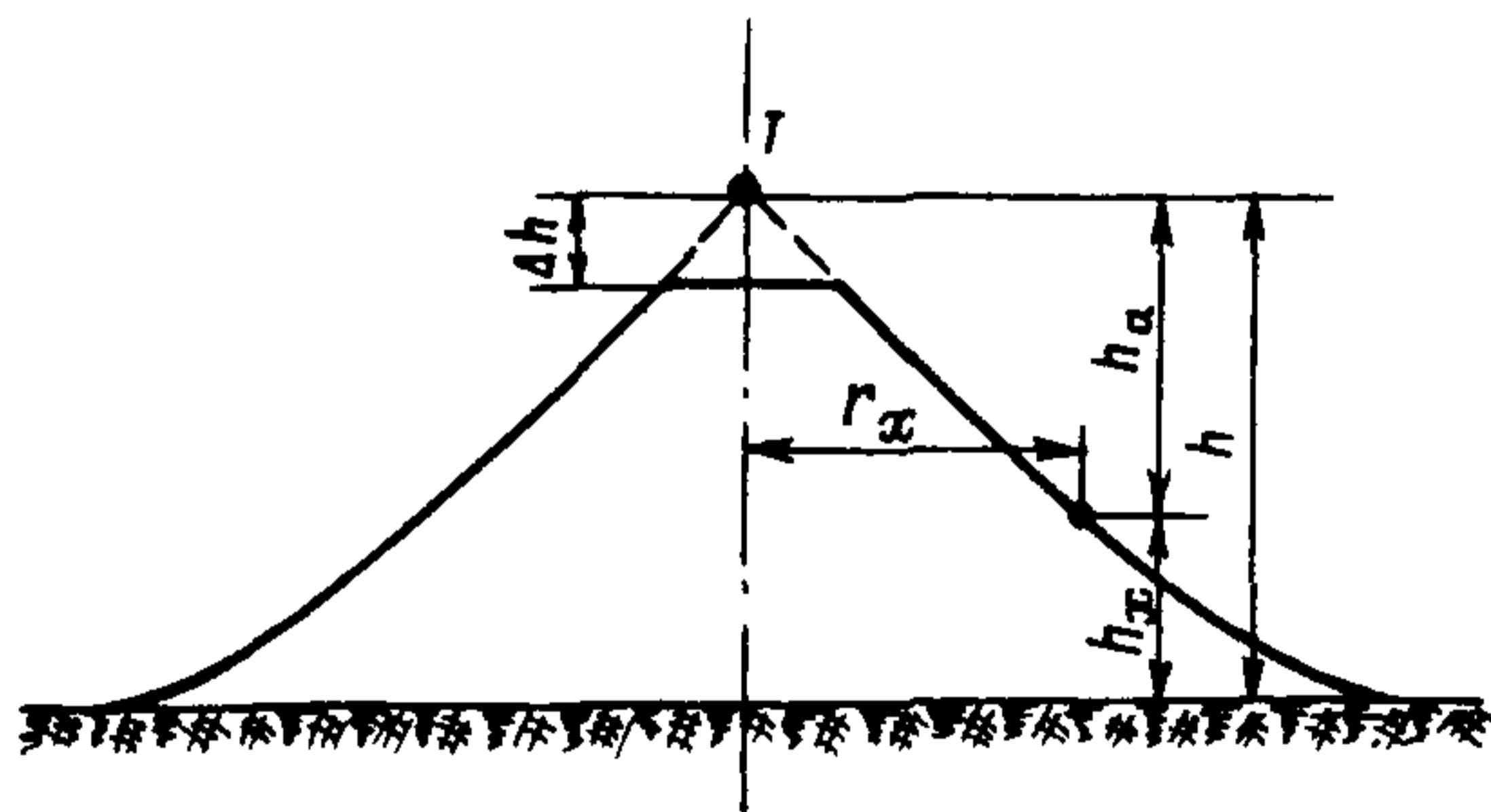


Рис. I4. Зона защиты одиночного тросового молниевыводителя высотой более 30 м

Зона защиты тросового молниеводода высотой $30 < h < 250$ м усекается 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. I5 и I6 даны nomogramмы для зоны защиты тросового молниеводода при $K_1 = 1,2$ (вероятность прорыва молнии не более 10^{-2}).

По nomogramme рис. I5 определяется зона защиты тросового молниеводода высотой до 30 м.

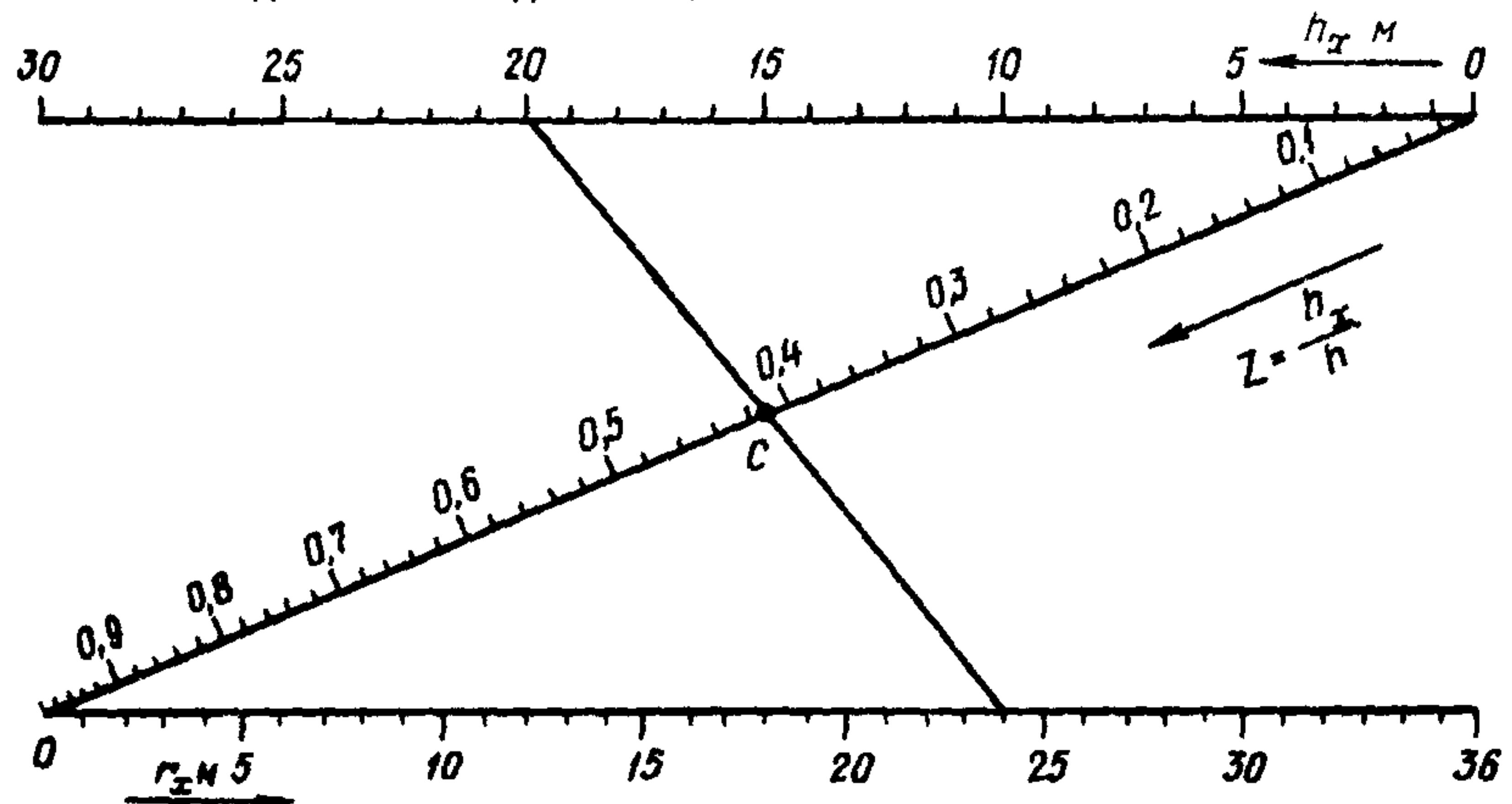


Рис. I5. Номограмма для расчета зоны защиты одиночного тросового молниеводода высотой до 30 м

По nomogramme рис. I6 определяется зона защиты троса высотой от 30 до 100 м. При большей высоте построение зоны защиты проводится согласно формулам (9) и (10).

Высота молниеводода h , определенная по nomogramme (рис. I6), сравнивается с критической высотой

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

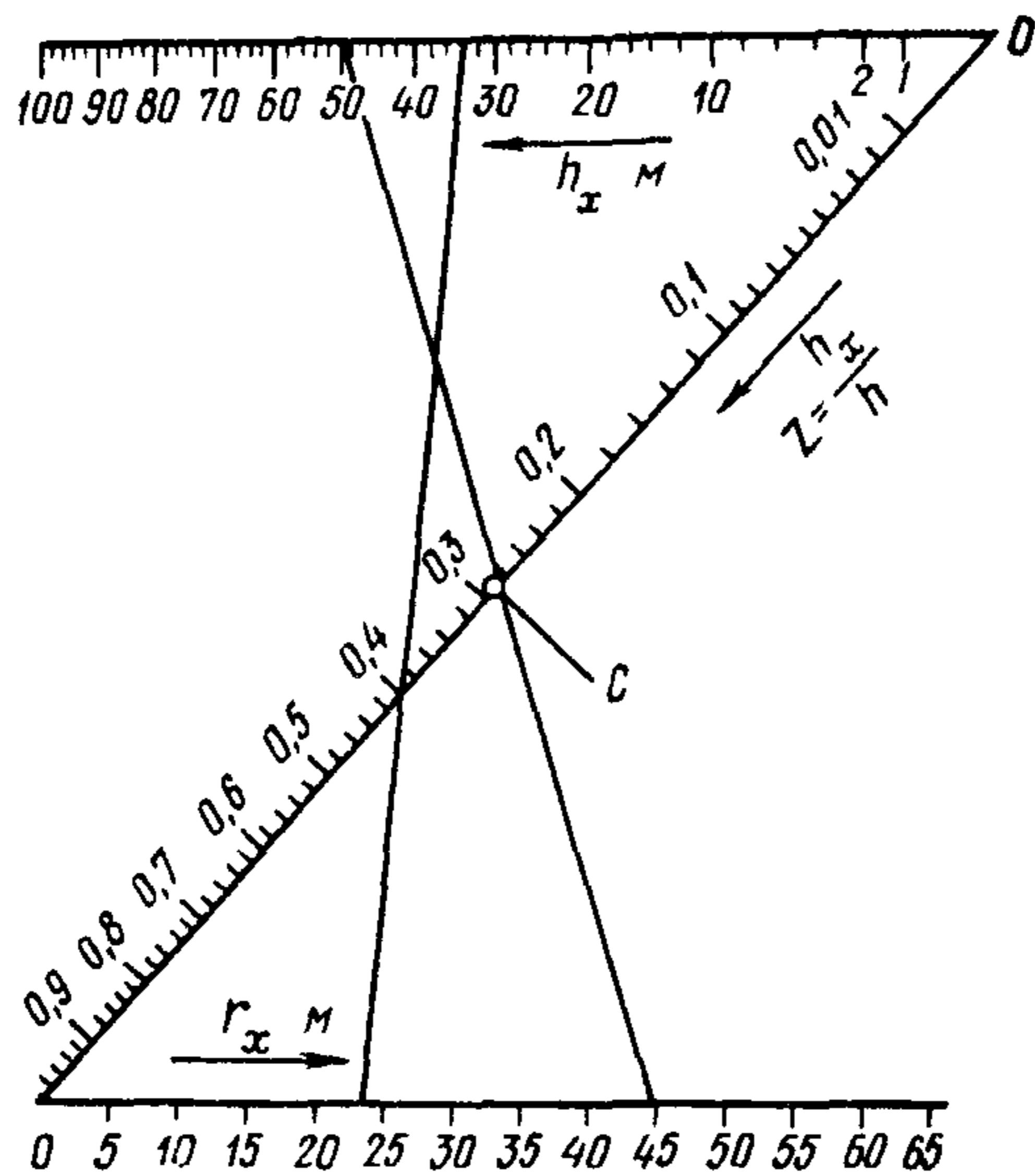


Рис. 16. Номограмма для расчета зоны защиты одиночного тросового молниепровода высотой от 30 до 100 м

при $h < h_{kp}$ высота молниепровода выбирается равной h_{kp} . Методика выбора тросовой защиты исходит из зависимости вероятности прорыва молния от угла защиты троса (α) и высоты опор ВЛ. Соответствие между изложенной здесь и в разделе грозозащиты ВЛ методикой устанавливается соотношением $\operatorname{tg} \alpha = r_x / h_a$.

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

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

где a – расстояние между молниепроводами;

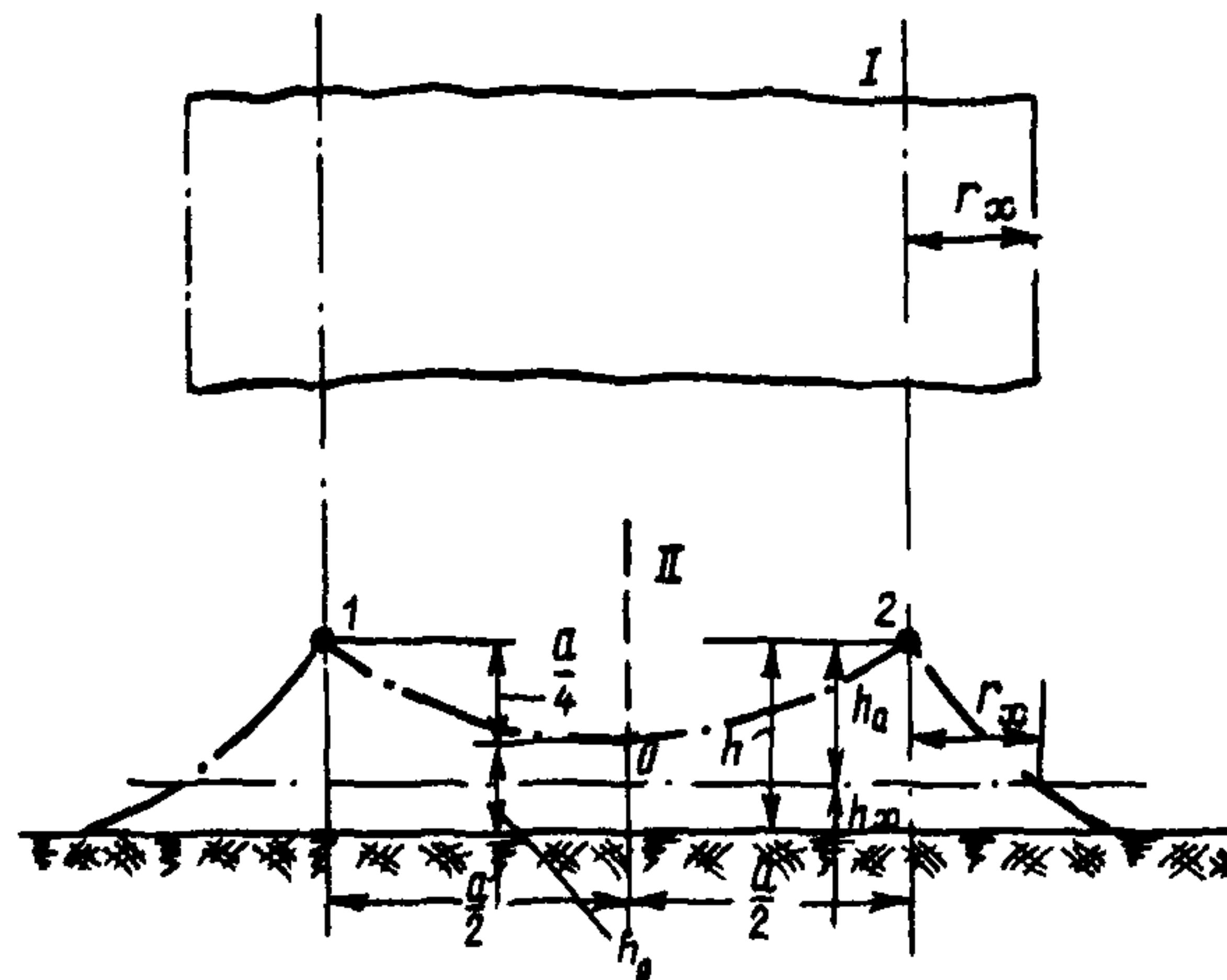


Рис.17. Зоны защиты двух тросовых молниеводов I и 2 высотой до 30 м:

I - горизонтальное сечение на уровне h_x ; II - вертикальное сечение зоны защиты

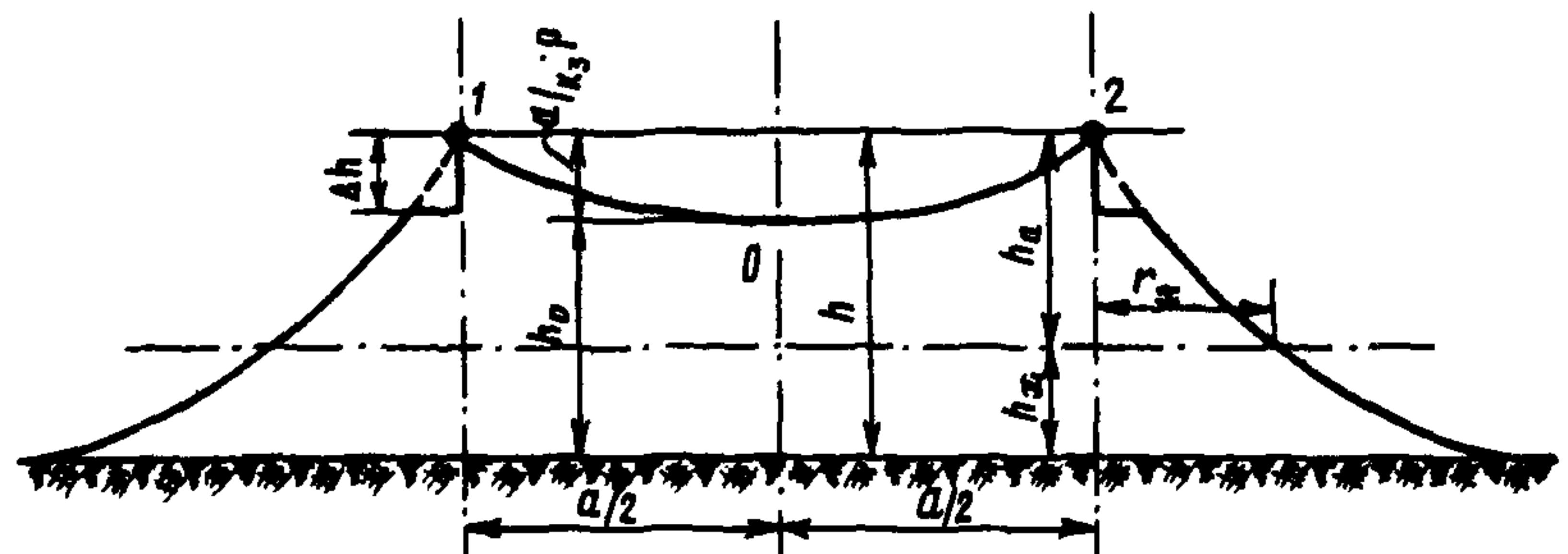


Рис.18. Зоны защиты двух тросовых молниеводов высотой более 30 м

$P = 1$ при $h \leq 30$ м;

$P = \frac{5.5}{\sqrt{h}}$ при $30 < h < 250$ 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^{-8} $K_3 = 8$.

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

ЗОНЫ ЗАЩИТЫ ДВУХ МОЛНИЕОТВОДОВ РАЗЛИЧНОЙ ВЫСОТЫ

Построение зоны защиты двух молниеотводов различной высоты приведено на рис.19. Вокруг молниеотвода I большей высоты стро-

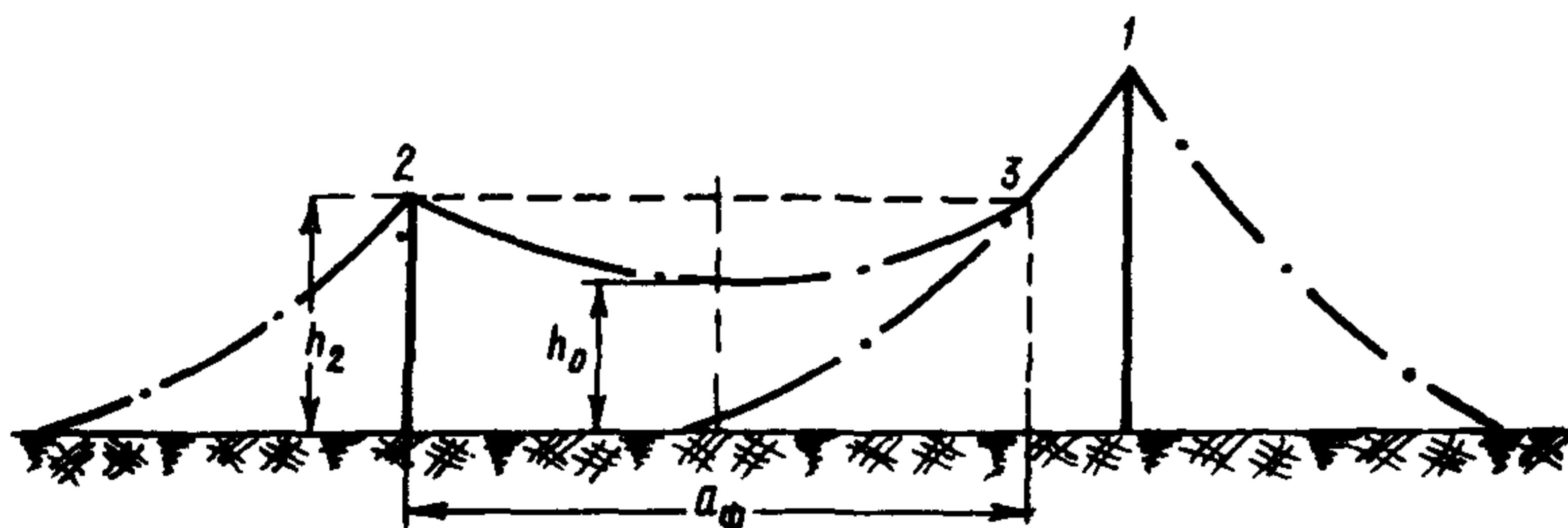


Рис.19. Зона защиты двух молниеотводов разной высоты:
1,2 – молниеотводы; 3 – вершина фиктивного молниеотвода

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

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

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

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ МОЛНИЕВОДОВ

Зоны защиты с вероятностью прорыва не более 10^{-2} предназначены 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} предназначены для участков шинопроводов высокой ответственности, которые вследствие их большой высоты или длины могут подвергаться частым ударам молнией.

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

Стержневые молниеводы рекомендуется применять для защиты одиночных сооружений или групп сооружений небольшой протяженности, а тросовые молниеводы – 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 молниевод и защищаемое сооружение.

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

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

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

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

$R = 3,5 \cdot h$ — эквивалентный радиус окружности, описывающей площадь, с которой сооружение "собирает" молнии, м.

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

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

где S — площадь, ограниченная дугами окружностей, описанных радиусом R вокруг каждого молниеотвода, м².

Число ударов в год в протяженное возвышающееся сооружение (в том числе тросовый молниеотвод) 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 молниевводов

Издание Специализированного центра
научно-технической информации ОРГРЭС

Ответственный редактор Л.Ф.Тафильский

Редактор И.С.Левочкина

Техн.редактор Г.Д.Глазова

Корректор Л.Ф.Петрухина

0,83 уч.-изд.л.

Цена 8 коп.

Заказ № 339/72

Л 78637

Подписано к печати 7/П 1974 г.

Гираж 3120 экз.

Ротапринт СЦНТИ ОРГРЭС

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