

Предельные размеры зоны защиты активной части стержневых молниеотводов

КУПРИЕНКО В.М.

Защита зданий и сооружений стержневыми молниеотводами, в том числе многократными, с различным уровнем надежности P_H , до настоящего времени не имеет достаточного научного обоснования. Приведены результаты исследований по определению предельного расстояния L_{max} между молниеотводами (в том числе многократными) при защите объекта произвольной формы. Для анализа вероятности поражения объекта при его защите стержневыми молниеотводами использован угол защиты α , который определяется отношением радиуса защиты r_x к высоте активной части молниеотводов h_a , возвышающейся над объектом высотой h_o . Показано, что предельное расстояние между молниеотводами зависит от формы объекта, уровня защиты P_H и взаимного влияния активной части молниеотводов, возвышающейся над объектом. Неучет указанных факторов при защите объекта с заданным уровнем надежности приводит к значительному (иногда более чем в 2 раза) завышению предельного расстояния в нормативных документах по молниезащите.

Ключевые слова: молния, молниезащита, стержневые молниеотводы, зона защиты, угол защиты, вероятность поражения объекта, надежность молниезащиты

Возвышающиеся над поверхностью земли здания и сооружения существенным образом искажают напряженность электрического поля грозового облака относительно поверхности земли, что создает предпосылки для их поражения разрядом молнии. Защита объектов стержневыми молниеотводами основана на преимущественном перехвате канала разряда молнии и отводе тока в землю. Для перехвата разряда молнии с высокой степенью вероятности молниеотвод должен значительно возвышаться над объектом, а его вершина – создавать напряженность электрического поля, существенно превышающую напряженность электрического поля на объекте.

При исследовании использованы результаты обширных экспериментальных работ по защите моделей объектов различной конфигурации стержневыми молниеотводами в длинных искровых промежутках [1–4]. Исследования проводились на моделях объекта в виде стержня высотой $h_o = 1, 5$ м и моделях условного объекта в форме квадрата размерами (abh_o): 1' 1' 1 м; 2' 2' 1 м и 4' 4' 1 м. Размеры моделей соответствовали масштабу $m=1/10$ натурального размера объекта исследования. Занимаемый моделями объем составлял не более 10–30% длины разрядного промежутка. Ток в завершающей стадии формирования длинной искры не превышал $I_{min} = 300$ А. Модели объектов устанавливались на грунт открытой испытательной площадки. Так как более высокие результаты по вероятности поражения объекта наблюдались при заземлении молниеотводов, то в дальнейшем все испытания проводились с заземлением моделей объекта и молниеотводов на заземление ГИН. Для формирова-

ния разряда в воздушном промежутке длиной S использовался положительный импульс напряжения 250/2500 мкс.

Исследования выполнены для наилучшего варианта развития канала разряда молнии, а именно, над объектом. При этом неважно, какая часть стержневого молниеотвода обеспечивает перехват разряда молнии. Необходимо обеспечить требуемый уровень защиты объекта высотой h_o (вероятность перехвата разряда молнии P_H) совокупностью стержневых молниеотводов, возвышающихся над объектом.

Одиночный стержневой молниеотвод. Вероятность перехвата разряда молнии P_H определяется размерами активной части стержневого молниеотвода h_a , возвышающейся над защищаемым объектом, и расстоянием r_x от оси молниеотвода до наиболее удаленной точки на высоте объекта h_o (рис. 1). Расстояние r_x называется радиусом защиты, а отношение $r_x / h_a = K_3$ – коэффициентом защиты [5].

Наклон, образующий конус с радиусом защиты r_x , определяет уровень защиты объекта, который характеризуется углом защиты α_1 : $\text{tg} \alpha_1 = r_x / h_a = K_3$. Угол защиты α_1 используется в том числе и в стандарте МЭК 61305 для определения размеров зоны защиты активной части стержневого молниеотвода.

Исследования показали, что при одинаковом значении угла защиты α_1 (см. рис. 1) уровень защиты с надежностью P_H для объекта в виде стержня высотой h_o ниже, чем для объекта такой же высоты с плоской вершиной. Например, при $\alpha_1 = 45^\circ$ и одинаковом радиусе защиты $r_{x1} = r_{x2}$ (см. рис.1) надежность защиты объекта в виде стержня

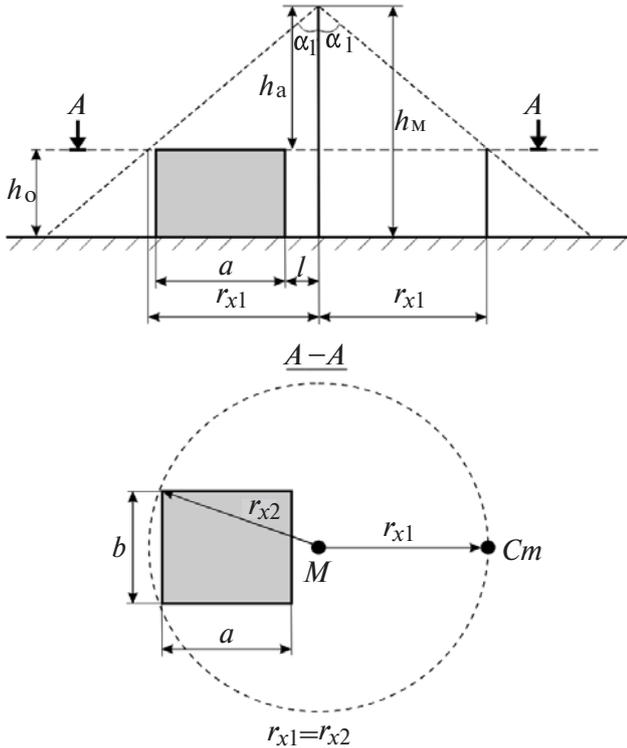


Рис. 1. Область защиты активной части одиночного стержневого молниеотвода: M – стержневой молниеотвод высотой h_M ; h_a – высота активной части стержневого молниеотвода; Cm – объект в форме стержня высотой h_0 ; r_{x1} и r_x – расстояние (радиусы защиты) от оси стержневого молниеотвода до наиболее удаленной точки на высоте h_0 объекта; α_1 – угол защиты

$P_H^c = 0,6$, а объекта с плоской вершиной $P_H^п = 0,9$, т.е. $P_H^c < P_H^п$ [1]. Это необходимо учитывать при определении зоны защиты как одиночного, так и многократных стержневых молниеотводов для объектов различной формы и размеров.

Радиус защиты r_x активной части одиночного стержневого молниеотвода и соответствующий ему угол защиты α_1 и для объектов с различным уровнем защиты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Уровень защиты	Вероятность P_H	Объект			
		Стержень		С плоской вершиной	
		r_{x1}	α_1 , град	r_{x2}	α_1 , град
I	0,99	$0,46h_a$	25	$0,58h_a$	30
II	0,95	$0,58h_a$	30	$0,78h_a$	38
III	0,9	$0,73h_a$	36	$1,04h_a$	46

Как видно из данных, приведенных в табл. 1, радиусы защиты r_{x1} и r_{x2} не превышают высоты активной части одиночного стержневого молниеотвода h_a , а угол защиты α_1 зависит от уровня защиты и формы объекта.

При одинаковой высоте молниеотводов h_M их удаление от периметра объекта ослабляет защитное действие активной части стержневых молниеотводов. Если стержневой молниеотвод установлен непосредственно на объекте, его высота h_M является активной относительно защищенной поверхности на высоте объекта, т.е. $h_M = h_a$.

Двойной стержневой молниеотвод. При защите объекта двумя или более стержневыми молниеотводами область защиты между ними (а следовательно, и угол защиты α_2) увеличивается по сравнению с областью защиты двух одиночных стержневых молниеотводов. Расширение области защиты происходит за счет взаимного влияния молниеотводов. Степень взаимного влияния зависит от числа молниеотводов и расстояния L между ними. При расстоянии между двумя молниеотводами, превышающем предельное значение L_{max} , взаимное влияние отсутствует, и они рассматриваются как одиночные. В свою очередь, расстояние L_{max} между молниеотводами зависит от уровня защиты объекта.

Впервые предельное расстояние L_{max} между двумя стержневыми молниеотводами относительно плоскости земли экспериментально определил А.А. Акопян [5], где показано, что при расстоянии между молниеотводами, превышающем $L_{max} = 5h_M$, линия, соединяющая молниеотводы, поражается. Однако автором не была дана вероятностная оценка этого события.

Предельный угол защиты α_2 для линии, соединяющей два стержневых молниеотвода при отсутствии объекта, определяется отношением радиуса защиты $r_{x2} = L_{max} / 2$ к высоте молниеотвода, т.е. $\text{tg} \alpha_2 = r_{x2} / h_M$. Если привести данные, полученные в [5] для угла защиты α_2 , то предельный угол, после которого каждый из молниеотводов должен рассматриваться как одиночный, составляет $\alpha_2 = 68^\circ$.

В нормах [6] предельное расстояние, при котором молниеотвод перестает быть двойным для зоны А, составляет $L_{max} = 4h_M$ ($\alpha_2 = 63,4^\circ$), а для зоны В $L_{max} = 6h_M$ ($\alpha_2 = 71,6^\circ$).

В нормах [7] предельное расстояние L_{max} , при котором молниеотвод перестает быть двойным, обусловлено надежностью защиты P_H . Например, для $P_H = 0,99$ предельное расстояние между двумя стержневыми молниеотводами $L_{max} = 4,75h_M$ ($\alpha_2 = 67^\circ$), а для $P_H = 0,9$ $L_{max} = 5,75h_M$ ($\alpha_2 = 70,8^\circ$).

Очевидно данные, приведенные в [6, 7], получены относительно поверхности земли при радиусе защиты r_0 без учета влияния высоты и формы объекта на значение L_{max} . При размещении между молниеотводами объекта произвольной формы предельное расстояние L_{max} будет определяться

размерами активной части h_a молниеотводов и может существенно измениться.

В стандарте [8] предельное расстояние между двумя стержневыми молниеотводами для I уровня защиты не превышает $L_{max} = 2h_a$ ($\alpha_2 = 45^\circ$), что существенно меньше, чем расстояние, приведенное в [5–7]. За пределами $L_{max} = 2h_a$ по МЭК защита по I уровню отсутствует, что справедливо для объекта в форме квадрата.

В данной статье рассмотрено определение предельного расстояния при наличии между молниеотводами объекта произвольной формы. Для определения предельного расстояния L_{max} рассмотрены три типа объектов одинаковой высоты, возвышающихся над поверхностью земли, защита которых обеспечивается двумя стержневыми молниеотводами:

объект в виде стрення (вышка, труба, опора линии электропередачи и т.д.);

П-образный объект, расположенный по оси, соединяющей молниеотводы (например портал, трубопровод и т.д.);

прямоугольное здание с плоской кровлей.

На рис. 2 приведена эпюра для определения предельного расстояния L_{max} между двумя стержневыми молниеотводами на высоте h_0 защищаемого объекта.

Для объекта в форме стрення (рис. 2,а), защищенного двумя стержневыми молниеотводами, предельное расстояние L_{max}^c определяется в зависимости от заданного уровня надежности P_H и соответствующего ему угла защиты α_2 :

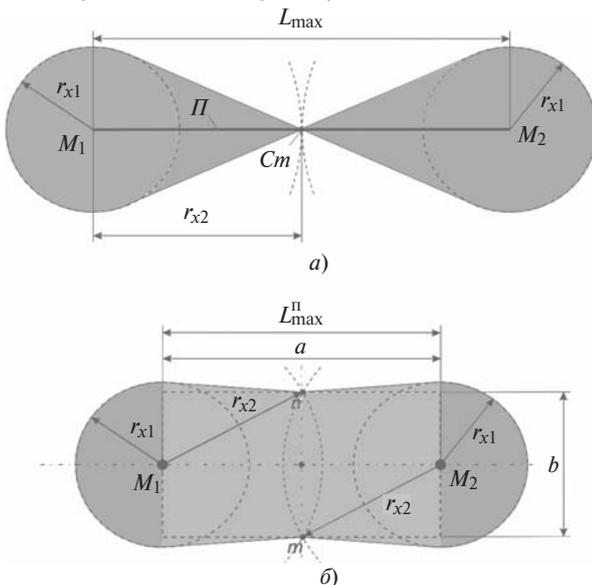


Рис. 2. Эпюра для определения предельного расстояния L_{max} между двумя стержневыми молниеотводами на высоте объекта h_0 : a – расположение объекта на оси, соединяющей молниеотводы, $b = 0$; b – объект размерами $a \times b \times h_0$; M_1, M_2 – стержневые молниеотводы; St – объект стержень; Π – П-образный объект

$L_{max}^c = 2r_{x2} = 2h_a \operatorname{tga}_2$, где r_{x2} – радиус защиты двойного стержневого молниеотвода. Значение максимального расстояния между двумя молниеотводами L_{max}^c и соответствующий ему угол защиты α_2 для объекта в форме стрення при разном уровне надежности P_H приведены в табл. 2.

Как видно из данных, приведенных в табл. 2, для объекта в форме стрення при защите с различной вероятностью предельное расстояние L_{max}^c изменяется от 1,93 до 2,75 h_a .

Таблица 2

Уровень защиты	Вероятность P_H	Объект			
		Стержень		П-образный	
		L_{max}^c	α_2 , град	L_{max}^o	α_2 , град
I	0,99	1,93 h_a	44	2,86 h_a	55
II	0,95	2,15 h_a	47	3,46 h_a	60
III	0,90	2,75 h_a	54	4,5 h_a	66

Рассмотрим П-образный объект высотой h_0 , расположенный по оси между двумя стержневыми молниеотводами M_1 и M_2 (см. рис. 2,а). Для П-образного объекта предельное расстояние определяется так же, как и для объекта в форме стрення, т.е. $L_{max}^o = 2r_{x2}$.

По сравнению с объектом в форме стрення напряженность электрического поля на плоской вершине П-образного объекта существенно меньше, что снижает вероятность его поражения разрядом молнии. Поэтому предельное расстояние L_{max}^o между стержневыми молниеотводами и угол защиты α_2 активной части h_a имеют большее значение, чем для объекта в форме стрення (см. табл. 2).

Анализируя данные, приведенные в табл. 2, можно отметить, что предельное расстояние L_{max} по оси, соединяющей два стержневых молниеотвода, и угол защиты α_2 зависят от уровня защиты и формы объекта. Причем для П-образного объекта диапазон изменения L_{max}^o ($2,86h_a \leq L_{max}^o \leq 4,5h_a$) шире, чем для объекта в виде стрення ($1,93h_a \leq L_{max}^c \leq 2,85h_a$).

Далее рассмотрим объект, занимающий некоторую площадь прямоугольного сечения между двумя стержневыми молниеотводами размерами $a \times b \times h_0$. При увеличении ширины объекта от $b = 0$ до $b = a$ и сохранении заданного уровня защиты расстояние L_{max} между молниеотводами уменьшается до некоторого значения L_{max}^p . При условии $b = a$ защищаемая площадь будет максимальной.

Так как двойной молниеотвод наиболее эффективен при установке по длинной оси симметрии объекта, то в случае, если $a \leq b$, молниеотводы следует переставить по оси, параллельной стороне объекта b . На рис. 2,б приведена эпюра зоны защиты двойного молниеотвода на высоте объекта h_0 прямоугольной формы.

Расчеты показали, что если объект прямоугольной формы полностью занимает пространство между двумя стержневыми молниеотводами ($L = a$), то ширина объекта не должна превышать 0,9 его длины, т.е. $b = 0,9a$. При этом расстояние между молниеотводами $L = L_{\max}^{\text{II}}$, а ширина b равна удвоенному радиусу защиты одиночного стержневого молниеотвода на высоте объекта h_0 . В табл. 3 приведены данные для максимального расстояния L_{\max}^{II} между двумя стержневыми молниеотводами и соответствующего ему угла α_2 при защите прямоугольного объекта размерами $b = 0,9a$ и заданном уровне надежности $P_{\text{н}}$.

Таблица 3

Уровень защиты	Вероятность $P_{\text{н}}$	Прямоугольный объект			
		$b = 0,9a$ (двойной молниеотвод)		$b = a$ (четверной молниеотвод)	
		L_{\max}^{c}	α_2 , град	L_{\max}^{4}	α_4 , град
I	0,99	$1,3h_a$	40	$2,1h_a$	56
II	0,95	$1,6h_a$	46	$2,45h_a$	60
III	0,90	$2,0h_a$	52	$3,9h_a$	70

Из данных, приведенных в табл. 3, видно, что предельное расстояние L_{\max}^{II} , при котором обеспечивается заданный уровень защиты прямоугольного объекта размерами $b = 0,9a$ не превышает удвоенной высоты активной части молниеотвода, т.е. $L_{\max}^{\text{II}} \leq 2h_a$.

Изменение ширины прямоугольного объекта b определяется значением угла β , который образован осью, соединяющей молниеотводы, и радиусом защиты $r_{\text{x}2}$ от каждого из молниеотводов до наиболее удаленной точки на высоте объекта h_0 . Для объекта в форме прямоугольника значение угла изменяется от 0 при стороне прямоугольника $b = 0$ (П-образный объект), до 42° при стороне прямоугольника $b = 0,9a$ [1], что, в свою очередь, приводит к изменению предельного расстояния L_{\max}^{II} между двумя стержневыми молниеотводами.

Анализируя экспериментальные данные, приведенные в табл. 2 и 3, следует отметить, что предельное расстояние L_{\max} между двумя стержневыми

молниеотводами не является величиной постоянной, а зависит от уровня защиты и формы объекта. Так для I уровня защиты при увеличении ширины объекта от 0 до $b = 0,9a$ предельное расстояние изменяется от $L_{\max}^{\text{O}} = 2,86h_a$ до $L_{\max}^{\text{II}} = 1,3h_a$, а для III уровня защиты – от $L_{\max}^{\text{O}} = 4,5h_a$ до $L_{\max}^{\text{II}} = 2h_a$.

Представляет интерес сравнить значение предельного расстояния L_{\max} между двумя стержневыми молниеотводами при размещении объекта на оси, соединяющей молниеотводы, используемое в различных нормативных документах (табл. 4).

Таблица 4

Уровень защиты	Вероятность $P_{\text{н}}$	Предельное расстояние L_{\max}			
		РД	СО	МЭК	Эксперимент
I	0,99	$4h_a$	$4,75h_a$	$2,0h_a$	$2,86h_a$
II	0,95	-	-	$3,0h_a$	$3,46h_a$
III	0,90	$6h_a$	$5,75h_a$	$4,5h_a$	$4,5h_a$

Анализируя данные, приведенные в табл. 4, следует отметить значительное увеличение предельного расстояния L_{\max} (для некоторых случаев более чем в 2 раза) в методиках РД и СО по сравнению с данными МЭК и полученными экспериментально. Очевидно расхождение связано с тем, что в РД и СО предельное расстояние L_{\max} определялось на моделях в коротких (до 1–3 м) искровых промежутках относительно поверхности земли без учета формы и размеров защищаемого объекта.

Множественные стержневые молниеотводы. При числе молниеотводов больше двух наиболее эффективной по защищаемой площади является схема из четырех стержневых молниеотводов, расставленных по углам квадрата с одинаковым расстоянием $L_{\max}^{(4)}$ между ними. При необходимости к каждой паре могут быть добавлены еще два молниеотвода с образованием новой области между четырьмя стержневыми молниеотводами. И так сколько угодно в зависимости от планировки объекта. Защита внутренней области между четырьмя стержневыми молниеотводами рассчитывается самостоятельно по одинаковой схеме. Эпюра для определения защиты внутренней области активной части четырех стержневых молниеотводов на высоте объекта h_0 приведена на рис. 3.

Схема приведена для случая, когда длина и ширина объекта равны между собой и равны $L_{\max}^{(4)}$, т.е. $a = b = L_{\max}^{(4)}$.

Угол α_4 для четырех равновеликих стержневых молниеотводов определяется от вершины активной

части молниеотводов h_a до пересечения диагоналей квадрата: $\text{tg} a_4 = r_{x4} / h_a$; r_{x4} – расстояние, равное половине диагонали квадрата, которое называется радиусом защиты четырех стержневых молниеотводов.

В табл. 3 приведены данные по максимальному расстоянию $L_{\text{max}}^{(4)}$ и углу защиты a_4 для внутренней области между четырьмя стержневыми мол-

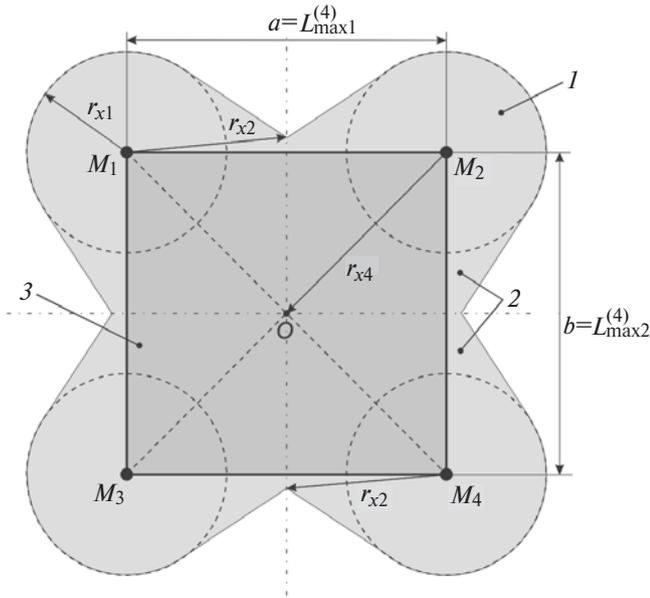


Рис. 3. Эпюра для определения предельного расстояния $L_{\text{max}}^{(4)}$ и зоны защиты между каждой парой четырех стержневых молниеотводов на высоте объекта h_0 : M_1, M_2, M_3, M_4 – стержневые молниеотводы; 1 – область защиты активной части одиночного молниеотвода; 2 – то же двойного молниеотвода; 3 – внутренняя область защиты активной части четырех стержневых молниеотводов

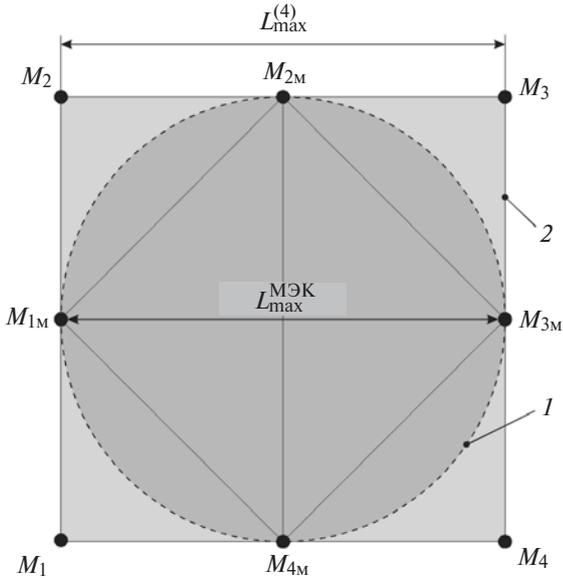


Рис. 4. Внутренняя область между четырьмя стержневыми молниеотводами на высоте объекта h_0 , M_1, M_2, M_3, M_4 – стержневые молниеотводы (расстановка в эксперименте); $M_{1M}, M_{2M}, M_{3M}, M_{4M}$ – стержневые молниеотводы (расстановка по МЭК); 1 – область защиты по МЭК 61305; 2 – то же по данным эксперимента

ниеотводами при $a = b = L_{\text{max}}^{(4)}$ и заданной вероятности P_H . При другом соотношении длины и ширины объекта ($b \neq a$) расстояние $L_{\text{max}}^{(4)}$ между смежными парами стержневых молниеотводов изменяется и в пределе стремится к расстоянию по линии между двумя стержневыми молниеотводами для П-образного объекта, т.е. $L_{\text{max}}^{(4)} = L_{\text{max}}^0 = 2r_{x2}$. Зона защиты за пределами внутренней области между двумя стержневыми молниеотводами определяется исходя из значения угла защиты a_1 и a_2 по схеме для одиночного и двойного молниеотводов.

При защите объекта в форме квадрата по схеме, приведенной на рис. 3, с вероятностью P_H предельное расстояние $L_{\text{max}}^{(4)}$ между каждым из четырех равновеликих молниеотводов почти в 2 раза больше, чем $L_{\text{max}}^{\text{II}}$ для двойного стержневого молниеотвода (см. табл. 3).

Сравнивая значение предельного расстояния L_{max} между двумя стержневыми молниеотводами во внутренней области защиты четырех стержневых молниеотводов, определенную методом обкатывания шаром радиусом R по МЭК ($L_{\text{max}}^{\text{M}} = 2h_a$), с данными табл. 3 ($L_{\text{max}}^{(4)} = 2,1h_a$), можно отметить совпадение верхней границы. С той лишь разницей, что в стандарте МЭК внутренняя область защиты четырех стержневых молниеотводов описывается кругом диаметром $D = 2R = L_{\text{max}}^{\text{M}}$ (рис. 4), а в нашем случае прямоугольником со сторонами $L_{\text{max}}^{(4)}$ (рис. 3), что расширяет область защиты четырех стержневых молниеотводов по сравнению с ее размерами по МЭК. Это объясняется тем, что в МЭК не учитывается взаимное влияние активной части многократных стержневых молниеотводов, которое приводит к увеличению защищаемой области на высоте объекта h_0 .

Выводы. 1. Уровень защиты P_H одиночного и многократных стержневых молниеотводов зависит от формы защищаемого объекта, радиуса защиты r_{x1} и высоты активной части молниеотводов h_a , возвышающейся над объектом, которые определяют значение угла защиты a° .

2. Предельное расстояние L_{max} при различных форме объекта и уровне защиты изменяется в широких пределах от $L_{\text{max}}^{\text{II}} = 1,3h_a$ до $L_{\text{max}}^0 = 4,5h_a$, что необходимо учитывать при проектировании молниезащиты с использованием стержневых молниеотводов.

3. Для объекта прямоугольной формы с размерами $b = 0,9a$ предельное расстояние $L_{\text{max}}^{\text{II}}$ между двумя стержневыми молниеотводами не превышает

удвоенной высоты активной части молниеотвода, т.е. $L_{\max}^{\text{II}} \approx 2h_a$.

4. При защите объекта прямоугольной формы с помощью четырех стержневых молниеотводов одинаковой высоты предельное расстояние $L_{\max}^{(4)}$ между каждой парой стержневых молниеотводов почти в 2 раза больше, чем L_{\max}^{II} у двойного стержневого молниеотвода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куприенко В.М. Об определении вероятности поражения зданий и сооружений разрядом молнии при их защите стержневыми и тросовыми молниеотводами. — Электричество, 2012, №11, с. 8–26.
2. Куприенко В.М. Анализ методик расчета и выбора параметров зоны защиты стержневых молниеотводов. — Электричество, 2012, №9, с. 39–43.
3. Куприенко В.М., Григорьев А.А., Деметриадес Г.И., Кадзов Г.Д. Результаты крупномасштабных исследований поражаемости зданий и сооружений при их защите многократными стержневыми и тросовыми молниеотводами. — Труды Второй

Российской конференции по молниезащите. — М.: ОАО «ЭНИН им. Г.М. Кржижановского», 22–24 сентября 2010, 6 с.

4. Куприенко В.М., Кадзов Г.Д. Исследование эффективности отдельно стоящих стержневых и тросовых молниеотводов по углу защиты. — Сб. докладов Первой Российской конференции по молниезащите. — Новосибирск, Сибирская энергетическая академия, 26–30 ноября 2007, с. 183–195.

5. Акопян А.А. Исследование защитного действия молниеотводов. — Труды ВЭИ, 1940, вып.36, с. 94–158.

6. РД 34.21.122–87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений (Минэнерго СССР). — М.: Энергоатомиздат, 1989.

7. СО 153-343.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. — М.: МЭИ, 2004.

8. Стандарты по молниезащите МЭК 62305 (ч. 1–5).

[07.10.14]

Автор: Куприенко Василий Михайлович окончил электромеханический факультет Ленинградского политехнического института в 1972 г. В 2009 г. защитил докторскую диссертацию в ОАО «26 ЦНИИ». Начальник отдела «23 ГМПИ» — филиала ОАО «31ГПИСС».

Elektrichestvo (Electricity), 2015, No. 4, pp. 20–25.

Limiting Sizes of the Zone Protected by the Active Part of Lightning Rods

V.M. KUPRIENKO

Protection of buildings and structures by means of lightning rods, including multiple ones, with different reliability levels P_r has not been scientifically substantiated to a sufficient extent as yet. The results of investigations aimed at determining the limiting distance L_{\max} between the lightning rods (including multiple ones) in protecting an arbitrarily shaped facility are presented. For analyzing the probability of hitting a facility protected by lightning rods, the protection angle α is used, which is determined by the ratio of protection radius r_x to the height of lightning rod active part arising above the facility of height h_f . It is shown that the limiting distance between the lightning rods depends on the facility shape, protection level P_r , and mutual influence of the lightning rods active part rising above the facility. Failure to consider the above-mentioned factors in protecting the facility with the specified reliability level results in that the limiting distance specified in the regulatory documents is considerably (sometimes by more than a factor of 2) larger than the actually required one.

Key words: lightning, lightning protection, lightning rods, protected zone, protection angle, facility hitting probability, lightning protection reliability

REFERENCES

1. Kupriyenko V.M. *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2012, No. 11, pp. 8–26.
2. Kupriyenko V.M. *Elektrichestvo – in Russ. (Electricity)*, 2012, No. 9, pp. 39–43.
3. Kupriyenko V.M., Grigor'yev A.A., Demetriades G.I., Kadzov G.D. *Trudy Vtoroi Rossiiskoi konferentsii po molnierzashchite* (Proc. of the Second Russian Conf. on Lightning Protection). Moscow. Krzhizhanovskii Power Engineering Institute, September 22–24, 2010, 6 p.
4. Kupriyenko V.M., Kadzov G.D. *Sbornik докладov Pervoi Rossiiskoi konferentsii po molnierzashchite – in Russ.* (Proc. of the First Russian Conf. on Lightning Protection). Novosibirsk, Siberian Electric Power Academy, November 26–30, 2007, pp. 183–195.

5. Akopyan A.A. *Trudy Vsesoyuznogo elektrotekhnicheskogo instituta – in Russ.* (Proc. of the All-Union Electrical Engineering Institute). Moscow, 1940, iss. 36, pp. 94–158.

6. RD 34.21.122–87. *Instruktsiya po ustroystvu molnierzashchity zdaniy i sooruzhenii* (Instructions on the lightning protection of buildings and structures). Moscow, Publ. Energoatomizdat, 1989.

7. SO 153-343.21.122–2003. *Instruktsiya po ustroystvu molnierzashchity zdaniy, sooruzhenii i promyshlennykh kommunikatsii* (Instructions on the lightning protection of buildings, structures and industrial communications). Moscow, Moscow Power Engineering Institute, 2004.

8. *Standarty po molnierzashchite MEK G62305 (ch. 1–5)* (IEC Standard 62305 on the lightning protections. Parts 1–5).

Author: Kupriyenko Vasilii Mikhailovich (St. Petersburg, Russia) — Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department at the «23-rd State Marine Design Institute».

