

Особенности защиты зданий и сооружений тремя стержневыми молниеотводами

КУПРИЕНКО В.М

Защита зданий и сооружений многократными стержневыми молниеотводами с различным уровнем надежности P_H , до настоящего времени не имеет достаточного обоснования. В статье приведены результаты исследований по определению предельного диаметра D_3 и расстояния L_{max} между трехстержневыми молниеотводами при защите объекта произвольной формы. Для анализа вероятности поражения объекта при его защите трехстержневыми молниеотводами использован угол защиты α_3 , который определяется отношением радиуса защиты r_x к высоте активной части молниеотводов h_a , возвышающейся над объектом высотой h_x . Показано, что диаметр D_3 и предельное расстояние L_{max} между трехстержневыми молниеотводами зависит от уровня защиты P_H и взаимного влияния активной части молниеотводов, возвышающейся над объектом. Неучет указанных факторов при защите объекта с заданным уровнем надежности P_H приводит к значительному (иногда более чем в 1,5 раза) завышению диаметра D_3 и предельного расстояния L_{max} в нормативных документах по молниезащите.

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

Требования к защите объектов от прямого удара молнии (ПУМ) отдельно стоящими стержневыми молниеотводами (МО), приведенные во всех нормативных документах РФ, разработаны на основе экспериментальных данных А.А. Акопяном [1]; им же разработан первый российский нормативный документ по молниезащите (МЗ) [2].

А.А. Акопян ввел понятие коэффициента защиты K_3 одиночного стержневого МО как отношение высоты активной части молниеотвода, возвышающейся над защищаемым объектом, к радиусу защиты на его высоте: $K_3 = h_a / r_x$. Далее он распространил это понятие для двух-, трех- и более стержневых МО.

По результатам экспериментальных исследований А.А. Акопяном отмечалось, что при защите объекта двумя и более стержневыми молниеотводами радиус внутренней зоны защиты между ними увеличивается по сравнению с радиусом зоны защиты двух одиночных стержневых молниеотводов. Расширение зоны защиты происходит за счет взаимного влияния между молниеотводами. Степень взаимного влияния зависит от числа молниеотводов и расстояния между ними. Например, по [2] при ширине объекта $b_x = 0$ предельное расстояние, на котором сохраняется взаимное влияние между двумя стержневыми, МО составляет $L_{max} = 5,45h_a$.

В дальнейшем при разработке новых российских нормативных документов [3 и 4] (далее РД и СО) предельное расстояние L_{max} между двумя стержневыми МО определялось относительно их полной высоты h_M , что привело к существенному завышению зоны защиты двух и более стержневых

МО. Например, в РД для зоны Б значение L_{max} равно $6,0h_M$, а для зоны А $L_{max} = 4,0h_M$, где h_M - полная высота МО. В СО для надежности МЗ $P_H = 0,9$ — $L_{max} = 5,5, 5,75h_M$, а $P_H = 0,99$ — $L_{max} = 4,5, 4,75h_M$. В указанных нормативных документах ширина зоны защиты $r_{cx} = b_x / 2$, которая определяет поперечный размер b_x прямоугольного объекта, слабо зависит от расстояния L , что дополнительно завышает защищаемую площадь при сравнительно небольшой высоте молниеотводов h_M .

В [5, 6] уровень защиты объекта отдельно стоящими стержневыми МО, так же как в [2], характеризуется отношением активной части МО h_a , возвышающейся над объектом, к ширине зоны защиты r_x , которое характеризует угол защиты α ($h_a / r_x = \text{tg}\alpha$). Например, в [5] (далее МЭК) угол защиты α определяет зону защиты одиночного стержневого МО на высоте h_x защищаемого объекта. В нормах [6] (далее ВСП) угол защиты α , полученный в результате экспериментальных исследований, используется для определения размеров зоны защиты одного, двух и четырех стержневых МО также на высоте защищаемого объекта h_x . При задании угла защиты относительно наиболее удаленной точки на высоте h_x не объект вписывается в построенную зону защиты, как это принято в [3, 4], а определяется высота стержневых МО $h_M = h_a + h_x$, установленных на заданном расстоянии от объекта, обеспечивающая требуемый уровень защиты.

Предельное расстояние между двумя стержневыми МО, например в МЭК, для надежности МЗ

$P_H = 0,99$ $L_{\max} = 2,0h_a$, причем взаимное влияние между ними не учитывается, что приводит к занижению реальных размеров зоны защиты многократных стержневых МО.

В [7] с учетом взаимного влияния между двумя стержневыми МО предельное расстояние для надежности МЗ $P_H = 0,99$ равно $L_{\max} = 2,86h_a$, что существенно больше, чем в МЭК, но значительно меньше, чем в [3, 4]. Результаты исследований, приведенные в [7], выполнены в развитие методики, приведенной в ВСП.

Конфигурация зон защиты на уровне высоты защищаемого объекта h_x остается неизменной относительно начальной, приведенной в [1], однако ее размеры существенно уменьшились, что подтверждено новыми экспериментальными данными, полученными в разрядных промежутках на порядок большей длины, чем у А.А. Акопяна [7, 8].

При таком различии размеров зоны защиты двух стержневых МО зона защиты многократных МО, рассчитываемая по методикам разных нормативных документов, будет иметь различные размеры, так как она определяется суммой зон защиты двойных МО с учетом их взаимного влияния друг на друга.

Методики расчета размеров внутренней зоны защиты четырех стержневых МО, размещенных по углам прямоугольника, приведены в [2, 5, 6].

Наиболее корректные размеры внутренней зоны защиты двух и четырех стержневых МО с учетом их взаимного влияния и уровня надежности $P_H = 0,90 - 0,99$ определены по результатам экспериментальных исследований в [7].

Для трех стержневых МО при расчете размеров их внутренней зоны защиты по методике, предложенной в [2], и методике, приведенной в [3], получаются несопоставимые результаты, что затрудняет их практическое использование.

В статье приводится анализ методик расчета размеров зоны защиты трех стержневых МО, приведенных в разных НД, и их сравнение с результатами крупномасштабных испытаний в длинных искровых промежутках.

Анализ методик расчета зоны защиты трех стержневых МО. Методика расчета зоны защиты трех стержневых МО высотой до 100 м, предложенная А.А. Акопяном, основана на экспериментальных данных по определению зон защиты попарно взятых двух стержневых МО при условии, что диаметр окружности (рис. 1), проходящей через вершины треугольника, не превышает $D \leq h_a 3,85 / \sqrt{h_M}$ [2]. В более поздней работе [9] диаметр окружности, проходящей через вершины треугольника, был изме-

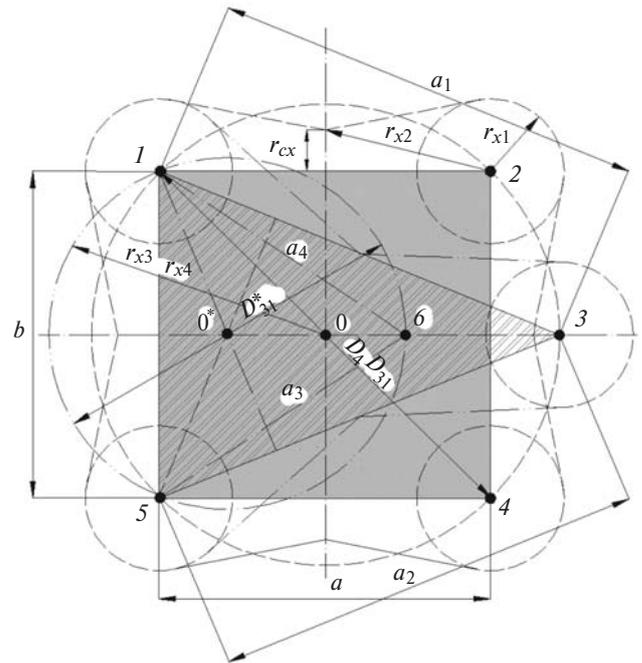


Рис. 1. Зона защиты трех- и четырехстержневых молниеотводов на высоте h_x объекта (внутренняя область затемнена): 1–6 – стержневые МО; ab – внутренняя область четырех стержневых МО; $a_1 a_2 b$ – внутренняя область в виде равнобедренного треугольника трех стержневых МО; $a_3 a_4 b$ – внутренняя область в виде равностороннего треугольника трех стержневых МО; r_{1x} – радиус защиты одиночного МО; r_{2x} – радиус защиты двойного МО; $r_{3x} = r_{4x}$ – радиусы защиты трех и четырех стержневых МО

нен: $D \leq 8h_a P$, где $P = 1$ при $h_M < 30$ м; $P = 5,5 / \sqrt{h_M}$ при $h_M = 30, 100$ м.

В [3] условием защиты одного или нескольких объектов высотой h_x тремя стержневыми МО с надежностью, соответствующей зоне А и зоне Б, является выполнение неравенства $r_{cx} \geq 0$, где r_{cx} – ширина зоны защиты двух стержневых МО. При допустимом в РД значении $L_{\max} = (4,0 - 6,0)h_M$ для двух стержневых МО это условие очевидно приводит к завышению размеров внутренней области трех стержневых МО.

Необходимо отметить, что в [2, 9] диаметр окружности D (а следовательно, и размеры внутренней области трех стержневых МО) определяется, исходя из высоты их активной части h_a и радиуса защиты r_x , а в РД – исходя из полной высоты h_M МО и ширины r_{cx} зоны защиты двух стержневых МО.

В [4] методика определения зоны защиты для многократных стержневых МО (в том числе и для трех стержневых) отсутствует.

Рассмотрим на примере выполнение условий, приведенных в [2, 3, 9], для трех стержневых МО.

Пример. Объект площадью $ab = 40 \times 40$ м и высотой $h_x = 20$ м защищен тремя стержневыми МО высотой $h_M = 50$ м, размещенными по схеме равностороннего треугольника.

Диаметр окружности, соединяющей вершины треугольника, по [2] равен $D = 163,4 \text{ м}$ ($D_1 = 5,45h_a$), а по методике [9] $D_2 = 186 \text{ м}$ ($D_2 = 6,2h_a$). При этом предельное расстояние L_{max} между двумя стержневыми МО для D_1 равно $L_{\text{max}} = 141,5 \text{ м}$ ($4,71h_a$), а для D_2 $L_{\text{max}} = 161,2 \text{ м}$ ($5,37h_a$).

По РД для зон А и Б при ширине зоны защиты, близкой к нулю, $r_{\text{сх}} = 0,1^3 \text{ 0}$ и $L = 4,5h_M = 225 \text{ м}$, а диаметр окружности, проходящей через вершины треугольника, по аналогии с [2, 9] составил бы $D_3 = 259,7 \text{ м}$ ($D_3 = 8,65h_a$). Диаметр D_3 не является максимальным, так как принятое в примере значение $L = 4,5h_M$ меньше допустимого в РД предельного расстояния между двумя стержневыми МО, определяемого отношением $L_{\text{max}} \leq 6h_M$.

Таким образом, из примера следует, что при одинаковых условиях значения диаметра окружности D , соединяющей вершины треугольника, полученные по разным нормативным документом (а следовательно, и размеры внутренней зоны защиты) отличаются более чем в 1,5 раза, что совершенно не приемлемо при проектировании МЗ с использованием трех стержневых МО.

Если предположить, что внутренняя область трех стержневых МО защищена при прочих равных условиях не хуже, чем внутренняя область четырех стержневых МО (рис. 1), то для оценки предельных размеров диаметра окружности, проходящей через вершины треугольника, можно использовать данные, приведенные в [7], для четырех стержневых МО, установленных по углам квадрата ($b = a$, см рис. 1). Диаметр окружности D_4 для четырехстержневого МО определяется, исходя из радиуса защиты $r_x^{(4)}$, высоты активной части МО h_a и угла защиты a_4 : $r_x^{(4)} = D_4 / 2 = h_a \text{ tg} a_4$. Согласно схеме на рис. 1 радиусы защиты $r_x^{(3)} = D_{31} / 2$ и $r_x^{(4)}$ равны между собой при расстановке трех стержневых МО

по схеме равнобедренного треугольника, так как МО соединены окружностью одинакового диаметра ($D_{31} = D_4$). Предельный диаметр окружности, соединяющий трех- и четырехстержневые МО с заданным уровнем надёжности P_H , равен [7]:

$$P_H = 0,99: D_4 = D_{31} = 2,86h_a \quad (a_4 = 55^\circ);$$

$$P_H = 0,95: D_4 = D_{31} = 3,46h_a \quad (a_4 = 60^\circ);$$

$$P_H = 0,90: D_4 = D_{31} = 5,5h_a \quad (a_4 = 70^\circ).$$

Угол защиты a_4 получен экспериментально и может быть использован для расчета радиусов защиты $r_x^{(3)}$ и $r_x^{(4)}$ (диаметров окружности D_{31} и D_4) трех- и четырехстержневых МО в зависимости от высоты их активной части h_a . В табл. 1 приведены данные по размеру диаметра окружности трехстержневых D_{31} и четырехстержневых МО D_4 , а также по предельному расстоянию $L_{\text{max}}^{\text{II}}$ между каждой парой трех- и четырехстержневых МО при защите их внутренней области с уровнем надёжности P_H .

Как видно из данных, приведенных в табл. 1, предельное расстояние $L_{\text{max}}^{(3)}$ и $L_{\text{max}}^{(4)}$ между каждой парой двухстержневых МО, образующих внутреннюю область трех- и четырехстержневых МО, и, соответственно, угол защиты a_2 для каждого из трех уровней защиты не превышает допустимого значения, при котором сохраняется взаимное влияние между двумя стержневыми МО [7], а это значит, что их внутренний объем будет защищен с заданным уровнем надёжности.

Если трехстержневые МО будут установлены по схеме равностороннего треугольника, где стороны $a_3 = a_4 = b = L_{\text{max}}^{(3)*} = L_{\text{max}}^{(4)}$ меньше $L_{\text{max}}^{(3)}$, то диаметр окружности $D_{31}^* = 1,154L_{\text{max}}^{(3)*}$ будет меньше, чем в случае равнобедренного треугольника (см. рис. 1), и его внутренний объем будет с большей надёжностью защищен от разряда молнии при заданном в табл. 1 значении угла a_2 .

Таблица 1

Уровень защиты	Надёжность, P_H	Угол a_4 (a_3)	Молниеотвод			
			трехстержневой		четырёхстержневой	
			$L_{\text{max}}^{(3)}$	D_{31}	$L_{\text{max}}^{(4)}$	D_4
I	0,99	55	$2,62h_a$ ($a_2 = 52,6^\circ$)	$2,86h_a$	$2,0h_a$ ($a_2 = 45^\circ$)	$2,86h_a$
II	0,95	60	$2,9h_a$ ($a_2 = 55,4^\circ$)	$3,46h_a$	$2,44h_a$ ($a_2 = 50,6^\circ$)	$3,46h_a$
III	0,90	70	$3,89h_a$ ($a_2 = 62,8^\circ$)	$5,5h_a$	$3,86h_a$ ($a_2 = 62,6^\circ$)	$5,5h_a$

Примечание. Данные по $L_{\text{max}}^{(3)*}$ относятся к сторонам $a_1 = a_2$ равнобедренного треугольника (см. рис 1); сторона b имеет меньшие размеры, например для $P_H = 0,99$ $L_{\text{max}}^{(3)*} = 2,5h_a$ ($a_2 = 50,2^\circ$) и с большей надёжностью защищена от разряда молнии.

Из данных, приведенных в табл. 1, следует, что предельное расстояние $L_{\max}^{(3)}$ между двумя трехстержневыми МО больше, чем $L_{\max}^{(4)}$ между двумя четырехстержневыми, однако защищаемый внутренний объем трехстержневых МО почти в 2 раза меньше, чем четырехстержневых (см. рис. 1).

Для приведенного примера при $P_H = 0,9$ в соответствии с данными табл. 1 $D_{31} = D_4 = 165$ м, что достаточно хорошо согласуется с диаметром окружности, соединяющей вершины треугольника, определенным по методике [2] и равным $D_1 = 163,4$ м.

Исходя из этого экспериментальные методики, приведенные в [2] и в статье с использованием угла защиты α_4 , могут быть рекомендованы для определения размеров внутренней области защиты трехстержневых МО, с той лишь разницей, что методика [2] очевидно ограничена надежностью $P_H = 0,9$ (в методике не определен уровень надежности), а в статье надежность МЗ расширена до $P_H = 0,90, 0,99$.

Внешняя граница трехстержневых МО на высоте защищаемого объекта h_x (см. рис. 1) определяется зоной защиты одиночного МО с радиусом защиты $r_x^{(1)}$ и углом защиты $\alpha_1 = 30^\circ$ и двухстержневого МО с радиусом защиты $r_x^{(2)}$ и углом защиты $\alpha_2 = 40, 54^\circ$ в зависимости от расстояния между каждой парой трех стержневых МО (ширины защищаемой области b_x двух стержневых МО) [8].

Если сравнивать полученные данные с приведенными в методике [5], которая не учитывает эффект взаимного влияния между МО, то для $P_H = 0,99$ диаметр окружности, соединяющий три стержневые МО не превышает $D_{МЭК} = 2,0h_a$, что меньше, чем диаметр $D_{31} = 2,86h_a$, приведенный в табл. 1.

Результаты экспериментальных исследований зоны защиты трехстержневых МО. Распространение результатов расчета внутренней области четырехстержневых МО на трехстержневые, приведенное ранее, требует экспериментального подтверждения.

Экспериментальные исследования проводились на модели объекта площадью $ab = 40 \times 40$ м, высотой $h_x = 10$ м в масштабе 1/10 натурального значения. Длина искрового промежутка составляла $S = 15$ м. Вероятность поражения исследуемой модели объекта без защиты составляла $P_0 = 0,63$.

Зона защиты трех стержневых МО, установленных по схеме равнобедренного треугольника для данного объекта показана на рис. 2. Диаметр окружности, проходящей через три МО, равен $D = 62,9$ м, сторона $M_1M_3 = M_2M_3 = 60$ м; сторона $M_1M_2 = 30$ м, высота МО $h_1 = h_2 = h_3 = 32$ м, высота их активной части $h_a = 22$ м. При $P_H = 0,99$ ра-

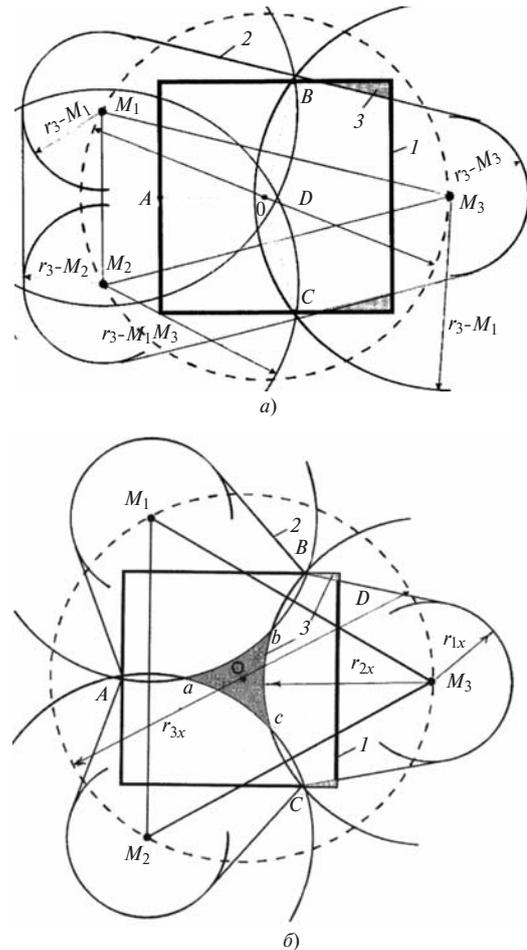


Рис. 2. Зона защиты трех стержневых МО, установленных по схеме равнобедренного треугольника (а) и по схеме равнобедренного треугольника (б): затемненная часть – область возможного прорыва разрядов молнии на объект; 1 – объект; 2 – зона защиты; 3 – область поражения; M_1, M_2, M_3 – молниеотводы; D – диаметр окружности через вершины трех МО

диус защиты $r_x^{(3)} = D_{31} / 2 = 1,43h_a = 31,6$ м, а угол защиты, определяемый отношением $r_x^{(3)} / h_a$, равен $\alpha_3 = 55^\circ$, т.е. внутренняя область трех МО согласно табл. 1 должна быть защищена по 1 категории. На рис. 2 показана зона возможного прорыва разрядов молнии на объект за пределами внутренней области трех стержневых МО.

Результаты исследования вероятности поражения модели объекта, защищенного трехстержневыми МО, установленными по рис. 2, приведены в табл. 2. Точки поражения модели при различной высоте h_a их активной части показаны на рис. 3. При снижении высоты h_a активной части трех стержневых МО зона возможного прорыва разрядов молнии будет увеличиваться и при некоторой ее высоте будет поражаться внутренняя область трех стержневых МО, что и показано на рис. 3,з.

Угол защиты внутренней области $\alpha_3 = 55^\circ$ (п. 1 табл. 2) соответствует защите по 1 категории, а угол защиты двух стержневых МО $\alpha_2 = 54^\circ$

Таблица 2

Номер п/п	Высота МО h_m , м	Поражение разрядом молнии					Угол защиты, град.	Надежность защиты P_H
		Объект	Грунт	M_1	M_2	M_3		
Расстановка молниеотводов по схеме равнобедренного треугольника ($D_{31}=6,29$ м)								
1	3,2	1	29	25	18	27	55/54	0,98
2	2,7	5	34	25	24	22	61/60,5	0,92
3	2,2	6	35	19	22	15	69/68,2	0,9
4	1,7	10	30	13	28	19	77	0,84
5	1,2	18	22	22	30	8	86	0,71
Расстановка молниеотводов по схеме равностороннего треугольника ($D_{31}^*=7,0$ м)								
6	3,46	0	21	24	27	28	55/51	³ 0,99
7	3,3	3	34	23	21	19	56,7/53	0,95

превышает его допустимое значение (см. табл. 1), что привело к одному поражению объекта в серии из 100 воздействий за пределами внутренней зоны.

Анализ результатов испытаний, приведенных в табл. 2, показал, что внутренняя область трех стержневых МО защищена до тех пор, пока угол защиты α_3 при снижении высоты h_a не превысит 69° . При этом интенсивность поражения периметра объекта в каждой серии из 100 воздействий резко возрастает, начиная с угла защиты, равного 60° . Некоторое увеличение внутреннего угла защиты α_3 можно объяснить схемой расстановки трех стержневых МО, когда внутренняя область сужается за счет значительно меньшего размера стороны M_1M_2 равнобедренного треугольника.

Характерные точки поражения модели, выходящие за пределы внутренней области, приведены на рис. 3. Так на рис. 3,а–в поражаются углы модели объекта, выступающие за пределы зоны защиты двух стержневых МО M_1M_3 и M_2M_3 , что соответст-

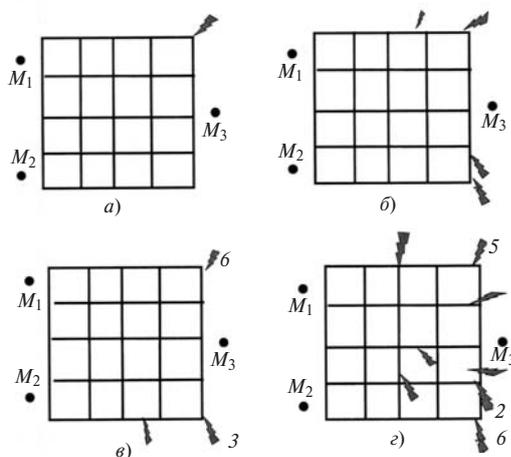


Рис. 3. Характерные точки поражения модели объекта при изменении высоты h_a активной части МО: а – $h_a = 2,2$ м; б – $h_a = 1,2$ м; в – $h_a = 0,7$ м; г – $h_a = 0,2$ м; $r_x^{(3)} = 3,15$ м; 2, 3, 5, 6 – число разрядов в данную область

вует расчетной области поражения, приведенной на рис. 2. На рис. 3,г уже поражается внутренняя область зоны защиты трехстержневого МО при общей надежности МЗ, равной $P_H = 0,71$.

Зона защиты трех стержневых МО, установленных по схеме равностороннего треугольника, показана на рис. 2,б. Экспериментальные исследования проводились для натурального объекта площадью $ab = 40 \times 40$ м, высотой $h_x = 10$ м со следующими параметрами: стороны $a = b = c = L_{\max}^{(3)*} = 60,6$ м, высота МО $h_1 = h_2 = h_3 = 34,6$ м, высота их активной части $h_a = 24,6$ м и 23 м. Диаметр окружности, проходящей через три МО, установленных по схеме равностороннего треугольника, равен $D_{31}^* = 1,1541L_{\max}^{(3)*} = 70$ м.

Результаты испытаний трех стержневых МО при расстановке молниеотводов по схеме равностороннего треугольника (см. рис. 2,б) приведены в пп. 6, 7 табл. 2.

Согласно п. 6 табл. 2 угол защиты $\alpha_3 = 55^\circ$, а угол защиты $\alpha_2 = 51^\circ$, т.е. внутренняя область трех МО в соответствии с данными табл. 1 должна быть защищена по 1 категории, и в серии из 100 воздействий не наблюдалось ни одного поражения модели объекта.

На рис. 2,б показана зона возможного прорыва разрядов молнии на объект за пределами внутренней области трех стержневых МО при высоте $h_a = 24,6$ м. При снижении высоты активной части трех стержневых МО с 24,6 м до 23,0 м (см. п. 7 табл. 2) наблюдалось три поражения в предполагаемую зону (рис. 2,б), что также коррелируется с данными, приведенными в табл. 1.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований подтвердили возможность использования угла защиты α_4 , полученного для четырех стержневых МО при расчете надежности МЗ внутренней области трех стержневых МО. Соотноше-

ния, приведенные в табл. 1, могут быть использованы для расчета размеров внутренней области трех стержневых МО, защищенной с надежностью $P_H = 0,90-0,99$.

Выводы. 1. Анализ методик расчета зоны защиты трех стержневых молниеотводов показал значительное (до 1,5 раз) расхождение в определении ее размеров по различным нормативным документам, что не допустимо при проектировании молниезащиты объектов.

2. Разработанная методика расчета внутренних размеров зоны защиты трех стержневых молниеотводов с надежностью $P_H = 0,90-0,99$ основана на учете угла защиты α_4 внутренней области четырех стержневых МО, установленных по результатам экспериментальных исследований.

3. Результаты экспериментальных исследований на моделях объекта при его защите тремя стержневыми МО подтвердили правомерность основных положений предложенной методики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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

Elektrichestvo (Electricity), 2016, No. 6, pp. 4–9.

Features of Protection of Buildings and Structures with Three Lightning Rods

KUPRIYENKO Vasilii Mikhailovich (23 State Marine Design Institute, St. Petersburg, Russia) — Head of the Department, Dr. Sci. (Eng.)

Lightning protection of buildings and constructions by multiple lightning-conductor rods with different level of protection P_H still doesn't have reliable scientific substantiation. This paper shows the results of investigations, devoted to determination of the maximum diameter D_3 and distance L_{max} between multiple lightning-conductor rods, used for protection of construction with arbitrary shape. To analyze probability of damaging the object defended by lightning-conductor rods we use the protection angle α , determined by relation of the protection radii r_x to the height of active part of the rods h_a , risen over the object with the height h_x . It is shown that diameter D_3 and the maximum distance L_{max} depends on the shape of the object, level of protection P_H , and crosstalk of active part of the rods. Lack of taking into account of all these parameters results in significant overestimation (sometimes more than twice) of the maximum diameter D_3 and distance L_{max} .

Key words: lightning, lightning protection, lightning-conductor rod, protection zone probability of damaging, reliability

REFERENCES

1. **Акопян А.А.** *Trudy Vserossiiskogo Elektrotekhnicheskogo Instituta — in Russ. (Proc. of the All-Russia Electrical Engineering Institute)*, 1940, iss. 36, pp. 94–158.
2. **Ukazaniya po grozozashchite zdaniy i sooruzhenii i zashchite ot staticheskogo elektrichestva** (Instruction for lightning protection of buildings and structures and protection against static electricity). Moscow, Voenizdat USSR Ministry of Defence, 1958, 219 p.
3. **RD 34.21.122-87. Instruksiya po ustroystvu molnierzashchity zdaniy i sooruzhenii** (Minenergo SSSR) (Instruction for lightning protection of buildings and structures). Moscow, Publ. Energoatomizdat, 1989.
4. **SO 153-343.21.122-2003. Instruksiya po ustroystvu molnierzashchity zdaniy, sooruzhenii i promyshlennykh kommunikatsii** (Instruction for designing lightning protection of buildings,

2. **Ukazaniya** po grozozashchite zdaniy i sooruzhenii i zashchite ot staticheskogo elektrichestva. — М.: Воениздат МО СССР, 1958, 219 с.

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

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

5. **МЭК 62305.** Молниезащита. Ч.1–5, 2003.

6. **ВСП 22-02-07/МО РФ.** Нормы по проектированию, устройству и эксплуатации молниезащиты объектов военной инфраструктуры. — М., 2007, 168 с.

7. **Куприенко В.М.** Определение предельных размеров зоны защиты активной части отдельно стоящих стержневых молниеотводов. — *Электричество*, 2015, № 4, с. 20–25.

8. **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.

9. **Ларионов В.П.** Защита жилых домов и производственных сооружений от молнии. — М.: Энергия, 1974,

[15.02.16]

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 Государственного морского проектного института».

structures, and industrial service lines). Moscow, Publ. Moscow Power Engineering Institute, 2004.

5. **МЭК 62305.** *Molnierzashchita* (Lightning Protection), Parts 1–5, 2003.

6. **VSP 22-02-07. RF.** Defense Ministry. *Normy po proektirovaniyu, ustroystvu i ekspluatatsii molnierzashchity ob'ektov voyennoi infrastruktury* (Regulations for design and operation of lightning protection for military infrastructure facilities). Moscow, 2007, 168 p.

7. **Kupriyenko V.M.** *Elektrichestvo — in Russ. (Electricity)*, 2015, No. 4, pp. 20–25.

8. **Kupriyenko V.M.** *Elektrichestvo — in Russ. (Electricity)*, 2012, No. 11, pp. 8–26.

9. **Larionov V.P.** *Zashchita zhilykh domov i proizvodstvennykh sooruzhenii ot molnii* (Lightning protection of residential houses and production facilities). Moscow, Publ. «Energiya», 1974, 215 p.

