

Расчет зоны защиты стержневых и тросовых молниеотводов с использованием угла защиты α

В докладе предложена методика расчета зон защиты стержневых и тросовых молниеотводов с использованием угла защиты α . Методика учитывает взаимное влияние двойных и многократных стержневых (тросовых) молниеотводов на размеры зоны защиты и основана на полученных автором результатах крупномасштабных испытаний. Приведен пример расчета молниезащитной системы условного объекта.

Ключевые слова: молния, молниезащита, стержневые и тросовые молниеотводы, зона защиты, угол защиты.

В.М. Куприенко

Критическая оценка действующих отечественных и зарубежных нормативных документов в ряде появившихся за последнее время публикаций [1,2] ставит вопрос о необходимости разработки нормативного документа по молниезащите на принципиально новой методической основе с учетом положительного опыта применения существующих методик.

Основу всех действующих нормативных документов составляет методика расчета и выбора параметров зоны защиты стержневых и тросовых молниеотводов, обеспечивающих требуемую надежность молниезащиты [3,4,5,6]. Базовым элементом различных методик является зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h , радиус защиты r_x которого определяет надежность молниезащиты объекта. Принципиальным вопросом при этом является методика расчета зоны защиты стержневого и тросового молниеотводов.

Основными показателями нормирования молниезащиты являются вероятность поражения P_H объекта прямым ударом молнии (ПУМ), эффективность (надежность) защитного действия устройств молниезащиты и функциональная взаимосвязь показателей эффективности с категорией молниезащиты объекта, его конструктивными особенностями и параметрами разряда молнии.

В зависимости от значимости объекта молниезащиты, типа здания (сооружения) его назначения, наличия взрывчатых или легко воспламеняющихся веществ, опасности для экологии, окружающей среды и населения, возможного материального ущерба объекты разделяются, как правило, на три категории [3,5,6]. Для объектов I, II и III категории молниезащиты соответствует один уровень защиты, который характеризуется эффективностью P_H внешней молниезащитной системы (МЗС) при заданном предельно допустимом числе N_d прорывов молнии к объекту. Допустимое число прорывов N_d , уд/в год и требуемая эффективность внешней молниезащиты P_H , определяют уровень защиты объекта.

В результате многочисленных экспериментальных исследований, выполненных в ОАО «26ЦНИИ», разработан новый подход к расчету и выбору зоны защиты стержневых и тросовых молниеотводов. Зона защиты в предлагаемой методике определяется по величине угла защиты α . В отличие от методики расчета, предложенной в документе МЭК 62305, угол защиты α определяется не по т.н. «электрогеометрической» модели, а по результатам крупномасштабных испытаний с учетом взаимного влияния двойных и многократных стержневых (тросовых) молниеотводов. Суть предлагаемой методики заключается в следующем.

1. Для заданной категории объекта молниезащиты определяется требуемая надежность (эффективность) внешней МЗС (вероятность перехвата молнии P_H).
2. Выбирается наиболее приемлемый для данного объекта тип МЗС.
3. Производится расчет высоты молниеотводов (высота подвеса троса) внешней МЗС по соответствующему категории объекта углу защиты α .

Выбор показателя эффективности (надежности) внешней молниезащитной системы для объекта заданной категории

Выбор типа и расчет высоты молниеотводов для защиты от прямого удара молнии (ПУМ) производится исходя из параметров объекта: длины, ширины, высоты ($a \times b \times h_0$) и заданной надежности (эффективности) P_H внешней молниезащитной системы. Объект считается защищенным,

если совокупность всех его молниеотводов обеспечивает требуемое значение эффективности (надежности) молниезащиты при заданной предельно допустимой частоте (вероятности) прорыва молнии к объекту (сооружению) N_o .

Эффективность внешней молниезащитной системы P_H должна соответствовать установленной категории здания (сооружения) и является исходной предпосылкой для ее проектирования. Категория молниезащиты объекта (здания, сооружения) указывается в задании на проектирование.

На первом этапе выбора МЗС разрабатывается расчетная модель объекта и выполняется анализ грозовой активности (среднегодового числа грозových разрядов на единицу площади) в рассматриваемой местности. Эти данные служат основой для определения вероятности поражения N_{II} незащищенного объекта разрядом молнии. Определение N_{II} производится по следующим формулам [3]:

$N_{II} = 9 \pi h_0^2 n \cdot 10^{-6}$ - для сосредоточенных сооружений (дымовые трубы, вышки и т.п.);

$N_{II} = [(a + 6h_0)(b + 6h_0) - 7,7h_0^2] n \cdot 10^{-6}$ - для зданий и сооружений прямоугольной формы (или приведенных к прямоугольной форме),

где h_0 - наибольшая высота здания или сооружения, м;

a, b - соответственно длина и ширина здания или сооружения, м;

n - среднегодовое число ударов молнии в 1 км^2 земной поверхности (удельная плотность, ударов молнии в землю) в месте нахождения здания или сооружения.

На втором этапе устанавливается предельно допустимое для данного объекта число ударов N_o молнии в год (уровень защиты). Например, для объектов I категории один раз в 1000, II категории - 500, III категории - 100 лет.

На третьем этапе производится сравнение вероятности поражения N_{II} незащищенного объекта заданной категории с предельно допустимым для рассматриваемого объекта среднегодовым числом прямых ударов молнии N_o в год, приводящих к опасным последствиям.

Если $N_{II} > N_o$, то производится выбор внешней молниезащитной системы. Для этой цели определяется расчетная эффективность P'_H внешней МЗС, которая обеспечивает не превышение предельно допустимого числа ударов N_o молнии в год для объекта заданной категории:

$$P'_H = 1 - N_o / N_{II}.$$

Для обеспечения требуемого уровня молниезащиты эффективность P_H выбранной внешней МЗС должна быть не ниже ее расчетного значения P'_H , т.е. $P_H > P'_H$. Если это условие выполняется, то по данным таблицы определяются угол защиты α , обеспечивающий требуемую эффективность P_H внешней МЗС, и производится расчет ее параметров.

Расчет высоты молниеотводов внешней МЗС

Расчет высоты молниеотводов внешней МЗС производится по защитному углу (углу защиты α). Приведенная ниже методика определения высоты отдельно стоящих стержневых и тросовых молниеотводов по защитному углу α распространяется на устройство молниезащиты маловысотных (высотой до 20м) объектов [6]. При этом высота отдельно стоящих стержневых (тросовых) молниеотводов не должна превышать 60м [4].

Методика определения параметров молниеотводов по углу защиты α может быть распространена на более высокие здания и сооружения при установке молниезащитных устройств непосредственно на объекте. При этом суммарная высота объекта защиты и установленных на нем молниеотводов не должна превышать 60м.

Угол защиты α определяется от вершины стержневого или тросового молниеотвода до наиболее удаленной точки объекта на его высоте h_0 . Метод защитного угла может быть использован как для простых по форме сооружений, так и для объектов сложных форм.

При определении угла защиты стержневые молниеотводы, мачты и тросы размещаются так, чтобы все части здания (сооружения) на его высоте h_0 находились в зоне защиты, образованной под углом α к вершине молниеотвода высотой h .

Значения угла защиты α одиночных (внешний угол защиты) и многократных молниеотводов (внутренний угол защиты), обеспечивающих требуемый уровень молниезащиты для зданий и сооружений высотой до 20м различной категории и занимаемой площади, приведены в таблице. Там же праведны рекомендуемые площади объекта в плане, для которой целесообразно применять выбранную схему молниезащиты.

Данные по углу α , приведенные в таблице, получены в результате большого числа крупномасштабных испытаний по сравнительной оценке эффективности различных схем молниезащиты для объекта в форме квадрата (при $a=b$). Для объекта вытянутого по форме ($b \rightarrow 0$), угол защиты увеличивается, что приводит к увеличению зоны защиты одинаковых по высоте молниеотводов.

Таблица

Категория объекта по молниезащите	Уровень защиты		Схема молниезащиты объектов высотой до 20м							
			Одиночный стержень		Двойной стержень			Четыре стержня		Тросовая
	Одиночный	Двойной								
	Доп. число прорывов N_d , уд/в год	Надежность МЗС, P_H	площадь объекта в плане не более S , м ²							
			0,5	100	100	400	2000	2500	2000	2500
			Угол защиты, α^0							
			внешний	внутренний				внешний	внутренний	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I	0,001	0,99	25	30	45	42	40	56	32	68
II	0,005	0,95	32	38	50	48	46	60	57	75
III	0,01	0,9	35	46	56	54	52	68	70	78

Для внешней зоны каждого из многократных стержневых молниеотводов, двойного тросового молниеотвода и молниезащитной сетки угол защиты α определяется как для одиночного молниеотвода (стержневого, тросового).

При прочих равных условиях угол защиты α многократных молниеотводов и двойного тросового молниеотвода во внутренней области между молниеотводами значительно больше, чем у одиночного стержневого и одиночного тросового молниеотвода (см. данные таблицы).

Учет влияния формы объекта при определении величины угла защиты α

Изменение формы объекта (когда размер a не равен b), характеризуется величиной угла β , рисунок 1. Угол β , образован между осью, соединяющей молниеотводы и радиусом защиты r_x , от каждого из молниеотводов до наиболее удаленной точки n по оси симметрии на высоте объекта h_0 .

На рисунке 2 приведены полученные экспериментально графические зависимости изменения угла защиты α от величины угла β ($40^0 > \beta > 0$) в случае защиты объекта двумя стержневыми молниеотводами. При величине угла $\beta = 0^0$ объект высотой h_0 представляет собой линию, и угол защиты α имеет максимальное значение (для I уровня защиты при $b=0^0$ - $\alpha=55^0$, при $a=b$ угол $\alpha=40^0$).

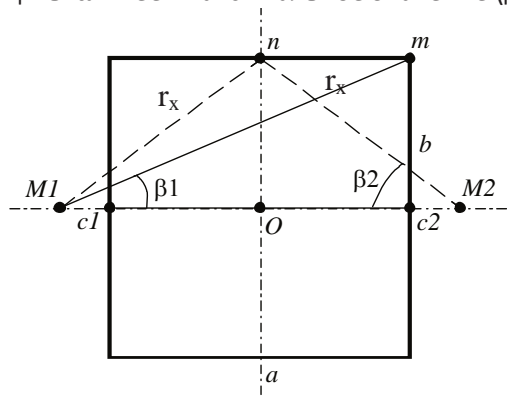
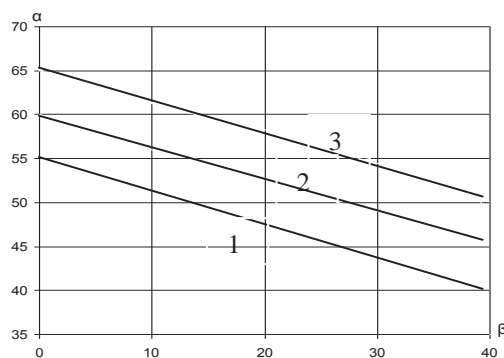


Рисунок 1 - Определение угла β_1 одиночного (M1) и угла β_2 двойного (M1, M2) молниеотводов на высоте объекта h_0



1 - для $P_n=0,99$; 2 - для $P_n=0,95$; 3 - для $P_n=0,9$

Рисунок 2 - Графические зависимости изменения угла α от величины угла β при защите двумя стержневыми молниеотводами

Углы защиты α и β могут быть использованы при расчете высоты молниеотводов для объекта любой формы. При этом активная часть молниеотводов, возвышающихся над объектом, определяется по формуле: $h' = \frac{a + 2\ell}{2 \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \beta}$, а высота каждого из двух стержневых молниеотводов одинаковой высоты: $h_m = h' + h_0$.

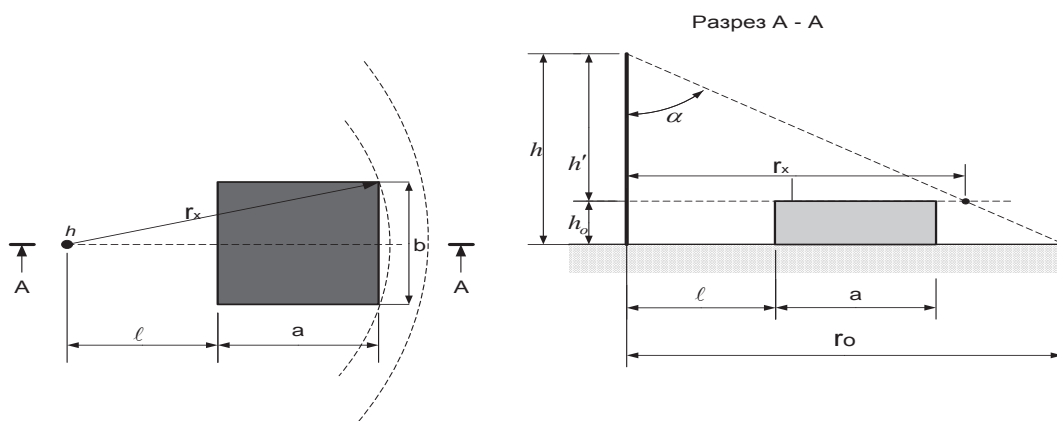
Аналогичным образом с использованием угла защиты α и угла β может быть определена высота и расстановка многократных (4^{-х}, 6^{-ти} и т.д.) стержневых молниеотводов. При условии, что расстояние между крайней парой стержневых молниеотводов определяется по углу защиты как для двойных стержневых молниеотводов одинаковой высоты, а внутренний угол защиты последовательности из четырех стержневых молниеотводов определяется по данным таблицы.

Методика расчета зон защиты стержневых и тросовых молниеотводов по углу защиты α

Одиночный стержневой молниеотвод

Схема расчета высоты одиночного стержневого молниеотвода при его расположении вдоль оси симметрии объекта приведена на рисунке 3.

Минимально допустимое расстояние ℓ от края защищаемого объекта до молниеотводов определяется по требованиям, изложенным в Нормам [3,5,6].



h - высота стержневого молниеотвода; h_0 (h_x) - высота объекта защиты; h' - высота молниеотвода возвышающегося над защищаемой поверхностью; r_0 - радиус зоны защиты на уровне земли; r_x - радиус зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода на высоте защищаемого объекта; α - угол защиты; ℓ - расстояние от объекта до молниеотвода

Рисунок 3 – Схема расчета высоты одиночного стержневого молниеотвода

Порядок расчета высоты одиночного стержневого молниеотвода:

- определяется расчетная эффективность молниезащиты P'_H ;
- для эффективности молниезащиты $P_H \geq P'_H$ по данным таблицы определяется угол защиты α в зависимости от категории объекта и его площади;
- определяется радиус зоны защиты r_x от вершины молниеотвода до наиболее удаленной точки на высоте объекта (см. рисунок 3): $r_x = \sqrt{(a + \ell)^2 + (b/2)^2}$;
- по углу защиты α определяется эффективная высота молниеотвода: $h' = r_x / \operatorname{tg} \alpha$;
- определяется высота молниеотвода, обеспечивающая требуемую эффективность молниезащиты P_H : $h = h' + h_0$.

Двойной стержневой молниеотвод

Схема расчета высоты двух стержневых молниеотводов при их расположении вдоль оси симметрии объекта приведена на рисунке 4.

Минимально допустимое расстояние ℓ от края защищаемого объекта до молниеотводов определяется по требованиям, изложенным в Нормам [3,5,6].

Порядок расчета двух одинаковых по высоте молниеотводов:

- определяется расчетная эффективность молниезащиты P'_H ;

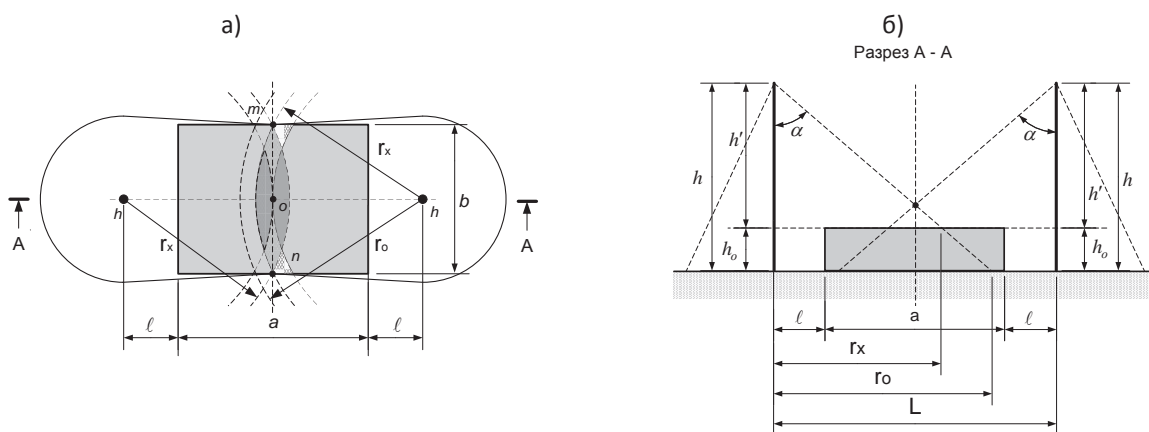


Рисунок 4 – Схема для расчета высоты двух стержневых молниеотводов

- для эффективности молниезащиты $P_H \geq P'_H$ по данным таблицы определяется внутренний угол защиты α в зависимости от категории объекта и его площади;

П р и м е ч а н и е – Внутренний угол защиты α определяется только для пространства, заключенного между двумя стержневыми молниеотводами на расстоянии L между ними. За пределами этой зоны угол защиты α определяется как для одиночного стержневого молниеотвода.

- определяется радиус зоны защиты каждого из молниеотводов до расчетной точки n, m (см. рисунок 3) на расстоянии $r_{x1} = r_{x2} = r_x$ и высоте h_0 объекта: $r_x = \sqrt{(L/2)^2 + (b/2)^2}$,

где $L = a + 2\ell$;

- по углу защиты α определяется эффективная высота молниеотводов: $h' = r_x / \tan \alpha$;
- определяется высота молниеотводов, обеспечивающая требуемую эффективность молниезащиты P_H : $h = h' + h_0$.

Множественные молниеотводы

Для четырех стержневых молниеотводов одинаковой высоты, размещаемых симметрично относительно оси симметрии на расстоянии ℓ от объекта и ℓ_1 от его углов, их высота рассчитывается по схеме, приведено на рис. 5 в следующей последовательности:

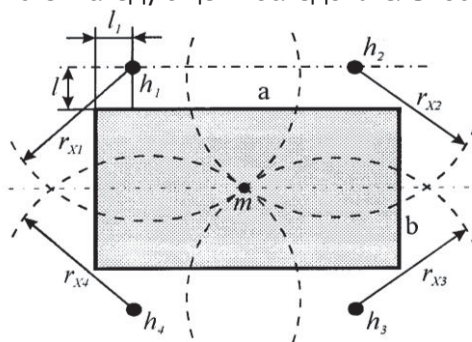


Рисунок 5 – Молниезащита сооружения четырьмя отдельно стоящими стержневыми молниеотводами

- определяется радиус зоны внутренней области защиты молниеотводов

$$r_x = \sqrt{(b/2 + \ell)^2 + (a/2 - \ell_1)^2}, \text{ где } r_x = r_{x1} = r_{x2} = r_{x3} = r_{x4}.$$

П р и м е ч а н и е – Внешняя область зоны защиты определяется как для двух стержневых молниеотводов

- определяется эффективная высота молниеотводов: $h' = \frac{r_x}{\tan \alpha}$,

где α внутренний угол определяется по данным таблицы, для эффективности P_H молниезащиты;

- определяется высота молниеотводов: $h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = h' + h_0$

Количество стержневых молниеотводов для одного объекта не ограничено и определяется его размерами (площадью) независимо от категории объекта. При количестве молниеотводов больше четырех, каждая последующая пара, совместно с предыдущей парой, рассматривается как четырех стержневая МЗС, внутренний угол защиты α которой определяется по данным таблицы.

Тросовые молниеотводы

Схема расчета высоты подвеса одиночного троса по заданной величине эффективности молниезащиты P_H приведена на рисунке 6.

Порядок расчета высоты подвеса троса:

- определяется расчетная эффективность P'_H ;
- для эффективности молниезащиты $P_H \geq P'_H$ определяется угол защиты α по данным таблицы;
- по углу защиты α и ширине объекта b определяется высота подвеса троса над объектом: $h'_T = b/2 \operatorname{tg} \alpha$;
- с учетом стрелы провиса троса определяется высота подвеса на опорах: $h_T = h'_T + h_0 + \Delta h_T$.

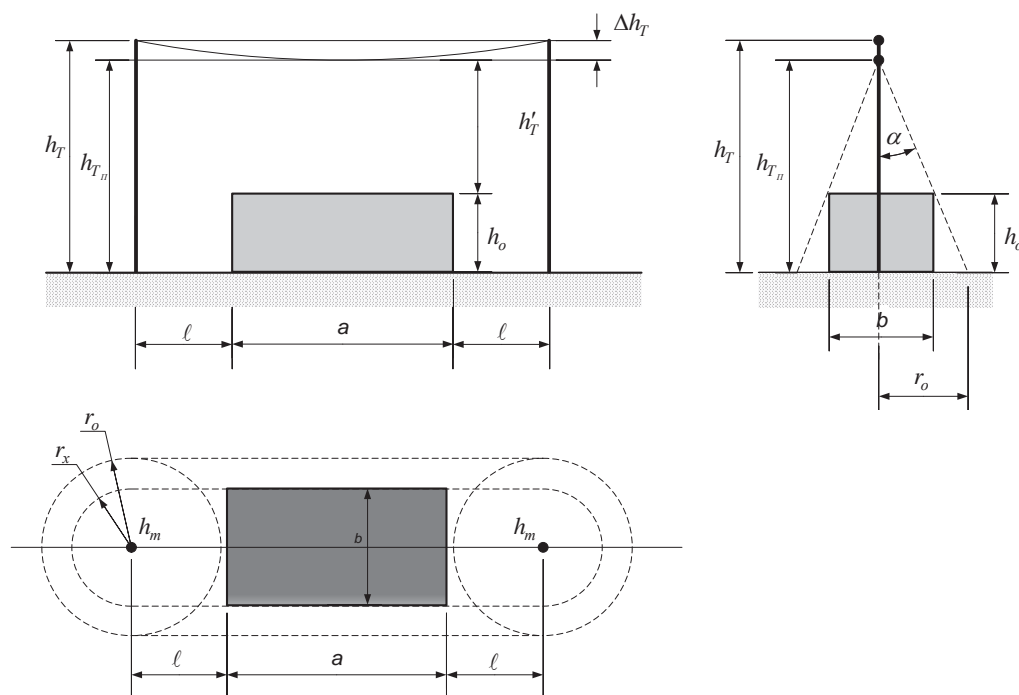


Рисунок 6— Схема для расчета высоты подвеса троса

Величина провиса Δh_T в зависимости от расстояния L между опорами троса принимается: при $L < 120$ м - $\Delta h_T = 2$ м; при $120 < L \leq 150$ м - $\Delta h_T = 3$ м.

Для двойного тросового молниеотвода внешний угол защиты α определяется по данным таблицы как для одиночного троса, а внутренний угол защиты α определяется по данным таблицы для области пространства заключенного между параллельными тросами.

Молниезащита зданий (сооружений) высотой до 60 м

Как правило, высокие здания и сооружения относятся к объектам II и III категории молниезащиты.

Молниезащита высоких объектов осуществляется преимущественно молниеотводами, устанавливаемыми на здании (сооружении). Молниеотводы выполняются в виде стержневых, тросовых молниеотводов, молниезащитной сетки или их произвольной комбинации. В исключительных случаях по требованию заказчика и при соответствующем обосновании защита высоких объектов может осуществляться отдельно стоящими молниеотводами по особому проекту.

Высота и количество стержневых молниеотводов, устанавливаемых на здании (сооружении), а также высота подвеса тросов и их количество определяются также углом защиты α , обеспечивающим молниезащиту сооружения заданной категории. Величина угла защиты α стержневых и тросовых молниеотводов определяется относительно плоской части кровли здания на ее высоте h_0 . Угол защиты α определяется по данным таблицы. Высота молниеотводов определяется по методике, приведенной выше.

Пример расчета

Требуется выполнить расчет молниезащиты для условного сооружения I категории размерами, $a \cdot b \cdot h_0 = 40 \times 40 \times 10$ м.

Плотность грозových разрядов в месте размещения сооружения $n=4$ (1/км² в год).

Расчетное число ударов в год в незащищенное сооружение $N_{\Pi} = 0,037$.

Для сооружений I категории предельно допустимое число ударов молнии в год, приводящих к опасным последствиям не более $N_0 = 0,001$, т.е. $N_{\Pi} > N_0$.

Следовательно, необходимо принять меры по созданию внешней МЗС сооружения с надежностью не ниже $P'_H = 1 - N_0/N_{\Pi} = 0,97$.

По данным таблицы предельно допустимому числу ударов молнии в сооружение на уровне $N_0 = 0,001$ (т.е. один раз в 1000 лет) соответствует надежность внешней МЗС (вероятность перехвата молнии) на уровне $P_H \geq 0,99$. В данном случае $P'_H < P_H$. Следовательно, условие по обеспечению молниезащиты на уровне $P_H = 0,99$ удовлетворяется полностью.

По таблице 1 выбирается схема молниезащиты, определяется угол защиты α и производится расчет параметров внешней МЗС.

Расчет параметров молниезащиты

Так как площадь сооружения равна 1600м², то применение для его молниезащиты одиночного стержневого молниеотвода не рассматривается (см. данные таблицы).

Вариант 1

Для защиты сооружения применены **два отдельно стоящих стержневых молниеотвода** на расстоянии $\ell = 5$ м от защищаемого объекта. Расстояние между двумя стержневыми молниеотводами составляет $L = 50$ м.

Площадь сооружения равна 1600м. По таблице для двух стержневых молниеотводов определяем угол защиты, равный $\alpha = 40^\circ$.

Определяем радиус зоны защиты каждого из молниеотводов до расчетной точки n (см. рисунок 4) на расстоянии $r_{x1} = r_{x2} = r_x$ и высоте $h_0 = 10$ м объекта: $r_x = \sqrt{(L/2)^2 + (b/2)^2} = 32$ м, где $L = a + 2\ell$.

По углу защиты α определяем эффективную высоту молниеотводов: $h' = r_x / \tan \alpha = 38,1$ м.

Определяем высоту молниеотводов, обеспечивающих требуемую эффективность молниезащиты P_H : $h = h' + h_0 = 48,1$ м.

Следовательно, для защиты сооружения с надежностью $P_H = 0,99$ потребуется два стержневых молниеотвода высотой по 48,1м установленных от него на расстоянии $\ell = 5$ м.

Вариант 2

Для защиты сооружения применены **четыре отдельно стоящих стержневых молниеотвода** на расстоянии $\ell = 5$ м от защищаемого объекта и на расстоянии $\ell_1 = 5$ м от углов по двум противоположным сторонам. Расстояние между двумя противоположными стержневыми молниеотводами составляет $L_1 = 50$ м. Расстояние между двумя смежными стержневыми молниеотводами составляет $L_2 = 30$ м (см. рисунок 5).

Для внутренней зоны четырех стержневых молниеотводов определяем угол защиты, равный $\alpha_1 = 56^\circ$.

Для внешней зоны двух стержневых молниеотводов обеспечивающих защиту выступающей за пределы внутренней зоны части сооружения угол защиты определяется отдельно.

Определяем радиус зоны защиты каждого из четырех молниеотводов до расчетной точки m (см. рисунок 5) на расстоянии $r_{x1} = r_{x2} = r_{x3} = r_{x4} = r_x$ и высоте $h_0 = 10$ м объекта: $r_x = \sqrt{(a/2 - \ell_1)^2 + (b/2 + \ell)^2} = 29,2$ м.

По углу защиты α_1 определяем эффективную высоту молниеотводов: $h' = r_x / \tan \alpha_1 = 19,7$ м.

Определяем высоту молниеотводов, обеспечивающих требуемую надежность молниезащиты P_H : $h = h' + h_0 = 29,7$ м.

Проверяем обеспеченность молниезащиты части сооружения размерами $b \times l_1 \times h_0$, выступающей за пределы внутренней зоны двумя стержневыми молниеотводами высотой $h=29,2\text{м}$.

Для этого определяем расстояние r_{x_5} , на котором обеспечивается защита двумя стержневыми молниеотводами выступающей части сооружения:

$$r_{x_5} = \sqrt{\left(\frac{b}{2} + l\right)^2 + (l_1)^2} = 25,5\text{м}.$$

Так как выступающая часть образует вытянутый прямоугольник, то определяем величину угла β определяющую увеличение угла защиты α_2 : $\text{tg}\beta = \ell_1 / (b/2 + l)$. Получаем $\beta=11,3^\circ$.

По графическим зависимостям, приведенным на рисунке 2, определяем величину угла α_2 в зависимости от величины угла β . Получаем $\alpha_2=52^\circ$.

По эффективной высоте молниеотводов равной $h^1=19,7$ и расстояния r_{x_5} определяем расчетную величину угла защиты α_2 необходимую для защиты выступающей части сооружения при двухстержневой молниезащите: $\text{tg}\alpha_2 = r_{x_5} / h^1 = 1,29$. Получаем $\alpha_2=52,3^\circ$, т.е. защита находится на пределе требуемого уровня.

Следовательно, для обеспечения надежности $P_H=0,99$ потребуется четыре стержневых молниеотвода высотой не 29,7м установленных на расстоянии $\ell=5\text{м}$ и $\ell_1=5\text{м}$, а высотой 30м, что обеспечит необходимый уровень защиты сооружения.

Вариант 3

Для защиты сооружения применены два молниезащитных троса подвешенные на опорах с двух сторон над срезом кровли. Расстояние между двумя тросовыми молниеотводами составляет $L=40\text{м}$.

По таблице 1 для двух тросовых молниеотводов определяем угол защиты, равный $\alpha=68^\circ$.

По углу защиты α определяем высоту подвеса тросов над кровлей сооружения: $h'_T = a / 2 \text{tg}\alpha = 8\text{м}$.

С учетом стрелы провиса троса определяем высоту подвеса на опорах:

$$h_T = h'_T + h_0 + \Delta h_T = 20\text{м}.$$

Заключение

Защита условного сооружения I категории размерами $40 \times 40 \times 10\text{м}$ может быть обеспечена двумя стержневыми молниеотводами высотой 48,1м или четырьмя стержневыми молниеотводами высотой 30м или двумя тросовыми молниеотводами, подвешенными на высоте 8м над кровлей сооружения (в т.ч. на отдельно стоящих опорах с высотой подвеса троса $h_T=20\text{м}$).

Литература

1. Кузнецов М., Матвеев М./ Инструкция по устройству молниезащиты. / Журнал «Новости ЭлектроТехники», №2(50), 2008. – С. 116-120.
2. Базелян Э.М./ Анализ исходных посылок и конкретных рекомендации стандарта МЭК 365 по защите от прямых ударов молнии. / Сб. докл. I Российской конф. по молниезащите. – Новосибирск, Сибирская энергетическая академия, 2007. - С. 129-139.
3. РД 34.21.122-87/ Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. / Минэнерго СССР.-М.: Энергоатомиздат.-1989.
4. Стандарт по молниезащите МЭК 62305 ч.1-5.
5. СО 153-343.21.122-2003./ Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. М., МЭИ, 2004.
6. ВСП 22-02-07/МО РФ/ Нормы по проектированию, устройству и эксплуатации молниезащиты объектов военной инфраструктуры: – М. 2007. - 168с