

В.М.КУПРИЕНКО, д-р техн. наук, зав. отд., филиал ЦНИИ, Санкт-Петербург, Россия

НОРМИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗОНЫ ЗАЩИТЫ СТЕРЖНЕВЫХ МОЛНИЕОТВОДОВ

У статті викладені результати аналізу розрахунку зони захисту й вибору параметрів стрижньових блискавковододів за вимогами різних нормативних документів, а саме: РД 34.21.122-87; СО 153-343.21.122-2003; МЭК 62305-2003; ВСП 22-02-07/МО РФ, які обґрунтовують необхідність розробки уточненої методики розрахунку та вибору параметрів блискавкозахисних пристроїв, наприклад з використанням кута захисту α .

The article presents the analysis results for calculating the protection zone and selecting the lightning rod parameters due to the requirements of different Russian and foreign Norms and Standards. These results substantiate the necessity to develop specified procedure for design and selection of the lightning rod parameters, for example, with the use of protection angle α .

В статье изложены результаты анализа расчета зоны защиты и выбора параметров стержневых молниеотводов по требованиям различных нормативных документов, а именно: РД 34.21.122-87; СО 153-343.21.122-2003; МЭК 62305-2003; ВСП 22-02-07/МО РФ, обосновывающие необходимость разработки уточненной методики расчета и выбора параметров молниезащитных устройств, например с использованием угла защиты α .

Взросшие требования к защите объектов различного назначения от прямого удара молнии (ПУМ) и ее вторичных проявлений, привели к необходимости критической оценки действующих отечественных и зарубежных нормативных документов, регламентирующих проектирование молниезащиты с заданным уровнем надежности [1,2,3,4]. При всем различии глубины проработки нормативных документов их основу составляет методика расчета и выбора параметров стержневых и тросовых молниеотводов, обеспечивающих требуемую надежность молниезащиты. Базовым элементом различных методик является зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h , которая представляет собой круговой конус (рис. 1), радиус r_x которого на высоте защищаемого объекта определяет надежность молниезащиты.

Сравнение параметров зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода при расчете по различным методикам, приведенным в отечественных и зарубежных документах, с целью обеспечения единства требований при проектировании молниезащитных устройств с заданным уровнем надежности молниезащиты, составляет основное содержание данной работы.

В Инструкции РД 34.21.122-87 [1], являющейся основным нормативным документом по молниезащите в РФ, параметры кругового конуса определяются по эмпирическим формулам для зоны А и зоны Б, отличающихся различной степенью надежности молниезащиты (зоне А соответствует степень надежности $P_H = 0,99$, зоне Б – $P_H = 0,9$).

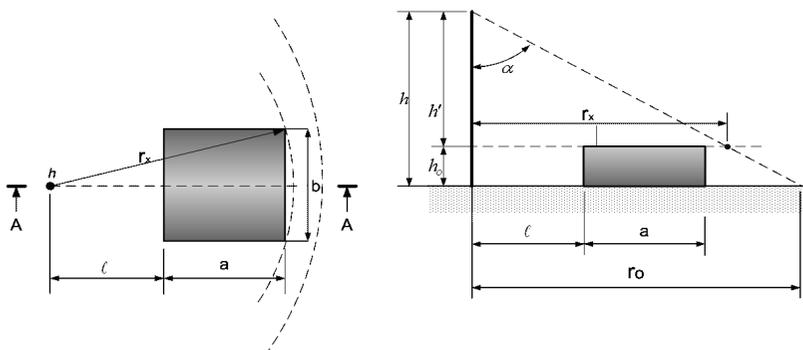


Рисунок 1 – Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода:

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

По методике МЭК 62305-2003 [2], параметры кругового конуса одиночного стержневого молниеотвода определяются методом катящейся сферы или по соответствующему радиусу сферы углу защиты α , который изменяется от $\alpha = 23^\circ$ до $\alpha = 80^\circ$ в зависимости от принимаемого уровня защиты. Для каждого из четырех установленных в МЭК уровней защиты задан набор минимальных и максимальных параметров тока молнии, характеризующих уровень защиты. Эффективность перехвата молнии (надежность молниезащиты P_H) определяется минимальным током молнии I_{\min} , величина которого соответствует заданному уровню защиты. Вероятность не превышения минимального тока молнии для I уровня составляет $P = 0,99$, II уровня $P = 0,97$, III уровня $P = 0,91$, IV уровня $P = 0,84$. Каждый уровень защиты характеризуется также не превышением максимального тока молнии I_{\max} , величина которого определяет степень опасности воздействия на объект тока молнии или его вторичных проявлений.

В Инструкции по молниезащите СО 153-343.21.122-2003 [3], разработанной в развитие РД 34.21.122-87, параметры кругового конуса определяются также по эмпирическим формулам для трех значений надежности молниезащиты P_H равной; 0,999, 0,99 и 0,9. Дополнительно в инструкции, по аналогии с МЭК, введены четыре уровня защиты. Надежность защиты от ПУМ для I уровня составила $P_H = 0,98$, II уровня $P_H = 0,95$, III уровня $P_H = 0,90$, IV уровня $P_H = 0,80$. Таким образом, в СО 153 надежность молниезащиты характеризуется двумя различными вероятностными показателями, взаимосвязь между которыми не определена.

В ведомственных Нормах по молниезащите Минобороны России ВСП 22-02-07/МО РФ [4] зона защиты кругового конуса одиночного стержневого

молниеотвода характеризуется так же, как и в МЭК углом защиты α .

Значения угла защиты α , приведенные в ВСП 22-02-07, получены в результате обработки большого количества экспериментальных данных, устанавливающих зависимость надежности P_H зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода от величины угла защиты α [5]. Угол защиты α определен для трех значений надежности молниезащиты: по I категории надежность молниезащиты $P_H = 0,99$, II категории $P_H = 0,95$, III категории $P_H = 0,9$.

Принимая во внимание различие в походе к определению одинакового понятия, характеризующего зону защиты одиночного стержневого молниеотвода в приведенных выше нормативных документах, целесообразно выполнить сравнительную расчетную оценку параметров зоны защиты для объектов простейшей формы. Представленные ниже расчеты проведены для объекта в виде стержня высотой $h_0 = 20$ м и здания в форме квадрата размерами 10×10 и высотой $h_0 = 20$ м, защита которых должна быть обеспечена одиночным отдельно стоящим стержневым молниеотводом.

На первом этапе по методике ВСП 22-02-2007 была определена высота h одиночного отдельно стоящего стержневого молниеотвода, круговой конус которого обеспечивает молниезащиту приведенных выше условных объектов для двух заданных значений надежности молниезащиты $P_H = 0,9$ и $0,99$.

Для объекта в виде стержня при угле защиты $\alpha = 35^\circ$ ($P_H = 0,9$) и $\alpha = 25^\circ$ ($P_H = 0,99$) [4], определялась эффективная высота молниеотвода $h' = r_x / \operatorname{tg} \alpha$, а затем и высота молниеотвода $h = h' + h_0$ (см. рис. 1)

Для объекта в форме квадрата при угле защиты $\alpha = 46^\circ$ ($P_H = 0,9$) и $\alpha = 30^\circ$ ($P_H = 0,99$) [4] аналогичным образом определялись $h' = r_x / \operatorname{tg} \alpha$, где $r_x = \sqrt{(a+l)^2 + (b/2)^2}$ и высота молниеотвода h .

По остальным методикам для полученного значения высоты h стержневого молниеотвода и заданного расстояния ℓ от объекта до молниеотвода по эмпирическим формулам рассчитывалась ширина r_x зоны защиты на высоте h_0 объекта.

Для сравнения результатов расчета полученных по различным методикам использовалась величина угла защиты α , который определялся по формуле $\operatorname{tg} \alpha = r_x / h'$, а также приведенная высота объекта h_x , который может быть размещена в зоне защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой h при одинаковом расстоянии r_x от молниеотвода до наиболее удаленной точки на приведенной высоте h_x объекта. Результаты расчета угла защиты α и приведенной высоты объекта h_x даны в табл. 1.

Анализ результатов расчета, приведенных в табл. 1 показал, что наименьшие размеры зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода, определяемые величиной угла защиты α , получены по методике СО и практически совпадают с данными, полученными по методике, приведенной в ВСП.

Значительно шире зона защиты получена при расчете по методикам, приведенным РД и МЭК. Например, приведенная расчетная высота объекта

h_x , который может быть размещен в зоне защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой $h = 27$ м (при $P_H = 0,9$) составила: по методике ВСП – $h_{x1} = h_0 = 20$ м; по методике СО – $h_{x2} = 19,5$ м (меньше h_0); по методике РД – $h_{x3} = 21,8$ м (больше h_0); по методике МЭК – $h_{x4} = 24,8$ м (больше h_0). При этом минимальный угол защиты α получен при расчете по методикам СО ($33,7^\circ$) и ВСП ($35,5^\circ$), максимальный – по МЭК (66°), см. данные табл. 1.

Таблица 1 – Результаты расчета угла защиты α и приведенной высоты объекта h_x при защите одиночным стержневым молниеотводом одинаковой высотой h

| P_H | Молниеотвод | | ВСП 22-02-2007 | | СО 153-343. 21.122-2003 | | РД 34.21.122-87 | | МЭК 62305- 3 | |
|--|-------------|-----------|-------------------|--------------|----------------------------|--------------|--------------------|--------------|-----------------|--------------|
| | h , м | r_x , м | α , ° | h_{x1} , м | α , ° | h_{x2} , м | α , ° | h_{x3} , м | α , ° | h_{x4} , м |
| Объект в виде стержня высотой $h_0=20$ м | | | | | | | | | | |
| 0,9 | 27 | 5 | 35,5 | 20 | 33,7 | 19,5 | 49,8 | 21,8 | 66 | 24,8 |
| 0,99 | 30,7 | 5 | 25 | 20 | 24,2 | 19,6 | 30,2 | 22,1 | 45 | 25,7 |
| Здание размерами 10x10 x 20м | | | | | | | | | | |
| 0,9 | 35,3 | 15,8 | 46 | 20 | 44,3 | 18,8 | 52 | 22,8 | 55 | 24,2 |
| 0,99 | 47,3 | 15,8 | 30 | 20 | 31,2 | 22 | 37,5 | 26,7 | 30 | 20 |

Следует отметить, что при надежности молниезащиты, равной $P_H = 0,99$ размеры зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода для объекта прямоугольной формы размерами 10 x 10 x 20 м практически совпадают при расчете по трем методикам: ВСП, СО и МЭК. Это свидетельствует о достаточно корректном определении зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода с надежностью защиты от ПУМ, равной 0,99 для объекта прямоугольной формы по различным методикам.

При переходе от зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода к зоне защиты двойного стержневого молниеотвода (рис. 2) и далее к зоне защиты многократных стержневых молниеотводов, вводится понятие об увеличении зоны защиты, размеры которой определяются взаимным влиянием друг на друга двух и более стержневых (тросовых) молниеотводов. Совпадение радиуса r_x зоны защиты одиночного стержневого молниеотвода, рассчитанного по разным методикам, предполагает одинаковую степень взаимного влияния и, как следствие, одинаковое расширение r_{cx} зоны защиты двойного стержневого молниеотвода. В методиках, изложенных в РД и СО, ширина зоны защиты r_{cx} двойного стержневого молниеотвода определяется по эмпирическим формулам при заданных размерах объекта $a \times b \times h_0$, высоте молниеотводов h и величине надежности молниезащиты P_H , а зона защиты многократных стержневых молниеотводов определяется наложением зон защиты двойных стержневых молниеотводов.

В стандарте МЭК зона защиты двух и более стержневых молниеотводов

определяется методом обкатывания объекта сферой определенного радиуса, соответствующего заданному уровню защиты (так называемый электрогеометрический метод).

В ВСП расширение зоны защиты двух и более стержневых молниеотводов определяется по экспериментально полученному углу защиты α , величина которого зависит от уровня надежности молниезащиты P_H , размеров объекта, высоты молниеотводов и расстояния L между ними [5,6].

Ввиду различного похода к определению зоны защиты двойного стержневого молниеотвода в приведенных выше нормативных документах, представляет интерес выполнить сравнительный расчет ширины $r_{сх}$ зоны защиты для условного объекта простейшей формы. Расчет проведен для двух объектов размерами $10 \times 10 \times 10$ м и $20 \times 50 \times 10$ м, защита которых с надежностью $P_H = 0,9$ и $P_H = 0,99$ должна быть обеспечена двумя стержневыми молниеотводами одинаковой высоты h .

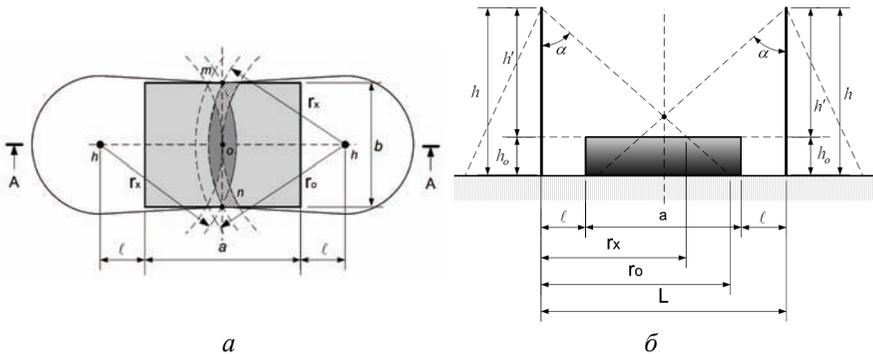


Рисунок 2 – Зона защиты двух стержневых молниеотводов:

$r_{сх}$ – ширина зоны защиты между точками om (on); $h_о$ (h_x) – высота объекта защиты L – расстояние между двумя стержневыми молниеотводами; r_x – радиус зоны защиты двух стержневых молниеотводов высотой h с учетом их взаимного влияния; h' – высота молниеотвода возвышающаяся над защищаемой поверхностью; α – угол защиты; ℓ – расстояние от объекта до молниеотвода

Для сравнения различных методик использовалась ширина зоны защиты $r_{сх}$, величина угла защиты α и приведенная высота объекта h_x , который может быть размещен в зоне защиты двух стержневых молниеотвода высотой h при одинаковых размерах $a \times b$ объекта и расстоянии ℓ от молниеотводов до периметра объекта.

Высота h каждого из двух молниеотводов рассчитывалась по методике, приведенной в ВСП 22-02-2007 для надежности молниезащиты $P_H = 0,9$ ($\alpha = 56^\circ$ и $\alpha = 58^\circ$ соответственно) [4] и $P_H = 0,99$ ($\alpha = 45^\circ$ и $\alpha = 48^\circ$ соответ-

ственно): $h = h_0 + r_x / \operatorname{tg} \alpha$, где $r_x = \sqrt{(a/2 + l)^2 + (b/2)^2}$.

По методикам РД и СО, при заданных размерах объекта $a \times b \times h_0$, одинаковых высоте молниеотводов h и расстоянии L между молниеотводами, по эмпирическим формулам рассчитывалась ширина $r_{c,x}$ зоны защиты на высоте h_0 объекта. Затем, для сравнения результатов расчета по различным методикам, определялся угол защиты α : $\operatorname{tg} \alpha = r_x / h'$, где $r_x = \sqrt{r_{c,x}^2 + (a/2 + l)^2}$.

По МЭК, при заданной высоте h молниеотводов, методом обкатывания определялась высота h_{x4} здания, которое может быть размещено в зоне защиты двух стержневых молниеотводов. Для здания высотой h_{x4} определялся угол защиты α по схеме, приведенной на рис. 2.

Ширина зоны защиты $r_{c,x}$, приведенная высота h_x здания, которое может быть размещено в зоне защиты двух стержневых молниеотводов, рассчитанные по различным методикам, а также получаемый при приведенной высоте h_x здания угол защиты α , приведены в табл. 2.

Анализ результатов расчета, приведенных в табл. 2, показал, что ширина $r_{c,x}$ зоны защиты двойного стержневого молниеотвода, определенная по разным методикам, имеет существенные различия притом, что физически этого быть не может.

При учете взаимного влияния молниеотводов наименьшие размеры имеет зона защиты двойного стержневого молниеотвода, определенная по методике ВСП (см. данные табл. 2).

Таблица 2 – Результаты расчета ширины зоны защиты $r_{c,x}$, приведенной высоты здания h_x и соответствующего ей угла защиты α двойного стержневого молниеотвода

| P _н | Молниеотводы | | ВСП 22-02-2007 | | | СО 153-343. 21.122-2003 | | | РД 34.21.122-87 | | | МЭК 62305-3 | | |
|--|--------------|--------------------|-------------------|------|----------------|----------------------------|------|-----------------|--------------------|------|-----------------|-------------|------|-----------------|
| | h, м | r _x , м | r _{c,x} | α, ° | h ₀ | r _{c,x} | α, ° | h _{x1} | r _{c,x} | α, ° | h _{x2} | R | α, ° | h _{x3} |
| Объект молниезащиты здание 10 x 10 x 10 м. Расстояние между молниеотводами L = 20 м | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,9 | 17,6 | 11,2 | 5 | 56 | 10 | 14,2 | 66,4 | 12,3 | 9,8 | 61,5 | 11,2 | 45 | 84 | 16,5 |
| 0,99 | 21,2 | 11,2 | 5 | 45 | 10 | 10,3 | 54,6 | 13,2 | 10 | 51,2 | 12,2 | 20 | 76 | 18,5 |
| Объект здание 20 x 50 x 10 м. Расстояние между молниеотводами L = 60 м | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,9 | 30 | 31,6 | 10 | 58* | 10 | 18,6 | 60,8 | 12,3 | 25,3 | 63,3 | 14,1 | 45 | 71 | 18,6 |
| 0,99 | 38,5 | 31,6 | 10 | 48* | 10 | 22,4 | 53 | 14,4 | 25,7 | 54,7 | 16 | защиты нет | | |

Примечание: * – величина угла защиты α получена с учетом геометрической формы объекта [6];

R – радиус сферы обкатывания по МЭК

При расчете по методикам СО, РД ширина зоны защиты $r_{c,x}$ для одинаковой высоты объекта $h_0 = 10$ м существенно увеличивается по сравнению с

шириной зоны защиты $r_{сх}$, определенной по методике ВСП. А приведенная высота h_x объекта, который может быть размещен в зоне защиты двойного стержневого молниеотвода, определенная по методикам СО, РД и МЭК, значительно больше, чем базовая высота h_0 защищаемого объекта (см. данные табл. 2). Причем изменение приведенной высоты объекта h_x , при ее определении по методикам СО и РД при различных значениях надежности P_H , не имеет выраженной закономерности. Например, как следует из данных, приведенных в табл. 2, высота h_{x1} , определенная по методике СО больше, чем h_{x2} определенная по методике РД для объекта размерами 10 x 10 x 10 м, а для объекта размерами 20 x 50 x 10 м – наоборот.

Зона защиты двойного стержневого молниеотвода для объекта высотой $h_0 = 10$ м, рассчитанная по методике МЭК намного шире, чем по другим методикам, о чем свидетельствует величина угла защиты α , приведенная в табл. 2.

Из данных, приведенных в табл. 2 видно, что ширина зоны защиты $r_{сх}$ объекта высотой $h_0 = 10$ м защищенного двумя стержневыми молниеотводами одинаковой высоты h , определенная по разным методикам, отличается более чем в два раза.

Например, для здания размерами 20 x 50 x 10 м, при расстоянии между двумя стержневыми молниеотводами $L = 60$ м и приведенной высоте объекта h_x , результаты расчета величины угла защиты α по методикам ВСП, СО и РД различаются на 10-15 %.

При расчете по методике МЭК ($P_H = 0,99$, I уровень защиты, $R = 20$ м) защита от ПУМ вообще отсутствует. Что является наиболее характерным примером противоречия между российскими методиками и методикой МЭК.

Результаты расчета, приведенные в табл. 2, показали явное увеличение ширины зоны защиты двойного стержневого молниеотвода, определенной по методикам СО, РД и МЭК по сравнению с расчетом по методике, основанной на результатах экспериментальных исследований. Так как в основу расчета зоны защиты многократных молниеотводов (4^x , 6^x и т.д. стержневых) положена зона защиты двойного стержневого молниеотвода, то и ее размеры будут существенно завышены по сравнению с их реальными размерами при перехвате разряда с минимальным током молнии.

Выводы

1. Расчет параметров зоны защиты двойного стержневого молниеотвода, выполненный по различным методикам, показал существенное различие полученных результатов по ширине зоны защиты $r_{сх}$.

2. Методики расчета предложенные в РД и СО неудобны для практического использования, так как определяют не параметры молниеотводов, а ширину зоны защиты $r_{сх}$ в которой может быть размещен объект путем перебора высоты и расстановки молниеотводов. Ширина зоны защиты $r_{сх}$ двойных стержневых молниеотводов (следовательно, и многократных молниеотводов), определяемая по данным методикам, представляется необоснованно

завышена.

3. Методика расчета, предложенная в стандарте МЭК, основанная на так называемой «электрогеометрической модели», удобна в практическом использовании, но лишена физического смысла, вследствие чего, например меньшей высоте молниеотвода, возвышающейся над объектом, соответствует больший угол защиты α , а, следовательно, и большая по ширине зона защиты.

4. Расчеты, выполненные по методике МЭК, показали во всех случаях существенное превышение зоны защиты одиночного и двойного стержневых молниеотводов по сравнению с их расчетом по другим методикам. В то же время защита объекта двумя стержневыми молниеотводами по методике МЭК при расстоянии между ними, превышающем радиус сферы обкатывания R отсутствует, что не подтверждается результатами расчета по другим методикам и имеющимися экспериментальными данными.

5. Методика расчета, предложенная в ВСП, позволяет непосредственно определять параметры молниезащитной системы с учетом требуемой надежности, геометрических размеров объекта и взаимного влияния многократных стержневых молниеотводов, расширяющего зону защиты одиночного стержневого молниеотвода. При определении высоты молниеотводов ширина зоны защиты $r_{сх}$ жестко связана с размерами объекта и расстоянием r_x от молниеотводов до наиболее удаленной точки на высоте объекта h_x .

6. Результаты исследований, показали необходимость разработки единого подхода к расчету и выбору параметров молниеотводов. Представляется, что для этого целесообразно использовать угла защиты α , определенный не по. «электрогеометрической модели», а по результатам экспериментальных исследований с учетом взаимного влияния двойных и многократных стержневых молниеотводов.

Список литературы: 1. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений / Минэнерго СССР. – М.: Энергоатомиздат, 1989. 2. Стандарт по молниезащите МЭК 62305. – Ч.1-5. 3. СО 153-343.21.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – М.: МЭИ, 2004. 4. ВСП 22-02-07/МО РФ. Нормы по проектированию, устройству и эксплуатации молниезащиты объектов военной инфраструктуры. – М.: 2007. – 168 с. 5. *Куприенко В.М.* К вопросу о нормировании молниезащиты объектов военной инфраструктуры / Сб. докл. Второй Российской конф. по молниезащите. – М.: июнь, 2010. 6. *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 / Сб. докл. I Российской конф. по молниезащите. – М.: июнь, 2010.

Поступила в редколлегия 12.04.2012.