

**А.А. ПЕТКОВ**, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ"

## **СРАВНЕНИЕ ЗОН ЗАЩИТЫ СТЕРЖНЕВОГО МОЛНИЕОТВОДА, ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ДЕЙСТВУЮЩИМ НОРМАТИВНЫМ ДОКУМЕНТОМ**

В статье предложено соотношение для определения вероятности поражения грунта в районе расположения стержневого молниеотвода при построении его зоны защиты по методу фиктивной сферы. Полученные в статье данные позволяют разграничивать сферу применимости методов построения зоны защиты стержневого молниеотвода исходя из допустимой вероятности поражения поверхности грунта в защищаемой зоне.

**Ключевые слова:** разряд молнии, функция распределения, поражение грунта

**Постановка проблемы.** Работоспособность электронных и радиоэлектронных средств в условиях эксплуатации в значительной степени определяется их устойчивостью к воздействию различных дестабилизирующих электромагнитных факторов. Наиболее существенным дестабилизирующим фактором естественного происхождения является разряд молнии и, в частности, прямое поражение ударом молнии объектов, содержащих радиоэлектронные средства.

**Анализ публикаций.** Защита различных объектов, включающих в свой состав электронные и радиоэлектронные средства, осуществляется на основе нормативного документа [1]. Данный документ предусматривает различные методы построения зон защиты стержневых молниеотводов, которые наиболее часто применяются для защиты объектов от прямого удара молнии. Документ [1] регламентирует два основных метода построения зоны защиты, физические основы которых описаны в [2, 3].

Метод конической зоны защиты, как отмечено в [2], не может быть строго обоснован, но результаты многолетнего применения данного метода в практике проектирования молниезащиты (несмотря на очевидные недостатки), подтверждают его целесообразность.

Электрогеометрический метод (метод фиктивной сферы, метод катящейся сферы), введенный в стандарты Международной электротехнической комиссии также не лишен определенных ограничений [3].

В условиях постоянного повышения грозовой активности недостатки методик проявляются все чаще. Учитывая ряд проблем применения рассмотренных методов, разработчики документа [1] рекомендуют использовать различные методы определения зон защиты и принимать решение по результатам расчета, что неизбежно ведет к излишним затратам.

**Цель работы.** Разработка критерия разграничения применимости

методов построения зон защиты стержневых молниеотводов.

**Результаты исследований.** Электрогеометрический метод (метод фиктивной сферы) построения зоны защиты стержневого молниеотвода (см. рис. 1) базируется на наличии финального разряда молнии [1 – 3], который происходит из точки 1, равно удаленной от двух возможных точек поражения, расположенных на стержневом молниеотводе (точка 2) и поверхности грунта (точка 3). Радиус фиктивной сферы  $R$ , называемый дистанцией поражения, определяется током молнии. Соответственно, током молнии определяется вероятность поражения точек, находящихся на поверхности грунта в месте расположения молниеотвода.

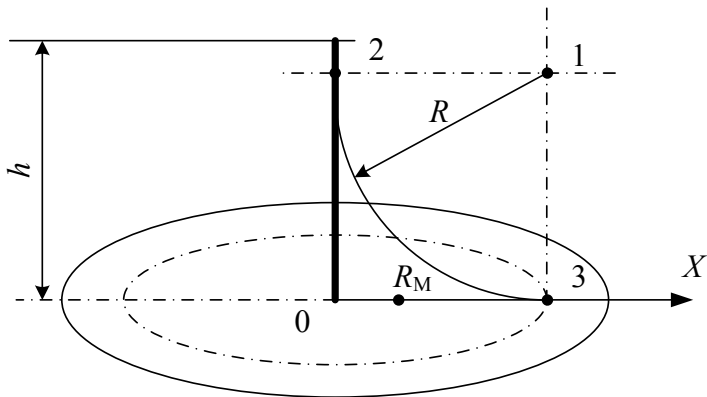


Рис. 1. – Схема построения зоны защиты стержневого молниеотвода

На поверхности грунта располагается значительное количество объектов, поражение молнией которых определяет работоспособность радиоэлектронных средств: кабельные коммуникации, заземляющие спуски; металлоконструкции, соединенные с броней кабеля; различные вводы в подземные объекты. Поэтому представляется целесообразным исследование поражаемости грунта в районе расположения молниеотвода, защищающего данные объекты.

Пусть имеется (см. рис. 1) высокий молниеотвод (высота молниеотвода  $h$  не меньше наперед заданной дистанции поражения  $R$ ), установленный в точке 0 оси  $X$ . Рассмотрим молнии, финальный разряд которых начинается из точки, проекция которой лежит на положительной полуоси  $OX$ . Определим распределение вероятности поражения точек, расположенных на положительной полуоси  $OX$ .

Как известно, вероятность того, что максимальное значение импульса тока молнии  $I$  равно или больше некоторого значения  $I_M$  может быть описана законом Вейбулла [2]

$$P(I \geq I_M) = 1 - P(I < I_M) = 1 - F(I) = \exp(-\lambda I_M^a), \quad (1)$$

где  $F(I)$  – функция распределения максимального значения импульса тока молнии;  $\lambda = 0,0023$ ;  $a = 1,6$ ;  $I_M$  в кА.

Используя соотношение, связывающее дистанцию поражения и максимальное значение импульса тока молнии [2]

$$R = 9,4I^{2/3}, \quad (2)$$

где  $R$  в м;  $I$  в кА,

можем определить вероятность того, что дистанция поражения равна или больше некоторого значения  $R_M$ , соответствующего  $I_M$ :

$$P(R \geq R_M) = 1 - P(R < R_M) = 1 - F(R) = \exp\left[-\lambda \left(\frac{R_M}{9,4}\right)^{\frac{3a}{2}}\right], \quad (3)$$

где  $F(R) = P(R < R_M)$  – функция распределения дистанции поражения (вероятность того, что дистанция поражения меньше некоторого значения  $R_M$ ).

Из соотношения (3) находим

$$P(R < R_M) = 1 - \exp\left[-\lambda \left(\frac{R_M}{9,4}\right)^{\frac{3a}{2}}\right]. \quad (4)$$

При дистанции поражения  $R \geq R_M$ , молния может поразить либо стержень, либо полуось  $OX$  в точках  $x \geq R_M$ . Это позволяет считать, что соотношение (3) определяет также вероятность того, что не будет поражен отрезок  $OR_M$ , а соотношение (4) – вероятность поражения отрезка, то есть (4) является функцией распределения поражения отрезка  $OR_M$ .

$$F_P(0, R_M) = 1 - \exp\left[-\lambda \left(\frac{R_M}{9,4}\right)^{\frac{3a}{2}}\right]. \quad (5)$$

Электрогеометрический подход к построению зоны защиты исключает возможность проникновения в зону разрядов молнии с дистанцией поражения больше  $R_M$ , что позволяет приписать вероятность, определенную по выражению (5) кругу радиусом  $R_M$ .

$$P_{pkr}(R_M) = 1 - \exp \left[ -\lambda \left( \frac{R_M}{9,4} \right)^{\frac{3a}{2}} \right]. \quad (6)$$

Соотношение (6) позволяет провести сравнение для стержневых молниеотводов параметров зон защиты конической формы и определенной по методу катящейся (фиктивной) сферы при одних и тех же значениях вероятности поражения основания зоны защиты – круга радиусом  $r_0$ .

На рис. 2 показано изменение радиуса зоны защиты на поверхности грунта  $r_0$  при различных значениях вероятности поражения  $P_p$  при одних и тех же значениях высоты молниеотводов (в пределах одного значения вероятности поражения).

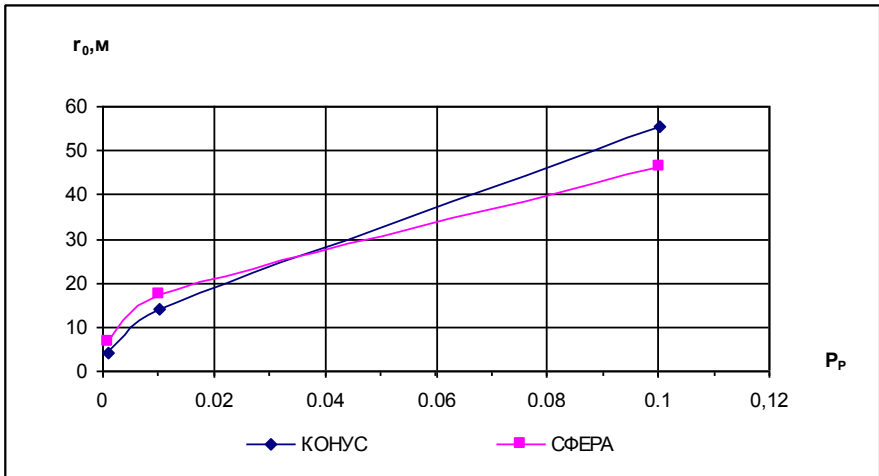


Рис. 2. – Изменение радиуса зоны защиты

Из рисунка видно, что при допустимых вероятностях поражения поверхности грунта  $0 < P_p \leq 0,035$  радиус зоны защиты меньше для конической формы зоны защиты, а при  $P_p > 0,035$  для зоны, определенной по методу фиктивной сферы.

Учитывая, что рассматриваемые методы построения зоны защиты стержневого молниеотвода не являются абсолютно точными, то в случае повышенных требований к надежности защиты объектов, находящихся непосредственно на поверхности грунта целесообразно использовать при проектировании молниезащиты метод конусообразной зоны защиты.

## **Выводы**

1. Предложено соотношение для определения вероятности поражения грунта в районе расположения стержневого молниеотвода при построении его зоны защиты по методу фиктивной сферы.

2. Полученные в статье данные позволяют разграничивать сферу применимости методов построения зоны защиты стержневого молниеотвода исходя из допустимой вероятности поражения поверхности грунта в защищаемой зоне.

Материалы статьи могут быть использованы для усовершенствования методов расчета зоны защиты стержневых молниеотводов.

**Список литературы:** 1. Улаштування блискавкозахисту будівель споруд (IEC 62305:2006, NEQ): DSTU Б В.2.5-38:2008. – [Чинний від 2008–01–01]. – К. : Мінорегіонбуд України, 2008. – 63 с. 2. Ларионов В.П. Основы молниезащиты / Ларионов В.П. : под ред. И.М. Бортника. – М. : Знак, 1999. – 104 с. 3. Базеля Э.М. Физика молнии и молниезащиты / Э.М. Базеля, Ю.П. Райзер. – М. : Физматлит, 2001. – 320 с. – ISBN 5-9221-0082-3.

**Bibliography (transliterated):** 1. Ulashtuvannya blyskavkozaxystu budivel"i sporud (IEC 62305:2006, NEQ): DSTU B V.2.5-38:2008. – [Chynnyj vid 2008–01–01]. – Kyiv. : Minorehionbud Ukrayiny, 2008. – 63 p. 2. Lariонов V.P. Osnovy molniezashhity / Lariонов V.P. : pod red. I.M. Bortnika. – Moscow : Znak, 1999. – 104 p. 3. Bazeljan Je.M. Fizika molnii i molniezashhity / Je.M. Bazeljan, Ju.P. Rajzer. – Moscow : Fizmatlit, 2001. – 320 p. – ISBN 5-9221-0082-3.

*Поступила (received) 10.12. 2014*