

А.А. ПЕТКОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ";
Н. В. ФЕДОРОВА, магистрант НТУ "ХПИ"

ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ СТЕРЖНЕВОГО МОЛНИЕОТВОДА

В статье получены аналитические соотношения для определения вероятности поражения грунта длиной искрой в районе расположения стержневого объекта. Сравнение параметров зоны защиты стержневого молниеотвода на поверхности грунта рассчитанное по предложенным соотношениям и материалам действующего нормативного документа показало корреляцию результатов расчета.

Ключевые слова: разряд молнии, вероятность поражения, плотность распределения, поверхность грунта

Постановка проблемы. В условиях возрастающей в последнее время грозовой активности большое значение приобретает защита от прямого удара молнии как зданий и сооружений, возвышающихся над поверхностью грунта, так и объектов, расположенных на его поверхности: кабельные коммуникации, заземляющие спуски; металлоконструкции, соединенные с броней кабеля; различные вводы в подземные объекты, а также объекты, расположенные непосредственно под поверхностью грунта. Для оценки их молниезащищенности необходима информация о вероятности поражения поверхности грунта при наличии молниеотводов различного вида и, в частности, стержневых молниеотводов.

Анализ публикаций. Согласно нормативному документу [1], одним из видов зоны защиты (ЗЗ) стержневого молниеотвода является коническая форма, которая характеризуется высотой конуса и радиусом ЗЗ на поверхности грунта. Радиус ЗЗ определяется в зависимости от надежности защиты и высоты молниеотвода. Надежность защиты представлена дискретным рядом $\{0,9; 0,99; 0,999\}$ и предписывается всей поверхности грунта, находящейся в ЗЗ вне зависимости от расстояния от оси стержневого молниеотвода. Однако теоретические основы электрогеометрического метода построения ЗЗ молниеотводов [2], дают основания предполагать, что предписанные значения надежности ЗЗ являются некими обобщающими оценками и существует определенная зависимость вероятности поражения точек поверхности

© А.А. Петков, Н. В. Федорова. 2014

грунта от расстояния до оси стержневого молниеотвода. Этот факт подтверждают экспериментальные данные, представленные в работах [3-5]. В работах исследовались электрические разряды в неоднородном поле, создаваемом в системе «стержень-плоскость» при наличии стержня-объекта. Длина разрядных промежутков составляла 0,78 м, и 1,26 м и 3 м.

Полученные в работах экспериментальные данные могут быть использованы для оценки изменения вероятности поражения плоскости длинным электрическим разрядом при наличии стержня.

Цель работы. Разработка методики оценки вероятности поражения разрядом молнии поверхности грунта в районе расположения стержневых объектов.

Результаты исследований. На рис. 1 показана одна из схем проведенных испытаний [3, 4], результаты которых позволяют дать оценку вероятности поражения плоскости длиной искрой при наличии стержневого объекта.

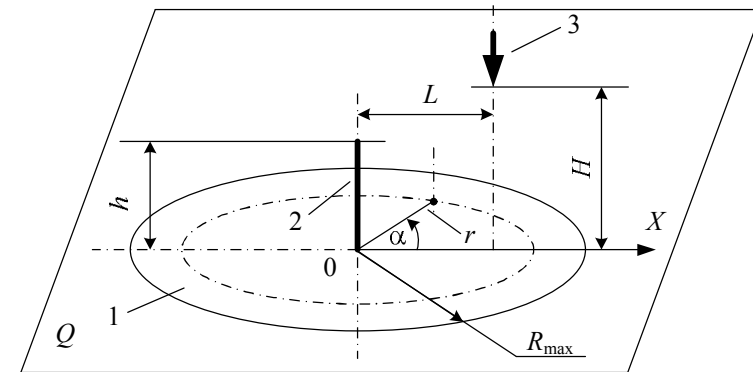


Рис. 1 – Схема проведения испытаний

На рисунке обозначено: 1 – зона заземленной плоскости Q , в которой вероятность ее поражения длиной искрой зависит от наличия стержневого объекта 2; 3 – потенциальный электрод, с которого развивается разряд длиной искры на стержень-объект 2 либо плоскость Q .

Испытания были организованы следующим образом. Первоначально потенциальный электрод 3 устанавливался на расстоянии H от плоскости соосно со стержнем-объектом 2. Проводилась серия разрядов N (с использованием генератора импульсов напряжения) и фиксировалось количество поражений стержня-объекта n . Вероятность поражения стержня-объекта определялась по соотношению $q = n / N$. Да-

лее потенциальный электрод смещался вдоль оси OX на величину L , проводилась новая серия разрядов и определялась вероятность поражения стержня при данном значении L .

На рис. 2 показано [5] изменение вероятности поражения стержня в зависимости от величины смещения потенциального электрода L для варианта $H = 3$ м, $h = 0,3$ м. Обработка экспериментальных данных показывает, что радиус зоны, в которой вероятность поражения плоскости длинной искрой зависит от наличия стержневого объекта 2 (рис. 2), и составляет [5]: для варианта $H = 3$ м, $h = 0,3$ м – $R_{\max} = 1,7$ м; для варианта $H = 3$ м, $h = 0,15$ м – $R_{\max} = 1,3$ м. Величина R_{\max} равна минимальному смещению потенциального электрода L , при котором уже не наблюдаются разряды на стержневой объект 2 (рис. 2).

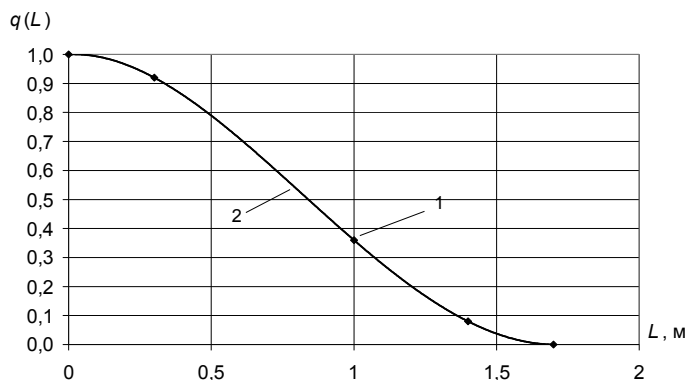


Рис. 2 – Зависимость вероятности поражения стержня от величины смещения потенциального электрода.

1 – экспериментальные данные; 2 – аппроксимирующая кривая

Учитывая, что при разряде возможны только два несовместимых события: поражение стержня или поражение плоскости, то данные вероятности поражения стержня позволяют определить точки эмпирической функции распределения поражения плоскости F_e при смещении потенциального электрода в виде:

$$F_e(L_k) = \frac{\sum_{i=1}^k 1 - q(L_i)}{\sum_{j=1}^m [1 - q(L_j)]}, \quad (1)$$

где k – номер экспериментальной точки; m – количество экспериментальных точек.

Теоретическая функция распределения $F_t(L)$ может быть получена путем аппроксимации данных, определенных по (1) и для варианта $H = 3$ м, $h = 0,3$ м имеет вид

$$F_t(L) = 0,327L^2. \quad (2)$$

Тогда плотность распределения поражения плоскости при смещении потенциального электрода по радиусу равна

$$g(L) = \frac{dF_t(L)}{dL} = 0,654L. \quad (3)$$

Для оценки поражения плоскости разрядом длинной искры в районе размещения стержневого объекта рассмотрим следующую задачу. Пусть разряд длинной искры может равно вероятно инициироваться из любой точки пространства, расположенной на высоте H над плоскостью в пределах круга с радиусом R_{\max} (рис. 2). Известно, что разряд может поразить либо стержневой объект, либо плоскость. Требуется определить вероятность того, что в результате разряда из точки с координатами (r, α, H) будет поражена плоскость Q . Исходя из постановки задачи, с учетом соотношения (3) вероятность поражения элементарной площадки плоскости Q имеет вид [6]

$$p = g(r, \alpha) dr d\alpha = 0,654r dr d\alpha. \quad (4)$$

Тогда вероятность поражения плоскости при инициировании разряда в пределах круга радиусом r определится как

$$P(r) = F(r) - F(0) = \frac{\int_0^r \int_0^{2\pi} g(r, \alpha) dr d\alpha}{\int_0^{R_{\max}} \int_0^{2\pi} g(r, \alpha) dr d\alpha} = \left(\frac{r}{R_{\max}} \right)^2. \quad (5)$$

Соотношение (5) определяет вероятность поражения всей плоскости Q и может служить верхней оценкой вероятности поражения части плоскости – круга радиусом r .

Для определения адекватности принятой оценки произведем ее сравнение с зоной защиты стержневого молниеотвода на уровне грунта, определяемой по материалам действующего нормативного документа [1]. Согласно [1] надежность защиты стержневого молниеотвода P_3 равна $P_3 = 1 - P_{\text{ППМ}}$, где $P_{\text{ППМ}}$ – вероятность прямого поражения молнией защищаемого объекта. Эту вероятность можно отнести и час-

ти плоскости грунта, находящейся в зоне защиты конической формы, которая является кругом с радиусом $r_0 = kh_M$, где h_M – высота стержневого молниеотвода, k – коэффициент, зависящий от высоты молниеотвода и надежности защиты.

Используя геометрическое подобие системы стержень-круг (рис. 1), можно сопоставить значения коэффициента k , приведенные в [1] и рассчитанные исходя из (5) при $P(r) = P_{\text{ППМ}}$. На рис. 3 показано изменение коэффициента k для различных значений вероятности поражения круга, соосного со стержнем высотой до 30 м. Как видно из рисунка, при малых вероятностях поражения плоскости (больших значениях надежности зоны защиты стержневого молниеотвода), расчет дает меньшее значение радиуса зоны защиты на поверхности грунта по сравнению с нормативным документом. При малых значениях надежности – расширяет зону защиты на поверхности грунта.

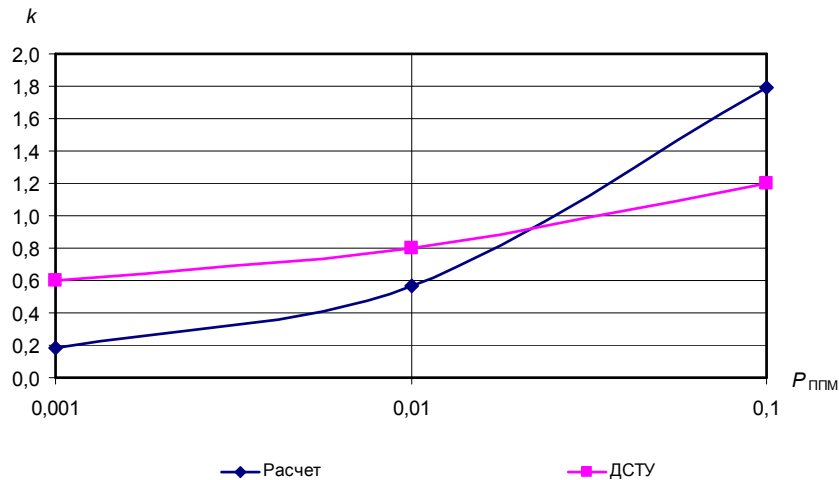


Рис. 3 – Изменение коэффициента связи высоты стержня и радиуса круга

Выводы

1. Получены аналитические соотношения для определения вероятности поражения грунта длиной искрой в районе расположения стержневого объекта.

2. Сравнение зоны защиты стержневого молниеотвода на поверхности грунта рассчитанное по предложенным соотношениям и мате-

риалам действующего нормативного документа показало корреляцию результатов.

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

Список литературы: 1. Улаштування блискавкозахисту будівель споруд (IEC 62305:2006, NEQ): ДСТУ 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. Экспериментальные исследования поражения заземленной плоскости и размещенных на ней объектов электрическим разрядом в длинном промежутке / [Баранов М.И., Доценко В.И., Зинковский В.М. и др.] // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2013. – №27. – С. 11 – 20. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/3817>. 4. Влияние конфигурации системы электродов на распределение точек поражения плоскости длиной искрой / [Г.М. Кольушко, П.Н. Мельников, О.С. Недзельский и др.] // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2013. – №60. – С. 57 – 70. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/5668>. 5. Петков А.А. Экспериментальные исследования поражения стержневого молниеотвода / А.А. Петков // Физические и компьютерные технологии: труды 19-й Международной научно-технической конференции (Харьков, 25 – 26 июня 2014г.). – Харьков : ГП ХМЗ "ФЭД", – 2014. – С. 146 – 149. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/8747>. 6. Венцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Венцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высш. шк., 2000. — 480 с. – ISBN 5-06-003830-0.

Bibliography (transliterated): 1. Ulashtuvannya bliskavkozahistu budivell sporud (IEC 62305:2006, NEQ): DSTU B V.2.5-38:2008. – [Chinniy vld 2008–01–01]. – K. : Minoregionbud Ukraini, 2008. – 63 s. 2. Larionov V.P. *Osnovny molniezaschityi*. Moscow: Znak, 1999. 3. Baranov M.I., Dotsenko V.I., Zinkovskiy V.M. *Eksperymentalnyie issledovaniya porazheniya zazemlennoy ploskosti i razmeschennyih na ney ob'ektov elektricheskim razryadom v dlinnom promezhtutke*. *Visnik Natsionalnogo tehnlchnogo unversitetu "Harkivskiy politehnlchniy institut"*. *Zbrlnik naukovih prats. Tematichniy vipusk: Tehnlka ta elektroflzika visokih naprug*. No. 27. 2013. 11 – 20. Print 4. G.M. Koliushko, P.N. Melnikov, O.S. Nedzelskiy *Vliyanie konfiguratsii sistemyi elektrodov na raspredelenie tochek porazheniya ploskosti dlunnoy iskroy*. *Visnik Natsionalnogo tehnlchnogo unversitetu "Harkivskiy politehnlchniy institut"*. *Zbrlnik naukovih prats. Tematichniy vipusk: Tehnlka ta elektroflzika visokih naprug*. No. 60. 2013. 57 – 70. Print 5. Petkov A.A. *Eksperymentalnyie issledovaniya porazheniya stержnevoego molnieotvoda* *Fizicheskie i kompyuternye tehnologii: trudy 19-y Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii (Harkov, 25 – 26 iyunya 2014g.)*. Kharkov : GP HMZ "FED", 2014. 146 – 149. Print.

Поступила (received) 05.11.2014