

УДК 621.316.9

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОШАГОВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ПОРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ РАЗРЯДОМ ДЛИННОЙ ИСКРЫ

Петков А.А. докт. техн. наук., с.н.с.

(НТУ «ХПИ», г. Харьков, Украина)

The paper discusses the problem of determining the adequacy of the statistical model, which describes the defeat of objects using long sparks. It has been shown that more research is needed on the choice of methods that provide verification agreement of simulation results and experimental plane distribution points defeat.

Keywords: statistical model, long spark, consent criterion.

В работе обсуждается проблема определения адекватности статистической модели, которая описывает поражение объектов длинной искрой. Показана необходимость дополнительных исследований по выбору методов, которые обеспечивают проверку согласия результатов моделирования и экспериментального распределения точек поражения плоскости.

Ключевые слова: статистическая модель, длинная искра, критерий согласия.

В настоящее время значительное внимание уделяется защите различных объектов от прямого поражения молнией, что отражено в ряде национальных и международных нормативных документов. Однако следует отметить неоднозначность подходов к вопросам молниезащиты в различных документах. Последнее обстоятельство свидетельствует о необходимости совершенствования моделей поражения молнией различных объектов, так как на основании этих моделей формируются требования к молниезащите. Одной из таких моделей является многошаговая модель поражения объектов длинной искрой, имитирующей молнию, предложенная в [1, 2]. В ее основу положено случайное ступенчатое (шаговое) движение длинной искры, которая развивается с высоковольтного электрода в направлении плоскости (рис. 1) или соосного с высоковольтным электродом объекта-стержня (рис. 2).

На рисунках приведена геометрическая интерпретация варианта поражения объектов длинной искрой на третьем шаге и введены

следующие обозначения: $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ – углы движения между вертикальной осью и направлением движения искры на 1, 2 и 3 шаге; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – углы ориентировки искры в горизонтальной плоскости на 1, 2 и 3 шаге; H – высота подвеса высоковольтного электрода 1; h – высота объекта-стержня 2; A – расстояние между высоковольтным электродом и объектом-стержнем; x_p, y_p – координаты точки поражения в плоскости Q .

В модели предполагается, что каждая ступень (шаг) движения представляет собой отрезок прямой линии, а вероятность выбора направления движения обратно пропорциональна расстоянию от точки начала движения на данном шаге до точки поражения объекта (измеряемого по этой прямой), в степени m , т.е. $p(\theta, \alpha) \sim 1/D^m$, где $m > 1$.

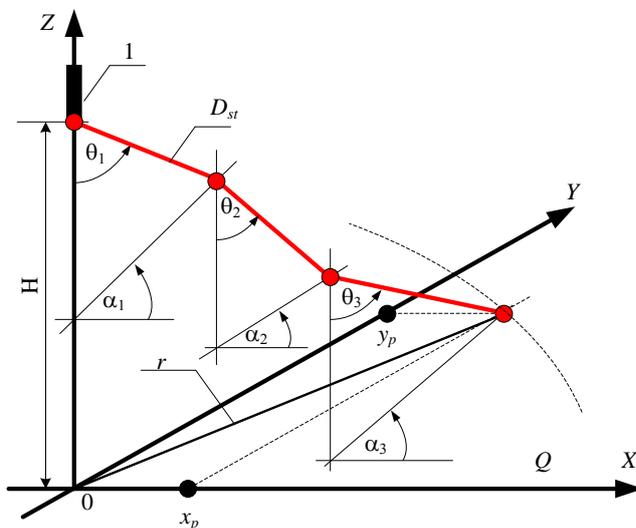


Рис. 1. Геометрическая модель поражения плоскости

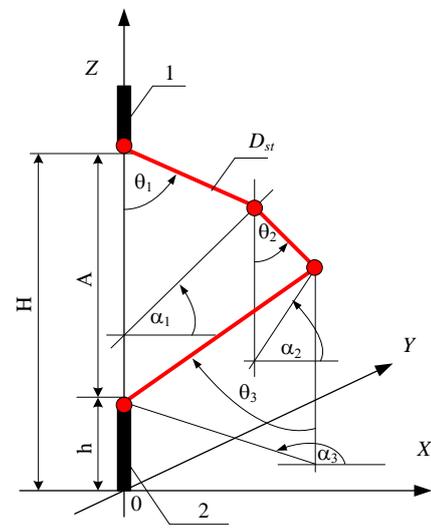


Рис. 2. Геометрическая модель поражения объекта-стержня

Адекватность модели в нашем случае может быть подтверждена совпадением результатов моделирования с экспериментальными данными. Однако отсутствие необходимого количества реальных данных по поражению объектов молнией вынуждает использовать результаты экспериментов, проводимых на физических моделях. Эксперименты такого рода, в силу значительных затрат, выполняются при ограниченном количестве опытов (обычно 50 – 100 разрядов длинной искры). Это, учитывая вероятностный характер разрядов молнии, требует для доказательства адекватности модели применения специальных статистических методов.

Поражение плоскости Q разрядом длинной искры (рис. 1) характеризуется неким распределением точек поражения, например [3, 4]. Адекватность модели может быть подтверждена совпадением экспериментальной функции распределения точек поражения плоскости – $F_e(r)$ и функции распределения точек поражения, полученной при

моделировании – $F_m(r)$, где r – расстояние от оси высоковольтного электрода до точки поражения плоскости. В качестве меры совпадения результатов моделирования и экспериментального распределения может быть использован критерий Колмогорова [5]. Причем результаты моделирования принимаются в качестве теоретического распределения точек поражения плоскости.

Поражение объекта-стержня (рис. 2) характеризуется вероятностью поражения p . Учитывая, что экспериментальные данные получают при ограниченном количестве опытов и при увеличении их количества наблюдаемые значения вероятности поражения объекта-стержня p^* могут измениться, для подтверждения адекватности модели было использовано условие попадания вероятности поражения объекта-стержня при моделировании p_m в доверительный интервал (p_1, p_2) , границы которого определяются исходя из количества экспериментальных данных n и значения вероятности поражения объекта-стержня наблюдаемого в эксперименте – p^* [6].

Как функция распределения точек поражения, полученная при моделировании – $F_m(r)$, так и вероятность поражения стержня при моделировании p_m зависят от двух вариативных параметров предложенной модели: показателя степени m и коэффициента шага движения $K_{st} = D_{st} / H$ изменяя которые, мы можем выбрать оптимальный вариант при моделировании. Оптимальным будем считать вариант соотношения величин параметров модели m и K_{st} , при которых выполняются следующие условия:

- для функции распределения точек поражения плоскости [5]

$$d_{\max} = \max |F_e(r) - F_m(r)| \leq k_{n;\alpha}, \quad (0 \leq r < \infty), \quad (1)$$

где $k_{n;\alpha}$ – критическое значение критерия при количестве экспериментальных данных n и уровне значимости α ;

- для вероятности поражения стержня

$$p_1 \leq p_m < p_2, \quad (2)$$

где p_1 и p_2 – соответственно нижняя и верхняя граница доверительного интервала, определенные исходя из наблюдаемого значения вероятности поражения в эксперименте – p^* [6].

В [1, 2] рассмотрено раздельное моделирование поражения плоскости и объекта-стержня, соосного с высоковольтным электродом (раздельное использование условий (1) и (2)). Эти два частных случая моделирования высоковольтных испытаний являются составляющими решения важной практической задачи – определения зоны защиты

стержневого молниеотвода, которая включает ряд последовательно выполняемых высоковольтных испытаний. Следующей составляющей указанной задачи является определение зоны защиты на уровне грунта. При экспериментальных исследованиях в этом случае используется геометрическая модель, отличающаяся от модели, показанной на рис. 2, тем, что ось высоковольтного электрода смещена в горизонтальной плоскости относительно оси электрода-объекта. Данный вариант испытаний при моделировании требует совместного использования условий (1) и (2). Однако в этом случае функция распределения точек поражения не может считаться осесимметричной, так как зависит от расстояния точек поражения от оси стержня-объекта и от направления смещения оси высоковольтного электрода на плоскости. Данное обстоятельство (наличие двух случайных параметров в распределении точек поражения) не позволяет непосредственно использовать критерии согласия распределений одной случайной величины, и требует дополнительных исследований по выбору методов проверки совпадения результатов моделирования и экспериментального распределения точек поражения плоскости.

Список литературы: 1. *Петков А.А.* Моделирование поражения плоскости разрядом длинной искры с использованием многошаговой модели / *А.А. Петков* // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2015. – №51. – С. 78 – 82. [http://repository.kpi.kharkov.ua/handle /KhPI-Press/19122](http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/19122) 2. *Петков А.А.* Моделирование поражения стержня разрядом длинной искры с использованием многошаговой модели / *А.А. Петков* // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків : НТУ "ХПІ". – 2016. – №14. – С. 73 – 77. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/22081>. 3. Экспериментальные исследования поражения заземленной плоскости и размещенных на ней объектов электрическим разрядом в длинном промежутке / [*Баранов М.И., Доценко В.И., Зиньковский 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. *Колушко Г.М.* Влияние конфигурации системы электродов на распределение точек поражения плоскости длинной искрой / [*Г.М. Колушко, 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. *Hauschild V.* Statistik für Elektrotechniker. Eine Darstellung an Beispielen aus der Hochspannungstechnik / *V. Hauschild, V. Mosch.* – Berlin. : VEB Verlag Technik, 1984. – 312 s. 6. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей / *Е.С. Вентцель* – М. : Высш. шк., 2002. – 575 с.