

М.М. РЕЗИНКИНА, д.т.н., гл.н.с. НТЦ МТО НАН Украины,
Е.Е. СВЕТЛИЧНАЯ, аспирант НТУ «ХПИ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ УДАРЕ МОЛНИИ В НАЗЕМНЫЕ ОБЪЕКТЫ ДЛЯ ВЫБОРА СРЕДСТВ МОЛНИЕЗАЩИТЫ ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ

Рассмотрено использование математической модели, которая описывает статистические процессы при ударе молнии в нестандартный объект (цилиндрическую емкость для хранения нефтепродуктов), для выбора параметров средств молниезащиты, которые обеспечивают существенное снижение прогнозируемого числа поражений молнией.

Ключевые слова: молниеотвод; лидерный канал молнии; молниезащита; протяженный объект; стримерная зона.

Введение. В настоящее время, зоны защиты молниеотводов определяются в соответствии с нормативными документами (см. например [1, 2]). Однако практическое применение подобных стандартов применительно к выбору средств молниезащиты протяженных объектов весьма затруднительно. Ущерб от удара молнии в некоторые объекты, например стартовые комплексы или емкости для хранения нефтепродуктов, могут привести к существенным материальным убыткам и даже техногенным катастрофам. Физическое моделирование электромагнитных процессов, сопровождающих удар молнии, является весьма дорогостоящим и, к тому же, не обеспечивает полное представление происходящих при ударе молнии явлений. Это вызывает необходимость разработки математических моделей процессов, сопровождающих продвижение лидерного канала молнии, позволяющих оценить надежность выбираемых средств молниезащиты.

Одним из наиболее распространенных методов оценки защищаемых зон является так называемый электрогеометрический метод [2, 3]. При этом полагается, что зона защиты молниеотвода лежит внутри области, внешняя граница которой образована «катящейся сферой» радиуса $R_{last\ stroke}=30$ м (*last stroke* – среднее расстояние, с которого начинается «выбор» молнией места удара). Несмотря на наглядность, данный подход является весьма упрощенным представлением процесса молниезащиты, не учитывающим такие важные характеристики как, например, разброс значений $R_{last\ stroke}$. В то же время, более сложные модели для прогнозирования процессов продвижения молнии к земле (см. например [4–6]), как правило, весьма далеки от решения задач практической молниезащиты.

Для того чтобы смоделировать статистический процесс продвижения лидерного канала молнии применительно к оценке эффективности разрабатываемых систем молниезащиты может быть использован подход, описанный в [7].

© М. М. Резинкина, Е. Е. Светличная, 2013

Математическая модель статистических процессов при ударе молнии в наземные объекты. Модель, описанная в [7], основана в обобщении экспериментальных исследований импульсных высоковольтных разрядов в длинных промежутках «стержень-плоскость» и молнии [8]. При ее разработке полагалось, что последний этап продвижения лидерного канала молнии при ее ориентировке на наземный объект, так называемый «last stroke», начинается, когда стримерная зона лидерного канала нисходящей молнии достигает его. Полагается, что «последний удар» явится процессом перемещения канала лидера через стримерную зону. При этом учитывалось, что величины скорости и ускорения лидера молнии зависят от ее потенциала, а также от угла между векторами скорости ее продвижения и напряженности электрического поля в окружающем пространстве.

При работе модели полагалось, при выполнении хотя бы одного из двух описанных ниже условий соответствующая заземленная область может быть поражена молнией в рассматриваемом численном эксперименте. Первым условием является уменьшением удельного сопротивления одного из каналов стримеров до уровня, близкого к удельному сопротивлению лидерного канала молнии. Второе условие предполагает, что один из конкурирующих каналов искры, перемещающихся в стримерной зоне лидерного канала молнии, достигает рассматриваемую заземленную область.

Для описания процесса «выбора» лидером молнии места удара на земле был использован принцип, аналогичный принципу «Least Time – Maximum Probability» (наименьшее время – максимальная вероятность) [9]. Полагается, что вероятность удара молнии в заземленную область обратно пропорциональна времени его достижения лидерным каналом молнии на завершающей стадии его движения.

На область исследуемого объекта накладывается прямоугольная расчетная сетка (назовем ее «сетка 1»). На область над объектом, откуда может произойти развитие лидерного канала молнии, также накладывается прямоугольная расчетная сетка (назовем ее «сетка 2»). Причем площадь сетки 2 существенно превышает площадь исследуемого объекта, поскольку она соответствует зоне, из которой в рассматриваемый объект может ударить молния. При работе модели рассчитываются вероятности удара молнии в каждую из ячеек сетки 1 из каждой ячейки сетки 2. При этом учитывается вероятность появления молний, несущих к земле различные потенциалы.

Сравнение рассчитанных и нормируемых [1] соотношений между прогнозируемым числом прорывов молнии на молниевод и защищаемый объект при оговоренных в [1] зонах защиты показало их совпадение в пределах 10 % (см. [10]).

Расчетный выбор средств молниезащиты повышенной надежности. Рассмотрим использование данной модели для выбора системы молниезащиты емкости для хранения нефтепродуктов, представляющей собой

цилиндр радиусом 39 м и высотой 34 м. С помощью разработанной модели было рассмотрено несколько вариантов систем молниезащиты данного объекта.

При определении вероятности поражения молнией использовалось N – прогнозируемое для данной географической области число прямых ударов молнии в год в объект площадью S_o (см. например [11]):

$$N \approx N_m \cdot S_o,$$

где N_m – среднее количество ударов молнии в год на 1 км^2 в данной географической зоне; $S_o [\text{км}^2]$ – площадь объекта.

Расчеты были выполнены для случая средней за год плотности ударов молнии на квадратный километр, равной: $N_m=1$.

На рис. 1 представлено рассчитанное распределение прогнозируемого числа ударов молнии в год в емкость для хранения нефтепродуктов для случая отсутствия средств молниезащиты. При этом суммарное прогнозируемое число ударов молнии о данный объект таково, что молния может в него попасть 1 раз в 6 лет. Неравномерность распределения количества пробоев вдоль внешнего края цистерны вызвана дискретностью задания узлов, попадание молнии в которые рассчитывается, а также в связи с использованием прямоугольной расчетной сетки применительно к цилиндрическому объекту.

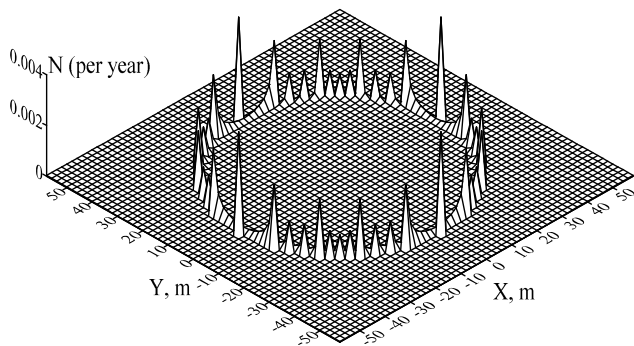


Рис. 1 – Рассчитанное распределение количества ударов молнии в рассматриваемую цистерну

На рис. 2–4 показаны рассчитанные распределения прогнозируемого числа ударов молнии в год в исследуемый объект при наличии соответственно 1-го, 2-х и 4-х молниеотводов высотой 90 м. При этом суммарное прогнозируемое число ударов молнии о данный объект таково, что молния может в него попасть 1 раз в 8, 11 и 19 лет соответственно.

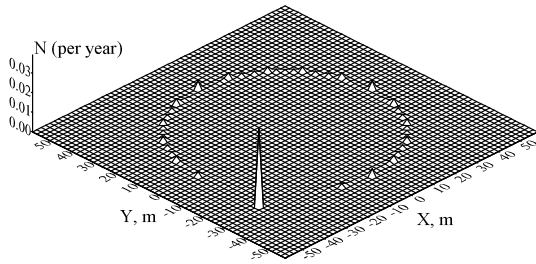


Рис. 2 – Рассчитанное распределение количества ударов молнии в системе «цистерна – молниеотвод высотой 90 м»

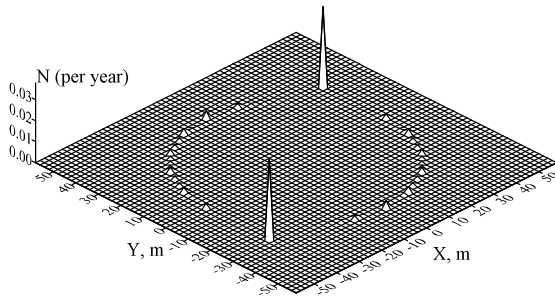


Рис. 3 – Рассчитанное распределение количества ударов молнии в системе «цистерна – 2 молниеотвода высотой 90 м»

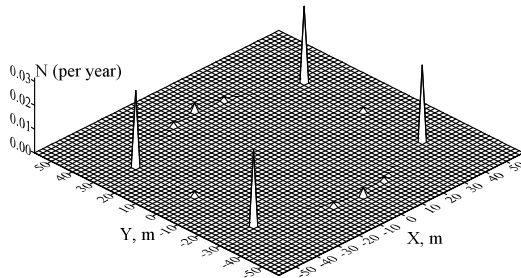


Рис. 4 – Рассчитанное распределение количества ударов молнии в системе «цистерна – 4 молниеотвода высотой 90 м»

Если по соображениям безопасности требуется еще снизить суммарное прогнозируемое число попаданий молнии в исследуемый объект, могут быть использованы тросовые молниеотводы. Рассчитанное распределение вероятности попадания молнии в этом случае показано на рис. 5 (высота, на которую подняты тросы, составляет 50 м). При таком расположении

тросовых молниеотводов прогнозируемое число прорывов молнии на рассматриваемый объект не выше, чем один за 100 лет. Причем, как показало проведенное компьютерное моделирование (см. рис. 6), использование 14 молниеотводов высотой 90 м, расположенных так же, как для случая, показанного на рис. 5, дает прогнозируемое число прорывов молнии на рассматриваемый объект один раз в 43 года.

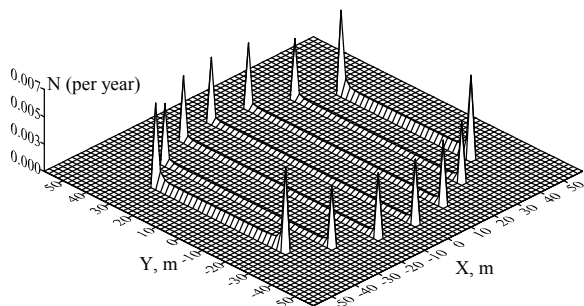


Рис. 5 – Рассчитанное распределение количества ударов молнии в системе «цистерна – 7 тросовых молниеотводов»

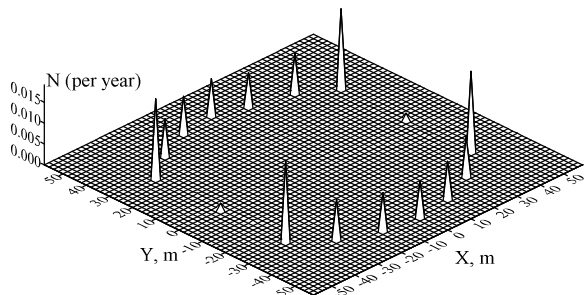


Рис. 6 – Рассчитанное распределение количества ударов молнии в системе «цистерна – 14 молниеотводов высотой 90 м»

Заключение. Проведенное компьютерное моделирование процессов, сопровождающих продвижение лидерного канала молнии на последнем этапе перед «выбором» места удара заземленного объекта позволило определить прогнозируемое число поражений молниеотводов и защищаемого нестандартного объекта (цистерны с нефтепродуктами), оценить степень влияния числа используемых молниеотводов, а также показать, что применение тросовых молниеотводов выбранной конфигурации позволяет практически исключить попадание молнии в рассмотренный объект в течении всего срока его эксплуатации.

Список литературы: 1. РД 34.21.122-87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. — М.: Энергоатомиздат, 1989. 2. NFPA 780 Standard for the installation of lightning protection systems. - 2011. 3. *Uman M., Rakov V.* A critical review of nonconventional approaches to lightning protection // American Meteorological Society. — 2002. — P. 1809—1820. 4. *Петров Н., Петрова Г.* Физические механизмы развития молниевых разрядов между грозовым облаком и ионосферой // Журнал технической физики. — 1999.— Т. 69, вып. 4. — С. 134—137. 5. *Mansell E., MacGorman D., Ziegler C., Straka J.* Simulated three-dimensional branched lightning in a numerical thunderstorm model // Journal of Geophysical Research. — 2002. — № D9, vol. 107. 6. *Agoris D.P., Charalambakos V.P., Pyrgioty E., Grzybowski S.* Estimation of the protection zone of a Franklin rod using a stochastic model // Proc. of 26th Int. Conf. on Lightning Protection. — Cracow (Poland). - 2002. — P. 270—274. 7. *Резинкина М.М.* Методика расчета прогнозируемого числа поражений молнией протяженных объектов // Журнал технической физики — 2008. — Т. 78, № 5. — С. 1—7. 8. *Базелян Э.М., Райзер Ю.П.* Физика молнии и молниезащиты. — М.: Физматлит, 2001, 319 с. 9. *R. Briet* Verification of the least-time/maximum-probability theory of lightning propagation and lightning protection systems design. // Proc. of 11th ISHVE (London). - 1999. - Vol. 2. - P. 228 – 233. 10. *Щерба А.А., Резинкина М.М.* Электромагнитные поля и их воздействие на объекты. - Киев: Наукова думка, 2009, 191 с. 11. Техника высоких напряжений / Под общей ред. *М.В.Костенко*. — М.: Высшая школа, 1973, 527 с.

Поступила в редколлегию 09.12.2012

УДК 621.317.42

Моделирование статистических процессов при ударе молнии в наземные объекты для выбора средств молниезащиты повышенной надежности. / М.М. Резинкина Е.Е. Светличная // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автоматика та приладобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – №8 (982). – С. 103–108. Бібліотека: 11 назв.

Розглянуто використання математичної моделі, що описує статистичні процеси при ударі блискавки в нестандартний об'єкт (циліндричну ємність для зберігання нафтопродуктів), для вибору параметрів засобів блискавко захисту, що забезпечують істотне зниження прогнозованого числа його поразок блискавкою.

Ключові слова: блискавковідвід; лідерний канал блискавки; блискавкозахист; протяжний об'єкт; струмерная зона.

Usage of the mathematical model, describing statistical processes at lightning attachment to a nonstandard vulnerable object (an oil storage tank) for providing its lightning protection with substantial reduction of prognosticated lightning strokes has been considered.

Keywords: rod; leader channel lightning, lightning protection; the object; streamer zone.