

Мещеряков В.Е.

Вологодский государственный университет, г.Вологда, Россия

Тел.: 8-931-500-45-40, E-mail: mesheryakov_1@mail.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА МОЛНИЕЗАЩИТЫ

Прорывы молнии через систему молниезащиты (МЗ) продолжают наносить огромный ущерб объектам промышленности, несмотря на строгое соответствие проектных решений нормам МЗ. В настоящее время в России действует два основных документа: РД 34.21.122-87 (далее РД) и СО-153-34.21.122-2003 (далее СО), а также ведомственные нормативы ОАО «Газпром», ОАО «Транснефть».

Экспериментальные исследования молниезащиты в длинных искровых промежутках [1] легли в основу стандарта Министерства обороны ВСП 22-02-07/МО РФ (далее ВСП). В этом стандарте впервые зафиксировано влияние защищаемого объекта на зону защиты молниеотводов.

РД и СО основываются на вероятностной методике, разработанной Э.М. Базеляном. Предполагается, что лидер молнии движется вертикально до некоторой высоты (плоскости ориентировки) на уровне $5h$, где h – высота объекта ($h < 150$ м). Далее, существует возможность удара в землю, в молниеотвод или в объект. Метод учитывает, что из двух промежутков существует вероятность пробоя и наиболее длинного из них.

Расчеты вероятностным методом приводят к разным решениям при изменении высоты плоскости ориентировки. Избыточная высота ограничивает детализацию объекта, при недостаточной высоте вероятность появления лидера в разных точках поверхности ориентировки различна. То и другое снижает точность расчета, особенно для высотных объектов. Например, согласно РД (зона А) радиус защиты на уровне земли $r_0 = [0.8 - 1.8 \cdot 10^{-3}(h - 150)]$ сначала возрастает при увеличении высоты молниеотвода (до 300 м), затем уменьшается, что противоречит здравому смыслу.

СО не позволяет определить зоны МЗ разновысоких и высотных молниеотводов. Программное обеспечение, которое было призвано решить эти задачи, так и не вышло.

В стандарте МЭК 62305-3 (далее МЭК) зоны МЗ строятся методом защитного угла, который рекомендуется для одиночных молниеотводов, и методом катящейся сферы (МКС).

В МКС объект с молниеотводами «обкатывается» сферой заданного радиуса и считается защищенным, если его не касается сфера радиусом $R = 20, 30, 45, 60$ м для 1, 2, 3, 4 категории МЗ объекта или $R = 10 \cdot I^{0.65}$ в общем случае, где I – минимальный ток молнии. «Обкатывая» молниеотводы (без объектов), получаем зоны защиты. Таким образом, имеем простой расчетный метод, принятый в большинстве стран. Главный недостаток МКС в том, что он не учитывает взаимное влияние молниеотводов, отсюда избыточные, затратные решения. Использование МКС позволяет стандарт СО, при условии более жестких решений. МКС включен в ГОСТ Р 54418.24-2013 для ветроэнергетических установок.

Новые идеи в МЗ высказаны Г.Н. Александровым. Зона захвата в его методе удовлетворяет условию равной вероятности появления лидера молнии (как в вероятностном методе), но расположена на расстоянии стримерной зоны, т.е. вблизи объекта (как в МКС). Условие равной вероятности появления молнии по гипотезе Г.Н. Александрова эквивалентно условию равного относительного наведенного заряда защищаемого объекта [2]

$$p_a = -Q/q, \quad (1)$$

где Q – наведенный заряд объекта с молниеотводами, q – заряд лидера. Дальнейшие расчеты аналогичны МКС. Для каждой точки зоны захвата определяется место поражения объекта или молниеотвода по принципу эквидистантности.

К сожалению, Г.Н. Александрову не удалось завершить работу над своим методом, довести до программной реализации, решения практических задач. Расчет наведенного заряда в (1) должен выполняться тысячи раз для разных положений лидера молнии при построении зоны захвата, что очень трудоемко. Сама гипотеза (1) требует подтверждения.

Нам удалось решить весь комплекс задач, связанных с разработкой метода молниезащиты на основе (1), и довести его до программной реализации [3, 4]. В докладе мы хотели бы представить некоторые результаты работы.

Одиночный молниеотвод. Для сравнения полученных результатов с нормами и методами, построим зоны МЗ для одиночного молниеотвода (рис. 1). Сравнение зон МЗ показало, что наибольшей зоной МЗ обладает РД и СО (кривая 1 и 2, соответственно). Наименьший результат дает норматив ВСП (кривая 3). Для молниеотвода высотой 20 метров полученный результат (рис. 1а) коррелируют с МКС. Для молниеотвода 30 м (рис. 1б) зона МЗ увеличилась, по сравнению с МКС. На характерной высоте (4 м) полученные результаты близки к ВСП. Зона МЗ по ВСП всегда строится с вершины молниеотвода, а по РД и СО всегда ниже вершины. В разрабатываемом методе зона МЗ может строиться как от вершины молниеотвода, так и ниже её.

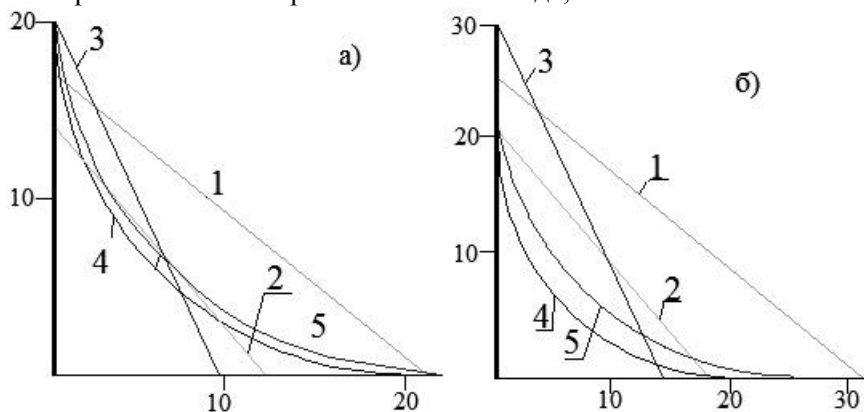


Рис. 1. Зоны защиты стержневого молниеотвода высотой а) 20 метров, б) 30 метров: 1) РД при $P_H=0,999$; 2) СО при $P_H=0,999$; 3) ВСП при $P_H=0,99$ для объекта площадью $0,5 \text{ м}^2$; 4) МКС при $P_H=0,99$; 5) по данным настоящей работы, $P_H=0,99$

Сопоставим зоны защиты двойного стержневого молниеотвода, полученные разными способами (рис. 2). Среди российских норм ВСП вновь дает наименьшую зону защиты по сравнению с РД и СО. Зоны защиты по МКС самые узкие, они не изменились по сравнению с одиночным молниеотводом. Таким образом, МКС не учитывает взаимное влияние молниеотводов, поэтому его применение для объектов с многократными молниеотводами некорректно. В разработанном методе взаимное влияние молниеотводов учитывается взаимными потенциальными коэффициентами при расчете наведенного заряда. В результате зона защиты (рис. 2, кривая 5) заметно отличается от зоны защиты по МКС и хорошо коррелирует с ВСП.

Защищаемый объект оказывает влияние на зону защиты молниеотводов, что установлено экспериментально [1]. Расчеты по разработанному методу подтверждают эту зависимость (рис. 3). Этот факт следует учитывать при расчете молниезащиты таких металлоемких объектов, как нефтехранилища и электрические подстанции.

Выводы. Методы расчета молниезащиты требуют совершенствования. Способ построения зоны захвата молнии из условия равного наведенного заряда объекта заслуживает дальнейшего изучения.

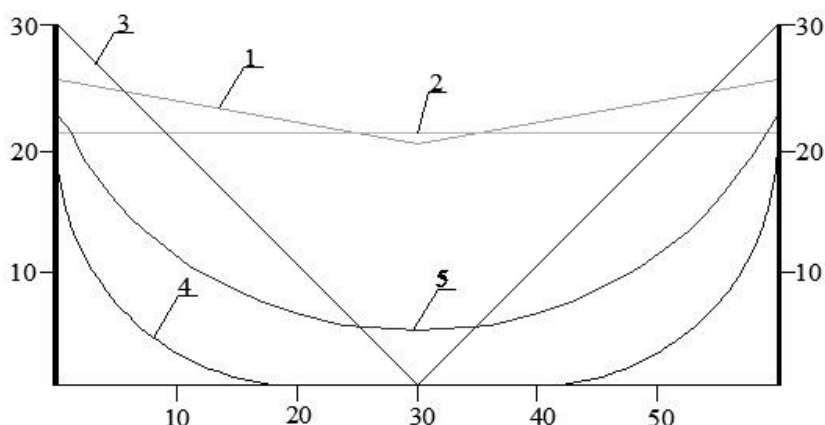


Рис. 2. Зоны защиты двойного стержневого молниеотвода: 1) РД при $P_H=0,999$; 2) СО при $P_H=0,999$; 3) ВСП при $P_H=0,99$ для объекта размерами $10 \times 10 \text{ м}$; 4) МКС при $P_H=0,99$; 5) по данным настоящей работы, $P_H=0,99$

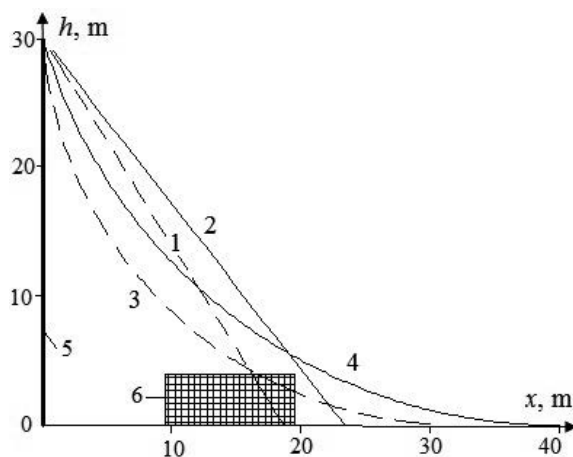


Рис.3. Зоны защиты молниеотвода (5) по данным: ВСП (1,2) и настоящей работы (3,4) при отсутствии (1,3) и наличии (2,4) защищаемого объекта (6) размерами 10x10x4 м для III уровня молниезащиты

Литература

1. Куприенко В.М. Анализ методик расчета и выбора параметров зоны защиты стержневых молниеотводов / В.М. Куприенко // Электричество. – 2012. – №9. – С.39–43.
2. Александров Г.Н. Молния и молниезащита. Ин-т электрофизики и электроэнергетики РАН. – М.: Наука, 2008. – 274 с.
3. Шишигин С.Л. Молниезащита по Г.Н. Александрову. / С.Л. Шишигин, В.Е. Мещеряков // IV Российская конференция по молниезащите: матер. четвертой межд. конф. – Санкт-Петербург. 2014. – С. 34–42.
4. Шишигин С.Л. Метод расчета молниезащиты на основе электростатической модели стягивания лидера молнии / С.Л. Шишигин, В.Е. Мещеряков // Письма в ЖТФ. 2015. – №6. – С.34–41.