



Предложения по совершенствованию стандартов молниезащиты, заземления, электромагнитной совместимости

ШИШИГИН С. Л., Вологодский государственный университет
160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15
ctod28@yandex.ru

Российские стандарты молниезащиты, заземления, электромагнитной совместимости (ЭМС) далеко несовершенны. Указаны некоторые проблемы, которые связаны с зонами защиты молниеотводов, значениями тока молнии в задачах ЭМС, выбором модели земли при расчёте заземлителей, определением кондуктивных помех, а также с требованиями к компьютерным программам расчёта заземления и ЭМС.

Ключевые слова: молниезащита, заземление, ЭМС, стандарты проектирования, совершенствование стандартов.

Российские стандарты молниезащиты РД 34.21.122–87 [1] (далее РД) и СО 153-34.21.122–2003 [2] (далее СО) устанавливают зоны защиты типовых молниеотводов, базируясь на экспериментальных данных канд. техн. наук А. А. Акопяна и расчётах статистическим методом, разработанным доктором техн. наук Э. М. Базеляном. Результаты современных крупномасштабных экспериментов по исследованию молниезащиты под руководством доктора техн. наук В. М. Куприенко повысили адекватность выбора молниеотводов и стали основой при разработке норм ВСП 22-02-07/МО РФ [3] (далее ВСП). Впервые в нормативах закреплён факт зависимости зон защиты молниеотводов от размеров и формы защищаемого объекта.

К сожалению, все российские стандарты содержат частные решения для отдельных молниеотводов (одиночных, двойных). Их нельзя применить для нестандартных объектов, например, наклонного грозозащитного троса, крыши здания сложной формы и даже разновысоких молниеотводов. При проектировании электрических подстанций таких задач множество, они скорее типовые, чем нестандартные. Для их решения в СО предполагалось создать программное обеспечение (ПО), которое так и не было разработано.

При расчётах зон защиты молниеотводов на крышах зданий использование РД и СО может привести к неадекватному результату. Пусть на крыше высотой $H = 8,5$ м расположен молние-

отвод высотой $h = 1,5$ м. Поскольку отсчёт высоты в РД и СО ведётся от поверхности земли, расчётная высота молниеотвода следующая: $H + h = 10$ м. Зона защиты начинается с высоты $0,85(h + H)$, поэтому на уровне крыши её нет. Получается, что молниеотвод по условиям РД и СО ничего не защищает, что противоречит экспериментальным данным ВСП (и здравому смыслу).

Проектировщику придётся существенно увеличить высоту молниеотводов для защиты крыши, что (помимо дополнительных затрат) ведёт к увеличению площади стягивания молнии. Стандарты СО и РД не пригодны для работы с многократными молниеотводами малой высоты на крышах зданий, а именно подобные конструкции хорошо зарекомендовали себя в европейских странах [4].

В большинстве промышленно развитых стран мира расчёт внешней молниезащиты производится методом катящейся сферы (МКС), что предусмотрено стандартом МЭК 62305 (далее МЭК). Применение МКС допускается и СО, однако в электроэнергетике этот метод используется редко. Основные недостатки (ограничения) МКС: 1. Не учитывается взаимное влияние молниеотводов, т. е. внутренний защитный угол равен внешнему углу, сужая зоны защиты; 2. Зона защиты молниеотвода малой высоты неправдоподобно велика; 3. Зона защиты высокого молниеотвода не превышает радиуса катящейся сферы R , поэтому увеличение высоты молниеотвода более R не приводит к расширению зоны защиты.

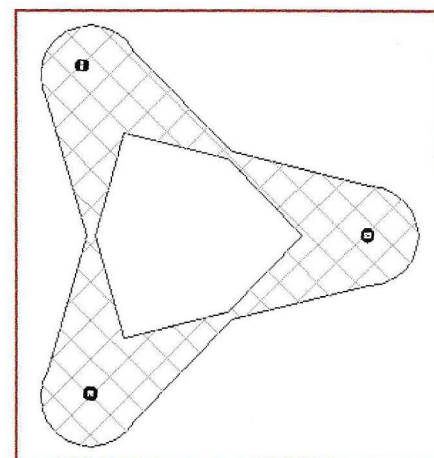
Таким образом, российские и международные нормы имеют разные ограничения, поэтому их следует применять совместно. Одновременное выполнение разных норм — дополнительная гарантия обоснованности выбора молниезащиты.

Предложение. Рассматривать МКС как ПО, которое предполагалось создать в СО для решения нестандартных задач. Для российских стандартов рекомендовать ввести положение об использовании МКС (с учётом указанных ограничений).

О зоне защиты тройного и многократного молниеотвода. При построении зоны защиты указанного молниеотвода вероятна ситуация, когда при внешнем замкнутом контуре защиты, внутри зоны защиты, образуется множество незащищённых «дыр» разной площади. Стандарт РД относит «дыры» к погрешностям построений — вся внутренняя область для каждого тройного молниеотвода считается защищённой, если каждая пара молниеотводов имеет общую зону защиты на данном уровне. В стандарте СО подобных указаний нет, поэтому в примере, представленном на рисунке, к зоне защиты относится только выделенная (значительно меньшая) область. Конфликт между РД и СО в этом вопросе очевиден. Применение МКС, где нет различия между внутренними и внешними защитными углами, ясности не внесёт.

По методике [5] внутренняя зона защищена при условии $D \leq 8\rho(h - h_x)$, где D — диаметр окружности, проходящей через вершины треугольника; h — высота молниеотвода; h_x — высота объекта; коэффициент $\rho = 1$ (при $h < 30$ м). Для варианта $D = 69 < 84$ (см. рисунок), т. е. внутренняя зона защищена, как и предусмотрено в РД.

Согласно ВСП, где защитные углы одиночных, двойных и четырёхкратных молниеотводов определены экспериментально, с увеличением числа молниеотводов внутренний защитный угол заметно возрастает, т. е. незащищённая



Зоны защиты тройного молниеотвода высотой 20 м расстоянием 60 м между молниеотводами по РД (зона А) на уровне 9,5 м

(по СО) внутренняя зона сужается, но для задачи, представленной на рисунке, не исчезает как в РД. Однако при меньшей площади «дыр» возможен и обратный вариант.

Предложение. В новой редакции норм молниезащиты ввести тройной молниеотвод. Экспериментально определить внутренние углы защиты произвольных тройных молниеотводов (в значительной мере эта задача решена в [6]). Рассматривать многократный молниеотвод как совокупность тройных молниеотводов.

О значении тока молнии в задачах ЭМС. По российским нормативам и стандарту МЭК амплитуда первого импульса тока молнии в задачах ЭМС принимается равной 100 кА (для третьего и четвертого уровня молниезащиты). На подстанции значительная часть молниеотводов располагается на её территории (порталах, зданиях). Они экранируются от сильных молний более высокими молниеотводами, расположенными по периметру объекта [7], поэтому в них может ударить молния только с меньшим током.

К такому выводу приходим и расчётным путём с использованием МКС. При «обкатке» подстанции сферой радиусом 200 м (для тока 100 кА) внутренние молниеотводы защищены от прямого удара молнии. Уменьшая радиус сферы, находим максимальный ток молнии, который может поразить данный молниеотвод. При расчёте по МКС токи молнии получаем с запасом, поскольку внутренние защитные углы в МКС, как уже отмечалось, занижены.

Проблема в том, что моделирование удара молнии с завышенным током во внутренние молниеотводы, приводит к избыточным и затратным техническим решениям задач ЭМС, связанным с ограничением кондуктивных и электромагнитных помех.

Предложение. Амплитуда тока молнии каждого молниеотвода в задачах ЭМС должна рассчитываться с учётом экранирующего действия других молниеотводов. Для этого применяется МКС, где установлена связь между током молнии и радиусом катящейся сферы, или методы имитационного моделирования.

О модели земли при расчёте заземлителей. Согласно [8] для расчёта заземлителей «рекомендуется использовать двухслойную модель грунта с учётом сезонных изменений верхнего слоя». В действительности число слоёв, получаемых в результате вертикального электрического зондирования, обычно не менее трёх [9] плюс слой сезонных изменений. Выполняемая в настоящее время замена многослойной модели двухслойной проводится по условию неизменности сопротивления точечного заземлителя, который не является адекватной моделью сеточного заземлителя подстанции.

Существует проблема с потерей точности расчётов заземлителей при переходе к двухслойной модели земли (без слоя сезонных изменений — однослойной). Однако она легко устранима, поскольку ещё в 80-х годах прошлого века на основе теории электроразведки решены все вопросы по использованию многослойной горизонтально-слоистой модели земли для расчёта заземлителей [10].

Ресурсы вычислительной техники не позволили тогда внедрить многослойные модели в практику проектирования заземлителей, но сейчас этих сложностей нет. Для сравнения: фирма SES (sestech.com) — мировой лидер в области заземления и молниезащиты — использует многослойные модели (с вертикальными и горизонтальными границами) с 3D неоднородностями.

Предложение. При расчёте заземлителей следует использовать модель земли, полученную в результате вертикального электрического зондирования, без упрощения. Многослойная горизонтально-слоистая модель земли должна стать основной.

О расчёте кондуктивных помех контрольного кабеля. Двустороннее заземление экрана контрольного кабеля снижает уровень импульсных и высокочастотных кондуктивных помех $U_k = U/k$, где U — напряжение между точками заземления экрана; k — коэффициент экранирования (ослабления) [8].

Проблема в том, что коэффициент k зависит не только от параметров самого экрана, но и места ввода тока, точек заземления экрана, характеристик заземляющего устройства, трассы прокладки кабеля, наличия параллельных проводников [11], длины кабеля [12]. Этот коэффициент — функция частоты или времени при импульсных процессах. По этой причине расчёт кондуктивной помехи при нормативных значениях $k = 6 \div 10$ сопряжён с погрешностью, а проектные решения по её снижению могут быть не достаточно обоснованы.

Предложение. Использовать классическую формулу определения кондуктивных помех «жила — экран» $U_k = Z_f I$, где Z_f — известное передаточное сопротивление «экран — жила»; I — ток экрана. При первом импульсе тока молнии можно принять $Z_f = R_0$, где R_0 — погонное сопротивление экрана, которое легко измерить или вычислить, имея заданное сечение. При установленном в [8] эквивалентном сечении экрана $S = 1 \text{ мм}^2$ (материал — медь) типового кабеля КВВГЭ сопротивление составит $R_0 = 0,0178 \text{ Ом/м}$.

О компьютерных программах расчёта ЗУ. Согласно [8] для расчёта ЗУ при проектировании и реконструкции подстанций допускается использование любого ПО, которое (помимо прочих требований) обеспечивает «решение тестовых задач с погрешностью не более 5 %». Проблема в том, что тестовых задач не предложено, а расчёты по разным компьютерным программам зачастую приводят к различным результатам.

вых задач не предложено, а расчёты по разным компьютерным программам зачастую приводят к различным результатам.

Предложение. Разработать и принять набор тестовых задач, решение которых подтверждает достоверность компьютерных программ и демонстрирует их функциональные возможности.

Вывод

Выдвинутые предложения по совершенствованию российских стандартов молниезащиты, заземления, ЭМС реализуемы и могут быть учтены при переработке стандартов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 34.21.122–87. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. Минэнерго СССР. — М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. СО 153-343.21.122–2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. — М.: Изд-во МЭИ, 2004. — 57 с.
3. ВСП 22-02-07/МО РФ. Нормы по проектированию, устройству и эксплуатации молниезащиты объектов военной инфраструктуры, 2007.
4. Базелян Э. М. Опыт Германии по практическому применению молниеотводов малого превышения для внешней молниезащиты оборудования, установленного на крыше // IV Междунар. конф. по молниезащите. Санкт-Петербург, 2014.
5. Кужекин И. П., Ларионов Е. Н., Прохоров В. П. Молния и молниезащита. — М.: Знак, 2003. — 330 с.
6. Куприенко В. М. Особенности защиты зданий и сооружений тремя стержневыми молниеотводами // Электричество. 2016. № 6. С. 4 – 9.
7. Акопян А. А. Защитное действие двойного и многократного молниеотвода // Электричество. 1938. № 1. С. 22 – 29.
8. СТО 56947007-29.130.15.114–2012. Руководящие указания по проектированию заземляющих устройств подстанций напряжением 6 – 750 кВ. — М.: ОАО «ФСК ЕЭС», 2012.
9. Коструба С. И. Измерение электрических параметров земли и заземляющих устройств. — М.: Энергоатомиздат, 1983.
10. Делянов А. Г., Ослон А. Б. Расчёт поля в многослойной земле методом оптической аналогии // Известия академии наук СССР. Энергетика и транспорт. 1984. № 2. С. 146 – 153.
11. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике и электротехнике // Дьяков А. Ф., Максимов Б. К., Борисов Р. К. и др. — М.: Энергоатомиздат, 2003. — 768 с.
12. Экранирующие кабельные конструкции. Средство экономичного решения проблем ЭМС / М. Матвеев, М. Кузнецов, В. Березовский, И. Косарев // Новости электротехники. 2013. № 1(79).