

ОЦЕНКА ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Отечественные и зарубежные нормативы по молниезащите, включая стандарт IEC 62305, содержат очень скудные предписания в отношении устройства заземления молниеотводов. Задача этого оборудования – безопасный отвод в землю значительного по величине тока молнии, и документы содержат вполне конкретные указания по поводу сечения проводников, транспортирующих ток молнии, но не оговаривают такие параметры, как напряжение и электрические поля, которые возникают при растекании этого тока в земле.

Нельзя забывать, насколько плохим проводником является земля. Самый высокопроводящий грунт по своему удельному сопротивлению приблизительно в миллиард раз уступает стали, которая наиболее часто используется для устройства заземлителей. Поэтому растекание килоамперных токов молнии практически всегда сопровождается возбуждением в земле исключительно сильных электрических полей и, как следствие, опасных напряжений шага и прикосновения.

СОПРОТИВЛЕНИЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

В [1] мы попытались очертить проблему, анализируя существующие нормативные требования. Все они касались только величины сопротивления заземления, да и то косвенно, потому что нормируется не сопротивление, а длина заземляющих шин или конструкция заземлителя. При этом надо заметить, что нормирование конструкции лишено смысла.

Действительно, если пренебречь нелинейными процессами в грунте, связанными с растеканием больших токов, сопротивление заземления конкретной конструкции должно быть пропорционально удельному сопротивлению грунта ρ . Например, для типового заземляющего устройства, описанного в РД 34.21.122-87 (3 вертикальных стержня длиной 5 м, установленных по прямой с шагом 6 м и связанных горизонтальной шиной на глубине 0,5 м), согласно компьютерному расчету сопротивление заземления составит $R_z = 0,072\rho$ [Ом]. В разных регионах России удельное сопротивление грунта меняется в пределах как минимум от 50 до 5000 Ом·м, соответственно примерно в 100 раз (от $\sim 3,6$ до 360 Ом) будет изменяться и сопротивление заземления нормированного заземлителя.

Можно расширить эту тему. Если с сопротивлением заземления опоры ЛЭП все ясно, поскольку именно оно в наибольшей степени определяет грозовое перенапряжение на изоляции проводов, то для чего нормировать сопротивление заземления молниеотвода, ведь к нему провода не подвешивают? Над этим вопросом пришлось задуматься при разработке молниезащиты одного из зарубежных промышленных сооружений. Приехавшие в Москву заказчики категорически отказались обсуждать величину допустимого сопротивления заземления молниеотводов. «Страховые компании должны быть уверены в том, что во время грозы персонал, находящийся около молниеотвода, не получит электрические травмы. Этого достаточно», – говорили они. Возразить было нечего.

НАПРЯЖЕНИЯ ПРИКОСНОВЕНИЯ И ШАГА

Сравним заземляющие устройства молниеотводов по их безопасности для персонала предприятия или просто для населения, ведь молниеотвод может защищать любой объект, в том числе и тот, что стоит открыто и доступен каждому. Если заземляющие устройства одинаковы по исполнению, то ответ однозначный: чем ниже сопротивление заземления (например, из-за более низкого удельного сопротивления грунта), тем меньше рискует человек, приближающийся к зоне активного растекания тока молнии. Однако чаще заземлители различных объектов имеют совершенно разную конструкцию.

Проанализируем ситуацию. Возьмем в качестве примера уже упоминавшееся заземляющее устройство из РД 34.21.122-87. В грунте с удельным сопротивлением 100 Ом·м оно обеспечит сопротивление заземления $R_z = 7,2$ Ом – вполне приемлемая величина для стержневого молниеотвода. Сравним его с другим контуром, который образуют горизонтальные шины, собранные в квадрат со стороной 20 м. В грунте с $\rho = 250$ Ом·м сопротивление заземления окажется равным тем же 7,2 Ом. Как оценить эти заземляющие устройства с позиций электробезопасности?

Ответ дает распределение потенциалов на поверхности земли, там, где могут находиться люди (рис. 1). В первом случае расстояние отсчитывается от края горизонтальной шины по прямой, на которой она расположена (кривая 1), во втором – по перпендикуляру к середине одной из сторон внутри контура (кривая 2).

Там же отмечен потенциал шин заземлителя. Его величина связана с током молнии соотношением $U_z = R_z I_{\text{мол}} = 7,2 I_{\text{мол}}$. Видно, что по мере удаления от заземляющих шин потенциал поверхности земли убывает, но принципиально различными темпами. Так, оказавшись на расстоянии 1 м от заземлителя № 1, человек будет находиться под потенциалом $U \approx 3 I_{\text{мол}}$ и, коснувшись заземленного корпуса оборудования, окажется под напряжением прикосновения $\Delta U = (7,2 - 3) I_{\text{мол}} = 4,2 I_{\text{мол}}$.

В тех же условиях у заземлителя № 2 на человека подействует напряжение, почти вдвое меньшее: $\Delta U = 2,4 I_{\text{мол}}$. Ток средней по силе молнии близок к 30 кА, соответственно напряжение прикосновения будет примерно 120 и 72 кВ – различие весомое.

Очевидно, что само по себе сопротивление заземления не дает ясного представления о совершенстве заземляющего устройства.

Еще убедительнее оценка напряжения шага. Как известно, оно действует между ногами человека, приблившегося к заземлителю. Порядок оценки этого параметра по кривым распределения потенциала легко уяснить по рис. 1, а результаты расчета для рассматриваемых заземлителей – по рис. 2.

Практическое значение имеет величина напряжения шага на расстоянии порядка 10 м, где для заземлителя № 2 она приближается к нулю, а для первой конструкции, рекомендованной нормативом, $U_{\text{шаг}} \approx 0,1 I_{\text{мол}}$. Легко убедиться, что для средней молнии с током 30 кА речь идет о напряжении 3 кВ, а при экстремально большом токе 200 кА напряжение шага поднимается до 20 кВ, что не может не волновать специалиста по электробезопасности.

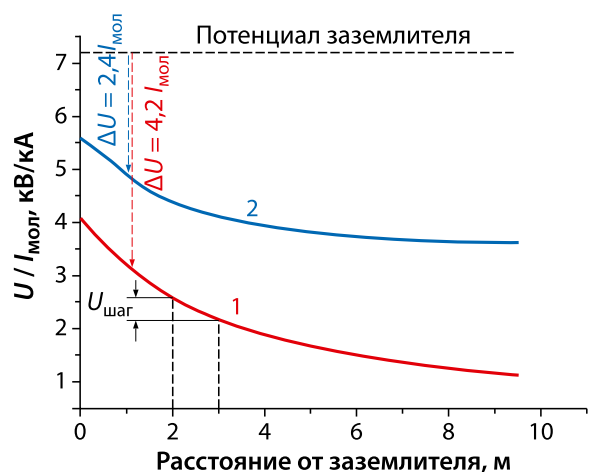
Возникает вопрос о нормировании напряжений шага и прикосновения в импульсном режиме, свойственном удару молнии. Надо сказать, что предельных величин нет ни в научной литературе, ни в официальных справочниках. Создается впечатление, что никто из их составителей никогда не принимал во внимание микросекундный диапазон времени. Более или менее определенные значения можно найти для времени не меньше 0,01 с, что на два порядка больше характерной длительности тока молнии. Экстраполяция в столь далекую область вряд ли окажется достоверной, а главное, по какому принципу экстраполировать? Вероятно, на этот вопрос смогут ответить физиологи, а специалист по молниезащите может предложить только пересчет по энергии, рассеянной в живом организме.

В случае неизменного за время воздействия сопротивления тела человека выделившаяся энергия $W \sim U_{\text{мол}}^2 t$, что приводит к пересчету величины опасного напряжения по соотношению $U_{\text{он}}(t_2) = \sqrt{t_1/t_2} \times U_{\text{он}}(t_1)$. Если для времени 0,01 с можно ориентироваться на $U_{\text{он}} \approx 920$ В (амплитудное значение нормированной эффективной величины 650 В), то в случае грозового воздействия нужно говорить об опасных напряжениях шага и прикосновения, равных примерно 9 кВ.

Понятно, что при определенных значениях удельного сопротивления грунта нормированная в РД 34.21.122-87 типовая конструкция заземлителя превратит молниеотвод в электрический стул.

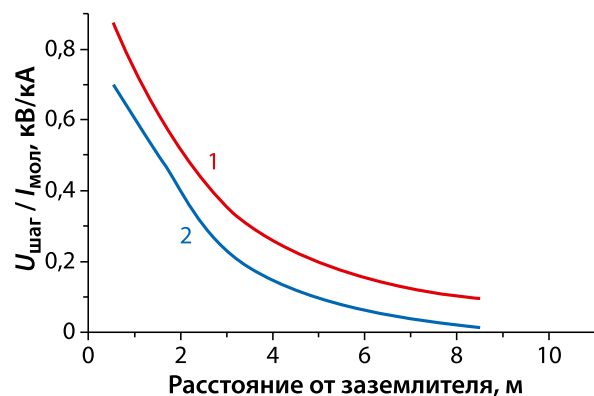
Распределение потенциала

Рис. 1



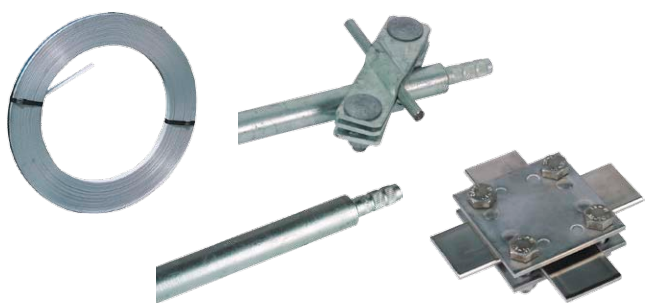
Расчетные кривые заземлителей

Рис. 2



Компоненты для монтажа заземлителей

Рис. 3



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сложившаяся ситуация недопустима. Напряжения прикосновения и шага должны быть включены в число важнейших параметров, жестко нормируемых в национальных инструкциях по молниезащите, тем более что можно предложить конструкции заземлителей, безопасные для окружающих.

Каталог компании DEHN + SÖHNE «Молниезащита/заземление» содержит большой ассортимент глубинных и контурных заземлителей, а также комплектующих для их монтажа (рис. 3), позволяющий создать надежную эффективную конструкцию, соответствующую требованиям электробезопасности.

Литература

1. Базелян Э.М. Практика молниезащиты. Напряжения прикосновения и шага при ударе молнии// Новости Электро-Техники. 2011. № 3(69). С. 48–49.



Молниезащита и защита от импульсных перенапряжений

Компания DEHN + SÖHNE, имеющая более чем 100-летний опыт работы в области молниезащиты, предлагает:

- широкий выбор УЗИП, проводниковой продукции и комплектующих для внешних систем молниезащиты – около 2500 наименований;
- производство всей номенклатуры устройств для молниезащиты и защиты от импульсных перенапряжений (г. Ноймаркт, Германия).

Подробная информация:
www.dehn-ru.com, МОЛНИЕЗАЩИТА.РФ

DEHN + SÖHNE
 Представительство в России

109316, Москва, Волгоградский пр., 47, оф. 335
 Тел.: +7 (495) 663-31-22, 663-35-73
info@dehn-ru.com