

Эдуард Базелян, д.т.н., профессор,
руководитель лаборатории моделирования электрофизических процессов
Энергетического института им. Г. М. Кржижановского

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ СТЕРЖЕНЬ ИЛИ ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ШИНА?

Мне казалось, что статья в «Новостях ЭлектроТехники» должна обязательно содержать элемент интриги. Тогда будет интересно читателю, да и автор получит удовольствие от хорошо закрученного сюжета. Так я всегда и старался писать.

Не могу понять, что толкнуло меня изменить принципам и обратиться к банальной, казалось бы, теме. Речь пойдет о самом обычном заземляющем устройстве, выполненном в виде вертикального стержня или горизонтальной шины. Оба варианта исполнения широко распространены, однако публикаций, в которых сопоставлялись бы их технические свойства, видеть не приходилось.

ВОПРОС О ПРЕИМУЩЕСТВАХ

Считается, что преимущества каждого вида заземлителя в целом очевидны и именно поэтому не обсуждаются. Так, горизонтальная шина легко монтируется. Достаточно отрезать от многометрового рулона шину нужной длины, уложить ее в подготовленную траншею на глубину 0,5–0,7 м – и заземлитель готов. К нему можно подключать оборудование, например молниеотвод.

С вертикальным заземляющим стержнем сложнее. Как правило, он забивается в грунт каким-либо вибрационным устройством и потому должен быть жестким. Обычно изготовители предлагают стержневые электроды длиной не более 1–1,5 м. По мере заглубления стержни связываются друг с другом при помощи узлов крепления – резьбовых или в виде муфт специальной конструкции. Эти узлы должны выдерживать большие механические нагрузки. При забивании особенно страдает антикоррозионное металлическое покрытие **в местах соединения**, что превращает их в очаги коррозии.

Всё сказанное хорошо известно, как известна и исключительно высокая экономичность вертикальных электродов с точки зрения отчуждаемой площади. Практически они в ней не нуждаются.

Еще одним важным преимуществом вертикальных электродов считается их способность достигать глубинных слоев земли, имеющих низкое удельное сопротивление, что может привести к очень существенному снижению сопротивления заземления.

Исключим из рассмотрения всё, что не связано непосредственно со структурой электрического поля заземляющего электрода. Предположим, что и горизонтальная шина, и вертикальный стержневой электрод имеют одинаковые геометрические размеры и размещены в абсолютно однородном грунте на одинаковой глубине от земной поверхности (в случае вертикального электрода речь идет, естественно, о его верхнем конце). Сопротивление заземления таких электродов будет различным. Винавата в этом поверхность земли. Она мешает растеканию тока.

Из чисто качественного рассмотрения понятно, что по мехе сильнее для горизонтального электрода и поэтому его сопротивление должно быть больше. Действительно, из книги в книгу кочуют формулы, которые это демонстрируют:

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l} \left(\ln \frac{l}{r_0} + \frac{1}{2} \ln \frac{3l + 4h}{l + 4h} \right), \quad (1)$$

и

$$R_3 = \frac{\rho}{2\pi l} \cdot \ln \frac{l^2}{2r_0 h}. \quad (2)$$

Первая формула относится к вертикальному стержню длиной h и радиусом r_0 . Вторая – к такой же по размеру горизонтальной шине, а параметр h в этом выражении соответствует кратчайшему расстоянию от электрода до поверхности земли.

Легко убедиться, что формулы приближенные, а область их применения не оговорена. Факт не очень приятный, потому что, например, для полосы, размещенной на очень большой глубине, можно **дойти в расчетах** даже до отрицательного сопротивления заземления.

Развитие численных методов позволяет решить задачу о сопротивлении заземления практически с любой точностью. Например, на рис. 1 приведены результаты расчета такого рода для удельного сопротивления грунта 100 Ом·м. Они позволяют сопоставить вертикальный и горизонтальный заземлители длиной 10 м и радиусом 1 см при любом расстоянии от земной поверхности.

Видно, что на малой глубине сопротивление заземления вертикального стержня почти в полтора раза меньше, чем у горизонтальной шины. С увеличением глубины заложения в грунт разница постепенно исчезает, что закономерно. Если грунт практически равномерно окружает электрод со всех сторон, то безразлично, как располагать заземлитель относительно земной поверхности.

НАПРЯЖЕНИЯ ШАГА И ПРИКОСНОВЕНИЯ

Высокая точность численного расчета позволяет использовать его результаты для достоверной оценки напряжений шага и прикосновения. Это очень важные параметры. В конечном счете они определяют, насколько безопасен заземлитель для человека и животных при растекании больших токов молнии. Приходится только сожалеть, что в нашей стране **при проектировании заземляющих устройств не принято ориентироваться** на напряжения шага и прикосновения [1, 2].

Расчетные данные на рис. 2 относят напряжение шага (длиной 1 м) к току, который его вызывает. Преимущества вертикального заземлителя очевидны и здесь.

Если располагаться у конца шины, то там шаговые напряжения (сплошная кривая) в 1,5–2 раза больше, чем у вертикального

Рис. 1. Расчетные кривые Сопротивление заземления вертикального и горизонтального заземлителей ($l = 10$ м, $r = 1$ см) на различной глубине

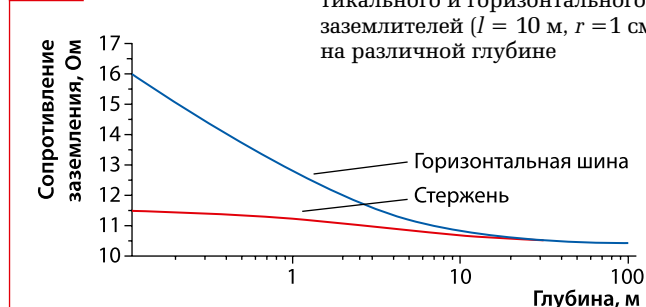
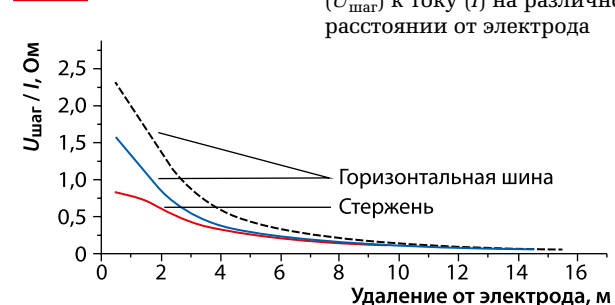


Рис. 2. Расчетные кривые Отношение напряжения шага ($U_{\text{шаг}}$) к току (I) на различном расстоянии от электрода



Вертикальные заземляющие электроды фирмы DEHN+SÖHNE:

а) со свинцовым шариком; б) с цапфой

Рис. 3



стержня. Ближе к середине шины эффект еще сильнее (штриховая кривая). Там максимальное отношение напряжения шага к току приближается к величине 2,5 Ом. Это значит, что средняя по силе молния с током 30 кА в состоянии поднять напряжение на длине шага у горизонтального заземлителя до 75 кВ. Как здесь не вспомнить известный видеосюжет о стойком жителе Китая, в которого два раза подряд ударяет молния, а молодой человек при этом остается жив и сам уходит с места происшествия.

Остается напомнить, что все расчеты в статье выполнены для очень хорошего грунта с удельным сопротивлением 100 Ом·м, а прямая пропорциональная зависимость от него сохраняется для всех обсуждаемых параметров.

КОНСТРУКЦИЯ ЗАЕМЛИТЕЛЯ

Теоретические преимущества вертикальных заземлителей при прочих равных условиях, несомненно, заслуживают внимания. В конечном счете при их использовании экономия металла на электродах достигает десятков процентов, что действительно весомо и заставляет внимательнее отнестись к технологии монтажа вертикальных стержней. Сегодня российский электротехнический рынок предлагает широкий выбор инструментов и комплектующих, необходимых для создания и установки систем заземления.

Например, такая продукция представлена фирмой DEHN+SÖHNE, которая давно и успешно работает над конструкцией вертикальных заземляющих электродов. Ее специалисты решительно отказались от резьбовых соединений из-за излишне больших нагрузок на антикоррозионное покрытие самой резьбы. С точки зрения инженеров фирмы не заслуживают внимания и муфты различной конструкции. Соединительные муфты локально увеличивают диаметр электрода, что снижает надежность контакта поверхности заземлителя с грунтом.

Проверку временем прошли два вида соединений: со свинцовым шариком и с тройной накатной цапфой (рис. 3). При забивании свинцовый шарик расплющивается и герметизирует соединение. Такой же эффект с еще большей надежностью обеспечивает цапфа. В каталоге «Молниезащита / заземление» фирмы DEHN+SÖHNE эти модели имеют артикулы 620150 и 620151 соответственно.

Фирма обращает большое внимание на инструмент для монтажа вертикальных электродов. Наилучший результат обеспечивает вибрационный молот с частотой ударов до 1200 в минуту (энергия удара – не менее 40 Дж). В этом случае соединение получается прочным и герметичным, а электрод удается опустить на 30–40 м в легких грунтах и до 12 м в тяжелых. При столь большой глубине велики шансы достичь высокопроводящего водного слоя, а тогда сопротивление заземлителя снизится многократно.

Литература

1. Базелян Э.М. Практика молниезащиты. Напряжения прикосновения и шага при ударе молнии // Новости ЭлектроТехники. 2011. № 3(69). С. 48–49.
2. Базелян Э.М. Оценка заземляющих устройств // Новости ЭлектроТехники. 2013. № 2(80). С. 17.