



DEHN + SÖHNE

Компания DEHN+SÖHNE предлагает вниманию проектировщиков третью статью профессора Э.М. Базеляна из цикла «Практика молниезащиты».

Предшествующие статьи этого цикла – о частоте прямых ударов молнии и степени опасности ее термического воздействия – можно прочесть в № 3(63) и 4(64) журнала «Новости ЭлектроТехники» за 2010 г. или на сайте [www.news.elteh.ru](http://www.news.elteh.ru).

Высоковольтная лаборатория компании DEHN+SÖHNE Фото 1



Гром – свидетельство того, что механическое воздействие молнии действительно существует. Создающая гром ударная волна рождается в канале молнии, где ток после контакта канала с землей нарастает до амплитудного значения примерно за 1–10 мкс. Такое же время требуется для разогрева газа в канале примерно до 30000°C.

Непосредственно у канала молнии мощность ударной волны достаточна для того, чтобы, например, унести прочь продукты горения и погасить реактивный двигатель самолета. Такое, хоть и редко, наблюдают пилоты одномоторных реактивных самолетов. Вызвать же серьезные механические повреждения строительных конструкций молния не способна.

### ИНЖЕНЕРНАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ

Механическому воздействию молнии важно дать грамотную инженерную оценку. По закону Ампера на проводник длиной  $l$  с током  $I$  магнитное поле индукцией  $B$  действует с силой  $F$ , величина которой зависит от угла между векторами  $I$  и  $B$ . Максимум силы  $F = IBl$  соответствует ортогональным векторам.

Положим, что ток молнии  $I_M$  растекается поровну по двум токоотводам ( $I = I_M/2$ ), проложенным на расстоянии 10 м друг от друга, как это требуется нормативными документами для первого уровня молниезащиты. Теперь каждый токоотвод располагается в магнитном поле другого.

Проводник с током неограниченной длины на расстоянии  $r$  от своей оси создает магнитное поле:

$$B(r) = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}.$$

Эдуард Базелян, д.т.н., профессор, зав. лабораторией молниезащиты ЭНИН им. Г.М. Кржижановского

## ПРАКТИКА МОЛНИЕЗАЩИТЫ

### Степень опасности механического воздействия молнии

Данное магнитное поле действует на второй токоотвод, параллельный первому, с силой:

$$F = \frac{\mu_0 I^2 l}{2\pi r}.$$

Вычисления в воздухе с магнитной проницаемостью  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м для тока  $I_M = 200$  кА (нормирован в качестве максимально возможного для первого уровня защиты) при  $r = 10$  м дают распределенную силу  $F/l = 200$  Н/м. Примерно такое же усилие создает сила тяжести, действуя на стальной стержень с погонной массой 20 кг/м, горизонтально размещенный на концевых опорах. Для полноты картины остается отметить кратковременность воздействия силы магнитного поля. Из-за малой длительности тока молнии ее импульс в большинстве случаев окажется не больше  $10^{-2}$  Н·с на метр длины. Под влиянием такого импульса тело массой 1 кг приобретет скорость всего в 1 см/с.

По мере сближения проводников с током воздействие магнитного поля, хотя и становится сильнее, но особой опасности все равно не представляет. Чтобы убедиться в этом, рассмотрим железобетонную опору стержневого молниеотвода. Пусть его арматура представляет собой 4 стальных стержня, размещенных в вершинах квадрата со стороной  $a = 0,15$  м. Теперь предельно возможный ток в каждом стержне  $I = I_M/4$ , а сила воздействия на него определяется суммарным магнитным полем трех других стержней. Их векторное сложение дает:

$$B(r) = \frac{3\mu_0 I_M}{8\sqrt{2}\pi a},$$

а сила магнитного воздействия оказывается равной

$$F = \frac{3\mu_0 I_M^2 l}{32\sqrt{2}\pi a},$$

что при экстремально большом токе молнии  $I_M = 200$  кА приводит к вполне умеренному значению  $F/l \approx 7000$  Н/м.

Приведенные примеры надо рассматривать как отвлеченные, теоретические. В реальных строительных конструкциях крайне редко имеют дело с одиночным токопроводом или колонной. Как правило, ток молнии дробится по десяткам путей, а воздействующая сила примерно обратно пропорциональна квадрату их числа. Поэтому не стоит беспокоиться о разрушении здания при прямом ударе молнии. Опора линии электропередачи или мачта антенной системы тоже вряд ли пострадает сколько-нибудь серьезно.

Национальный нормативный документ по молниезащите «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО-153-34.21.122-2003 предупреждает о необходимости учета механических нагрузок в элементах железобетонного фундамента, когда тот используется в качестве естественного заземлителя. В отношении естественных токоотводов подобное предупреждение почему-то не сделано, хотя ситуация там во многом сходная и в известной степени надуманная. Конечно, можно себе представить фундамент с одним-двумя арматурными стержнями, но его никто не станет использовать в качестве естественного заземлителя молниеприемников здания или промышленного сооружения. Типичная площадь контакта фундамента с грунтом исчисляется десятками квадратных метров, а число арматурных стержней фундамента в целом намного больше 10. При столь интенсивном дроблении тока молнии механические нагрузки на арматурные стержни, а через них и на бетон, можно не принимать во внимание.

### ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ – РЕАЛЬНАЯ ОПАСНОСТЬ

Чтобы продемонстрировать реальную опасность механических воздействий, нужно вернуться к ударной волне, которую создает быстро расширяющийся канал высокотемпературной молнии. Известно, что сила воздействия волны нарастает с увеличением плотности окружающей среды. Как уже отмечалось, она вполне весома и в воздухе, но в жидкости или в плотной газовой среде эффект несопоставимо сильнее. Это обстоятельство наглядно демонстрирует эксперимент, поставленный моим первым учителем в молниезащите, потомственным представителем школы московских электротехников Е.Я. Рябковой, чьи работы по растеканию в земле токов молнии сегодня считаются классическими.

В бассейн с достаточно сухим грунтом был помещен кусок кабеля связи. Предварительно с него сняли защитную бронированную ленту и битумную обмазку, защищающую от коррозии. Искровой канал направил в свинцовую оболочку кабеля импульсный ток амплитудой около 20 кА. Это вполне сопоставимо с током средней по интенсивности молнии. При осмотре в месте контакта канала с оболочкой заметили небольшую вмятину с пологими краями. Все внутренние жилы в месте деформации остались неповрежденными.

Затем такому же воздействию тока подвергся кабель в штатном исполнении. Казалось, бронированная лента должна была бы в еще большей степени ослабить воздействие тока, но на этот раз из грунта извлекли полностью разрушенный кабель с разорванной свинцовой оболочкой и сплюсненной изоляцией жил. Так сработала битумная обмазка. Ее контакт с исключительно горячим каналом искрового разряда привел к бурному испарению битума. Давление резко повысилось, и кабель не смог противостоять действию усиленной ударной волны.

Специалисты говорят, что налицо типичное проявление электрогидравлического эффекта, который широко используют в технике для дробления негабаритных обломков горных пород, штамповки, производства исключительно тонких металлических и диэлектрических порошков.

Во многих книгах по молниезащите приводятся фотографии деревьев с содранными полосами коры длиной в десятков метров. Это тоже проявление электрогидравлического эффекта. При ударе в дерево основная доля тока молнии распространяется по наиболее влажному, хорошо проводящему слою между корой и древесиной. Бурное испарение влаги в изначально герметизированном объеме рождает очень сильную ударную волну, которая, расщепляя кору, вырывается наружу.

Наверное, можно было бы не сосредотачиваться на электрогидравлическом эффекте, если бы не композитные материалы. Они всё более широко используются в технике, в том числе в самых современных ее отраслях, например, в авиации. Нередко в состав композита входят эффективно газогенерирующие компоненты, с которыми нужна особая осторожность. Здесь вряд ли стоит доверять теоретическим оценкам или компьютерному моделированию. Правильнее рассчитывать на эксперимент, который обязательно должен быть полномасштабным.

Для испытания материала нет необходимости целиком воспроизводить выполненную из него конструкцию. Можно обойтись образцом площадью несколько квадратных дециметров, обеспечив тем самым короткий путь разрядному току, который имитирует ток молнии. При таком решении генератор импульсного тока может работать при напряжении 20–50 кВ и не быть слишком громоздким. Подобные устройства есть во многих высоковольтных лабораториях, в том числе и в лаборатории компании DEHN+SÖHNE (фото 1). Здесь такая установка успешно используется для имитации полномасштабного токового воздействия молнии на выпускаемые DEHN+SÖHNE средства молниезащиты, гарантируя тем самым их надежность.

Техническую информацию, руководство по установке и монтажу молниезащиты, каталоги и печатные материалы по продукции DEHN+SÖHNE можно получить в представительстве компании в России.

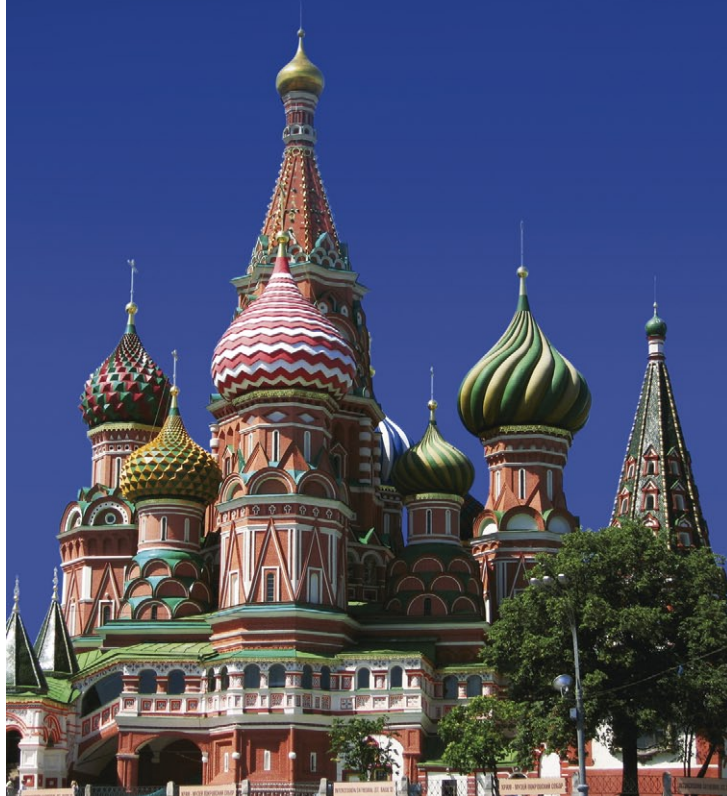
1910 2010 100



DEHN + SÖHNE

2010 год  
Храм Василия Блаженного  
Красная площадь, Москва

Под защитой  
DEHN...



## Внешняя молниезащита зданий и сооружений

- Широкий выбор компонентов для создания систем молниезащиты на кровлях различных типов
- Защита антенн и других инженерных сооружений на кровлях от прямых ударов молний
- Защита от импульсных перенапряжений
- Электрозащитные средства

DEHN + SÖHNE

Представительство в России  
109316, Москва, Волгоградский пр., 47, оф. 335  
Тел./факс: (495) 663-35-73, 663-31-22  
info@dehn-ru.com, www.dehn-ru.com