



DEHN + SÖHNE

Эдуард Базелян, д.т.н., профессор, зав. лабораторией молниезащиты ЭНИИ им. Г.М. Кржижановского, г. Москва

## ПРАКТИКА МОЛНИЕЗАЩИТЫ

### Степень опасности термического воздействия молнии

Компания DEHN+SÖHNE представляет вторую публикацию из цикла статей «Практика молниезащиты», подготовленного профессором Э.М. Базеляном.

Первая статья, посвященная оценке частоты прямых ударов молнии, была опубликована в «Новостях ЭлектроТехники» № 3(63) 2010.

Болтовые крепления фирмы DEHN+SÖHNE

Фото 1



Фальцевая клемма с увеличенной площадью контакта до 10 см<sup>2</sup> фирмы DEHN+SÖHNE

Фото 2



Для формирования взвешенного прогноза в отношении аварийных ситуаций на объекте и построения соответствующей системы молниезащиты не достаточно оценить число возможных ударов молнии, о котором мы говорили в предыдущей статье. Куда двигаться дальше?

В нашей стране есть нормативные документы по молниезащите. Одновременно действуют сразу две инструкции. «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений» РД-34.21.122-87 выпущена более 20 лет назад. За это время человечество пережило научно-техническую революцию. Трудно найти все нужные ответы в столь старом документе.

Новое руководство почти с тем же названием «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций» СО-153-34.21.122-2003 утверждено в 2003 г. К сожалению, конкретными указаниями этот документ не перегружен, зато в нем есть раздел 2.3, который содержит параметры тока молнии, безусловно, интересные для инженера.

Для каждого уровня защиты приведены соответствующие ему предельные параметры тока молнии.

Надежность первого, самого жесткого уровня защиты от прямых ударов молнии (ПУМ) должна обеспечиваться на уровне 0,98. Это значит, что только 2 молнии из каждой сотни могут повредить объект, на котором выполнена молниезащита I уровня. Для остальных трех уровней гарантируемая надежность защиты от ПУМ ниже – 0,95; 0,9 и 0,8 соответственно. Стало быть, для объекта с IV уровнем защиты в среднем опасны 20 молний из 100, ударивших в него.

#### ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПРОВОДНИКИ

Традиционно с молнией связывают в первую очередь опасность ее термического воздействия. Это кажется оправданным, особенно если учесть температуру плазменного канала молнии, которая оценивается примерно в 30 000 °С. Контакт с таким каналом вполне может привести к пожару, хотя сегодня опасность его не стоит переоценивать. Современные сооружения из монолитного или сборного железобетона не очень пожароопасны. Кирпичные тоже. Иное дело деревянные строения, лесные массивы или склады углеводородного топлива. К последним должно быть особое отношение.

Молния может разогреть проводники, по которым протекает ее ток, например, тот же самый молниеотвод. Опасна она и для металла кровли или металлической стенки резервуара. Для понимания реальной опасности нужны количественные оценки. Методика их получения очень проста.

Когда ток  $I$  проходит по проводнику с сопротивлением  $R$  мощность потерь электрической энергии составляет  $P = RI^2$ , а выделяющаяся энергия  $W$  пропорциональна времени существования тока. Подсчет требует интегрирования мощности по времени. Если временной закон изменения тока известен, то задача не создает проблемы для современной вычислительной техники. Однако в первой статье было обещано не прибегать к вычислительным устройствам сложнее карманного калькулятора. Это обещание нетрудно выполнить. В Инструкции 2003 г нормирован параметр, который называют удельной энергией  $W/R$ . В таблице 2.4 он измеряется в МДж/Ом и равен для I, II и III–IV уровней защиты соответственно 10; 5,6 и 2,5 МДж/Ом. Умножение удельной энергии на сопротивление проводника дает выделившуюся в нем энергию. Например, по существующим нормам стальной молниеприемник или токоотвод молниевывода должны иметь площадь сечения не менее  $s = 50 \text{ мм}^2$ . При длине  $l$  их сопротивление будет равно:

$$R = \frac{\rho l}{s},$$

где  $\rho \approx 10^{-7} \text{ Ом}\cdot\text{м}$  – удельное сопротивление стали. Это дает  $R = 0,002 \text{ Ом}$  на каждый метр длины проводника, в котором, следовательно, выделится энергия  $W = 2 \times 10^4 \text{ Дж}$  в расчете на I уровень молниезащиты, для которого нормировано  $W/R = 10^7 \text{ Дж/Ом}$ .

Чтобы получить температуру перегрева проводника, достаточно поделить эту энергию на массу металла  $m$  и его удельную теплоемкость  $c \approx 470 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{град)}$ , что в итоге дает:

$$\Delta T = \frac{\rho W}{\gamma s^2},$$

где  $\gamma \approx 7800 \text{ кг/м}^3$  – удельная плотность стали.

Результат несколько ошеломляет. Оказывается предельная по энергоемкости молния с экстремальными параметрами, нормированными для I уровня молниезащиты, не в состоянии нагреть молниеприемник или токоотвод больше, чем на  $110^\circ\text{C}$ .

#### ВОЗДЕЙСТВИЕ НА КОНТАКТНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Очень полезно повторить расчет для переходного сопротивления качественно выполненного контактного соединения (по данным РД-34.21.122-87  $R_k = 0,03 \text{ Ом}$ ). Теперь выделившаяся энергия  $W_k = 10^7 \times 0,03 = 3 \times 10^5 \text{ Дж}$  пойдет на нагрев контактов, масса которых вряд ли превысит  $m_k = 0,5 \text{ кг}$  (теплоотвод не учитывается из-за малого времени выделения энергии током молнии микросекундной длительности), а потому:

$$\Delta T = \frac{W_k}{cm_k} \approx 1300^\circ\text{C}.$$

Вот почему в молниезащите стараются избегать простых контактных соединений, предпочитая им сварку или пайку.

Передовые электротехнические фирмы настойчиво работают над созданием болтовых зажимов с большими нажимными усилиями, которые гарантируют низкие переходные сопротивления в контактах. Понятно, что разработанные конструкции узкоспециализированы и предназначаются для соединения проводников конкретных типов.

Примером могут служить типичные болтовые крепления фирмы DEHN+SÖHNE, которая разработала и выпускает целый ряд таких устройств (фото 1 и 2). Специальная проверка показала, что даже после искусственного старения переходное сопротивление в них меньше  $1 \text{ мОм}$ .

#### ВОЗДЕЙСТВИЕ НА МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ СТЕНКУ

Для того, чтобы в полной мере представить опасность термического воздействия молнии, остается оценить эффект проплавления металлической стенки в месте ее контакта с каналом молнии. Для этого в Инструкции 2003 г. предусмотрен еще один расчетный параметр, который называют полным зарядом  $Q_{\text{полн}}$  молниевой вспышки. С ним связана энергия, выделившаяся в канале. Наибольшая ее часть греет воздух вокруг канала и потому особого интереса не представляет. Металлическая стенка поглощает энергию только из тонкого приэлектродного слоя, в котором напряжение между облаком и землей в десятки миллионов вольт падает до  $U_3 \approx 10\text{--}12 \text{ В}$ .

Произведение  $W_3 = Q_{\text{полн}} U_3$  дает энергию, непосредственно поглощаемую металлом. Даже у предельно сильной молнии в совокупности  $Q_{\text{полн}} < 300 \text{ Кл}$ , а значит  $W_3 < 3000\text{--}3500 \text{ Дж}$ . Столь малая энергия может нагреть до температуры плавления и расплавить  $3\text{--}3,5 \text{ г}$  стали (удельная теплота плавления  $\sim 270 \text{ кДж/кг}$ ). Примерно столько металла надо изъять из стального листа толщиной  $1 \text{ мм}$ , чтобы получить отверстие радиусом  $1 \text{ см}$ . Стальную стенку толщиной  $4 \text{ мм}$  и более молния не проплавит ни при каких обстоятельствах. Об этом говорит многолетний опыт молниезащиты. Поэтому толстая металлическая обшивка безо всяких ограничений может использоваться в качестве молниеприемников. Дополнительной установки молниеотводов она не потребует. Для меди безопасная толщина стенки принимается равной  $5 \text{ мм}$ , для алюминия –  $7 \text{ мм}$ .

*Таким образом, никто не отрицает, что разряд молнии – самое опасное проявление атмосферного электричества, но переоценивать его опасность, по крайней мере, опасность его термического воздействия, все-таки не стоит.*

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

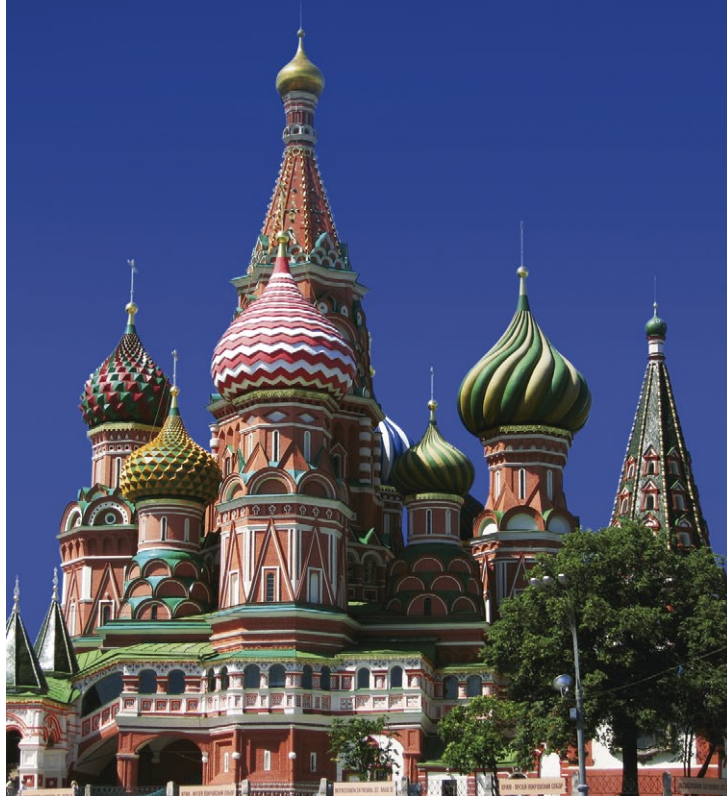
1910 2010 100



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