



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

## О СУДЬБЕ ПЛАСТИКА В МОЛНИЕЗАЩИТЕ Рождественские гадания

Новогодние каникулы в промозглую погоду – не самое веселое время. Воспоминания о морозе и солнце не помогают. Трудно было бы сидеть без дела больше недели, если бы не публикация на сайте ООО «Элмашпром» (ТМ ELMAST).

В публикации рассматривается вопрос о том, можно ли использовать горючие полимерные держатели проводников тока молнии вместо традиционных металлических. Замена металла пластиком – актуальное, экономически значимое направление в современной технике. Давно и хорошо известно, что пластические материалы удается использовать для изготовления конструктивных элементов в самых различных областях, в том числе в производстве самолетов и космических аппаратов. Тем не менее ответ на вопрос о возможности применения пластиковых держателей токоотводов вместо металлических оказался категорически отрицательным. По мнению специалистов компании, такая замена – верный путь к пожару и потому недопустима.

В публикации утверждается, что токоотводы, «которые значительно нагреваются и могут вызвать воспламенение горючих материалов», представляют реальную опасность. В качестве дополнительного аргумента против замены металла пластиком используются предписания отечественных нормативных документов по молниезащите. По мнению авторов текста, в СО-153-34.21.122-2003 и РД 34.21.122-87 ничего не говорится о возможности крепления токоотводов непосредственно на горючие материалы или об укладке их на горючую кровлю. Подобная трактовка известных нормативных документов наверняка удивит и заинтересует любого специалиста по молниезащите и заставит его еще раз внимательно их прочитать.

Начнем с РД 34.21.122-87. Итак, п. 2.11: «Молниеприемная сетка должна быть (...) уложена на кровлю сверху или под несгораемые или трудносгораемые утеплители или гидроизоляцию». Никакого запрета на непосредственный контакт проводников с горючими материалами.

СО-153-34.21.122-2003, п. 3.2.2.4: «если стена выполнена из горючего материала, токоотводы могут быть закреплены непосредственно на поверхности стены, так чтобы повышение температуры при протекании тока молнии не представляло опасности для материала стены». Необходимость термической изоляции токоотводов возникает лишь в том случае, когда температура токоотводов становится опасной. Как видите, снова ничего похожего на трактовку нормативного документа, предложенную в затронутой публикации ООО «Элмашпром».

### ТЕМПЕРАТУРА ТОКОТВОДА

Техника высоких напряжений – точная наука. Сказать, что токоотводы значительно нагреваются при прохождении тока молнии, – значит ничего не сказать. Оценка температуры токоотводов – это то, с чего должен начинать специалист, сомневающийся в техническом решении.

Задача такого рода решалась многократно, тем более что в документах по молниезащите нормируются предельные значения удельной энергии в импульсе тока молнии  $W/R$  для различных уровней защиты. Произведение этого параметра на сопротивление проводника  $R$  дает тепловыделение в про-

воднике, а значит, и максимально возможную температуру перегрева:

$$\Delta T = W/R \frac{\rho}{c_t \gamma s^2}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление проводника;  $c_t$  и  $\gamma$  – соответственно удельные значения теплоемкости и плотности;  $s$  – площадь сечения.

Для оценки по максимуму, положив  $W/R = 10$  МДж/Ом (I уровень защиты), для стального токоотвода с нормированным сечением  $50 \text{ мм}^2$  ( $\rho = 10^{-7}$  Ом·м,  $c_t = 470$  Дж/(кг·град) $^{-1}$ ,  $\gamma = 7800$  кг/м $^3$ ) получим  $\Delta T \approx 110$  °С при условии, что весь ток молнии транспортируется только по одному проводнику. С учетом температурного изменения удельного сопротивления стали получилось бы примерно 130 °С.

Следует отметить, что ситуация с единственным токоотводом должна рассматриваться как аварийная, поскольку согласно всем существующим нормативным документам число токоотводов должно быть не меньше двух, и значит, температура перегрева снизится примерно в 4 раза по сравнению с расчетным значением.

Не дожидаясь закономерного упрека, надо сделать уточненный расчет с учетом скин-эффекта, заметно увеличивающего сопротивление проводника в импульсном режиме. Такая задача надежно решена для синусоидального тока. Погонное комплексное сопротивление проводника круглого сечения представляется в виде:

$$Z_{sk} = R_{sk} + jX_{sk} = \frac{p \rho I_0(p r_0)}{2 \pi r_0 I_1(p r_0)}. \quad (2)$$

В формуле  $I_0(p r_0)$  и  $I_1(p r_0)$  – значения модифицированных функций Бесселя нулевого и первого порядка от комплексной величины  $p r_0 = [p r_0] e^{j\pi/4}$ , а комплексный параметр  $p$  задается выражением:

$$p = \sqrt{\frac{2 \pi f \mu}{\rho}} e^{j\pi/4}, \quad (3)$$

где  $f$  – частота синусоидального напряжения;  $j$  – мнимая единица.

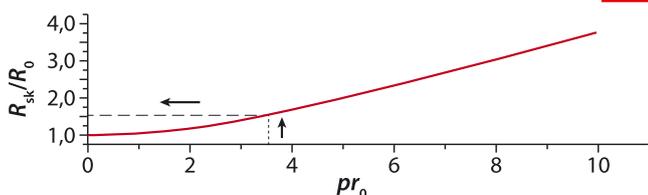
Результаты расчета представлены на рис. 1, где в зависимости от абсолютного значения параметра  $p r_0$  представлена кратность роста сопротивления провода за счет скин-эффекта.

Определенную сложность представляет оценка частоты основной гармоники, которая могла бы достоверно эквивалентировать импульс тока первого компонента молнии. Его длительность по уровню 0,5 в среднем близка к 100 мкс, а потому частота первой гармоники вряд ли может быть выше  $f = 10$  кГц. Что же касается магнитной проницаемости, то из-за очень резкого насыщения металла при сильном токе молнии ее значение можно принять равным  $\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м даже для ферромагнитного материала. Подстановка этих значений в (3) при  $r_0 = 0,004$  м дает  $[p r_0] = 3,55$ , чему согласно расчетному графику (рис. 1) соответствует кратность увеличения активного сопротивления приблизительно в 1,5 раза.

Таким образом, скин-эффект в состоянии увеличить энерговыделение в токоотводе приблизительно в 1,5 раза, подняв его температуру при максимально мощном импульсе тока молнии и в случае полного отсутствия каких-либо параллельных цепей примерно на 190–200 °С. При ветвлении тока хотя бы в двух направлениях перегрев едва ли достигнет 50 °С.

Рост сопротивления провода за счет скин-эффекта

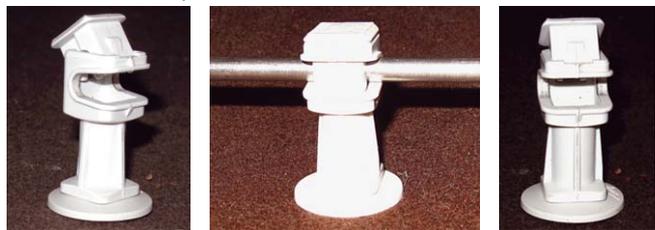
Рис. 1



Токоотвод, нагретый до 100 °С, оставляет след в стеарине **Фото 1**



Токоотвод, нагретый до 225 °С, не оставляет след в пластиковом держателе **Фото 2**



### ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ ДЕРЖАТЕЛЯ

Теперь, когда вместо заявления об опасном разогреве токоотводов можно оперировать конкретными цифрами, время оценить реальную опасность пластиковых держателей. Именно этим я и занимался в новогодние каникулы, благо у меня дома есть такой держатель – подарок фирмы DEHN + SÖHNE на профессиональном семинаре по монтажу УЗИП.

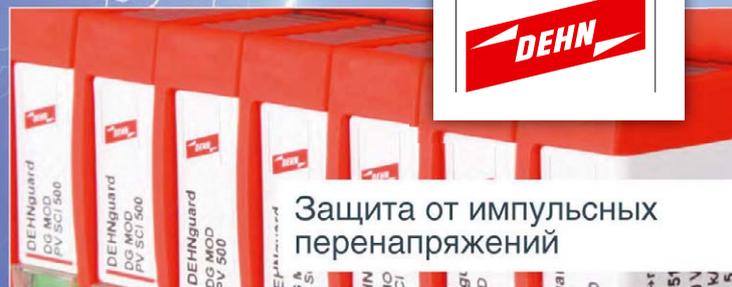
Остальное достаточно просто. Крутой кипяток гарантирует нагрев токоотвода до 100 °С, а современная электрическая печь с автоматическим регулятором температуры позволяет довести ее до 225 °С. К рождественским гаданиям всё готово. Вот только вместо традиционного воска пришлось воспользоваться стеариновой свечой. Более термостойкий материал просто не годился, чтобы выявить хоть какие-то последствия контакта с токоотводом, нагретым до 100 °С.

На что способен стальной токоотвод при такой температуре, видно по фотографии. На фото 1: слева – свеча до эксперимента, справа – после. Никакого пожара, только след в стеарине. Ничего иного со свечой не произошло.

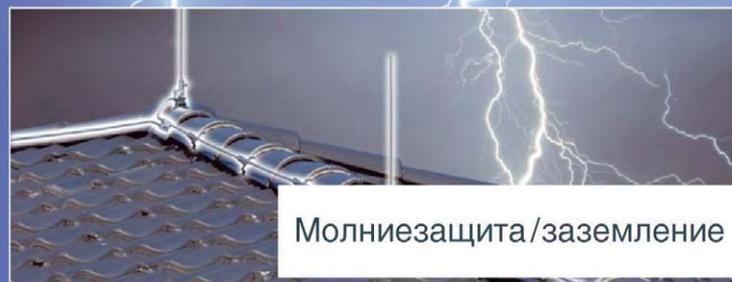
На фото 2 изображен держатель, в который помещен токоотвод, разогретый до температуры 225 °С. Фотографии не ретушировались. Внутри держателя, там, где был зажат токоотвод, пластик не только не деформировался, но даже не изменил своей окраски. И снова обошлось без пожара. Не было и других неприятностей, если не считать обожженного пальца от неудачного контакта с горячим токоотводом.

В заключение нельзя не обратиться к ГОСТ Р МЭК 62561.4-2014 «Компоненты систем молниезащиты. Часть 4. Требования к устройствам крепления проводников». Указаний о необходимости термических испытаний неметаллических узлов крепления документ не содержит. Причина этого очевидна. По допустимой температуре перегрева были выбраны сечения токоотводов в давно действующем стандарте МЭК 62305, и именно они продублированы в СО-153-34.21.122-2003. А указанный ГОСТ нормирует только стойкость пластиковых держателей к воздействию окружающей среды и ультрафиолетового излучения.

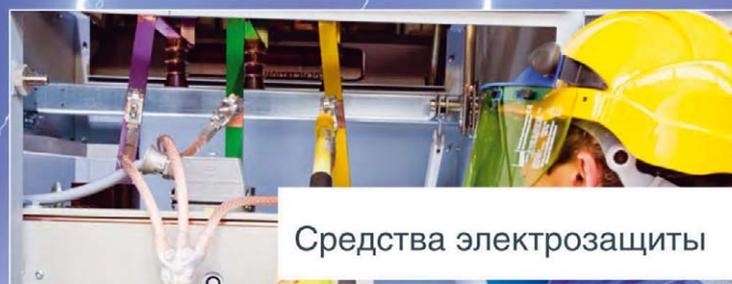
Если не изменялась технология производства пластикового материала, то подобные испытания проводятся лишь единожды. Бдительный потребитель вправе запросить у производителя подтверждение устойчивости изделия к такому воздействию.



Защита от импульсных перенапряжений



Молниезащита/заземление



Средства электрозащиты

**DEHN с 1910 года производит оборудование** для комплексного подхода к защите по трем направлениям:

- Молниезащита и заземление
- Защита от импульсных перенапряжений
- Средства электрозащиты

**Выбирая DEHN, вы получаете:**

- Ассортимент более 2500 наименований
- Склад в Москве и в Санкт-Петербурге
- Развитую дистрибьюторскую сеть партнёров на территории России и ЕАЭС
- Развитую систему маркетинговой поддержки партнеров, постоянное участие в российских и международных электротехнических выставках, богатый выбор печатных материалов по подбору оборудования
- Квалифицированную консультационную и техническую поддержку специалистами компании
- Руководство по проектированию, установке и монтажу молниезащиты
- Регулярные технические семинары по молниезащите

DEHN защищает Молниезащита, защита от импульсных перенапряжений, средства электрозащиты

**ООО «ДЕН РУС»**

109428, Москва, Рязанский пр., д. 10, стр. 18, оф. 2.9

Тел.: +7 (495) 663-35-73, 782-23-76

info@dehn-ru.com

www.dehn-ru.com, молниезащита.рф