



Февраль, 2018

Опасны ли пластиковые держатели токоотводов

Если честно, лично мне этот вопрос в голову не приходил. Не так-то легко поджечь даже очень горючую пластмассу. Обеспокоила меня статья на сайте ООО "Элмашпром" ТМ ELMAST. Сайт показался вполне профессиональным. Фирма занимается заземлениями и молниезащитой, а поднимала она вопрос о возможности использовать горючие полимерные держатели проводников с током молнии, вместо традиционных металлических.

Замена металла пластиком своевременная и экономически значимая проблема в современной технике. Пластические материалы удается использовать для изготовления конструктивных элементов в самых различных производствах. Самолетостроение и космические аппараты здесь не исключение. Все это уже давно и хорошо известно. Тем не менее, ответ сотрудников ООО "Элмашпром" ТМ ELMAST оказался категорически отрицательным. Замена металла держателей токоотводов пластиком по их мнению вернейший путь к пожару и потому недопустима. В статье утверждается реальная опасность токоотводов, "которые значительно нагреваются и могут вызвать воспламенение горючих материалов". Дополнительным аргументом против замены металла пластиком якобы являются и предписания отечественных нормативных документов по молниезащите СО-153-34.21.122-2003 и РД 34.21.122-87, в которых по мнению авторов статьи ничего не говорится о возможности крепления токоотводов непосредственно на горючие материалы или об укладке их на горючую кровлю.

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



Февраль, 2018

Подобная трактовка известных нормативных документов наверняка удивит и заинтересует любого специалиста по молниезащите, заставив его еще раз внимательно прочитать существующие там предписания. Начну по возрастному старшинству 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.3.2.4 - "...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 вольную трактовку нормативного текста специалистами из ООО "Элмашпром" ТМ ELMAST. Не хочу цитировать статью дальше. Написанное там меньше всего похоже на научную дискуссию и слишком напоминает терминологию, употребляемую в 30-е годы прошлого века.

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



Февраль, 2018

сопротивление проводника R дает энерговыделение в проводнике, а значит и максимально возможную температуру перегрева

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

где ρ - удельное сопротивление проводника, c_t , γ - 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 мм^2 ($\rho = 10^{-7}$ Ом м, $c_t = 470$ Дж (кг град) $^{-1}$, $\gamma = 7800$ кг/м 3) получим $\Delta T \approx 110^\circ$ при условии, что весь ток молнии транспортируется только по одному проводнику. С учетом температурного изменения удельного сопротивления стали получилось бы примерно 130° . Здесь следует отметить, что ситуация с единственным токоотводом должна рассматриваться как аварийная, поскольку по всем существующим нормативным документам их число должно быть не меньше двух, и значит температура перегрева снизится примерно в 4 раза по сравнению с расчетным значением.

Не дожидаясь закономерного упрека, надо уточнить расчет еще и учетом скин-эффекта, заметно увеличивающего сопротивление проводника в импульсном режиме. Такая задача надежно решена для синусоидального тока [1]. Погонное комплексное сопротивление проводника круглого сечения представляется в виде

$$Z_{sk} = R_{sk} + jX_{sk} = \frac{p\rho I_0(pr_0)}{2\pi r_0 I_1(pr_0)} \quad (2)$$

В формуле $I_0(pr_0)$ и $I_1(pr_0)$ - значения модифицированных функций Бесселя нулевого и первого порядка от комплексной величины $pr_0 = [pr_0]e^{j\pi/4}$, а комплексный параметр p задается выражением



Февраль, 2018

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

где f – частота синусоидального напряжения, j – мнимая единица.

Результаты расчета представлены на рис. 1, где в зависимости от абсолютного значения параметра pr_0 представлена кратность роста сопротивления провода за счет скин-эффекта.

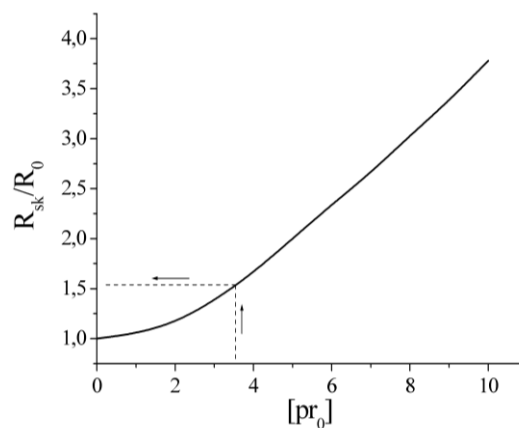


Рис. 1.

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 $[pr_0] = 3,55$, чему согласно расчетному графику рис. 1 соответствует кратность увеличения активного сопротивления приблизительно в 1,5 раза.

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



Февраль, 2018

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°. При ветвлении тока хотя бы в двух направлениях перегрев едва ли достигнет 50°.

Вот теперь, когда вместо заявления об опасном разогреве токоотводов можно оперировать конкретными цифрами, время оценить реальную опасность пластиковых держателей. Именно этим я и занимался дома, а не в лаборатории, благо что у меня был такой держатель – подарок фирмы DEHN + SÖHNE на профессиональном семинаре по монтажу УЗИП. Остальное достаточно просто. Крутой кипятик гарантирует нагрев токоотвода до 100° С, а современная электрическая печь с автоматическим регулятором температуры позволяет довести ее до 225° С. Неожиданную проблему составил поиск пластика, на котором можно было наблюдать последствия его контакта с токоотводом, нагретым всего до 100°. Пришлось воспользоваться стеариновой свечей из игрушечного новогоднего домика. Другой более термостойкий материал просто не годился, чтобы выявить хоть какие-то последствия контакта со столь умеренно нагретым токоотводом.

Февраль, 2018

На что способен стальной токоотвод при температуре, 100°C видно из комбинации фотографий на рис. 2 Слева свеча до эксперимента, справа дефектная.



Рис. 2

Ничего иного со свечей не произошло. Пожара тоже не было.

На рис. 3 серия фотографий с реальным держателем при температуре токоотвода 225°C . Фотографии не ретушировались. Внутри держателя, где был зажат токоотвод,

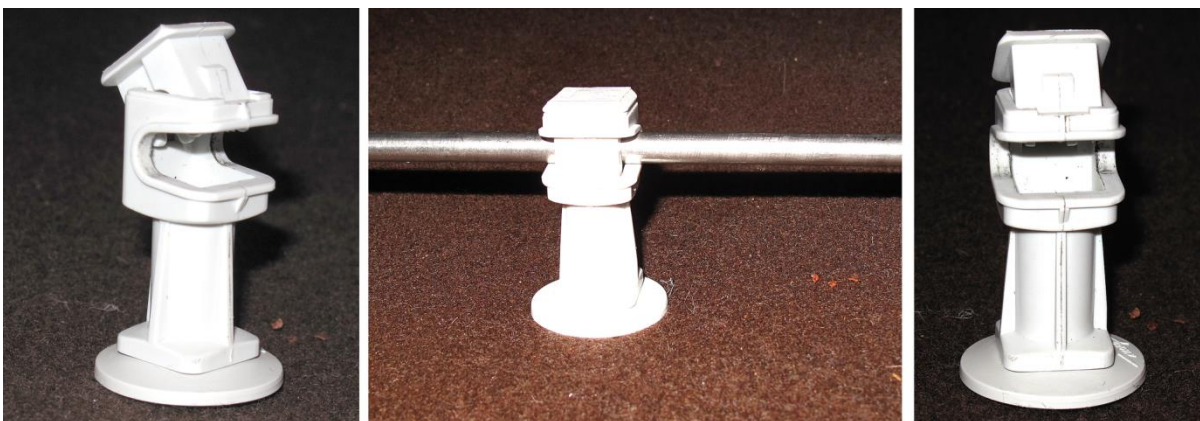


Рис. 3

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.

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



Февраль, 2018

В заключение нельзя не обратиться к ГОСТ Р МЭК 62561.4.2014. "Компоненты систем молниезащиты. Требования к устройствам крепления проводников". Указаний к термическим испытаниям неметаллических узлов крепления документ не содержит. Причина этого вполне очевидна. По допустимой температуре перегрева были выбраны сечения токоотводов в давно действующем стандарте МЭК 62305 и именно они дублированы в СО-153-34.21.122-2003. Цитируемый же ГОСТ беспокоится только о стойкости пластиковых держателей к воздействию окружающей среды и ультрафиолетового излучения солнца. Если не изменялась технология производства пластического материала, подобные испытания проводятся лишь единожды. Бдительный покупатель в праве запросить у производителя подтверждение на устойчивость к такому воздействию.

Этот последний абзац специально написан для бдительного потенциального покупателя на основании личного и, к сожалению, печального опыта знакомства с сертификатами на активные молниеотводы. В них перечислено множество параметров, не имеющих прямого отношения к функционированию изделия. Нет только главного – обоснования надежности и зоны защиты активного молниеотвода. Не взирая на солидные печати и подписи, подобный сертификат всего лишь фальсификация. К сожалению, подобное положение далеко не редкость и потому бдительность не помешает.