

**О.В. Кулаков,**  
Национальный университет гражданской защиты Украины

## **АНАЛИЗ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ БОЛЬШИХ ПЕРЕХОДНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ МЕЖДУ ЭЛЕМЕНТАМИ СИСТЕМЫ МОЛНИЕЗАЩИТЫ**

Определены требования к соединениям в системе молниезащиты. Показано, что отказ от нормирования величины минимально допустимого переходного сопротивления соединений и необходимости его периодического контроля не является оправданным. При большом переходном сопротивлении в месте его появления молниеотвод может быть расплавлен током молнии, что может привести к пожару. При последующих попаданиях молнии ее ток будет протекать через объект по неконтролируемому пути, что также может привести к пожару.

По статистическим данным [1] ежегодно в Украине происходит около 1600 пожаров от грозовых разрядов молнии. Практически каждый пожар, связанный с молнией, приводит к значительным материальным и человеческим потерям. Поэтому усовершенствование существующих методов защиты зданий и сооружений от разрядов молнии является необходимым.

Молния представляет собой гигантский искровой разряд в электрическом поле атмосферы. Развитие молнии определяется сложным комплексом физических процессов.

В течение многих веков молния привлекала к себе внимание ученых. Молния – статистическое явление, поэтому ее исследование связано с большими трудностями.

Исторически первым исследователем молнии в мире считается Бенджамин Франклин (Benjamin Franklin) (1706-1790) – американский просветитель, государственный деятель и ученый. Много времени посвящал научным исследованиям. Выдвинул гипотезу, что молния является электрическим явлением. В 1752 году провел эксперимент с воздушным змеем, которого запускал в грозовые тучи. Из этого эксперимента впоследствии родилась идея молниеотвода, а затем и общая теория электрических явлений, а также связанная с ней новая терминология (понятие позитивного и негативного электричества, проводника, батареи).

В Российской Империи исследовать молнию начали во времена Михаила Васильевича Ломоносова (1711-1765), гениального ученого во многих отраслях знаний. В 1752 году в "Санкт-петербургских ведомостях" появилось первое сообщение об исследовании Б. Франклина, в котором было выдвинута гипотеза о том, что молния является электрическим явлением. Российский физик, академик Петербургской академии наук Георг Вильгельм Рихман (1711-1753) начал исследование атмосферного электричества и в начале лета в 1752 году построил у себя на квартире прибор для исследования электричества грозовых облаков. Прибор состоял из изолированного железного листа, который был пропущен через крышу дома и заканчивался в комнате "электрическим гномоном" (сегодня такой измерительный прибор называется "электроскоп"). В течение 1752-1753 годов Г.В. Рихман работал со своим измерительным прибором и сообщал о результатах своих исследований в "Санкт-петербургских ведомостях". 26 июля в 1753 году Г.В. Рихман, приблизившись к своему измерительному прибору, был смертельно поражен электрическим током молнии.

В Советском Союзе началом систематического исследования молнии считают 1935 год, в котором профессором И.С. Стекольниковым были созданы специальные полевые и горные лаборатории для исследования молний. Наиболее совершенной лабораторией для комплексного исследования молний считается полевая станция Московского энергетического института, созданная на Останкинский телебашне в г. Москва, Российская Федерация.

Со времен Франклина, Ломоносова и до наших дней накоплен значительный экспериментальный материал и созданы определенные модели процесса развития молнии. На их основе были разработаны основные принципы молниезащиты.

В «наследство» от СССР странам СНГ перешел нормативный документ [2], которым долгие годы руководствовались проектировщики при проектировании молниезащиты зданий и сооружений. В ряде стран СНГ со временем появились новые нормативные документы на замену [1], например [3] – в Российской Федерации, [4] – в Украине, [5] – в республике Казахстан. Украинский нормативный документ [4] по методике расчета молниезащиты практически аналогичен российскому документу [3]. В Европе на основе масштабных научных исследований Международной электротехнической комиссией (International Electrotechnical Commission (IEC)) разработано и введено ряд стандартов [6-9], которые регламентируют методы и средства защиты зданий, сооружений и электротехнического оборудования от поражения молнией.

Документ [3] введен в Украине с 01 января 2009 року вместо РД 34.21.122. Этим документом существенно изменены требования к устройству молниезащиты зданий и сооружений. Например, по предыдущему нормативному документу РД 34.21.122 (п. 3.4) соединение молниеприемника с токоотводом и токоотвода с заземлением должны были выполняться, как правило, сваркой, а только при недопустимости огневых работ разрешалось выполнение болтовых соединений, причем переходное сопротивление соединения

не должно было превышать 0,05 Ом при обязательном ежегодном контроле последнего перед началом грозового сезона. Правила выполнения сварочных работ [10] требуют выполнять сварку внахлестку таким образом, чтоб длина сварных швов была не менее чем двойная сумма толщины свариваемых деталей. Данный способ соединения элементов обеспечивал минимальное переходное сопротивление в местах соединения, что делало невозможным повреждение элементов молниезащиты и появление источников зажигания электрического происхождения [11].

В соответствии с требованиями п. 6.5.7 украинского нормативного документа [4] (как уже отмечалось, аналогичного российскому [3]) соединения в системе молниезащиты рекомендуются выполнять сваркой, пайкой, допускается также вставка в зажимный наконечник или болтовое соединение. При этом для вставки в зажимной наконечник или болтового соединения отсутствует требование нормирования величины минимально допустимого переходного сопротивления и необходимости его периодического контроля.

Проанализируем пожарную опасность больших переходных сопротивлений в соединении элементов молниеотвода на примере применения болтового соединения.

Температуру нагревания контактов токопроводов за время  $\tau$  при повышенных переходных сопротивлениях можно рассчитать, например, с помощью методики, описанной в ГОСТ 12.1.004 [11].

Молния характеризуется следующими параметрами [10]:

- сила тока канала в среднем составляет  $I = 10^5$  А
- время действия – приблизительно  $\tau = 0,1$  с.

Предположим, что молния возникла при нормальных условиях окружающей среде, то есть при температуре  $t_{\text{нб}} = 20$  °С.

Для изготовления элементов разрешается применение стали, меди или алюминия. Минимальное сечение элементов молниеотвода [4]:

- для стали – 50 мм<sup>2</sup>,
- алюминия – 70 мм<sup>2</sup> для молниеприемника и 25 мм<sup>2</sup> для молниеотвода,
- меди – 35 мм<sup>2</sup> для молниеприемника и 16 мм<sup>2</sup> для молниеотвода.

Падение напряжения на контактных парах составляет ([11], таблица 8):

- сталь-сталь -  $U = 2,5$  В,
- медь-медь –  $U = 0,65$  В,
- алюминий-алюминий –  $U = 0,28$  В.

Допустим, что молниеотвод изготовлен из стального прута диаметром 8 мм и имеет контактные пары, выполненные посредством болтового крепления М8.

В соответствии с методикой [11] расчета температуры нагревания контактов токопроводов при повышенных переходных сопротивлениях, допустим, что температура нагрева контактов равняется  $t_{\text{г.э}} = 2200$  °С. В этом случае общий коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_{\text{сдд}} = 11,63 \cdot a^{0,0023t_{\text{г.э}}} = 11,63 \cdot a^{0,0023 \cdot 2200} \approx 1832,78 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}.$$

Удельная массовая теплоемкость металла контактов составляет [13]

$$C = 460 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1};$$

допускаем массу контактов

$$m \approx 0,05 \text{ кг};$$

площадь поверхности теплообмена

$$S = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} \approx 50 \text{ мм}^2 = 50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Тогда постоянная времени нагревания контактов

$$\tau_{\text{г.э}} = \frac{\tilde{N} \cdot m}{S \cdot \alpha_{\text{сдд}}} = \frac{460 \cdot 0,05}{50 \cdot 10^{-6} \cdot 1832,78} \approx 2,51 \cdot 10^2 \text{ мс}.$$

Электрическая мощность, выделяемая в контактных переходах

$$D = I \cdot \sum_{i=1}^n U_i = 1 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 2,5 = 0,5 \cdot 10^6 \text{ \AA} \cdot \text{д}.$$

Окончательно температура нагревания контактов сталь-сталь токопровода –

$$t_{f,\varepsilon} = t_{\text{н}0} + \frac{P}{S \cdot \alpha_{\text{с}a\text{a}}} \cdot (1 - e^{-\frac{\tau}{\tau_{\varepsilon}}}) = 20 + \frac{0,5 \cdot 10^6}{50 \cdot 10^{-6} \cdot 1832,78} (1 - e^{-\frac{0,1}{251}}) = 2204 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Допущенное значение температуры  $t_{f,\varepsilon} = 2200 \text{ }^{\circ}\text{C}$  и рассчитанное значение температуры  $t_{f,\varepsilon} = 2204 \text{ }^{\circ}\text{C}$  отличаются меньше чем на 5%, поэтому расчет выполнен правильно.

Температура плавления стали равняется  $1300 \div 1400 \text{ }^{\circ}\text{C}$  [13]. При большом переходном сопротивлении в месте его появления молниеотвод может быть расплавлен током молнии и МОЛНИЕЗАЩИТА выведена из строя. Вследствие этого при последующих попаданиях молнии ее ток будет протекать через объект по неконтролируемому пути, что может привести к пожару. Кроме того, расчетная температура нагрева проводника в месте большого переходного сопротивления ( $2200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) значительно превышает температуру плавления стали ( $1300 \div 1400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ), что, как правило, ведет к появлению дуг и искр [11], попадание которых на горючие элементы конструкции здания также может привести к пожару.

**Вывод.** Отказ от нормирования величины минимально допустимого переходного сопротивления соединений и необходимости его периодического контроля в системе молниезащиты не является оправданным. При большом переходном сопротивлении в месте его возникновения молниеотвод может быть расплавлен током молнии и молниезащита выведена из строя. Расплавление токоотвода может сопровождаться появлением дуг и искр, попадание которых на горючие элементы конструкции дома может привести к пожару. При последующих попаданиях молнии ее ток будет протекать через объект по неконтролируемому пути, что также может привести к пожару.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://www.mns.gov.ua/content/national\\_lecture.html](http://www.mns.gov.ua/content/national_lecture.html).
2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений: РД 34.21.122-87. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 56 с. – (Керівний документ Міненерго СРСР).
3. СО-153-24.122-2003. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. – Москва: Издательство МЭИ, 2004. – 56 с.
4. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд (IEC 62305:2006 NEC). Чинний від 01.01.2009. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. – 63 с.
5. СН РК 2.04-29-2005. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. – Астана, 2006. – 32 с.
6. IEC 62305-1:2006. Protection against lightning. Part 1. General principles. – Geneva, Switzerland: Publication IEC, 2006. – 68 p.
7. IEC 62305-2:2006. Protection against lightning. Part 2. Risk management. – Geneva, Switzerland: Publication IEC, 2006. – 110 p.
8. IEC 62305-3:2006. Protection against lightning. Part 3. Physical damage to structures and life hazard. – Geneva, Switzerland: Publication IEC, 2006. – 154 p.
9. IEC 62305-4:2006. Protection against lightning. Part 4. Electrical and electronic systems within structures. – Geneva, Switzerland: Publication IEC, 2006. – 101 p.
10. Геворкян В.Г. Основы сварочного дела / Геворкян В.Г. - Москва: Высшая школа, 1991. - 240 с.
11. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91.- [Введенный 1992-07-01]. – Москва: Изд-во стандартов, 1992. – 78 с. – (Державний стандарт СРСР).
12. Базелян Э.М. Физика молнии и молниезащиты / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер. – Москва: Физматгиз, 2001. - 320 с. – (Наукове видання).
13. Лободюк В.А. Справочник по элементарной физике / Лободюк В.А., Рябошапка К.П., Шулишова О.И. - Киев: Наукова думка, 1978. - 448 с.