

УДК 614.8; 621.3

*О.В. Кулаков, к.т.н., доцент, заместитель начальника кафедры ,  
А.С. Кирилюк, к.т.н., доцент,  
А.Н. Катунин, к.т.н., с.н.с., преподаватель, НУГЗУ*

## **ОЦЕНКА ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ЭЛЕМЕНТОВ МОЛНИЕОТВОДА В МЕСТАХ ПОЯВЛЕНИЯ БОЛЬШИХ ПЕРЕХОДНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ**

Расчетным путем показано, что температура нагрева места соединения элементов молниеотвода при появлении больших переходных сопротивлений зависит от вида молнии и величины ее заряда (который нормируется уровнем молниезащиты). Молнии в виде последовательности только коротких ударов не приведут к сколь-нибудь значимому нагреву переходного контакта. До температуры более 100 °С контакт нагреется для молнии, в состав которой входят короткий и длительный удары, а заряд соответствует I и II уровням молниезащиты. До температуры около 200 °С контакт нагреется для молнии, в состав которой входят короткий и длительный удары, а заряд соответствует I уровню молниезащиты.

**Ключевые слова:** молниезащита, молниеотвод, большое переходное сопротивление, температура нагрева

**Постановка проблемы.** По статистическим данным [1] в Украине ежегодно количество пожаров от грозовых разрядов молнии не превышает 0,5 % от общего их количества. Но практически каждый пожар, связанный с молнией, приводит к значительным материальным и человеческим потерям. Поэтому усовершенствование защиты зданий и сооружений от разрядов молнии является актуальным.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Со времен Бенджамина Франклина и Вильяма Харриса до наших дней защита объектов от прямых ударов молнии осуществляется путем установки молниеотводов [2]. Порядок их устройства регламентируется соответствующими нормативными документами. С 01 августа 2012 года в Украине методом обложки введены национальные стандарты [3-6], идентичные европейским нормам молниезащиты EN 62305.

Согласно [3] нисходящая молния, характерная для равнинной местности, состоит из одного или нескольких ударов в виде короткого удара (часть молнии, представляющая собой краткий импульс тока, который продолжается в течение времени обычно менее 2 мс, при котором значение силы тока снижается до уровня вдвое меньше пикового значения (рисунок 1)) и длительного удара (часть молнии, представляющая собой продолжительный импульс тока, период

времени  $\tau_{LONG}$ , в течение которого сила тока молнии превышает 10% пикового значения  $I$ , обычно составляет от 2 мс до 1 с (рисунок 2)).

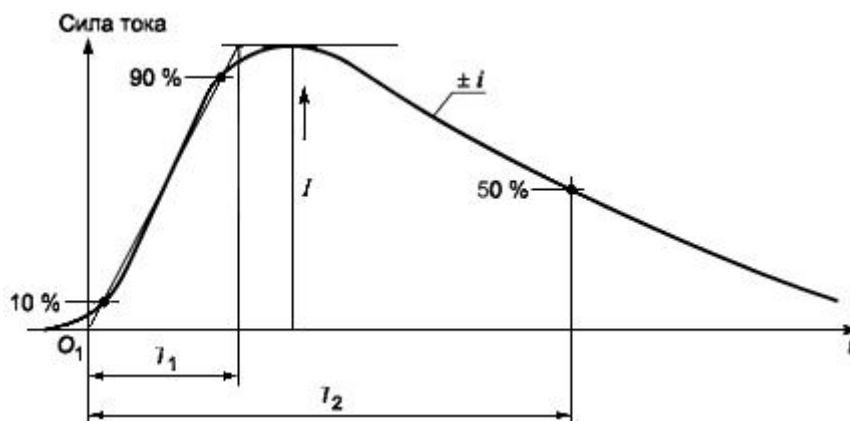


Рис. 1 – Короткий удар молнии

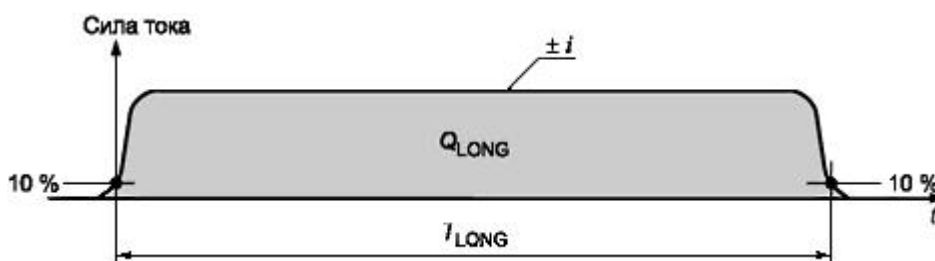


Рис. 2 – Длительный удар молнии

Значения максимальных параметров короткого, длительного ударов и всей молнии приведены в таблице 5 [3] в зависимости от уровня молниезащиты.

Согласно [5] количество соединений вдоль проводников элементов молниезащиты должно быть минимальным. Соединения должны быть выполнены надежным образом, например, с использованием паяния твердым припоем, сварки, гофрировки, фальцевых соединений, завинчивания или болтового крепления. Нормирование величины минимально допустимого переходного сопротивления отсутствует. Соединения стальных конструкций внутри армированных бетонных зданий должны отвечать особым требованиям. Есть требование периодической проверки непрерывности цепей.

Температуру нагревания контактов проводников электрического тока за время  $\tau$  при повышенных переходных сопротивлениях можно рассчитать, например, с помощью методики ГОСТ 12.1.004 [7]. Методика предполагает проверку соответствия допущенной и расчетной температур  $t_{HK}$  нагрева контактов. Этапами расчета является определение общего коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha_{\text{общ}} = 11,63 \cdot \exp(0,0023 \cdot t_{\text{нк}}), \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}, \quad (1)$$

и постоянной времени нагревания контактов:

$$\tau_{\text{к}} = \frac{C \cdot m}{S \cdot \alpha_{\text{общ}}}, \text{ с}, \quad (2)$$

где  $C$  – удельная массовая теплоемкость,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;  $m$  – масса контактов,  $0,02$  кг;  $S$  – площадь поверхности теплообмена,  $\text{м}^2$ .

Температура нагревания контактов рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{нк}} = t_{\text{ср}} + \frac{P}{S \cdot \alpha_{\text{общ}}} \cdot (1 - \exp(-\frac{\tau}{\tau_{\text{к}})}), \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3)$$

Допущенное и рассчитанное значения температуры  $t_{\text{нк}}$  должны отличаться меньше чем на 5 %,

В работе [8] была проанализирована пожарная опасность больших переходных сопротивлений в соединении элементов молниеотвода для параметров тока молнии, отличных от стандартных значений, приведенных в [3].

**Постановка задачи и ее решение.** Оценим расчетным путем зависимость температуры нагрева места соединения элементов молниеотвода при появлении больших переходных сопротивлений в зависимости от величины силы тока молнии и ее длительности для стандартных молний (короткий удар, длительный удар, последовательность одного короткого и одного длительного ударов) для стандартного болтового крепления.

Основываясь на [3], предполагаем, что для высшего (I) уровня молниезащиты:

- короткий удар молнии характеризуется максимальным зарядом импульса  $100$  Кл при длительности  $T_2=350$  мкс;
- длительный удар молнии характеризуется максимальным зарядом импульса  $200$  Кл при длительности  $\tau_{\text{LONG}}=0,5$  с;
- молния в виде последовательности одного короткого и одного длительного ударов характеризуется максимальным зарядом  $300$  Кл.

Применение формул (1)÷(3) при следующих допущениях:

- молния возникла при нормальных условиях окружающей среды, то есть при температуре  $t_{\text{ср}} = 20$  °С;
- токоотвод изготовлен из стандартного стального прута диаметром  $8$  мм;

- падение напряжения на контактных парах сталь-сталь равно  $U=2,5$  В;

- масса контактов  $m \approx 0,02$  кг

дает следующие величины температуры нагрева стандартного болтового контакта молниеотвода:

- для короткого удара молнии:  $t_{\text{нк}} = 21$  °С;

- для длительного удара молнии:  $t_{\text{нк}} = 130$  °С;

- для молнии в виде последовательности одного короткого и одного длительного ударов:  $t_{\text{нк}} = 187$  °С.

Таким образом, для стандартных молний для I уровня молниезащиты при большом переходном сопротивлении в месте его появления нагрев стандартного болтового контакта молниеотвода осуществляется за счет энергии длительного удара. Молнии в виде последовательности только коротких ударов не приведут к сколь значимому нагреву переходного контакта. Стандартная молния в виде последовательности одного короткого и одного длительного ударов приводит к нагреву переходных контактов до температуры около 200 °С.

Оценим расчетным путем для низших уровней (II-IV) молниезащиты зависимость температуры нагрева места соединения элементов молниеотвода при появлении больших переходных сопротивлений в зависимости от величины силы тока молнии и ее длительности для стандартной молнии в виде последовательности одного короткого и одного длительного ударов для стандартного болтового крепления. Такой удар характеризуется максимальным зарядом 225 Кл для II уровня молниезащиты и 150 Кл для III-IV уровней молниезащиты [3]. Проведенный расчет показал, что температура нагрева стандартного болтового контакта в первом случае составляет  $t_{\text{нк}} = 145$  °С, а во втором -  $t_{\text{нк}} = 85$  °С.

**Выводы.** Температура нагрева места соединения элементов молниеотвода при появлении больших переходных сопротивлений зависит от вида молнии и величины ее заряда (который нормируется уровнем молниезащиты). Молнии в виде последовательности только коротких ударов не приведут к сколь значимому нагреву переходного контакта. До температуры более 100 °С контакт нагреется для молнии, в состав которой входят короткий и длительный удары, а заряд соответствует I и II уровням молниезащиты. До температуры около 200 °С контакт нагреется для молнии, в состав которой входят короткий и длительный удары, а заряд соответствует I уровню молниезащиты.

Согласно [7] условную вероятность того, что воспламеняющая способность появившегося в элементе объекта энергетического (теплового) источника достаточна для зажигания горючей среды,

находящейся в этом элементе, принимают равной нулю, в частности, если источник не способен нагреть вещество выше 80-процентного значения температуры самовоспламенения вещества или температуры самовозгорания вещества, имеющего склонность к тепловому самовозгоранию. Таким образом, источник с температурой 200 °С может являться источником зажигания для вещества, у которого 80-процентное значение температуры самовоспламенения менее 200 °С.

Например, современный кровельный материал ондулин имеет температуру самовоспламенения 230 °С [9], и для него болтовой контакт молниеотвода, нагретый до температуры 200 °С, может являться источником зажигания ( $0,8 \cdot 230 = 184 \text{ °С} < 200 \text{ °С}$ ) при непосредственном контакте.

## ЛИТЕРАТУРА

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. Базелян Э.М. Физика молнии и молниезащиты / Э.М. Базелян, Ю.П. Райзер. – Москва: Физматгиз, 2001. - 320 с. – (Наукове видання).

3. Захист від блискавки. Частина 1. Загальні принципи (EN 62305-1:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-1:2012. – [Чинний від 2012-08-01]. — (Національний стандарт України).

4. Захист від блискавки. Частина 2. Керування ризиками (EN 62305-2:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-2:2012. – [Чинний від 2012-08-01]. – (Національний стандарт України).

5. Захист від блискавки. Частина 3. Фізичні руйнування споруд та небезпека для життя людей (EN 62305-3:2011, IDT): ДСТУ EN 62305-3:2012. – [Чинний від 2012-08-01]. — (Національний стандарт України).

6. Захист від блискавки. Частина 4. Електричні та електронні системи, розташовані в будинках і спорудах (EN 62305-4:2010, IDT): ДСТУ EN 62305-4:2012. – [Чинний від 2012-08-01]. — (Національний стандарт України).

7. Пожарная безопасность. Общие требования: ГОСТ 12.1.004-91.- [Введеный 1992-07-01]. – Москва: Изд-во стандартов, 1992. – 78 с. – (Державний стандарт СРСР).

8. Кулаков О.В Пожежна небезпека великих перехідних опорів між елементами системи блискавкозахисту / О.В. Кулаков // Проблеми пожарной безопасности: Сб. науч. тр. НУЦЗ Украины. – 2010. – Вып. 28. – С.119-122.

9. Температура самовоспламенения ондулина [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.remotvet.ru>.

Кулаков О.В., Кирилюк А.С., Катунін А.М.

**Оцінка температури нагріву елементів блискавковідводу в місцях появи великих перехідних опорів**

Розрахунковим шляхом показано, що температура нагріву місця з'єднання елементів блискавковідводу при появі великих перехідних опорів залежить від виду блискавки і величини її заряду (який нормується рівнем блискавкозахисту). Блискавки у вигляді послідовності тільки коротких ударів не приведуть до скільки значимого нагріву перехідного контакту. До температури більше 100 °С контакт нагріється для блискавки, до складу якої входить короткий і тривалий удари, а заряд відповідає I і II рівням блискавкозахисту. До температури близько 200 °С контакт нагріється для блискавки, до складу якої входить короткий і тривалий удари, а заряд відповідає I рівню блискавкозахисту.

**Ключові слова:** захист від блискавки, блискавковідвід, великий перехідний опір, температура нагріву

O.V. Kulakov , A.C. Kirilyuk, A.M. Katunin

**An estimation of temperature of heating of elements of system lightning-rod is in places of appearance of large transitional resistances**

It is shown a calculation way, that the temperature of heating of place of connection of elements of lightning-rod at appearance of large transitional resistances depends on the type of lightning and size of her charge (that is rationed by the lightning protection level). Lightnings as a sequence only short strokes over will not be brought to the how meaningful heating of transitional contact. To the temperature more than 100 °C a contact will be heated for lightning in the complement of that the short and long strokes, and a charge corresponds I and II lightning protection levels. To the temperature about 200 °C a contact will be heated for lightning in the complement of that the short and long strokes, and a charge corresponds to the I lightning protection level.

**Keywords:** lightning protection, lightning-rod, large transitional resistance, temperature of heating