

## ОЦЕНКА ТЕРМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЗАЗЕМЛИТЕЛЕЙ МОЛНИЕОТВОДОВ

к.т.н. А.И. Акимов, к.т.н. Ю.А. Акимова  
(представил д.т.н., проф. Б.Т. Кононов)

*Рассматриваются возможности повышения эффективности грозозащиты зданий и сооружений первой категории за счет учета термической устойчивости заземлителей молниеотводов этих объектов. Показан способ оценки термической устойчивости заземлителей молниеотводов.*

**Постановка проблемы.** Повышение эффективности грозозащиты зданий и сооружений первой категории, без сомнения, является актуальной научно-технической задачей и требует детального изучения и глубокого анализа всех элементов грозозащиты, основным из которых являются заземлители молниеотводов. При стекании с заземлителей больших импульсных токов сопротивление заземлителей в значительной степени зависит от их термической устойчивости. Поэтому необходимо получить оценки, позволяющие проводить анализ заземлителей молниеотводов, используемых в практике грозозащиты.

**Анализ литературы.** В последних исследованиях [1 – 3] решались различные задачи повышения эффективности грозозащиты различных объектов, пригодные и для зданий и сооружений первой категории. В качестве недостатков полученных при этом решений необходимо отметить то, что они не учитывают термическую устойчивость заземлителей. Поэтому полученные результаты не позволяют с высокой достоверностью говорить о качестве грозозащиты. В [4] исследуется вопрос повышения эффективности грозозащиты путем увеличения сечения заземления молниеотводов, защищающих эти объекты. Но эта задача решена с учетом термической устойчивости только одного элемента заземлителя – металлического спуска. Между тем все существующие конструкции электродов, находящихся в контакте с землей, остались за пределами рассмотрения. Поэтому необходимы более совершенные оценки для анализа заземлителей молниеотводов указанного класса объектов.

**Цель работы.** Целью статьи является разработка оценки термической устойчивости заземлителей, которая базируется на анализе процессов, происходящих на границе электрод – земля, учитывает конструкцию заземлителей и их геометрические размеры.

**Основной материал.** Для заземления молниеотводов применяют групповые заземлители, включающие в свой состав два типа электродов – стержневые, забиваемые в землю вертикально, и полосовые, укладываемые в грунт горизонтально и предназначенные для соединения стержневых электродов между собой. И те, и другие электроды находятся в непосредственном контакте с землей.

Оценку термической устойчивости заземлителей целесообразно провести в ходе рассмотрения процессов, происходящих на границе электрод – земля.

При стекании с заземлителя большого тока молнии в ближайших слоях грунта образуются высокие плотности тока  $\delta$  и появляются значительные электрические напряженности  $E = \delta\rho$ , где  $\rho$  – удельное сопротивление среды. Они вызывают ионизацию воздушных включений и электрической пробой грунта в прилегающей к заземлителю области. Эта область становится хорошо проводящей. Эффективные размеры заземлителя возрастают. Сопротивление заземлителя уменьшается тем сильнее, чем больше амплитуда тока. В начале протяженного заземлителя плотности тока больше, и эти участки используются эффективнее, а более удаленные – хуже. Импульсный ток может «не доходить» до конца заземлителя. Сказывается и более резкое падение напряжения в заземлителе из-за влияния индуктивности при импульсе, в спектр которого входят высокие частоты. Наконец, влияет и переходный процесс, связанный с затуханием при пробеге, преломлением и отражением импульсных волн на конце заземлителя. Чем больше отношение длины заземлителя к длине фронта импульса, тем вероятнее соотношение  $R_{3,и} > R_3$ , где  $R_{3,и}$  – импульсное сопротивление заземлителя (сопротивление заземлителя при импульсе);  $R_3$  – сопротивление заземлителя растеканию тока промышленной частоты.

Можно оценку производить по постоянной времени  $T = \frac{L_3}{R_3}$ , где  $L_3$  – полная индуктивность протяженного заземлителя. Если длина фронта импульса  $\tau_\phi \gg T$ , то переходный процесс закончится на фронте импульса и тогда  $R_{3,и} = R_3$ .

Из сказанного следует, что меньшее сопротивление дают сосредоточенные заземлители, т.е. практически электроды небольшой длины.

С другой стороны ток в грунте вызывает его нагрев. Наибольшая плотность тока существует на поверхности заземлителя. Поэтому в ближайших к нему слоях земли выделяется максимальное количество тепла. Температура этих слоев постепенно может достичь 100 °С, начнется испарение влаги, находящейся в почве, и слои земли окажутся высушен-

ными. У заземлителя образуется непроводящая корка, и ток прекратится. Потенциальное поле также резко изменится, и все напряжение окажется приложенным к тонкому изолирующему слою. Такой заземлитель называют «отравленным». Если на него подать низкое напряжение (600 – 700 В), то появятся непрерывные пробои высушенного слоя, произойдет выжигание грунта и даже повреждение металлической поверхности заземлителя. Естественное восстановление такого заземлителя затруднено.

Термическая устойчивость бесконечно заглубленного заземлителя характеризуется длительно допустимым (стационарным) потенциалом  $U_{СТ}$ , при котором плотность тока на его поверхности не превысит опасной величины

$$U_{СТ} = \sqrt{2(100 - \theta^\circ) \lambda \cdot \rho}, \quad (1)$$

где  $\theta^\circ$  – температура грунта;  $\lambda$  – удельная теплопроводность грунта;  $\rho$  – удельное сопротивление грунта.

Обычно считают, что для грунта применим закон Видемана-Франца и можно принять  $\lambda \cdot \rho = \text{const} = 120 \text{ В}^2/\text{град}$ . Тогда при  $\theta^\circ = 0$  получаем  $U_{СТ} = 155 \text{ В}$ . В среднем этот потенциал равен 150 В. Поскольку в формуле (1) отсутствуют линейные размеры заземлителя, то можно считать, что и для любого другого заземлителя  $U_{СТ} = 150 \text{ В}$ .

Если на заземлителе имеется потенциал  $U > U_{СТ}$ , то этот заземлитель через некоторое время  $t_d$ , называемое динамическим, выйдет из строя. Это время зависит от коэффициента перегрузки  $K_{П} = \frac{U}{U_{СТ}}$  и для

$K_{П} > 2$  вычисляется по формуле

$$t_d = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{T_0}{K_{П}^4}, \quad (2)$$

где  $T_0$  – собственное время заземлителя, т.е. время, в течение которого практически установится тепловое стационарное поле при  $U = U_{СТ}$ .

Это время находят следующим образом:

$$T_0 = \frac{C_3}{\lambda} r_0^2, \quad (3)$$

где  $C_3$  – удельная теплоемкость почвы;  $r_0$  – радиус эквивалентного шара, имеющего такое же сопротивление растекания  $R$ , как и заземлитель, термическая устойчивость которого определяется, т.е.

$$r_0 = \frac{\rho}{4\pi R}. \quad (4)$$

В последнюю формулу должно быть подставлено сопротивление одиночного заземлителя, а не сложного, т.к. в последнем каждый отдельный заземлитель испытывает примерно одну и ту же нагрузку по напряжению.

Следует также учитывать, что полосовые заземлители, имеющие острые ребра и большие плотности тока на них, уже при малых напряжениях «отравляются» через несколько минут.

Трубчатые вертикальные заземлители термически устойчивее полосовых или уголковых и могут выдержать двойную перегрузку в течении часа. Горизонтально уложенные заземлители термически менее устойчивы, чем вертикальные. Причем увеличение диаметра трубы, не дающее заметного снижения ее сопротивления, приводит к уменьшению плотности тока на поверхности заземлителя и к повышению его термической устойчивости.

Учет рассмотренных особенностей заземлителей молниеотводов позволит повысить их термическую устойчивость и в целом – эффективность грозозащиты зданий и сооружений первой категории.

**Выводы.** Полученные результаты позволяют анализировать существующие конструкции заземлителей молниеотводов, определять их недостатки и пути устранения. Использование предложенных оценок позволяет повысить термическую устойчивость заземлителей молниеотводов зданий и сооружений первой категории и в целом – эффективность их грозозащиты.

Дальнейшие исследования связаны с рассмотрением других элементов грозозащиты с учетом полученных оценок для заземлителей молниеотводов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Техника высоких напряжений / Под общ. ред. Д.В. Разевига. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.*
2. *Долгинов А.И. Техника высоких напряжений в электроэнергетике. – М.: Энергия, 1968. – 464 с.*
3. *Техника высоких напряжений / Под ред. М.В. Костенко. – М.: Высш. школа, 1973. – 528 с.*
4. *Акимов А.И., Акимова Ю.А. Повышение эффективности грозозащиты зданий и сооружений первой категории // Системы обробки інформації. – Х: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вип. 3(19). – С. 196 – 198.*

Поступила 27.10.2003

*АКИМОВ Александр Иванович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры Харьковского военного университета. В 1969 году окончил Харьковское ВКИУ. Область научных интересов – техника высоких напряжений.*

*АКИМОВА Юлия Александровна, канд. техн. наук, доцент кафедры Харьковского филиала Украинской академии банковского дела. В 1996 году окончила механико-математический факультет Харьковского государственного университета. Область научных интересов – оптимизация информационных систем.*