

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 δ и появляются значительные электрические напряженности $E = \delta\rho$, где ρ – 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 θ° – температура грунта; λ – удельная теплопроводность грунта; ρ – 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.