

М.И. Баранов, В.В. Князев, В.И. Кравченко, С.В. Рудаков

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ ИЗ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ НОРМИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТ ИМПУЛЬСНОГО ТОКА ИСКУССТВЕННОЙ МОЛНИИ

Наведено результати оціночних розрахункових і експериментальних досліджень електротермічної стійкості дослідних зразків пластин розміром 0,5 м × 0,5 м з нержавіючої сталі товщиною 1 мм до дії на них імпульсних струмів штучної блискавки з нормованими за вимогами нормативних документів США SAE ARP 5412 і SAE ARP 5416 амплітудно-часовими параметрами (АЧП). Використовувалися коливальна імпульсна А- компонента з першої амплітудою 192 кА, що відповідає часу 34 мкс, і аперіодична тривала С- компонента амплітудою 804 А, що відповідає часу 9 мс. Показано, що тривала С- компонента струму штучної блискавки з нормованими АЧП може призводити до наскрізного проплавлення зазначених зразків. Бібл. 15, рис. 15, табл. 5.

Ключові слова: основні компоненти струму блискавки, генератор імпульсного струму штучної блискавки, плоский сталевий зразок, електротермічна блискавкостійкість.

Приведены результаты оценочных расчетных и экспериментальных исследований электротермической стойкости опытных образцов пластин размером 0,5 м × 0,5 м из нержавеющей стали толщиной 1 мм к воздействию на них импульсных токов искусственной молнии с нормированными по требованиям нормативных документов США SAE ARP 5412 и SAE ARP 5416 амплитудно-временными параметрами (АВП). Использовались колебательная импульсная А- компонента с первой амплитудой 192 кА, соответствующей времени 34 мкс, и аперіодическая длительная С- компонента амплитудой 804 А, соответствующей времени 9 мс. Показано, что длительная С- компонента тока искусственной молнии с нормированными АВП может приводить к сквозному проплавлению указанных образцов. Библ. 15, рис. 15, табл. 5.

Ключевые слова: основные компоненты тока молнии, генератор импульсного тока искусственной молнии, плоский стальной образец, электротермическая молниестойкость.

Введение. При прямых ударах линейной молнии, развивающейся в воздушной атмосфере Земли со среднестатистической частотой до 100 разрядов в секунду [1, 2], в высотные технические сооружения, размещенные на земной поверхности, амплитудно-временные параметры (АВП) импульсного тока в плазменном канале ее разряда могут принимать опасные как для наружных конструктивных элементов, так и силового электротехнического и слаботоочного радиоэлектронного оборудования, содержащегося внутри таких сооружений. Согласно требований действующих нормативных документов США SAE ARP 5412 и SAE ARP 5416 [3, 4], относящихся преимущественно к подвергаемым прямым ударам молнии объектам аэрокосмической техники, импульсный ток грозового разряда содержит две основные составляющие: импульсную А- и длительную С- компоненты. При этом нормируемые АВП импульсной А- компоненты тока молнии согласно [3, 4] принимают следующие численные значения: амплитуда тока $I_{mA} = \pm 200$ кА (при допуске $\pm 10\%$); интеграл действия тока $J_A = 2 \cdot 10^6$ А²·с (при допуске $\pm 20\%$); время, соответствующее амплитуде тока $t_{mA} \leq 50$ мкс; продолжительность протекания тока $\tau_{pA} \leq 500$ мкс. В этом случае нормируемые АВП аперіодической длительной С- компоненты тока молнии должны составлять нижеследующие численные значения [3, 4]: амплитуда тока $I_{mC} = \pm(200-800)$ А; переносимый электрический заряд $q_C = \pm 200$ Кл (при допуске $\pm 20\%$); продолжительность протекания тока $\tau_{pC} = (0,25-1)$ с. В 2007 г. в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» был создан мощный высоковольтный генератор тока искусственной молнии типа УИТОМ-1 [5], формирующий на испыты-

ваемом техническом объекте АВП импульсного тока грозового разряда по требованиям указанных нормативных документов [3, 4]. Авторам не известны публикации результатов воздействия молнии на элементы технических сооружений, выполненные из тонкостенной нержавеющей стали. Поэтому оценочные теоретические и экспериментальные исследования уровня устойчивости (стойкости) таких элементов к прямому удару молнии в них с параметрами силы тока, близкими к предельным, представляют практический интерес.

1. Постановка задачи. Рассмотрим плоский образец размером в плане 500×500 мм из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т толщиной 1 мм, испытывающий на открытом воздухе прямое воздействие плазменного канала искусственной молнии, имеющего цилиндрическую форму. Пусть по этому каналу протекают импульсная А- и длительная С- компоненты тока грозового разряда, нормированные АВП которых соответствуют требованиям, приведенным в [3, 4]. Требуется вначале осуществить расчетную оценку результатов электротермического воздействия на рассматриваемый образец указанных компонент импульсного тока искусственной молнии, а затем с помощью генератора типа УИТОМ-1 выполнить экспериментальную проверку электротермической молниестойкости опытного образца к прямому удару в него плазменного канала искусственной молнии.

2. Расчетная оценка электротермической стойкости стальных образцов к току искусственной молнии. Выполним вначале оценку данной стойкости исследуемых тонких стальных образцов к дей-

ствию на них импульсного тока, протекающего в канале грозового разряда, по методике, рекомендуемой в [6] международной электротехнической комиссией.

2.1. Результаты расчетов по стандартизированной методике оценки термической молниестойкости. В международном стандарте IEC 62305-1 (см. Приложение D, формулу D.9) приведено аналитическое соотношение, позволяющее оценить объем металла V_0 в объекте, расплавленного из-за действия на него тока молнии, в зависимости от протекшего при этом количества электричества в следующем виде [6]:

$$V_0 = \frac{U_{ac} \cdot q_{Ac}}{d_0} \times \frac{1}{C_w(\Theta_m - \Theta_e) + C_s}, \quad (1)$$

где V_0 – объем расплавленного металла объекта, м^3 ; U_{ac} – анодное или катодное падение постоянного напряжения вблизи объекта, В; q_{Ac} – количество заряда, переносимого A- или C- компонентой тока молнии, Кл; d_0 – плотность материала объекта, $\text{кг}/\text{м}^3$; C_w – теплоемкость материала объекта, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; Θ_m – температура плавления материала объекта, $^\circ\text{C}$; $\Theta_e = \theta_0$ – температура окружающей объект среды, $^\circ\text{C}$; C_s – удельная теплота плавления материала объекта, $\text{Дж}/\text{кг}$.

Для оценки размера отверстия или каверны, которые могут образоваться в рассматриваемом листовом образце из нержавеющей стали заданной толщины h при воздействии на него тока молнии, нами были использованы известные численные показатели основных физических параметров для нержавеющей стали марки 12X18H10T, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Параметры для стали 12X18H10T [6-8]

| Параметр | Размерность | Значение |
|------------|--|-----------------|
| U_{ac} | В | 10 |
| d_0 | $\text{кг}/\text{м}^3$ | 7900 |
| C_w | $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ | 462 |
| Θ_m | $^\circ\text{C}$ | 1455 |
| Θ_e | $^\circ\text{C}$ | 20 |
| C_s | $\text{Дж}/\text{кг}$ | $84 \cdot 10^3$ |

После подстановки значений параметров из табл. 1 в (1) при варьировании заряда $q_{Ac} = q_c$ были получены величины расплавленного цилиндрического объема V_0 стали, которые будучи разделенными на толщину листа h , дают соответствующие значения площади круглой зоны нагрева и радиуса r_c отверстия проплавления в стальном образце, представленные на рис. 1. Для C- компоненты тока молнии длительностью τ_{pC} от 2 до 40 мс заряд $q_c = q_{Ac} = 10$ Кл достигается при силе тока в ее канале, изменяющейся от 5 кА до 250 А. При оценке радиуса r_c образовавшегося отверстия следует учитывать, что тепловой поток поступает в стальной образец не точно, а по площади круга радиусом r_{mc} . Поэтому радиус пятна расплавленного металла не может быть менее r_{mc} . Радиус r_{mc} канала молнии зависит от силы протекающего в нем тока и для нормальных атмосферных условий определяется в виде [8]:

$$r_{mc} = 0,11 \cdot 10^{-3} (I_{mC})^{0,5}. \quad (2)$$

где I_{mC} – максимальное значение силы тока для длительной C- компоненты тока молнии в пластине, А.

Результаты расчета по (2) значения радиуса r_{mc} канала с C- компонентой тока представлены в табл. 2.

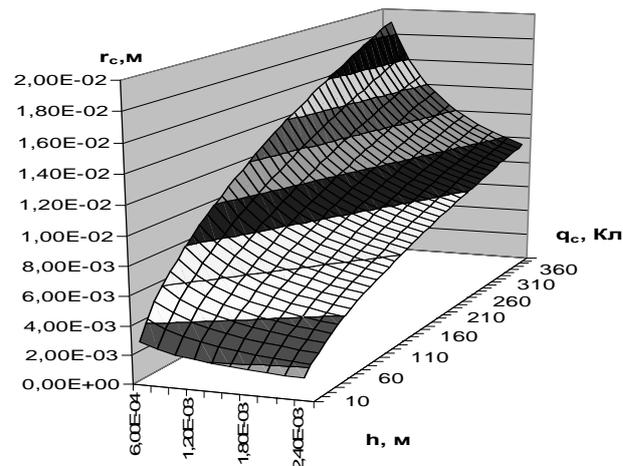


Рис. 1. Зависимость радиуса r_c отверстия проплавления, образуемого в исследуемом стальном листе толщиной h , от протекшего через его материал количества электричества q_c

Таблица 2

Значения радиуса r_{mc} канала грозового разряда в зависимости от силы тока C- компоненты

| Сила тока I_{mC} , А | 100 | 200 | 400 | 800 |
|------------------------|------|------|------|------|
| Радиус r_{mc} , мм | 1,10 | 1,56 | 2,20 | 3,11 |

При толщине стального листа $h=1$ мм и протекшем заряде $q_c=10$ Кл радиус отверстия проплавления в нем согласно (1) будет примерно равен $r_c=1,64$ мм. Такой же радиус, исходя из (2), имеет канал молнии при силе тока в нем $I_{mC} = 222$ А. Поэтому можно предполагать, что при действии на стальной лист ($h=1$ мм) C- компоненты длительностью примерно 40 мс и силе тока (средней за время этого действия) около 220 А прожиг этого листа будет происходить. Для конкретных значений заряда q_c от C- компоненты тока, которые наблюдались при экспериментах (см. ниже п. 4), расчетное значение диаметра $2r_c$ отверстия проплавления в выбранном образце из стали ($h=1$ мм) при $q_c=187$ Кл достигает 20,8 мм; а при $q_c=165$ Кл – 18,0 мм. Приведенные результаты проплавления стального листа ($h=1$ мм) по расчетной методике из [6] не учитывают процесса отвода тепла от локальной зоны нагрева образца, наличия в нем скин-эффекта и предполагают лишь цилиндрическую форму лунки его прожига. Поэтому они являются численно завышенными.

2.2. Результаты расчетов по методу математического моделирования на основе прикладной программы. Используемый далее метод решения рассматриваемой электротермической задачи базируется на известном фундаментальном аналитическом решении тепловой задачи для плоского массивного металлического проводника с мгновенным поверхностным точечным источником тепла дисковой формы радиусом r_0 [9]. Данное аналитическое решение в [8] было в первом приближении распространено на случай воздействия импульсного тока при прямом ударе молнии в лист. В период времени $0 \leq t \leq t_0$ в области

круглой опорной зоны канала молнии имеется источник тепла дисковой формы радиусом r_0 с усредненной плотностью теплового потока $q_0(t)$, приложенный к плоской наружной поверхности однородной стенки металлической пластины. В цилиндрической системе координат для пространственно-временного изменения превышения температуры $\theta(r,z,t)$ в материале стенки стального образца толщиной h в круговой зоне действия на нее в воздухе во времени t поверхностного теплового потока с усредненной плотностью $q_0(t)$ от плазменного канала с током молнии можно записать следующее приближенное решение рассматриваемой нестационарной электротермической задачи [8]:

$$\theta(r,z,t) = \frac{1}{(\pi\lambda_0 c_0)^{1/2}} \int_0^{t_0} r_0(\tau) q_0(\tau) F(r,z,t-\tau) d\tau, \quad (3)$$

где $\theta(r,z,t) = (\theta_t - \theta_0)$ – превышение температуры материала стенки металлического образца; θ_t – текущая и изменяющаяся во времени t температура материала плоской стенки образца; θ_0 – температура окружающего стенку образца воздуха; r – радиальная координата, направленная от оси токового канала молнии вдоль стенки плоского образца; z – продольная координата, направленная от центра очага теплового воздействия тока молнии внутрь стенки плоского образца; $q_0(\tau)$ – усредненная плотность воздействующего на стенку стального образца поверхностного теплового потока, вызванного плазменным каналом молнии;

$$F(r,z,t-\tau) = \exp[-z^2 c_0 / 4\lambda_0(t-\tau)] \times \\ \times (t-\tau)^{-1/2} \int_0^\infty \exp[-\lambda_0(t-\tau)v^2 / c_0] J_0(vr) J_1(vr_0) dv;$$

τ, v – вспомогательные переменные; $r_0(\tau)$ – текущее значение радиуса канала тока молнии; t – текущее время; t_0 – длительность протекания импульсной A - или длительной C - компонент тока молнии; J_0, J_1 – соответственно функции Бесселя первого рода нулевого и первого порядков; λ_0, c_0 – соответственно коэффициент теплопроводности и удельная объемная теплоемкость материала стенки плоского стального образца, принятые для решаемой задачи постоянными величинами.

Описанная вкратце математическая модель была реализована в виде прикладной программы [10], которая позволяет осуществлять расчет последствий термического воздействия на листы импульсной A - и длительной C - компонент тока молнии. Здесь совместное последовательное воздействие на стальные образцы указанных компонент тока молнии не рассматривается. Результаты приближенных численных расчетов по программе из [10] термического действия лишь одной импульсной A - компоненты тока молнии на стальной образец ($h=1$ мм) представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчетной оценки термического действия A - компоненты на стальной образец [10]

| I_{mA} , кА | t_{mA} , мкс | τ_{pA} , мкс | Глубина оплавления h_{mA} , мм | Радиус оплавления r_{mA} , мм |
|---------------|----------------|-------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| 192 | 34 | 500 | 0,04 | 31,6 |

Дополнительно к указанному выше отметим, что для рассматриваемого нами случая радиус r_{0A} канала молнии с импульсной A - компонентой ее тока согласно формулы Брагинского имеет следующий вид [8]:

$$r_{0A} = 0,093(I_{mA})^{1/3}(t_{mA})^{0,5}. \quad (4)$$

При $I_{mA}=192$ кА и $t_{mA}=34$ мкс радиус r_{0A} канала молнии, рассчитанный по (4), равен 31,3 мм. Видно, что это численное значение радиуса $r_{0A}=31,3$ мм хорошо согласуется с радиусом $r_{mA}=31,6$ мм зоны поверхностного оплавления стального образца, вызванного действием на него импульсной A - компоненты. В результате действия импульсной A - компоненты с силой тока $I_{mA}=192$ кА сквозного проплавления листа не наблюдается. В соответствии с табл. А.3 стандарта [6] вероятность появления молнии с силой тока более 200 кА не превышает 0,01 (1 %). Поэтому термическим эффектом действия одной лишь импульсной A - компоненты тока молнии при толщине стального листа $h=1$ мм и более можно пренебрегать с точки зрения возникновения в нем от нее сквозного отверстия.

Результаты расчетных оценок на основе (2) и (3) для стальной пластины ($h=1$ мм) термического действия на ее наружную поверхность длительной C - компоненты тока молнии представлены ниже в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчетной оценки термического действия длительной C - компоненты тока молнии на плоский стальной образец толщиной $h=1$ мм [10]

| q_C , Кл | I_{mC} , А | $T_C=T_{long}=t_0$, мс | Диаметр $2r_c$ отверстия проплавления, мм | Средняя сила тока, А |
|-------------------|--------------|-------------------------|---|----------------------|
| 10 ^{*)} | 500 | 40 | 2,72 | 250 |
| 20 ^{*)} | 1000 | 40 | 4,06 | 500 |
| 40 ¹⁾ | 800 | 100 | 4,96 | 400 |
| 125 | 500 | 500 | 6,40 | 250 |
| 200 | 800 | 500 | 7,72 | 400 |
| 350 ²⁾ | 1400 | 500 | 9,68 | 700 |

Примечание.

*) Вероятность превышения переносимой в плазменном канале молнии величины грозового заряда q_C в 10 Кл и 20 Кл определена соответственно как 50 % и 20 % (см. в [6] рис. А.5);

1) Превышение величины заряда q_C свыше 40 Кл, переносимого нисходящей молнией отрицательной полярности, имеет вероятность менее 5 % (см. в [6] табл. А.1);

2) Превышение величины грозового заряда q_C свыше 350 Кл, переносимого молнией положительной полярности, имеет вероятность менее 5 % (см. в [6] табл. А.1).

Следует отметить, что физика реального процесса протекания в листе тока молнии более сложная, чем в указанных расчетных моделях. Немаловажным фактором здесь является последовательное протекание A - и C - компонент тока. В результате чего осуществляется предварительный нагрев стенки объекта A - компонентой тока. Поэтому полученные по [10] результаты дают заниженное значение радиуса отверстия в стальном листе для принятого варианта их действия. Можно предполагать, что реальные размеры отверстия в листе при ударе естественной двухкомпо-

нентной молнии будут между значениями диаметров, рассчитанными по рассмотренным выше методикам.

3. Испытательная схема и электрические параметры мощных высоковольтных генераторов ГИТ-А и ГИТ-С. На рис. 2 приведена принципиальная электрическая схема генератора типа УИТОМ-1, используемого при экспериментальных исследованиях на электротермическую молниестойкость испытываемых образцов (ИО) выбранной стальной кровли технического сооружения. Из данной схемы видно, что в состав генератора типа УИТОМ-1 входят два отдельных и параллельно работающих на одну электрическую нагрузку – ИО генератора импульсных токов (ГИТ), один из которых ГИТ-А моделирует импульсную A - компоненту тока искусственной молнии, а другой ГИТ-С – длительную C - компоненту тока искусственной молнии. Укажем, что собственные электрические параметры разрядной цепи генератора ГИТ-А составляют [5]: активное сопротивление $R_A \approx 0,057$ Ом; индуктивность $L_A \approx 2,5$ мкГн; емкость $C_A \approx 333$ мкФ. Собственные электрические параметры разрядной цепи генератора ГИТ-С были равны [5]: активное сопротивление $R_C \approx 4,74$ Ом; индуктивность $L_C \approx 11,43$ мГн; емкость $C_C \approx 45,36$ мФ. Генератор ГИТ-А был собран на основе 111 параллельно включенных высоковольтных импульсных конденсаторов типа ИК-50-3 (номинальное напряжение ± 50 кВ; номинальная емкость 3 мкФ), а генератор ГИТ-С – на основе 324 параллельно подсоединенных высоковольтных импульсных конденсаторов типа ИМ2-5-140 (номинальное напряжение ± 5 кВ; номинальная емкость 140 мкФ) [5, 11]. В разрядной цепи генератора ГИТ-А установлен трехэлектродный воздушный коммутатор F_1 с массивными стальными электродами, а в разрядной цепи генератора ГИТ-С – двухэлектродный воздушный коммутатор F_2 с графитовыми электродами.

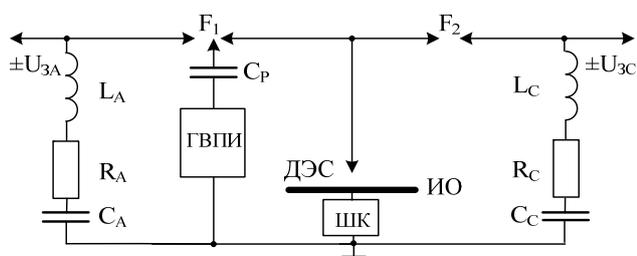


Рис. 2. Принципиальные электрические схемы сильноточных разрядных цепей генераторов ГИТ-А и ГИТ-С для формирования в стальном образце кровли импульсной A - и длительной C - компонент тока искусственной молнии (ГВПИ – генератор высоковольтных поджигающих микросекундных импульсов напряжения амплитудой до ± 100 кВ; F_1, F_2 – соответственно трех- и двухэлектродный высоковольтные воздушные искровые коммутаторы ГИТ-А и ГИТ-С; $C_p \approx 180$ пФ – разделительная емкость на импульсное напряжение до ± 120 кВ в цепи ГВПИ, управляющего срабатыванием искровых коммутаторов F_1 и F_2 ; ДЭС – двухэлектродная система; ИО – испытываемый образец кровли; ШК – шунт коаксиальный типа ШК-300 для измерения импульсных токов искусственной молнии амплитудой от ± 10 А до ± 300 кА; $\pm U_{3A}, \pm U_{3C}$ – зарядные напряжения соответственно ГИТ-А и ГИТ-С; L_A и L_C, R_A и R_C, C_A и C_C – соответственно собственные индуктивности, активные сопротивления и емкости разрядных цепей ГИТ-А и ГИТ-С) [8]

Высоковольтные коммутаторы F_1 и F_2 являются высоковольтными изделиями собственного изготовления [12]. Плоский стальной образец согласно рис. 2 жестко закреплялся на рабочем столе мощного генератора типа УИТОМ-1 между соответствующими массивными алюминиевыми электродами, подключенными к разрядным цепям генераторов ГИТ-А и ГИТ-С. В испытательной схеме согласно рис. 2 для воспроизведения над ИО плазменного канала искусственной молнии используется воздушная двухэлектродная система (ДЭС), снабженная тонкой электрически взрывающейся проволочкой (ЭВП). В качестве ЭВП в соответствии с требованиями [3, 4] использовалась медная проволочка диаметром 0,2 мм и длиной $l_e = (37-50)$ мм. На рис. 3 в укрупненном виде показана ДЭС рабочего стола генератора УИТОМ-1. Воздушный зазор h_a между верхним массивным цилиндрическим электродом ДЭС и нижним массивным плоским электродом – ИО мог изменяться в диапазоне от 27 до 14 мм. Воздушный зазор h_e в ДЭС между ЭВП и ИО оставался неизменным и равным примерно 1 мм.

На рис. 4 показан общий вид используемой ДЭС.

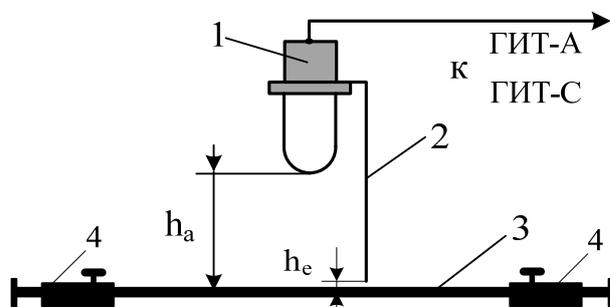


Рис. 3. Укрупненное схематическое изображение ДЭС, используемой в сильноточных разрядных цепях генераторов ГИТ-А и ГИТ-С при получении в плоских стальных ИО импульсной A - и длительной C - компонент тока искусственной молнии (1 – верхний массивный цилиндрический стальной электрод; 2 – тонкая медная ЭВП; 3 – нижний массивный плоский стальной электрод (ИО); 4 – массивные алюминиевые электроды, предназначенные для закрепления ИО; h_a – длина воздушного промежутка в ДЭС; h_e – длина воздушного промежутка между нижним краем круглой медной ЭВП и наружной плоской поверхностью ИО) [8]



Рис. 4. Общий вид ДЭС с медной ЭВП рабочего стола генераторов ГИТ-А и ГИТ-С при испытаниях в их разрядных цепях ИО тонкой стальной кровли на электротермическую стойкость к прямому воздействию на них импульсной A - и длительной C - компонент тока искусственной молнии с нормированными согласно [3, 4] АВП ($l_e = 37-50$ мм) [8]

Зарядные напряжения высоковольтных конденсаторов в генераторах ГИТ-А и ГИТ-С для выполнения планируемых экспериментов выбирались отрицательной полярности, а модули их уровней соответственно не превышали $U_{3A} \leq 25$ кВ и $U_{3C} \leq 4,2$ кВ. Выбор полярности зарядных напряжений U_{3A} и U_{3C} определялся необходимостью физического моделирования наиболее тяжелых в электротермическом смысле условий в описанной ДЭС и соответственно в круглой зоне привязки сильноточного цилиндрического плазменного канала с током искусственной молнии на наружной плоской поверхности ИО стальной кровли технического сооружения. Для предотвращения механических разрушений в конденсаторных батареях генераторов ГИТ-А и ГИТ-С и обеспечения требуемых условий техники безопасности и охраны труда для обслуживающего мощный генератор типа УИТОМ-1 персонала при аварийном режиме его работы (например, при электрическом пробое изоляции хотя бы одного из 435 указанных конденсаторов при их заряде или разряде) на всех высоковольтных выводах используемых конденсаторов генераторов ГИТ-А и ГИТ-С были установлены защитные сопротивления, выполненные из высоковольтных постоянных объемных графито-керамических резисторов типа ТВО-60 на постоянное напряжение ± 25 кВ [5, 13]. Причем, на выводах конденсаторов типа ИК-50-3 были установлены защитные резисторы типа ТВО-60-24 Ом (жесткая сборка из четырех параллельно соединенных резисторов), а на выводах конденсаторов типа ИМ2-5-140 – по одному защитному резистору типа ТВО-60-100 Ом. Параллельная работа генераторов ГИТ-А и ГИТ-С на ИО стальной кровли согласно схеме на рис. 1 обеспечивалась синхронным срабатыванием высоковольтного трехэлектродного управляемого воздушного коммутатора F_1 с массивными полусферическими стальными основными электродами на номинальное напряжение ± 50 кВ [12] и высоковольтного двухэлектродного воздушного коммутатора F_2 с массивными прямоугольными графитовыми электродами, содержащими плоские рабочие поверхности, на номинальное напряжение ± 10 кВ [12]. В свою очередь, синхронное срабатывание коммутаторов F_1 и F_2 осуществлялось за счет подачи через разделительную емкость C_p на средний стальной сферический электрод коммутатора F_1 от генератора высоковольтных поджигающих импульсов (ГВПИ) импульсного напряжения микросекундной длительности амплитудой до ± 100 кВ [5, 12]. При пробое от ГВПИ одного из двух воздушных промежутков коммутатора F_1 и его последующем срабатывании возникающее импульсное перенапряжение на ДЭС с ИО приводит к практически одновременному с ним срабатыванию и коммутатора F_2 . После срабатывания коммутаторов F_1 и F_2 за счет разряда предварительно заряженных высоковольтных конденсаторов генераторов ГИТ-А и ГИТ-С через ИО стальной кровли технического сооружения начинают протекать имитированные импульсы тока молнии с требуемыми по [3, 4] АВП. Следует отметить, что номинальные значения запасаемой электрической энергии в мощных генераторах ГИТ-А и ГИТ-С составляют 416 и 567 кДж соответственно [5, 8, 13].

Измерение АВП импульсной А- и длительной С- компонент тока искусственной молнии в ИО стальной кровли проводилось с помощью поверенных метрологической службой измерительного коаксиального шунта типа ШК-300 [14], имеющего для этих токов соответственно коэффициенты преобразования $K_A \approx 10417$ А/В и $K_C \approx 5219$ А/В, и цифровых запоминающих осциллографов типа Tektronix TDS 1012.

4. Результаты испытаний стальных образцов кровли на стойкость к воздействию импульсной А- и длительной С- компонент тока искусственной молнии. На рис. 5 показан общий вид рабочего стола с ДЭС мощного генератора УИТОМ-1 и жестко закрепленным на нем плоским ИО стальной кровли толщиной $h=1$ мм в пазах массивных алюминиевых электродов, включенных в сильноточные разрядные цепи высоковольтных генераторов ГИТ-А и ГИТ-С.

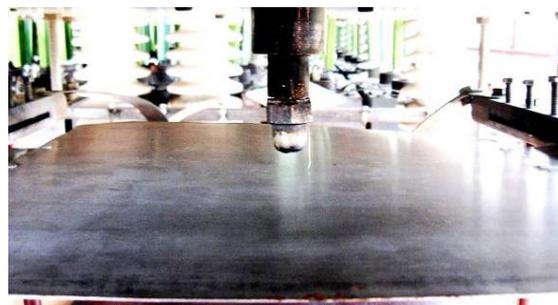


Рис. 5. Внешний вид ИО стальной кровли, закрепленного в ДЭС с ЭВП на рабочем столе генератора типа УИТОМ-1, до прямого воздействия на него от высоковольтных генераторов ГИТ-А и ГИТ-С импульсной А- и длительной С- компонент тока искусственной молнии ($h_a=27$ мм; $l_e=50$ мм)

Представленные ниже результаты двух видов экспериментов по определению электротермической молниестойкости идентичных ИО стальной кровли были получены при одинаковых величинах зарядных напряжений в ГИТ-А и ГИТ-С ($U_{3A}=-25$ кВ; $U_{3C}=-4,2$ кВ), воздушного промежутка $h_e \approx 1$ мм и двух величин воздушного промежутка h_a , равных 27 и 14 мм.

4.1. Результаты экспериментов при $h_a=27$ мм.

На рис. 6 приведена осциллограмма импульсной А-компоненты тока искусственной молнии, протекающей в ИО стальной кровли технического сооружения.

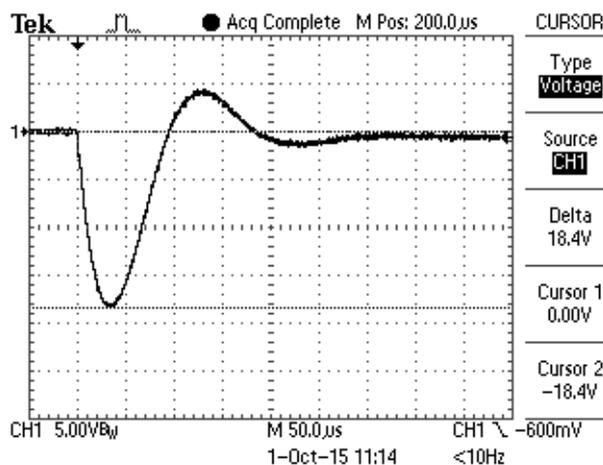


Рис. 6. Осциллограмма импульсной А- компоненты тока искусственной молнии, воздействующей на ИО кровли

Из расшифровки этой осциллограммы следует, что для рассматриваемого случая первая амплитуда импульсной A - компоненты тока искусственной молнии в ИО стальной кровли составляла $I_{mA} \approx -192$ кА. Этой амплитуде затухающей по экспоненте колебательной токовой составляющей соответствовало время t_{mA} , равное 34 мкс. Длительность первой полуволны τ_{1A} тока при этом составляла около 94 мкс, а полная длительность τ_{pA} данной компоненты тока имитированного грозового разряда – примерно 500 мкс. На рис. 7 представлена осциллограмма аperiodической длительной C - компоненты тока искусственной молнии амплитудой $I_{mC} \approx -804$ А, протекающей в ИО кровли из нержавеющей стали ($h=1$ мм). Видно, что длительность τ_C этой компоненты импульсного тока молнии на уровне $0,5 \cdot I_{mC}$ была равной примерно 160 мс, а ее полная длительность τ_{pC} – около 0,516 с. Время t_{mC} , соответствующее амплитуде I_{mC} , равно 9 мс.

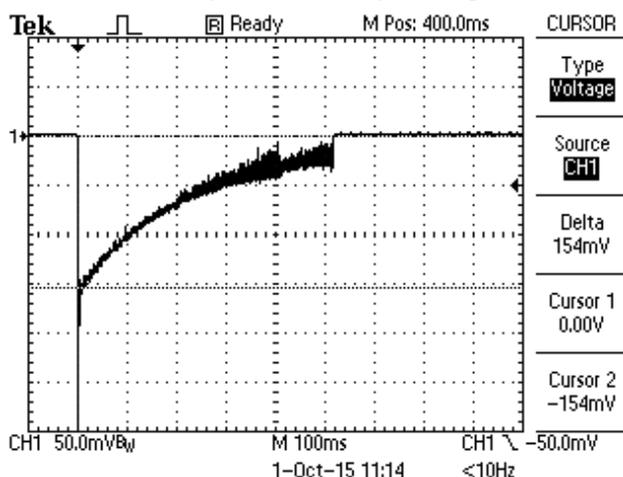


Рис. 7. Осциллограмма длительной C - компоненты тока искусственной молнии, воздействующей на ИО кровли

Согласно рис. 6 на кривой длительной C - компоненты тока искусственной молнии, особенно на завершающей стадии ее протекания, отчетливо видны многочисленные наложенные колебания, обусловленные неустойчивостью горения над ИО кровли импульсной дуги в воздушном промежутке длиной $h_a=27$ мм. При текущем времени t , равном $\tau_{pC} \approx 0,516$ с, данная неустойчивость горения дуги приводит к обрыву ее плазменного канала и прекращению протекания длительной C - компоненты тока в исследуемом ИО стальной кровли. Расшифровка осциллограммы на рис. 6 показывает, что за время $\tau_{pC} \approx 0,516$ с количество электричества q_C , протекшее в разрядной цепи генератора ГИТ-С через ИО кровли, составило в этом случае по модулю около 178 Кл. Этому заряду соответствует усредненное значение тока используемой токовой компоненты в ИО, равное $i_{CC} \approx q_C / \tau_{pC} \approx -345$ А.

На рис. 8 и 9 показаны внешние виды наружной и тыльной поверхностей ИО стальной кровли после совместного воздействия на него импульсной A - и длительной C - компонент тока искусственной молнии с АВП, соответствующими данным осциллограмм на рис. 6 и 7. Видно, что сквозного проплавления стенки ИО кровли из нержавеющей стали толщиной $h=1$ мм в данном случае ($h_a=27$ мм) не произошло. Округлая

зона привязки на наружной поверхности ИО стальной кровли импульсной A - компоненты тока имитированной молнии имела наибольший размер до 60 мм. Глубина образовавшегося в этой зоне кратера не превышала 50 мкм. В округлой зоне привязки длительной C - компоненты тока искусственной молнии произошло локальное расплавление материала стенки ИО стальной кровли, имеющего температуру плавления около 1455 °С [7, 15]. Диаметр зоны расплавления согласно рис. 8 и 9 не превышал 23 мм. На тыльной поверхности ИО стальной кровли отчетливо проявляется «цвета побежалости» от действия на его материал высокой температуры импульсного джоулева нагрева.



Рис. 8. Общий вид на наружной поверхности ИО стальной кровли округлого очага прямого воздействия на него импульсной A - и длительной C - компонент тока искусственной молнии с нормированными согласно требований [3, 4] АВП

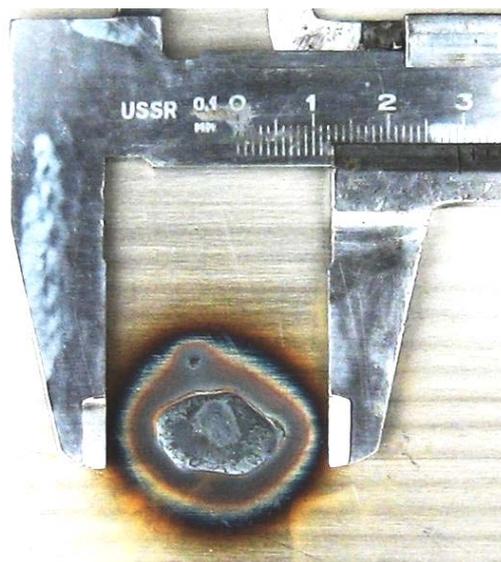


Рис. 9. Внешний вид на тыльной поверхности ИО стальной кровли округлого очага прямого воздействия на него импульсной A - и длительной C - компонент тока искусственной молнии с нормированными согласно требований [3, 4] АВП

4.2. Результаты экспериментов при $h_a=14$ мм.

На рис. 10 и 11 приведены осциллограммы соответственно для импульсной A - и длительной C - компонент тока искусственной молнии, полученные применительно к испытанию ИО стальной кровли на электро-термическую молниестойкость при уменьшении в ДЭС значения h_a до 14 мм. АВП импульсной A - компоненты моделируемого тока молнии при этом полностью соответствовали АВП подобной токовой составляющей грозового разряда, приведенной на рис. 6. Что касается АВП длительной C - компоненты тока имитируемой молнии, то в этом случае ($h_a=14$ мм; $l_e=37$ мм) изменению подверглись лишь три их параметра: полная длительность протекания тока i_C уменьшилась до $\tau_{pC}\approx 0,448$ с; протекший заряд уменьшился до значения $q_C\approx -165$ Кл; средний ток увеличился до уровня $i_{CC}\approx -367$ А. Несмотря на указанные изменения в АВП длительной C - компоненты тока искусственной молнии, в этом случае произошло сквозное проплавление стенки ИО кровли из нержавеющей стали толщиной $h=1$ мм. Диаметр $2r_c$ проплавленного отверстия в ИО составил 12 мм (рис. 12).

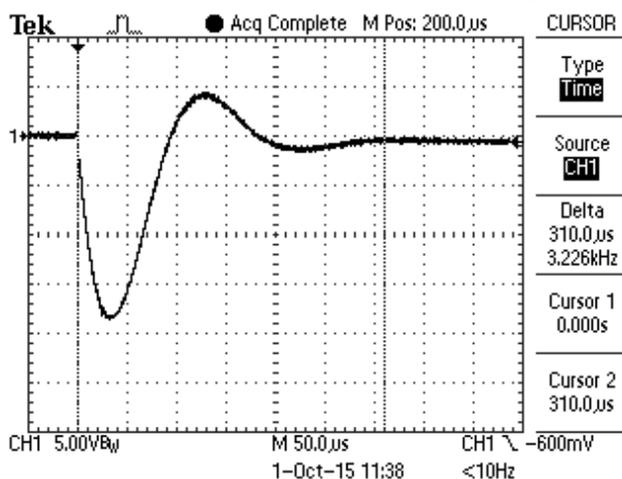


Рис. 10. Осциллограмма импульсной A - компоненты тока искусственной молнии, воздействующей в сильноточной разрядной цепи высоковольтного генератора ГИТ-А на плоский ИО стальной кровли толщиной $h=1$ мм ($I_{mA}\approx 192$ кА; $t_{mA}\approx 34$ мкс; $\tau_{pA}\approx 500$ мкс; $J_A\approx 1,9\cdot 10^6$ А²·с)

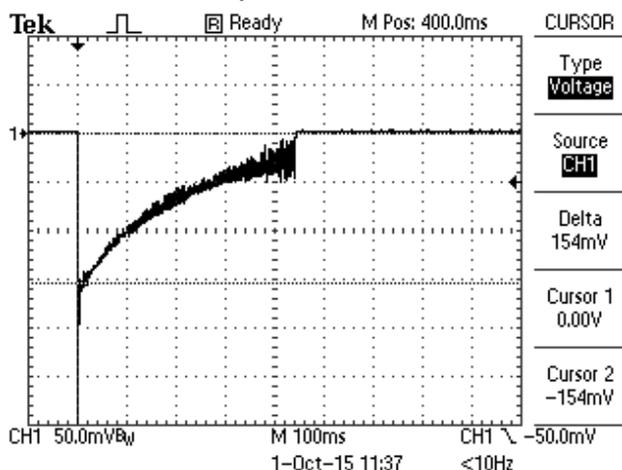


Рис. 11. Осциллограмма длительной C - компоненты тока искусственной молнии, воздействующей на плоский ИО стальной кровли толщиной $h=1$ мм ($I_{mC}\approx 804$ А; $t_{mC}\approx 9$ мс; $\tau_C\approx 160$ мс; $\tau_{pC}\approx 0,448$ с; $q_C\approx -165$ Кл; $i_{CC}\approx -367$ А)

Полученный при $h_a=14$ мм экспериментальный результат, касающийся сквозного проплавления имитируемым током молнии исследуемого тонкостенного образца стальной кровли технического сооружения, может быть объяснен тем, что при уменьшении длины воздушного промежутка h_a в ДЭС (соответственно и длины l_e для ЭВП) рабочего стола используемого генератора типа УИТОМ-1 наступает стабилизация зон привязки на наружной поверхности ИО стальной кровли плазменных каналов для длительной C - и импульсной A - компоненты тока искусственной молнии. Кроме того, уменьшение величины h_a предотвращает разветвление (разделение) в воздухе соответствующих плазменных каналов цилиндрической конфигурации для высоковольтных электрических импульсных и дуговых разрядов (следы подплавления от подобного канального разделения для моделируемой C - компоненты тока молнии как раз и присутствуют на рис. 8 и 9), что также способствует локальной концентрации тепловой энергии, выделяемой в материале исследуемых образцов кровли из нержавеющей стали.



Рис. 12. Внешний вид округлой зоны диаметром около 12 мм сквозного проплавления плоской стенки ИО стальной кровли ($h=1$ мм; $h_a=14$ мм) от прямого действия на него длительной C - компоненты тока искусственной молнии и округлой зоны диаметром до 58 мм ее поверхностного оплавления от прямого действия на ИО импульсной A - компоненты ее тока с нормированными по требованиям [3, 4] АВП

В пользу указанного физического объяснения сквозного проплавления стенки исследуемого тонкостенного ИО стальной кровли используемыми нами импульсными токами с уменьшением длины воздушного промежутка h_a в ДЭС (даже при уменьшении протекшего через ИО электрического заряда для длительной C - компоненты тока искусственной молнии со 178 до 165 Кл) свидетельствуют результаты последующей серии экспериментов, проведенных на мощном генераторе типа УИТОМ-1 для исследуемых ИО при $h_a=14$ мм. На рис. 13 и 14 приведены соответствующие осциллограммы для используемых в этом случае компонент импульсного тока искусственной молнии. Если кривая для импульсной A - компоненты тока имитируемого грозового разряда в последнем

случае повторяет подобные кривые для этой токовой составляющей искусственной молнии, приведенные на рис. 6 и 10, то кривая для длительной C -компоненты тока молнии здесь существенно отличается от аналогичных токовых кривых, приведенных на рис. 7 и 11. Эти отличия, прежде всего, касаются более устойчивого горения в ДЭС над ИО высоковольтной импульсной дуги с током i_C в воздушном промежутке длиной $h_a=14$ мм. Одним из признаков такого процесса протекания этой дуги является практическое отсутствие на кривой аperiodического тока i_C наложенных колебаний значительной амплитуды (см. рис. 14). Следствием такого электромагнитного процесса является увеличенная полная длительность τ_{pC} протекания через ИО стальной кровли импульсного тока i_C , достигающая численного значения 0,736 с. Отсюда следует также и увеличенное количество электричества $q_C \approx -187$ Кл, протекшее через округлую зону привязки плазменного канала длительной C -компоненты тока искусственной молнии на наружной поверхности ИО.

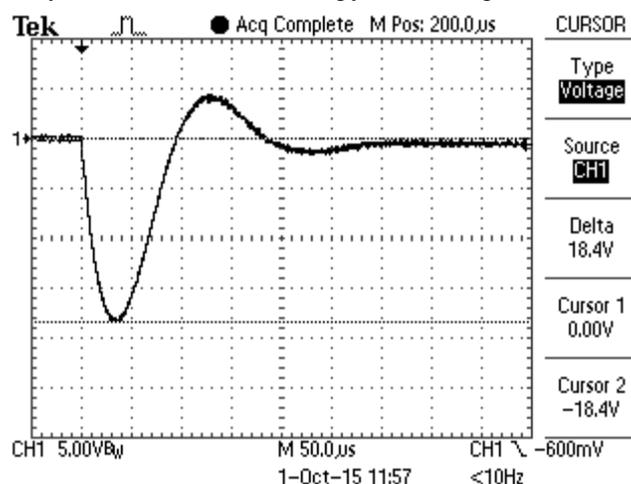


Рис. 13. Осциллограмма импульсной A -компоненты тока имитируемой молнии, воздействующей в силовоточной разрядной цепи высоковольтного генератора ГИТ-А на плоский тонкостенный ИО стальной кровли толщиной $h=1$ мм ($I_{mA} \approx 192$ кА; $t_{mA} \approx 34$ мкс; $\tau_{pA} \approx 500$ мкс; $J_A \approx 1,9 \cdot 10^6$ А²·с)

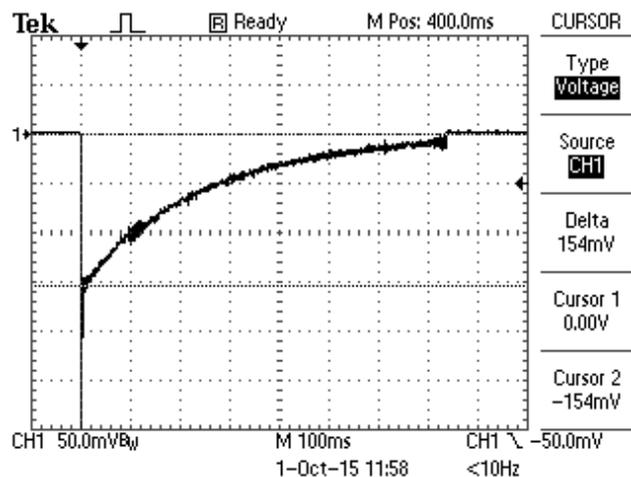


Рис. 14. Осциллограмма длительной C -компоненты тока имитируемой молнии, воздействующей в разрядной цепи высоковольтного генератора ГИТ-С на плоский тонкостенный ИО стальной кровли толщиной $h=1$ мм ($I_{mC} \approx 804$ А; $t_{mC} \approx 9$ мс; $\tau_C \approx 160$ мс; $\tau_{pC} \approx 0,736$ с; $q_C \approx -187$ Кл; $i_{CC} \approx -254$ А)

На рис. 15 показан внешний вид результатов прямого совместного воздействия на плоский тонкостенный ($h=1$ мм; $h_a=14$ мм) ИО кровли из нержавеющей стали импульсной A - и длительной C -компонент тока искусственной молнии с нормированными по [3, 4] АВП, приведшего к сквозному проплавлению стальной стенки ИО. Диаметр $2r_{mA}$ приповерхностного (на глубину не более 50 мкм) очага электротермического воздействия на наружную плоскую поверхность ИО стальной кровли от импульсной A -компоненты тока имитируемой молнии составил при этом до 59 мм. Диаметр отверстия в зоне сквозного проплавления стенки исследуемого образца кровли от электротермического действия на нее длительной C -компонент тока имитируемой молнии составил 15 мм.



Рис. 15. Внешний вид округлых зон термического воздействия на плоский ИО стальной кровли импульсной A - и длительной C -компонент тока искусственной молнии с нормированными по требованиям [3, 4] АВП, сопровождающегося сквозным проплавлением стенки ИО ($h=1$ мм; $h_a=14$ мм)

5. Сравнение результатов расчетных оценок и выполненных экспериментов. Это сравнение, проведенное для случая прямого действия на опытные тонкостенные ($h=1$ мм) образцы из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т C -компоненты тока, представлено в табл. 5 (при этом эксперименты проводились при длине воздушного промежутка в ДЭС $h_a=14$ мм).

Таблица 5
Сравнительные данные для результатов выполненных расчетов и экспериментов при оценке термической молниестойкости стальных образцов

| Значение заряда q_c , Кл | Диаметр отверстия проплавления в стенке стального образца ($h=1$ мм), мм | | |
|----------------------------|---|----------------|----------------------|
| | Эксперимент | По формуле (1) | Численный метод [10] |
| 165 | 12,0 | 18,0 | 7,1 |
| 187 | 15,0 | 20,8 | 7,7 |

Из данных табл. 5 следует, что результаты расчетной оценки электротермической молниестойкости стальных образцов ($h=1$ мм) с использованием (1) удовлетворительно (с погрешностью до 28 %) согласуются с результатами проведенных экспериментов.

Выводы.

1. Результаты выполненных в НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» оценочных расчетно-экспериментальных исследований электротермической стойкости опытных плоских образцов размером в плане 500×500 мм из нержавеющей стали толщиной 1 мм к прямому воздействию на них в воздухе импульсной *A*- и длительной *C*- компонент тока искусственной молнии с нормированными АВП согласно действующих требований нормативными документами США SAE ARP 5412 и SAE ARP 5416 указывают на то, что исследованные нами тонкостенные стальные образцы могут подвергаться сквозному проплавлению. Диаметр отверстия сквозного проплавления в исследованных стальных образцах в округлой зоне привязки на их наружной поверхности плазменного канала длительной *C*- компоненты тока имитируемого в лабораторных условиях грозового разряда может достигать 15 мм.

2. Существенное влияние на результаты электротермического воздействия плазменных каналов искусственной молнии с *A*- и *C*- компонентами импульсного тока на исследованные опытные стальные образцы технического сооружения оказывают электрофизические процессы привязки соответствующих плазменных каналов на их наружной поверхности и горения над ними высоковольтной импульсной дуги в воздушном промежутке ДЭС использованного в экспериментах мощного высоковольтного генератора тока искусственной молнии типа УИТОМ-1.

3. Для предотвращения возможных очагов возгорания горючих жидкостей и материалов, размещаемых снизу под тонкостенной стальной оболочкой с указанными характеристиками, поражаемой на открытом воздухе прямыми ударами сильноточных грозовых разрядов, требуется разработка специальных технических мероприятий, повышающих пожарную безопасность подобных технических сооружений к действию на них больших импульсных токов молнии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юман М.А. Молния. – М.: Мир, 1972. – 327 с.
2. Кравченко В.И. Молния. Электромагнитные факторы и их поражающее воздействие на технические средства. – Х.: НТМТ, 2010. – 292 с.
3. SAE ARP 5412: 2013. Aircraft Lightning Environment and Related Test Waveforms. SAE Aerospace. USA, 2013. – pp. 1-56.
4. SAE ARP 5416: 2013. Aircraft Lightning Test Methods. SAE Aerospace. USA, 2013. – pp. 1-145.
5. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И., Недзельский О.С., Дныщенко В.Н. Генератор тока искусственной молнии для натурных испытаний технических объектов // Приборы и техника эксперимента. – 2008. – №3. – С. 81-85. doi: 10.1134/s0020441208030123.
6. IEC 62305-1: 2010 «Protection against lightning. Part 1: General principles». Geneva, IEC Publ., 2010.
7. http://www.sgkarkas.ru/spravochnik/marochnik_stalej/12h18n10t.
8. Баранов М.И. Избранные вопросы электрофизики: Монография в 2-х томах. Том 2, Кн. 2: Теория электрофизических эффектов и задач. – Х.: Точка, 2010. – 407 с.
9. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел / Пер. с англ. – М.: Наука, 1964. – 487 с.
10. Дронов В.Н., Серков А.А. Компьютерная программа для расчета структуры электротермического воздействия тока

молнии на металлическую обшивку / Свидетельство о регистрации авторского права № 30557 от 06.10.2009 г. Выдано государственной службой интеллектуальной собственности Украины.

11. Берзан В.П., Геликман Б.Ю., Гураевский М.Н., Ермуратский В.В., Кучинский Г.С., Мезенин О.Л., Назаров Н.И., Перегудова Е.Н., Рудь В.И., Садовников А.И., Смирнов Б.К., Степина К.И. Электрические конденсаторы и конденсаторные установки. Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 656 с.

12. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И., Недзельский О.С. Высоковольтные сильноточные воздушные разрядники генератора тока искусственной молнии // Приборы и техника эксперимента. – 2008. – №6. – С. 58-62.

13. Баранов М.И., Рудаков С.В. Разработка новых схем резистивной защиты высоковольтных конденсаторов мощных емкостных накопителей энергии от аварийных токов // Электротехника и электромеханика. – 2015. – №6. – С. 47-52. doi: 10.20998/2074-272X.2015.6.08.

14. Баранов М.И., Кравченко В.И. Электротермическая стойкость проводов и кабелей летательного аппарата к поражающему действию импульсного тока молнии // Электричество. – 2013. – №10. – С. 7-15.

15. Кухлинг Х. Справочник по физике / Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 520 с.

REFERENCES

1. Yuman M.A. *Molniya* [Lightning]. Moscow, Mir Publ., 1972. 327 p. (Rus).
2. Kravchenko V.I. *Molniya. Elektromagnitnyy faktory i porazhayushchie vozdeystviya na tekhnicheskie sredstva* [Lightning. Electromagnetic factors and their impact on the striking technical objects]. Kharkov, NTMT Publ., 2010. 292 p. (Rus).
3. SAE ARP 5412: 2013. *Aircraft Lightning Environment and Related Test Waveforms*. SAE Aerospace. USA, 2013. pp. 1-56.
4. SAE ARP 5416: 2013. *Aircraft Lightning Test Methods*. SAE Aerospace. USA, 2013. pp. 1-145.
5. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I., Nedzel'skii O.S., Dnyshchenko V.N. A Current Generator of the Artificial Lightning for Full-Scale Tests of Engineering Objects. *Pribory i tehnika eksperimenta – Instruments and Experimental Technique*, 2008, no.3, pp. 401-405. doi: 10.1134/s0020441208030123.
6. IEC 62305-1: 2010 «Protection against lightning. Part 1: General principles». Geneva, IEC Publ., 2010.
7. Available at: http://www.sgkarkas.ru/spravochnik/marochnik_stalej/12h18n10t (accessed 15 May 2013). (Rus).
8. Baranov M.I. *Izbrannyye voprosy elektrofiziki. Tom 2, Kn. 2: Teoriya elektrofizicheskikh effektiv i zadach* [Selected topics of Electrophysics. Vol.2, Book 2. A theory of electrophysical effects and tasks]. Kharkiv, NTU «KhPI» Publ., 2010. 407 p. (Rus).
9. Karlsru G., Eger D. *Teplotoprovodnost' tverdykh tel / Per. s angl.* [Heat conductivity of solids / Transl. from Eng.]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 487 p. (Rus).
10. Dronov V.N., Serkov A.A. *Komp'yuternaia programma dlja rascheta struktury elektrottermicheskogo vozdeystviya toka molnii na metallicheskuju obshivku / Svidetel'stvo o registratsii avtorskogo prava № 30557 ot 06.10.2009. Vydano gosudarstvennoi sluzhboi intellektual'noi sobstvennosti Ukrainy* [Computer program for the calculation of structure of electro-thermal action of current of lightning on the metallic edging / Testifying to registration of copyright no.30557 from 06.10.2009. It is given out government service intellectual property of Ukraine]. (Rus).
11. Berzan V.P., Gelikman B.Yu., Guraevsky M.N., Ermuratsky V.V., Kuchinsky G.S., Mezenin O.L., Nazarov N.I., Peregudova E.N., Rud' V.I., Sadovnikov A.I., Smirnov B.K., Stepina K.I. *Elektricheskie kondensatory i kondensatornye ustanovki*.

Spravochnik [The electrical capacitors and condenser options. Directory]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1987, 656 p. (Rus).

12. Baranov M.I., Koliushko G.M., Kravchenko V.I., Nedzel'skiy O.S. High-voltage high-current generator air gaps of the current artificial lightning. *Pribory i tekhnika eksperimenta – Instruments and experimental techniques*, 2008, no.6, pp. 58-62. (Rus).

13. Baranov M.I., Rudakov S.V. Development of new charts of capacitance-resistance defense of high-voltage capacitors of powerful capacity stores of energy from emergency currents. *Elektrotehnika i elektromekhanika – Electrical engineering & electromechanics*, 2015, no.6, pp. 47-52. (Rus). doi: **10.20998/2074-272X.2015.6.08**.

14. Baranov M.I., Kravchenko V.I. Electrothermal resistance wire and cable to the aircraft to the striking action pulsed current lightning. *Elektrichestvo – Electricity*, 2013, no.10, pp. 7-15. (Rus).

15. Kuhlning H. *Spravochnik po fizike. Per. s nem.* [Dictionary on Physics. Translated from German]. Moscow, Mir Publ., 1982. 520 p. (Rus).

Поступила (received) 23.02.2016

Баранов Михаил Иванович¹, д.т.н., гл.н.с.,
Князев Владимир Владимирович¹, к.т.н., с.н.с.,
Кравченко Владимир Иванович¹, д.т.н., проф.,
Рудаков Сергей Валерьевич², к.т.н., доц.,

¹ НИПКИ «Молния»

Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47,
тел/phone +38 057 7076841, e-mail: eft@kpi.kharkov.ua

² Национальный университет гражданской защиты Украины,
61023, Харьков, ул. Чернышевского, 94,
тел/phone +38 057 7073438, e-mail: serg_73@i.ua

M.I. Baranov¹, V.V. Kniaziev¹, V.I. Kravchenko¹, S.V. Rudakov²

¹ Scientific-&-Research Planning-&-Design Institute «Molniya»,
National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»,
47, Shevchenko Str., Kharkiv, 61013, Ukraine.

² National University of Civil Protection of Ukraine,
94, Chernyshevska Str., Kharkiv, 61023, Ukraine.

Results of calculation-experimental investigations of electro-thermal resistibility of sheet steel samples to action of rationed components of pulsed current of artificial lightning.

Purpose. Calculation and experimental researches of the electro-thermal resistibility of the steel sheet samples to action standard pulse current components of the artificial lightning with amplitude-time parameters (ATP), corresponded the requirements of normative documents of USA for SAE ARP 5412 & SAE ARP 5416. **Methodology.** Electrophysics bases of technique of high tensions and large impulsive currents (LIC), and also scientific and technical bases of planning of devices of high-voltage impulsive technique and measuring in them LIC. Current amplitude $I_{mA}=\pm 200$ kA (with a tolerance of ± 10 %); current action integral $J_A=2\cdot 10^6$ A²·s (with a tolerance of ± 20 %); time, corresponding to the amplitude of the current I_{mA} , $t_{mA}\leq 50$ microseconds; the duration of the current flow $\tau_{pA}\leq 500$ microseconds. **Results.** The results of the evaluation of the calculated and experimental studies of electro-thermal resistance of the samples of plates measuring 0,5 m × 0,5 m stainless steel 1 mm thickness to the action on them artificial lightning impulse currents with rationed ATP on the requirements of normative documents of USA for SAE ARP 5412 & SAE ARP 5416. A pulse A- component have a first amplitude 192 kA, the corresponding time of 34 μs, and the duration aperiodic component amplitude 804 A, corresponding to the time 9 ms. It has been shown that the long C- component current of artificial lightning can lead to keyhole these samples. The diameter of the holes in this thin steel sheet, which is formed during the flow of current C- components can reach 15 mm. The results of calculation and experiment agree within 28 %. **Originality.** For the first time in world practice on the generator large pulsed currents experimental studies of resistibility of sheet steel samples to the action of artificial lightning currents with critical parameters. **Practical value.** Using the results obtained in the practice of lightning protection will significantly improve the functionality and fire safety of different objects in conditions of exposure to linear lightning. References 15, figures 15, tables 5.

Key words: main components of lightning current, impulse current generator of artificial lightning, flat steel sample, electro-thermal resistibility to lightning.