

ВЫВОДЫ

1. Приведены результаты электрофизических исследований, связанных с оценкой давлений и нормальных механических напряжений, возникающих в уединенной круглой цилиндрической тонкостенной трахеиде древесины сосны при ПУМ в указанную древесину и продольном протекании внутри этой целлюлозной трахеиды с влагой импульсной компоненты тока молнии 2/50 мкс.
2. На основании двух разработанных электродинамических моделей разрушения при ПУМ древесины расчетным путем впервые показано, что линейная молния может вызывать радиальное раскалывание древесины сосны.

Список литературы: 1. Баранов М.И., Колиушко Г.М., Кравченко В.И. и др. Комплекс высоковольтного испытательного электрофизического оборудования экспериментальной базы НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ» // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика та перетворююча техніка. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2004. – № 4. – С. 3-13. 2. Рудаков В.В., Недзельский О.С.. Исследование импульсной электрической прочности крупногабаритных клееных деревянных конструкций // Вестник ХПИ. Серия «Электроэнергетика и автоматизация энергоустановок». – Харьков: ХПИ. – 1993. – Вып. 18. – С. 73-77. 3. *International standard IEC 61000-4-32. Part 4-32: Testing and measurement techniques-High-altitude electromagnetic pulse (HEMP) simulator compendium.* – Geneva, Switzerland, 2002. – 108 p. 4. *Slitskouhov Yu., Budanov V., Garpoev M. et el.* Wooden and Plastic Structures. – М.: Mir Publishers, 1989. – 400 p. 5. Баранов М.И., Носенко М.А. Исследование термического действия тока искусственной молнии на образцы металлической обшивки летательного аппарата авиационной техники // Инженерно-физический журнал. – 2009. – Том 82. – № 5. – С. 972-980. 6. [http:// www.postercartel.com/ fit/ 1700-4570.aspx?o=2300-8501](http://www.postercartel.com/fit/1700-4570.aspx?o=2300-8501). 7. [http:// ru.wikipedia.org/wiki/молния](http://ru.wikipedia.org/wiki/молния). 8. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с. 9. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине: Справочник / Под ред. Б.Н. Уголева. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 296 с. 10. Плугин Д.А. Механизм усушки и набухания древесины // Научно-технический сборник «Коммунальное хозяйство городов». – Харьков: ХГАГХ. – 2002. – Вып. 43. – С. 289-295. 11. Стрекаловский Н.И. О технических свойствах древесины сосны бассейна реки Ваги // Труды Архангельского лесотехнического института. – Архангельск: АЛТИ. – 1939. – Вып. XI. – С. 3-50. 12. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 520 с. 13. Баранов М.И. Моделирование электромагнитного эффекта при прямом ударе молнии в металлическую обшивку летательного аппарата // Технічна електродинаміка. – 1999. – № 1. – С. 16-21. 14. Баранов М.И. Моделирование электромеханического эффекта при прямом ударе молнии в металлическую обшивку летательного аппарата // Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика та перетворююча техніка. – Харків: НТУ «ХПИ». – 2002. – № 7, т. 1. – С. 58-70. 15. *Сопротивление материалов: Учебник для ВУЗов / Под общ. ред. П.С. Писаренко.* – Киев: Вища школа, 1979. – 696 с. 16. Смирнов А.Ф., Александров А.В., Монахов Н.И. и др. Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 1968. – 595 с. 17. Баранов М.И., Лисенко М.О. Моделирование электродинамических процессов в відокремленому капілярі дерев'яної конструкції при дії на неї прямого удару блискавки // Інформаційні технології: Наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я. – Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції (Харків, 20-22 травня 2009 р.), Частина II. – Харків: НТУ «ХПИ». – С. 334. 18. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Ч. 1. – М.: Наука, 1965. – 350 с. 19. Баранов М.И. Приближенный расчет электрической эрозии металлических электродов высоковольтных силовоточных искровых коммутаторов // Технічна електродинаміка. – 2004. – № 5. – С. 11-14.

Поступила в редколлегию 09.11.2009

М.И. БАРАНОВ, докт. техн. наук, главн. науч. сотр., НТУ «ХПИ»;
М.А. НОСЕНКО, науч. сотр., НТУ «ХПИ»

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИМПУЛЬСНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ТОКА ЛИНЕЙНОЙ МОЛНИИ НА МЕТАЛЛИЧЕСКУЮ ОБШИВКУ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Наведено різніну схему рішення задачі електротеплової дії імпульсної складової струму блискавки при прямому ударі її в металеву обшивку літального апарату. Представлено результати апробації розробленої чисельної моделі при дії зазначеної складової струму блискавки на алюмінієві зразки обшивки літального апарату.

Difference scheme for a solution of electrothermal problem influence of pulse component of lightning current at its direct stroke in metal covering of aircraft is given. The results of approbation of the developed numerical model at action of the specified component of lightning current on aluminium specimen of aircraft covering are presented.

1 ВВЕДЕНИЕ

Линейные молнии достаточно часто попадают в самолеты, летающие в земной воздушной атмосфере (для мирового авиапарка в среднем до трех раз в год) [1]. Одной из наиболее тяжелых авиационных аварий с катастрофическими последствиями, вызванной линейной молнией, является та, которая произошла 8 декабря 1963 года в районе г. Эклтона (штат Мэриленд, США) [1]. Тогда попавшая в самолет гражданской авиации молния проникла в его резервный бак горючего, что привело к его воспламенению и взрыву всего самолета. Поэтому вопросы термического воздействия тока молнии на обшивку летательного аппарата (ЛА) являются актуальными для разработчиков ЛА во многих странах мира. Теоретические исследования, посвященные приближенным оценкам теплового воздействия тока молнии на металлическую обшивку ЛА, содержат, как правило, одномерные модели температурного поля в зоне действия плазменного канала молнии [2-4]. В [5] было представлено численное решение двумерной электротепловой задачи для плоской металлической обшивки ЛА конечной толщины, подверженной воздействию длительной составляющей тока молнии. Определенный интерес представляет решение подобной задачи для импульсной составляющей тока молнии, характеризующейся амплитудой в сотни килоампер и полной длительностью в сотни микросекунд.

2 ПОСТАНОВКА ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ ЗАДАЧИ

При решении двумерной электротепловой задачи воздействия импульсной составляющей тока молнии $i_m(t)$ на размещенный в атмосферном воздухе с температурой $\theta_0 = 0$ °С плоский образец тонкостенной металлической обшивки

ЛА используем цилиндрическую систему координат (рис. 1).

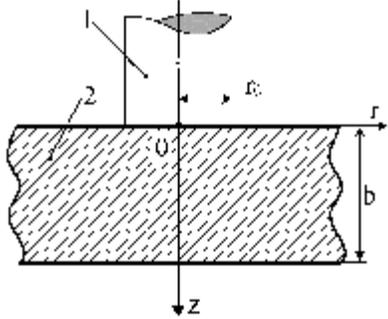


Рисунок 1 – Расчетная схема воздействия канала тока молнии на листовый образец металлической обшивки ЛА (1 – канал молнии; 2 – образец)

В соответствии с теорией нестационарной теплопроводности уравнение, описывающее от действия канала молнии неустановившееся температурное поле в плоском образце металлической обшивки ЛА, имеет вид [6,7]:

$$c_0 \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda_0 \nabla^2 \theta + \frac{\delta^2 (1 + c_0 \beta_0 \theta)}{\gamma_0}, \quad (1)$$

где $\theta = (\theta_t - \theta_0)$ – приращение температуры материала образца обшивки, °С; θ_t – текущая во времени t температура материала образца обшивки, °С; ∇^2 – оператор Лапласа; λ_0 – коэффициент теплопроводности материала образца обшивки, Дж/м·с·°С; c_0 – удельная

объемная теплоемкость материала образца обшивки, Дж/м³·°С; β_0 – температурный коэффициент удельной электропроводности материала образца обшивки, м³/Дж; γ_0 – удельная электропроводность материала образца обшивки при $\theta_0 = 0$ °С, (Ом·м)⁻¹; $\delta = \frac{i_m(t)}{\pi r_0^2(t)}$ – максимальная плотность тока молнии в мате-

риале образца обшивки, А/м²; $r_0(t)$ – радиус плазменного канала молнии цилиндрической конфигурации, м.

Для импульсной составляющей тока молнии $i_m(t)$, характеризующейся временной формой 2/50 мкс, амплитудой I_m и значением полной длительности ее протекания по образцу обшивки ЛА $t_0 = 500$ мкс, запишем [8]:

$$i_m(t) = \beta_m I_m \cdot [\exp(-\alpha_1 t) - \exp(-\alpha_2 t)], \quad (2)$$

где $I_m = 200$ кА – нормированная требованиями межгосударственного ГОСТ 30585-98 [9] амплитуда импульсной составляющей тока молнии; $\alpha_1 \approx 0,76/\tau_u = 1,529 \cdot 10^4$ с⁻¹; $\alpha_2 \approx 2,37/\tau_f = 1,188 \cdot 10^6$ с⁻¹; $\tau_f = 2 \cdot 10^{-6}$ с – длительность фронта импульсной составляющей тока молнии между уровнями 0,1-0,9 от его амплитуды I_m ; $\tau_u = 50 \cdot 10^{-6}$ с – длительность импульсной составляющей тока молнии на уровне 0,5 от ее токовой амплитуды I_m ; $\beta_m = \left[(\alpha_1 / \alpha_2)^{\alpha_1 / (\alpha_2 - \alpha_1)} - (\alpha_1 / \alpha_2)^{\alpha_2 / (\alpha_2 - \alpha_1)} \right]^{-1} = 1,072$ – нормирующий коэффициент.

При решении данной нестационарной электротепловой задачи неравномерностью распределения плотности тока молнии $i_m(t)$ по поперечному сечению канала грозового разряда и соответственно радиальной неравномерностью плотности теплового потока в круговой опорной зоне искрового канала молнии

радиусом r_0 , поступающего для временного интервала $0 \leq t \leq t_0$ в металлическую обшивку ЛА, пренебрегаем. При указанных допущениях на стадии протекания импульсной составляющей тока молнии $i_m(t)$ для текущего значения радиуса $r_0(t)$ его плазменного канала воспользуемся известной формулой Брингского применительно к максимальному радиусу сильноточного канала искрового разряда в атмосферном воздухе [10]. Тогда выражение для текущего радиуса канала молнии представим в следующем аналитическом виде:

$$r_0(t) = r_{0m} \cdot \beta_m^{1/2} \cdot [\exp(-\alpha_1 t) - \exp(-\alpha_2 t)]^{1/2}, \quad (3)$$

где $r_{0m} = 0,093 (I_m)^{1/3} \cdot (t_m)^{1/2}$ – максимальное значение радиуса канала молнии; $t_m = \ln(\alpha_2 / \alpha_1) / (\alpha_2 - \alpha_1)$ – время, соответствующее амплитуде I_m тока молнии (при указанных выше коэффициентах ее формы α_1 и α_2 величина t_m численно составляет значение, равное примерно 3,71 мкс).

С учетом вышеизложенного, уравнение (1) примет следующий вид:

$$c_0 \frac{\partial \theta}{\partial t} = \lambda_0 \left[\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \theta}{\partial r} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right] + \frac{I_m^2 \cdot (1 + c_0 \beta_0 \theta)}{\pi^2 r_{0m}^4 \gamma_0}. \quad (4)$$

Дополним уравнение (4) начальными и граничными условиями.

Начальное условие:

$$\theta(r, z, 0) = 0. \quad (5)$$

Граничные условия:

Для $r = 0$ и $0 \leq z < b$

$$\frac{\partial \theta}{\partial r} = 0. \quad (6)$$

Для $z = 0$

при $0 \leq r \leq r_{0m}$

$$-\frac{\partial \theta}{\partial z} = 10 \frac{I_m}{\pi \lambda_0 r_{0m}^2}; \quad (7)$$

при $r > r_{0m}$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} - \frac{Bi_0 \cdot \theta}{r_{0m}} = 0, \quad (8)$$

где $Bi_0 = \frac{\alpha_0 \cdot r_{0m}}{\lambda_0}$; Bi_0 – коэффициент Био при $z = 0$; α_0 – коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности ($z = 0$) образца ($\alpha_0 = 5,6$ Вт/м²·°С [7]).

Для $z = b$ и $r > 0$

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} + \frac{Bi_b \cdot \theta}{r_{0m}} = 0, \quad (9)$$

где $Bi_b = \frac{\alpha_b \cdot r_{0m}}{\lambda_0}$, Bi_b – коэффициент Био при $z = b$, α_b – коэффициент теплоотдачи с внутренней поверхности ($z = b$) образца ($\alpha_b = 5,6$ Вт/м²·°С [7]).

Для удаленных расчетных областей образца $r \geq 3r_{0m}$. Считаем, что при $r = 3r_{0m}$ значения превышения температуры материала образца равны нулю:

$$\theta(3r_{0m}, z, t) = 0. \quad (10)$$

Таким образом, уравнение (4) с начальным (5) и граничными (6)–(10) условиями представляют в приближенном виде полную формулировку электротепловой задачи воздействия импульсной составляющей тока молнии на металлическую обшивку ЛА.

3 РАЗНОСТНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ ЗАДАЧИ

Уравнение (4) для исследуемого плоского образца металлической обшивки ЛА при прямом ударе в нее молнии в безразмерном виде примет вид:

$$\frac{\partial \theta^*}{\partial t^*} = \left[\frac{1}{r^*} \cdot \frac{\partial \theta^*}{\partial r^*} + \frac{\partial^2 \theta^*}{\partial (r^*)^2} + \frac{\partial^2 \theta^*}{\partial (z^*)^2} \right] + \frac{I_m^2 \cdot c_0 \cdot \beta_0 \cdot (1 + \theta^*)}{\pi^2 \cdot r_{0m}^2 \cdot \gamma_0 \cdot \lambda_0}, \quad (11)$$

где $\theta^* = \theta/\theta_b$; $\theta_b = \frac{1}{c_0 \cdot \beta_0}$ – базисная температура; $r^* = \frac{r}{r_{0m}}$; $z^* = \frac{z}{r_{0m}}$;

$t^* = \frac{t}{t_b}$; $t_b = \frac{c_0 \cdot r_{0m}^2}{\lambda_0}$ – базисное время; r, z – радиальная и продольная координаты в материале плоской стенки обшивки ЛА.

Необходимые начальные и граничные условия для уравнения (11) в безразмерном виде будут иметь следующий вид:

Начальное условие:

$$\theta^*(r^*, z^*, 0) = 0. \quad (12)$$

Граничные условия:

Для $r^* = 0$ и $0 \leq z^* < b/r_{0m}$

$$\frac{\partial \theta^*}{\partial r^*} = 0. \quad (13)$$

Для $z^* = 0$ при $0 \leq r^* \leq 1$

$$-\frac{\partial \theta^*}{\partial z^*} = 10 \frac{I_m \cdot c_0 \cdot \beta_0}{\pi \cdot \lambda_0 \cdot r_{0m}}; \quad (14)$$

при $r^* > 1$

$$\frac{\partial \theta^*}{\partial z^*} - Bi_0 \cdot \theta^* = 0. \quad (15)$$

Для $z^* = b/r_{0m}$ и $r^* \geq 0$

$$\frac{\partial \theta^*}{\partial z^*} + Bi_b \cdot \theta^* = 0. \quad (16)$$

Для удаленных расчетных областей образца при $r^* = 3$ имеем:

$$\theta^*(3, z^*, t^*) = 0. \quad (17)$$

Для уравнения (11) с начальным (12) и граничными (13)–(17) условиями была построена разностная схема, обеспечивающая второй порядок аппроксимации по пространственному шагу h и временному шагу τ_c сетки [5]. Ширина

A прямоугольной расчетной области разбивается на N интервалов, причем каждый размером $h = A/N$. Высота B прямоугольной расчетной области разбивается на M частей, исходя из равенства $h = B/M$.

В разностном виде система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) для решаемой двумерной электротепловой задачи будет иметь такой вид:

$$C_0 \theta_{i,j}^k + C_1 \theta_{i,j-1}^k + C_2 \theta_{i,j+1}^k + C_3 \theta_{i-1,j}^k + C_4 \theta_{i+1,j}^k = F_{i,j}^k, \quad (18)$$

где $C_0 = \frac{2h^2}{\tau_c} + 4 - \frac{I_m^2 c_0 \beta_0}{\pi^2 r_{0m}^2 \gamma_0 \lambda_0} \cdot h^2$; $C_1 = -1$; $C_2 = -1$; $C_3 = \frac{1}{2i} - 1$;

$$C_4 = -\frac{1}{2i} - 1; \quad F_{i,j}^k = \theta_{i,j}^{k-1} \left(\frac{2h^2}{\tau_c} - 4 + h^2 \cdot \frac{I_m^2 c_0 \beta_0}{\pi^2 r_{0m}^2 \gamma_0 \lambda_0} \right) + \theta_{i,j-1}^{k-1} + \theta_{i,j+1}^{k-1} + \theta_{i-1,j}^{k-1} \left(1 - \frac{1}{2i} \right) + \theta_{i+1,j}^{k-1} \left(1 + \frac{1}{2i} \right) + \frac{2I_m^2 c_0 \beta_0}{\pi^2 r_{0m}^2 \gamma_0 \lambda_0} \cdot h^2.$$

Начальное условие для решения уравнения (18) в разностной аппроксимации примет такой вид:

$$q_{i,j}^0 = 0 \quad \{i = 0 \dots N, j = 0 \dots M\}. \quad (19)$$

Граничные условия в разностной форме будут иметь нижеследующий вид:

– На границе $i = 0$ (при $r^* = 0$) действует граничное условие (13), которое представляется односторонней разностной аппроксимацией внутрь расчетной области и в разностном виде после приведения будет иметь вид:

$$-3 \cdot \theta_{0,j}^k + 4 \cdot \theta_{1,j}^k - \theta_{2,j}^k = 0, \quad \text{для } \{j = 0 \dots M - 1\}. \quad (20)$$

– На границе $j = 0$ (при $z^* = 0$) имеем граничные условия для $0 \leq r^* \leq 1$ вида (14) и для $r^* > 1$ – вида (15). Для производной на границе $j = 0$ (при $z^* = 0$) была построена односторонняя внутрь расчетной области разностная аппроксимация второго порядка. Недостающие в рассматриваемой схеме задачи уравнения в разностном виде будут иметь вид:

– для области $0 \leq i \leq K$:

$$\theta_{i,0}^k = \frac{1}{3} \left(4 \cdot \theta_{i,1}^k - \theta_{i,2}^k + 20 \cdot \frac{I_m c_0 \beta_0}{\pi \lambda_0 r_{0m}} \cdot h \right); \quad (21)$$

– для области $K \leq i \leq N - 1$:

$$\theta_{i,0}^k = \frac{4 \cdot \theta_{i,1}^k - \theta_{i,2}^k}{2Bi_0 \cdot h + 3}. \quad (22)$$

– На границе $j = M$ (при $z^* = b/r_{0m}$) имеем граничное условие вида (16), которое записывается односторонней разностной аппроксимацией внутрь расчетной области, имеющее следующий вид:

$$\theta_{i,M}^k = \frac{4 \cdot \theta_{i,M-1}^k - \theta_{i,M-2}^k}{2h \cdot Bi_b + 3}. \quad (23)$$

- На границе расчетной области $i = N$ (при $r^* = 0$) имеем граничное условие $\theta_{N,j}^k = 0$, характерное для бесконечно удаленной границы данной области. С учетом этого условия на линии $i = N - 1$ получаем:

$$\theta_{N-1,j}^k = \frac{F_{N-1,j}^k - C_1 \theta_{N-1,j-1}^k - C_2 \theta_{N-1,j+1}^k + C_3 \theta_{N-2,j}^k}{C_0}. \quad (24)$$

Уравнения (18)–(24) представляют собой СЛАУ порядка $(N - 1) \cdot (M - 1)$ для решаемой электротепловой задачи. Решив данную СЛАУ относительно величины $\theta_{i,j}^k$ ($\theta_{i,j}^k = \theta(k\tau, ir, jz)$ – сеточная функция), получим распределение искомой сеточной функции $\theta_{i,j}$ на временном слое $k = t/\tau_c$, где t – текущее значение времени. Порядок данной СЛАУ достигает нескольких тысяч, но при этом большинство ее элементов имеет нулевое значение, то есть матрица полученной СЛАУ будет сильно разрежена. Решение системы полученных разностных уравнений было выполнено с использованием метода Гаусса-Зейделя [11].

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ СЛАУ ЗАДАЧИ

Численный расчет сформулированной в разностном виде задачи был произведен в соответствии с алгоритмом, разработанным ранее нами в [5] с использованием указанного выше метода для исследуемой импульсной составляющей тока молнии ($I_m = 200$ кА, $t_0 = 500$ мкс) применительно к алюминиевым образцам обшивки ЛА разной толщины. Это дало возможность использовать следующие исходные параметры для разностного уравнения (18): $c_0 = 2,7 \cdot 10^6$ Дж/м³·°С; $\beta_0 = 2,14 \cdot 10^{-9}$ м³/Дж; $\gamma_0 = 3,61 \cdot 10^7$ (Ом·м)⁻¹; $\lambda_0 = 240$ Дж/м·с·°С. В этом случае максимальный радиус искрового канала примет значение $r_{0m} = 10,48$ мм. При расчете были приняты следующие диапазоны изменения параметров: $r^* = 0 - 3$; $t^* = 0 - t^*_0$. Безразмерное время счета t^*_0 рассчитывалось из того условия, что полная длительность импульса тока 2/50 мкс равна 500 мкс ($t_b = 1,2356$ с). Тогда имеем, что $t^*_0 = 500 \cdot 10^{-6} / 1,2356 = 4,05 \cdot 10^{-4}$. В расчете толщина b образца обшивки ЛА варьировалась от 1 до 10 мм. Временной шаг τ_c принимали равным $4 \cdot 10^{-8}$. При этом количество шагов T по времени в разностной схеме составит величину, численно равную $t^*_0/\tau_c = 10^4$. Для листовых образцов обшивки ЛА различной толщины b были получены изменения температуры θ , в зоне воздействия на них импульсной компоненты тока молнии с принятыми амплитудно-временными параметрами. Расчетные данные для θ , позволили определить диаметр $2r_{\Pi}$ и глубину b_{Π} проплавленной лунки в исследуемом образце, исходя из условия $\theta_i \geq \theta_{\Pi}$, где θ_{Π} – температура плавления материала образца обшивки ЛА. Для исследуемых образцов было принято, что $\theta_{\Pi} = 658$ °С [12]. На основании проведенных расчетов было установлено, что при одних и тех же параметрах воздействующего импульса тока молнии полученный радиус r_{Π} лунки проплавления и ее глубина b_{Π} , а также температура θ , в центре зоны проплавления исследуемого образца не зависят от его толщины b . Расчетные размеры и фор-

ма получаемой лунки проплавления для исследуемых алюминиевых образцов обшивки ЛА с толщиной $b \geq 1$ мм представлены на рис. 2, на котором все размеры численно даны в мм.

Проведенные исследования показали, что максимальная расчетная температура на наружной поверхности алюминиевого образца обшивки ЛА в эпицентре воздействия на него канала молнии с импульсной составляющей тока 2/50 мкс составляет около $\theta_i = 5775$ °С. Отметим, что для аналогичной задачи, ранее решенной авторами аналитическим путем [13], данная температура составила $\theta_i = 6003$ °С. Кроме того, полученные здесь расчетные результаты для θ_i , r_{Π} и b_{Π} хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными по воздействию на листовый металл обшивки импульсной составляющей тока молнии (проплавление алюминиевой обшивки ЛА составляет не более 0,4 мм, лунка имеет тарельчатую форму, а ее радиус близок к значению r_{0m}) [13].

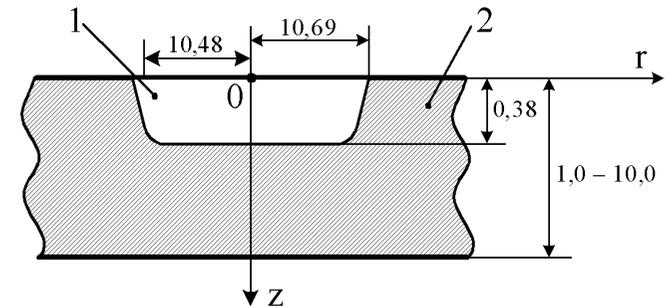


Рисунок 2 – Форма и размеры лунки проплавления в листовом образце алюминиевой обшивки ЛА при воздействии на него импульсной компоненты тока молнии 2/50 мкс (1 – лунка; 2 – образец; толщина стенки образца 1–10 мм; амплитуда тока – 200 кА)

5 ВЫВОДЫ

1. Сформулирована и численно решена разностным методом двумерная нестационарная электротепловая задача воздействия импульсной составляющей тока молнии временной формы 2/50 мкс на металлическую обшивку ЛА.

2. Проведена апробация полученной разностной схемы задачи для плоских алюминиевых образцов обшивки ЛА толщиной от 1 до 10 мм при воздействии на них импульсной составляющей тока молнии 2/50 мкс с амплитудой 200 кА и полной длительностью 500 мкс. Показана независимость радиуса r_{Π} и глубины b_{Π} лунки проплавления в указанных образцах, а также максимальной температуры на наружной поверхности исследуемых образцов от их толщины.

Список литературы: 1. Коваленко Е.И. Что мы знаем о молнии? // <http://anomalija.kulichki.ru/text7/249.htm>. 2. Абрамов Н.Р., Кужекин И.П., Ларионов В.П. Характеристики проплавления стенок металлических объектов при воздействии на них молнии // Электричество. – 1986. – № 11. – С. 22-27. 3. Абрамов Н.Р., Кужекин И.П. К расчету нагрева стенок металлических объектов при воздействии на них молнии // Электричество. – 1990. – № 5. – С. 56-59. 4. Бара-

нов *М.И.* Одномерная электротепловая задача для металлической обшивки летательного аппарата при воздействии на нее молнии // *Электротехника і електромеханіка*. – 2007. – № 1. – С. 65–71. **5.** *Баранов М.И., Носенко М.А.* Разностная схема двумерной электротепловой задачи для металлической обшивки летательного аппарата при прямом ударе в нее линейной молнии // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Техніка та електрофізика високих напруг. – Харків: НТУ «ХПІ», – 2008. – № 44. – С. 9-18. **6.** *Львов А.В.* Теория теплопроводности. – М.: Высшая школа, 1967. – 599 с. **7.** *Карслоу Г., Егер Д.* Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 487 с. **8.** *Баранов М.И.* Моделирование электромагнитного эффекта при прямом ударе молнии в металлическую обшивку летательного аппарата // *Технічна електродинаміка*. – 1999. – № 1. – С. 16-21. **9.** Межгосударственный ГОСТ 30585-98. Стойкость к воздействию грозových разрядов. Технические требования и методы испытаний / Рук. разработки *В.И. Кравченко*. – Киев: Госстандарт Украины, 1998. – 27 с. **10.** *Лозанский Э.Д., Фирсов О.Б.* Теория искры. – М.: Атомиздат, 1975. – 272 с. **11.** *Мак-Кракен Д., Дорн У.* Численные методы и программирование на Фортране. – М.: Мир, 1977. – 584 с. **12.** *Енохович А.С.* Справочник по физике и технике. – М.: Просвещение, 1983. – 255 с. **13.** *Баранов М.И., Носенко М.А.* Исследование термического действия тока искусственной молнии на образцы металлической обшивки летательного аппарата авиационной техники // *Инженерно-физический журнал*. – 2009. – Том 82. – № 5. – С. 972–980.

Поступила в редколлегию 17.11.2009

УДК 004.65

В.С.БРЕСЛАВЕЦЬ, канд.техн.наук, доцент, НТУ «ХПІ»;
В.М.ПОШТАРЕНКО, канд.техн.наук, доцент, НТУ «ХПІ»;
О.М.СЕМЕНОВА, студент, НТУ «ХПІ»

ОЦІНКА ЯКОСТІ НАВЧАННЯ СТУДЕНТІВ

Розглянуто основні принципи оцінки якості успішності студентів. Показано можливість і описана методика оцінки в будь-якій області, що дозволяє зробити більш якісну оцінку.

Basic principles of estimation of quality of progress of students are considered. Possibility is shown and the method of estimation is described in any area, that allows to do more high-quality estimation.

Постановка проблеми. Оцінка якості навчання є одним з основних чинників підвищення ефективності освітнього процесу у вищій школі в цілому. В умовах забезпечення індивідуального підходу до кожного навчального процесу дуже важливо коректно провести якісний і кількісний аналіз їх знань і умінь. Такий аналіз є складною залежністю з великим числом змінних. Проведення подібного аналізу часто вимагає великих витрат сил і часу на проведення статистичних розрахунків. Оцінювання якості навчання з використанням комп'ютерних технологій дозволяє значно скоротити час і трудовитрати аналізу і підвищує інформативність результатів.

Досягнення якості навчання забезпечується рядом чинників, до яких можна віднести наступні:

- кадрове забезпечення навчального процесу;
- матеріально-технічна база, бібліотечне і інформаційне забезпечення навчального процесу;
- методичне забезпечення навчального процесу;
- дидактичне забезпечення;
- організаційне забезпечення навчального процесу.

Наявність відповідного рівня даних чинників, є необхідною умовою для досягнення високої якості навчання по навчальних дисциплінах або циклах навчальних дисциплін освітніх програм вищої професійної освіти. Кінцевий результат навчання залежить не тільки від умов навчання, але і від індивідуальних здібностей студентів, їх мотивації в процесі навчання, здібностей викладачів реалізувати поставлені цілі навчання за допомогою сучасних методів і технологій навчання.

Педагогічну взаємодію суб'єктів освітнього процесу у вузі, студентів і викладачів, не піддається повній формалізації, що ускладнює отримання однозначних висновків про якість навчання. При аналізі були встановлені критерії оцінки якості знань, а також чинники, що впливають на отримання знань. Проте, одна з не вирішених проблем, з якими в даний час в тій чи іншій мірі стикаються всі вузи, є перевірка залишкових знань студентів. Процедура і умови її проведення, як правило, недостатньо продумані, а у ряді випадків до неї відносяться як до формального чергового заходу. Головними і типовими недоліками перевірки є підміна залишкових знань як її об'єкт знаннями «поточними» і списування студентами відповідей на поставлені питання.

В даний час існує ряд комп'ютерних систем для контролю знань студентів. Основним недоліком існуючих програмних продуктів є відсутність блоку аналізу результатів тестування (або існування його в автономному вигляді).

Аналіз літератури. На сьогоднішній день існує ряд публікацій в яких описуються методичні рекомендації по аналізу якості навчання студентів по дисциплінах [1, 2, 3, 4, 8]. Існує багато продуктів програмного забезпечення, за допомогою яких здійснюється контроль знань. Використовується безліч систем тестування якості знань [7]. Проте у всіх цих розробках є як плюси, так і мінуси. Для отримання даних про якість знань, дані методики використовують величезні ресурси наукових закладів. Це обробка даних, створення програмного забезпечення за допомогою якого експерти зможуть обробляти дані.

Деякі методи використовують ручний збір аналізу, ручну обробку аналізу. Пропонуються вже комп'ютеризовані системи збору і аналізу. Оцінка і аналіз в даній статті, пропонується, з використанням середовища Oracle, в якому вже існують функції для аналізу. Що також дає можливість не створювати програми, які аналізуватимуть, а використовувати що вже існують.

Метою статті є аналіз оцінки якості навчання студентів. Визначення і виділення основних критеріїв.